

Ville Nuotio

Öljynjalostamon kompressoreiden automaation parhaat käytännöt

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

7.4.2017

Tekijä(t) Otsikko	Ville Nuotio Öljynjalostamon kompressoreiden automaation parhaat käytännöt
Sivumäärä Aika	69 sivua 7.4.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Kunnossapitopäällikkö Emmi Arimo, Neste Oyj Kunnossapitoinsinööri Kari Virta, Neste Oyj Lehtori Jukka-Pekka Pirinen, Metropolia
<p>Insinöörityön tavoitteena oli selvittää Neste Oyj:n Porvoon öljynjalostamon kompressoreiden kunnonvalvonnan ja apujärjestelmien automaatoratkaisut. Tarkoitus oli dokumentaation avulla kerätä automaation eri ratkaisut, selvittää näiden hyvät ja huonot puolet sekä laatia näistä suositukset tulevaisuutta varten. Insinöörityön on tarkoitus olla esityötä Neste Oyj:n pyörivien laitteiden automaation toteutuksen spesifikaatiota varten.</p> <p>Työssä selvitettiin kompressoreiden apujärjestelmien ja kunnonvalvonnan automaation ratkaisut ja mittaukset sekä lajiteltiin nämä kompressoreittain. Apujärjestelmien automaation ratkaisut selvitettiin säätökaavioita, logiikkakaavioita, PI-kuvia sekä laiteohjeita tutkimalla. Ratkaisuja vertailtiin ja turva-automaatiojärjestelmässä toteutettuja suojauksia mietittiin turvallisuuden eheystason sekä käytännöllisyyden kannalta. Lisäksi selvitettiin haastattele-malla tarvittavat kunnonvalvonnan mittaukset ja vertailtiin näitä laitevalmistajan suosituksiin.</p> <p>Havaintojen perusteella tehtiin suositukset automaation toteutustavoista ja kunnonvalvonnan mittauksista. Suosituksista tehtiin myös erillinen dokumentti, joka käytiin läpi eri ammattialojen asiantuntijoiden kanssa. Suosituksien on tarkoitus olla apuna pyörivien laitteiden automaation toteutuksesta uutta spesifikaatiota tehdessä.</p>	
Avainsanat	kompressori, automaatio, turva-automaatio, kunnonvalvonta

Author(s) Title	Ville Nuotio Best Practices for Automation of Compressors at an Oil Refinery
Number of Pages Date	69 pages 7 April 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Emmi Arimo, Maintenance Manager, Neste Oyj Kari Virta, Maintenance Engineer, Neste Oyj Jukka-Pekka Pirinen, Senior Lecturer, Metropolia
<p>The objective of this thesis was to find out the automation implementations of compressors' condition monitoring and auxiliary systems at Neste Ltd oil refinery in Porvoo. The idea was to gather information about different solutions using documentation, to figure out the pros and cons and to make recommendations about the solutions for the future. The purpose of this thesis was to be preliminary work for a new specification about the implementations of automation in rotating machinery at Neste Ltd.</p> <p>The automation implementations and measurements of auxiliary systems and condition monitoring were looked through and sorted by compressor. The implementations of automation were examined with the help of control diagrams, logic diagrams, PI-diagrams and machine instructions. Implementations were compared with each other, and protections in safety instrumented systems were scrutinized from the point of view of practicality and the level of safety integrity. Furthermore, the necessary condition monitoring measurements were charted by interviewing.</p> <p>Recommendations for automation implementations and condition monitoring measurements were made on the grounds of the findings at the Porvoo oil refinery. A separate document of the recommendations was made and looked through with experts of different fields. The new specification about automation of rotary machinery is meant to be put together with the help of these recommendations.</p>	
Keywords	compressor, automation, safety automation, condition monitoring

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Taustaa	1
1.2	Tavoitteet	1
2	Kompressorit	2
2.1	Mäntäkompressorit	3
2.2	Turbokompressorit	4
2.2.1	Keskipakoiskompressorit	4
2.2.2	Aksiaalikompressorit	5
2.2.3	Surge	5
2.2.4	Anti-surgesäätö	7
3	Pyörivien laitteiden apujärjestelmät	8
3.1	Voiteluöljyjärjestelmä	8
3.2	Lubrikaattori	9
3.3	Glykolivesijärjestelmä	10
3.4	Tiivistejärjestelmät ja vuotokaasut	10
3.5	Paaksauslaite ja lukituslaite	12
3.6	Kuormituksen kevennys	13
4	Kunnonvalvonta	14
4.1	Määritelmä ja tarve	14
4.2	Anturointi	15
4.2.1	Mäntäkompressorit	16
4.2.2	Turbokompressorit	18
4.2.3	Sähkömoottorit, turbiinit ja vaihteistot	19
4.3	Kunnonvalvontajärjestelmät	19
5	Turva-automaatio	20
5.1	Riski	20

5.2	Turva-automaatiojärjestelmä	21
5.3	Suojaus ja lukitus	21
5.4	Turvallisuuden eheystaso	22
5.5	MooN-arkkitehtuuri tai -äänestyslogiikka	24
6	Laitteiden ja prosessin vaatimukset	26
6.1	Turvaeheystason asettamat vaatimukset	26
6.2	Käytännöllisyys ja kunnossapidettävyys	27
7	Insinööriyön toteutus	28
8	Havainnot ja pohdintaa Porvoon öljynjalostamon automaatoratkaisuista	29
8.1	Voiteluöljyjärjestelmä	29
8.2	Lubrikaattori	33
8.3	Tiivistekaasu- ja tiivisteöljyjärjestelmät	34
8.4	Glykolivesijärjestelmä	35
8.5	Paaksaus- ja lukituslaite	36
8.6	Anti-surge	40
8.7	Kunnonvalvonta	41
8.7.1	Mäntäkompressorit	41
8.7.2	Turbokompressorit	46
8.7.3	Sähkömoottorit, vaihteistot sekä turbiinit	48
8.8	Muut suojaukset ja toteutus yleisesti	48
8.9	Suojausten viiveet	51
8.10	Kevennys ja kuormitus	53
8.11	Liian tiheiden käynnistysten esto	54
8.12	Kaasuajon vaihto	55
8.13	Kytkimet ja mittaukset	56
9	Suosituksia automaatoratkaisuista	57
9.1	Suojaukset ja äänestyslogiikat yleisesti	57
9.2	Mittalaitteiden käyttö turva-automaatiossa	58
9.3	Suojaukset ja käynnistysehdot	59
9.3.1	Kunnonvalvonnan suojaukset	59
9.3.2	Voiteluöljyjärjestelmän suojaukset	60
9.3.3	Paaksaus- ja lukituslaitteen suojaukset ja käynnistysehdot	60
9.3.4	Kevennyksen ja kuormituksen suojaukset ja käynnistysehdot	61
9.3.5	Muut suojaukset ja käynnistysehdot	61

9.4	Kunnonvalvonnan mittaukset	61
9.5	Apuvoiteluöljypumpun sovelluksen toteutus	63
9.6	Kevennys ja kuormitus	64
9.7	Liian tiheiden käynnistysten esto	64
9.8	Anti-surgesäätö	65
9.9	Kunnonvalvonnan hälytys- ja suojausrajojen siirto DCS:ään	65
10	Tulevaisuuden kehityskohteita	66
11	Yhteenveto	68
	Lähteet	70

Lyhenteet ja käsitteet

API	American Petroleum Institute. Yhdysvaltalainen öljy- ja kaasuteollisuuden yhdistys
DCS	Distributed Control System. Käyttöautomaatiojärjestelmä
HAZOP	Hazard and Operability Study. Poikkeamatarkastelu
IEC	International Electrotechnical Commission. Kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
KARP3	Kaasuöljyn rikinpoistoyksikkö
LCF	Lummus Chevron Fining. Pohjaöljykrakkausyksikkö
LOPA	Layer of Protection Analysis. Menetelmä turvallisuuden eheystason määrittämiseen
MooN	M out of N. M määrä mittauksista N:stä
NExBTL	Next Generation Biomass to Liquid (Neste Renewable Diesel). Nesteen uusiutuvat biopolttoaineet.
PFD	Probability of Failure on Demand. Vikaantumistodennäköisyys
REF3	Bensiinin reformointiyksikkö
SFF	Safe Failure Fraction. Turvallisten vikaantumisien osuus.
SIL	Safety Integrity Level. Turvallisuuden eheystaso.
TET	Turvallisuuden eheystaso
TL4	Tuotantolinja 4
TOP	Ylemmän tason säätöjärjestelmä

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Tämä opinnäytetyö on tehty Neste Oyj:n Porvoon öljynjalostamon tuotantolinjojen 1–5 kompressoreiden apujärjestelmien ja kunnonvalvonnan automaation parhaista käytännöistä. Öljynjalostamon useilla kompressoreilla on apujärjestelmiä ja kunnonvalvontaa, joiden ohjaukset ja turvatoiminnot toteutetaan automaatio- tai turva-automaatiojärjestelmissä. Nykyisellään nämä ohjaukset ja turvatoiminnot toteutetaan hyvin erilaisilla ratkaisuilla ja usein laitevalmistajalla on oma vahva näkemyksensä automaation toteutuksesta. Kun selkeää standardia toteutukselle ei ole, käytetään usein hankkeiden suunnittelussa ja kommentoinnissa ylimääräistä työaikaa. Jos voidaan tarjota tarkka spesifikaatio pyörivien laitteiden automaation ja kunnonvalvonnan toteutuksesta, voitaisiin tämä työaika säästää. Myös kunnossapito ja operointi olisivat selkeämpiä, jos pyörivien laitteiden automaatio olisi toteutettu saman spesifikaation mukaisesti. Lisäksi vältetään yliinstrumentointia, kun jo projektin alkuvaiheessa on tiedossa Neste Oyj:n suosittelemat ratkaisut. Näin säästetään sekä työmäärissä että kustannuksissa. Jalostamolla on toimitettu näin uunien suhteen, joille on laadittu tarkka spesifikaatio automaatoratkaisuista. Näistä syistä on päätetty tehdä insinöörityö, jotta kompressoreiden automaation parhaat käytännöt selvitettäisiin. Insinöörityön aihe päätettiin rajata pelkkiin kompressoreihin, sillä kaikki pyörivät laitteet olisivat olleet aiheena liian laaja.

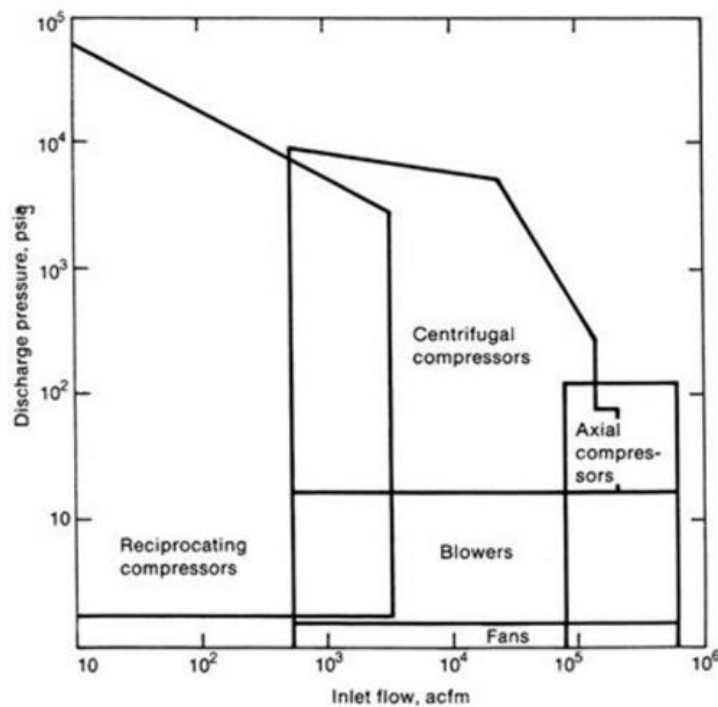
1.2 Tavoitteet

Tässä insinöörityössä on tavoitteena selvittää tuotantolinjojen 1–5 kompressoreille toteutetut apujärjestelmien ja kunnonvalvonnan automaatio- ja instrumentointiratkaisut. Dokumentoidaan ratkaisujen hyvät ja huonot puolet sekä laitevalmistajan perusteet automaation toteutukselle. Selvitetään automaatio-suunnittelun prosessikulku. Lopputuloksena tehdään suositukset parhaista ratkaisuista, joita voidaan käyttää hyväksi mahdollisen uuden spesifikaation toteutuksessa. Insinöörityö ei ota kantaa kompressoreiden prosessisäätöihin tai prosessiin liittyviin automaatoratkaisuihin.

2 Kompressorit

Kompressorit ovat mekaanisia pyöriviä laitteita, joita käytetään kaasujen komprimointiin eli kaasujen paineistukseen. Porvoon öljynjalostamon kompressorit voidaan jakaa kahteen eri ryhmään: mäntäkompressoreihin ja turbokompressoreihin. Turbokompressorit jaetaan vielä aksiaalikompressoreihin ja keskipakoiskompressoreihin. Turbokompressorit perustuvat akselin jatkuvaan pyörivään liikkeeseen ja kompressorin paikallaan pysyvään staattoriosaan, jolla nostetaan kaasun painetta. Mäntäkompressorit taas perustuvat männän edestakaiseen liikkeeseen. Näissä kaasu imetään sylinteriin, minkä jälkeen se puristetaan männän avulla korkeampaan paineeseen ja eteenpäin putkilinjassa. Turbokompressoreista kaasu kulkee jatkuvasti läpi, kun taas mäntäkompressoreissa ulostulon virtaus on pulssimainen. Pulsaatiota pyritään vähentämään pulsaation vaimentimilla, jotta se ei aiheuttaisi kompressoria tai putkilinjoja vaurioittavia värähtelyitä. [1, s. 8.]

Mäntä-, keskipakois- ja aksiaalikompressorit toimivat kaikki eri tavoin ja eri toiminta-alueilla. Kuvassa 1 on kuvattu kompressorityyppien paineentuottokyvyt suhteessa virtaukseen ja siinä nähdään eri tyyppien toiminta-alueet. Kuvaajassa ovat mukana myös puhaltimet ja tuulettimet, joita ei tässä insinööriyössä käsitellä. [1, s. 10.]

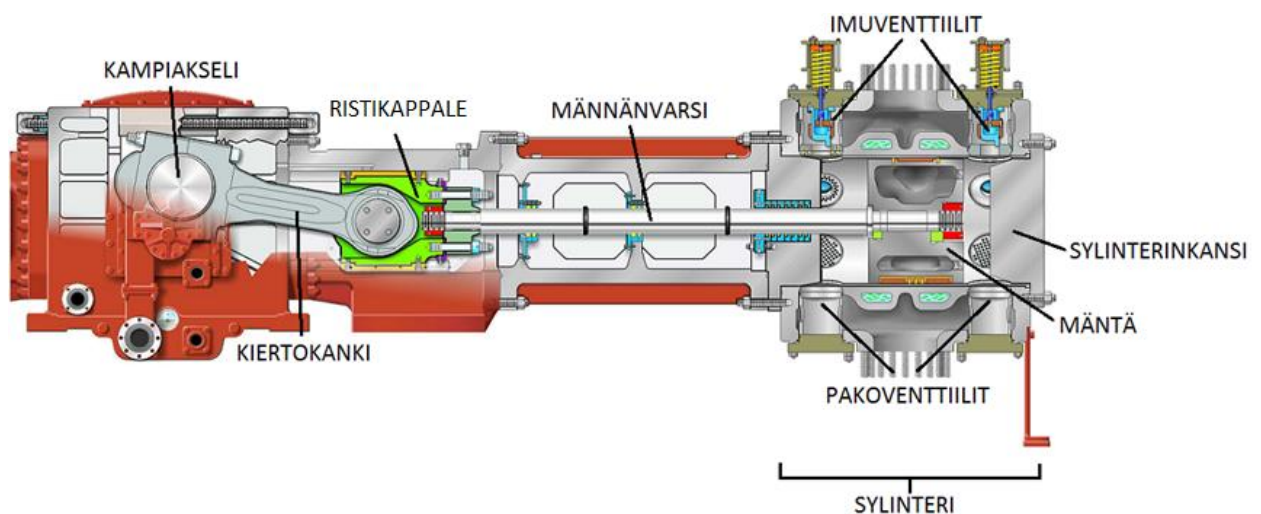


Kuva 1. Pyörivien laitteiden karkeat toiminta-alueet [1, s. 10.]

2.1 Mäntäkompressorit

Mäntäkompressorit perustuvat nimensä mukaisesti männän liikkeeseen sylinterin sisällä. Kompressoreissa voi olla yksi tai useampi sylinteri. Jalostamon mäntäkompressorit ovat usein monivaiheisia, mikä tarkoittaa sitä, että ensimmäisen vaiheen jälkeen kaasu kulkee seuraavan vaiheen sylinteriin tai sylintereihin, joissa se puristetaan vielä korkeampaan paineeseen. Yhdessä vaiheessa voi olla yksi tai useampi sylinteri. Jalostamon suuret mäntäkompressorit ovat usein 2- tai 3-vaiheisia ja 2-, 3-, 4- tai 6-sylinterisiä. Insiinööriössä ei käsitellä yksisylinterisiä kompressoreita. Mäntäkompressoreilla on todella korkea paineentuottokyky ja siksi näitä käytetään kohteissa, joissa vaaditaan kaasun korkeaa painetta. Näillä on kuitenkin matala virtauskapasiteetti sekä korkeat huoltokustannukset kompressorin mekaanisten liikkuvien osien takia.

Mäntäkompressorin toiminta perustuu kaasun puristukseen männällä. Kiertokanget on kiinnitetty kompressorin kampiakseliin, jota pyörittää erillinen sähkömoottori. Kiertokanget aiheuttavat ristikkappaleiden edestakaisen liikkeen kampiakselin pyöriessä. Ristikappaleisiin on kiinnitetty männänvarret, jotka liikuttavat mäntiä. Tällöin männät tekevät sylinterin sisällä edestakaista liikettä. Kuva 2 on räjäytyskuva mäntäkompressorista. Siitä ilmenevät kompressorin tärkeimmät osat. Kaasu imetään sylinteriin imuventtiilistä, minkä jälkeen imuventtiili sulkeutuu ja mäntä puristaa kaasun pakoventtiilin kautta ulos. Jos sylinteri on kaksitoiminen, samaan aikaan männän toisella puolella imuventtiili avautuu ja imee kaasua sylinteriin. Männän palatessa takaisin se puristaa imetyn kaasun jälleen pakoventtiilistä ulos.



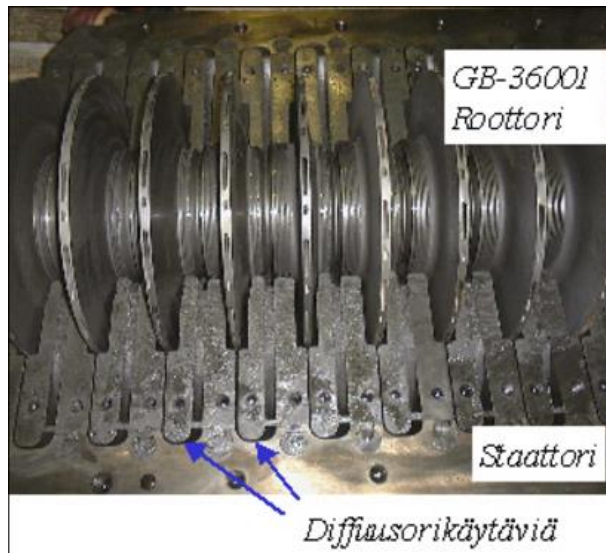
Kuva 2. Mäntäkompressorin rakenne [2]

2.2 Turbokompressorit

Turbokompressorit koostuvat pyörivästä roottorista ja paikallaan pysyvistä staattori-osasta. Kompressorin roottoria pyöritetään sähkömoottorilla tai turbiinilla. Pyörivä roottori tekee työtä kaasuun ja nostaa näin kaasun virtausnopeutta. Staattorissa virtausnopeutta jarrutetaan ja muutetaan energia näin paineeksi. Turbokompressorit voidaan jakaa kahteen eri luokkaan; aksiaalikompressoreihin ja keskipakoiskompressoreihin. Aksiaalikompressoreita käytetään usein paljon tehoa vaativissa kohteissa, kun taas keskipakoiskompressoreita hieman vähemmän tehoa vaativissa kohteissa. Turbokompressoreita rajoittavia tekijöitä ovat surgeraja (pumppausraja) sekä kaasun maksiminopeus (stonewall). Kaasun maksiminopeus voidaan saavuttaa korkeilla virtausnopeuksilla ja matalalla paineella. Tällöin kompressorin sisällä kulkureitit ovat virtaukselle liian ahtaita ja se synnyttää virtauksen etenemistä estäviä paineaaltoja. Tilaa kutsutaan stonewaliksi, sillä virtauksen määrää ei yksinkertaisesti ole mahdollista kasvattaa enempää. Kaasun maksiminopeus saavutetaan kuitenkin todella harvoin. Surgesta (pumppaustilasta) kerrotaan luvussa 2.2.3 lisää. [3.]

2.2.1 Keskipakoiskompressorit

Keskipakoiskompressoreissa voi olla yksi tai useampi vaihe. Vaihe koostuu roottorin mukana pyörivästä juoksupyörästä sekä staattorin diffuusorikanavasta. Juoksupyörässä kaasun virtaus kasvaa ja suunta muuttuu juoksupyörän pyörimissuunnan mukaiseksi. Tästä kaasu ohjautuu diffuusorikanavaan, jossa virtausnopeus laskee ja energia muuttuu paineeksi sekä lämpötilannousuksi. Jos kompressorit on monivaiheinen, niin virtaus johdetaan diffuusorikanavan jälkeen seuraavan vaiheen juoksupyörälle. Keskipakoiskompressorit vaativat vähän huoltoa, toimivat laajalla käyttöalueella ja pystyvät tuottamaan korkean paineen. Siksi keskipakoiskompressorit ovatkin melko yleisiä teollisuudessa. Näiden kapasiteetti on kuitenkin aksiaalikompressoreita pienempi ja paineentuotokyky mäntäkompressoreita alhaisempi. Kuvassa 3 on esitetty keskipakoiskompressorin rakennetta. [3.]



Kuva 3. Keskipakoiskompressorin GB-36001 purettuna [3]

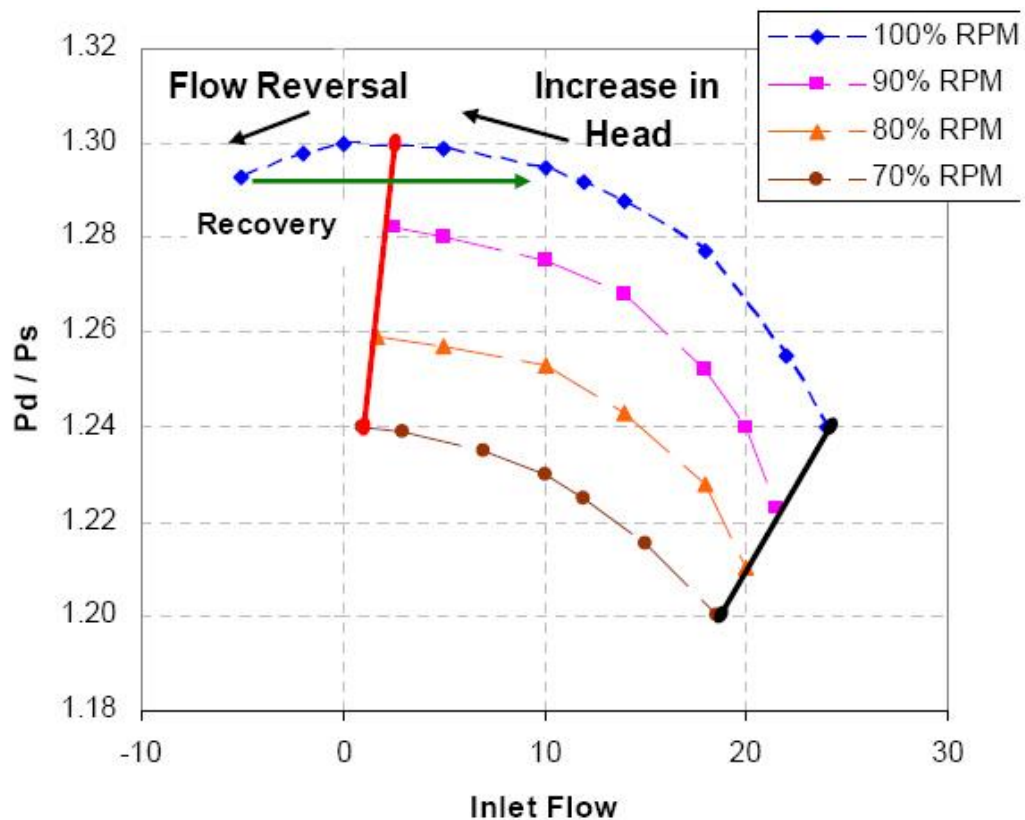
2.2.2 Aksiaalikompressorit

Aksiaalikompressoreissa voi olla yksi tai useampia vaiheita, mutta monivaiheiset kompressorit ovat yleisempiä. Kompressorin vaihe koostuu rivistä akseliin kiinnitettyjä pyöriä roottorilapoja sekä rivistä paikallaan pysyviä staattorilapoja. Kompressorin akselia pyörittää erillinen sähkömoottori tai turbiini. Aksiaalikompressoreissa virtaus kompressorin sisällä on aina akselin suuntainen. Pyörivät roottorilavat siirtävät mekaanista energiaa komprimoitavaan kaasuun, mikä kasvattaa kaasun virtausnopeutta. Tämän jälkeen kaasuvirtaus törmää staattorilapoihin, mikä aiheuttaa energian muutoksen paineeksi ja lämmön nousuksi. Kaasun paine nousee jokaisessa kompressorin vaiheessa. Valitussa kompressorissa tulee olla tarpeeksi vaiheita halutun paineen saavuttamiseksi. Aksiaalikompressoreiden hyötysuhde on keskipakoiskompressoreita parempi ja niiden virtauskapasiteetti on korkeampi. Aksiaalikompressoreiden paineentuottokyky on kuitenkin keskipakoiskompressoreita heikompi, käyttöalue pienempi sekä osat ovat herkempiä. [3; 4.]

2.2.3 Surge

Surge eli pumppaustila on ei-toivottu ilmiö, jota ilmenee vain turbokompressoreissa. Surge on seurausta prosessin vastapaineen kasvusta suuremmaksi kuin kompressorin tuottama nostokorkeus (kaasuun kohdistettavan energian määrä, [J/kg]). Vastapaineen noustessa kompressorin virtausnopeus pienenee. Kun vastapaineen voima kumooa vir-

tausnopeuden, muuttuu kompressorin virtaus vastakkaisuuntaiseksi. Kun virtausnopeus on negatiivinen, laskee myös paine alhaisemmaksi. Paineen laskiessa tarpeeksi alas jaksaa kompressorin jälleen komprimoida kaasua oikeaan suuntaan. Oikeasuuntaisen virtausnopeuden kasvaessa myös vastapaine kasvaa, jolloin päästään taas alkutilanteeseen. Jäädään niin sanottuun surgesilmukkaan (kuva 4). Surgetilojen aiheuttamat nopeat ja rajut muutokset saavat aikaan värähtelyjä, jotka vaurioittavat kompressorin hyvin helposti. Nämä vauriot voivat aiheuttaa suuria kustannuksia korjauksien ja tuotannonkeskeytyksien muodossa. [3.]

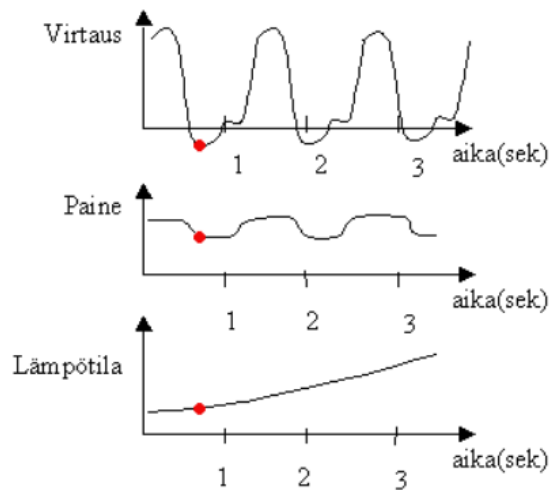


Kuva 4. Surgeraja ja surgesilmukka painesuhteen ja virtauksen koordinaatistossa [5]

Kuvassa 4 surgeraja on kuvattu punaisena viivana. Kuvasta huomataan prosessin palaavan surgetilasta jälleen stabiiliin tilaan, mutta jos vastapainetta ei lasketa, ajautuu prosessi uudestaan surgetilaan. Prosessia tulisi ajaa vähintään määritetyn turvamarginaalin päässä surgerajasta.

Surgetilan aikana linjan paine laskee, virtaus kääntyy vastakkaisuuntaiseksi ja lämpötila nousee hyvin nopeasti, jos kompressorin ei ajeta surgetilasta pois. Kuvassa 5 on kuvattu virtaus, paine sekä lämpötila ajan muuttujana. Kuvasta ilmenee, millaista kompressorin

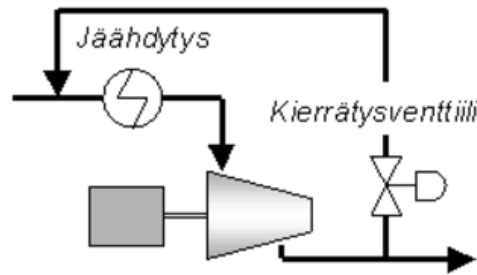
pumppaus on hitaimmillaan. Eräs keskipakoiskompressorivalmistaja (MAN Turbo) on todennut taajuuksia, joissa muutos tapahtuu jopa 10 kertaa sekunnissa. [3.]



Kuva 5. Kompressorin virtaus, paine sekä lämpötila suhteessa aikaan [3]

2.2.4 Anti-surgesäätö

Kompressorisäätöjen yksi tärkeimpiä tavoitteita on suojata koneen rakenteita mahdollisilta vaurioittavilta tapahtumilta. Anti-surgesäätö eli pumppauksenestösäätö on tehty surgetilojen välttämiseksi. Anti-surgesäätimet sisältävät paljon laskentaa, ja ne ovatkin melko monimutkaisia. Lisäksi anti-surgesäätimeltä vaaditaan suurta nopeutta pumppauksen taajuudesta johtuen, ja siksi anti-surgesäätiminä toimivat usein erilliset yksikösäätimet, jotka ovat kykeneväisiä tähän nopeuteen. Surge voidaan välttää avaamalla säätöventtiiliä painepuolella laskien näin prosessin vastapainetta (kuva 6). Kaasut voidaan kierrättää takaisin kompressorin imupuolelle tai vaihtoehtoisesti päästää suoraan ilmakehään, jos kaasu ei ole kallista eikä haitallista ympäristölle (esimerkiksi ilma). Jos kaasut kierrätetään takaisin kompressorille, tulee ne ajaa jäähdyttimen läpi, jotta lämpötila imupuolella ei nousisi liikaa. Imettävän kaasun lämpötila ei saa olla liian korkea, jotta kompressor ei ylikuumentuisi ja vaurioituisi. [3.]



Kuva 6. Anti-surgesäädön kierrätys [3]

3 Pyörivien laitteiden apujärjestelmät

Suuret kompressorit vaativat ympärilleen erilaisia apujärjestelmiä pysyäkseen toimintakunnossa. Apujärjestelmät ovat laitteen ja prosessin toiminnan sekä turvallisuuden kannalta välttämättömiä. Näiden vikaantuminen voi johtaa kompressorin vaurioitumiseen, prosessihäiriöön tai suojausten aiheuttamaan pysäytykseen. Suojaustenkin pysäyttämänä kompressorin alasajo voi aiheuttaa vaaratilanteita ja häiriöitä prosessissa. Siksi on tärkeää, että kompressorin ja prosessin lisäksi monitoroidaan kompressorin apujärjestelmiä sekä niiden toimintaa, jotta mahdolliset viat ja poikkeamat havaitaan tarpeeksi ajoissa. Öljynjalostamon kompressoreissa yleisiä apujärjestelmiä ovat esimerkiksi voiteluöljyjärjestelmä, tiivistekaasujärjestelmä sekä paaksauslaite

3.1 Voiteluöljyjärjestelmä

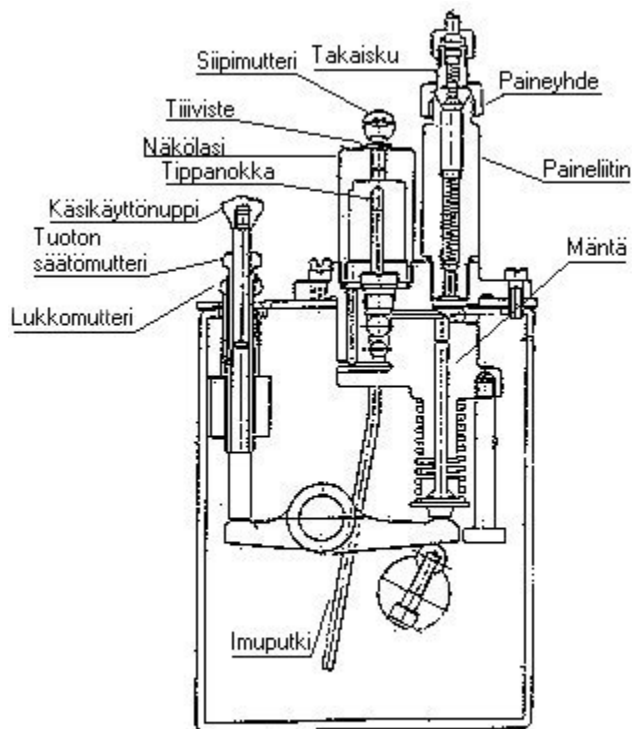
Voiteluöljyjärjestelmä on kompressorin toimintakunnon kannalta elintärkeä järjestelmä, ja jokaisesta kompressorista löytyy jonkinlainen voiteluöljyjärjestelmä. Tämä kierrättää kompressorissa ja mahdollisissa lisälaitteissa, kuten vaihteistossa, öljyä, joka jäähdyttää ja voitelee kompressorin mekaanisia osia. Tällaisia osia ovat esimerkiksi erilaiset laakerit, männät sekä ristikkappaleet. Lisäksi voiteluöljyjärjestelmä puhdistaa kohdetta kuljettaen pois mahdolliset kulumispartikkelit. Jos voiteluöljyn kierto lakkaa, pyörivät ja hankaavat osat vaurioituvat hyvin nopeasti, jolloin osat tulisi vaihtaa uusiin. Tämä tuottaisi suuria taloudellisia tappioita korjauksissa ja mahdollisissa tuotantohäviöissä. Siksi on tärkeää, että voiteluöljyjärjestelmä pysyy kunnossa ja käynnissä kompressorin käynnin ajan. Voiteluöljyjärjestelmän pettäessä tulee kompressorin pysäyttää välittömästi. [6.]

Voiteluöljyjärjestelmässä öljy pumpataan pääsäiliöltä suodattimien kautta lämmönvaihtimille. Lämmönvaihtimilla öljy jäähdytetään haluttuun lämpötilaan, minkä jälkeen öljy ajetaan voitelukohteelle. Voitelukohteelta öljy kiertää takaisin pääsäiliölle. Pääsäiliössä on usein sähkövastuksia, joilla öljyä voidaan lämmittää ennen kompressorin käynnistystä, jos kompressorin käynnistetään kylmänä. Mäntäkompressoreilla pääöljysäiliönä toimii kampikammio ja turbokompressoreilla erillinen öljysäiliö.

Turbokompressoreissa öljyä kierrätetään yleensä joko sähkökäyttöisellä tai turbiinivetoisella pumpulla. Mäntäkompressoreissa päävoiteluöljypumppua pyörittää usein kompressorin akseli. Kummallakin kompressorityypillä on päävoiteluöljypumpun lisäksi sähkökäyttöinen apuvoiteluöljypumppu, joka otetaan käyttöön, jos päävoiteluöljypumpun tuottama paine ei riitä tai jos päävoiteluöljypumppua pyörittää kompressorin akseli ja voiteluöljyä tarvitsee kierrättää kompressorin ollessa pois päältä. [6.]

3.2 Lubrikaattori

Mäntäkompressoreissa käytetään erillistä lubrikaattoria, joka kierrättää voiteluöljyä sylintereille. Lubrikaattori saa käyttövoimansa kompressorin akselilta tai erilliseltä sähkömoottorilta. Kun kampiakseli pyörii, jokainen lubrikaattorissa oleva säädettävällä iskunpituudella varustettu mäntäpumppu imee sylinterillisen öljyä näkölasista. Männen aiheuttaman alipaineen vaikutuksesta säiliöstä tulee tilalle vastaava määrä öljyä. Tämä öljytippa näkyy näkölasin tippanokassa, jos pumppu painaa ja öljypinta ei ole liian korkealla. Lubrikaattori kierrättää tämän öljyn kompressorin sylintereille. Kuvassa 7 nähdään lubrikaattorin rakenne. [7.]



Kuva 7. Lubrikaattorin rakenne [7]

3.3 Glykolivesijärjestelmä

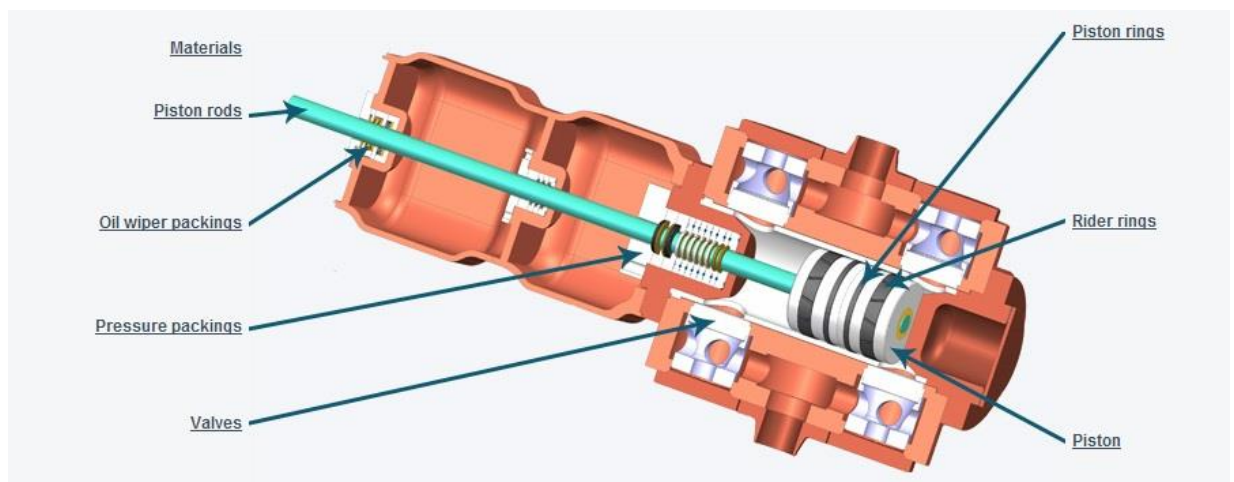
Mäntäkompressoreissa käytetään erillistä jäähdytys-/lämmitysjärjestelmää, joka on pääasiassa tarkoitettu käynninaikaiseen kompressorin jäähdytykseen. Jäähdytys-/lämmitysjärjestelmissä käytetään glykolivesiseosta, tästä nimi glykolivesijärjestelmä. Ennen kompressorin käynnistystä glykolivesijärjestelmällä lämmitetään kompressoria ja käynnin aikana järjestelmä asetetaan jäähdyttämään. Glykolivettä kierrätetään kompressorissa ja jäähdytetään näin sylintereitä ja kompressorin muita osia. Glykoliveden lämpötilaa säädetään lämmönvaihtimella.

3.4 Tiivistejärjestelmät ja vuotokaasut

Tiivistejärjestelmiä käytetään kompressorin tiivistämiseen, jos kompressori komprimoi kaasua, jota ei tule päästä ilmakehään. Tiivistejärjestelmiä on kahdenlaisia: kaasutiivistejärjestelmiä sekä öljytiivistejärjestelmiä. Molempien idea on kuitenkin samanlainen: öljy

tai kaasu (typpi) ajetaan tiivisteelle, johon muodostuu näin tiivis pinta ja vuotokaasut huuhdellaan käytettävän aineen mukana vuotolinjaan.

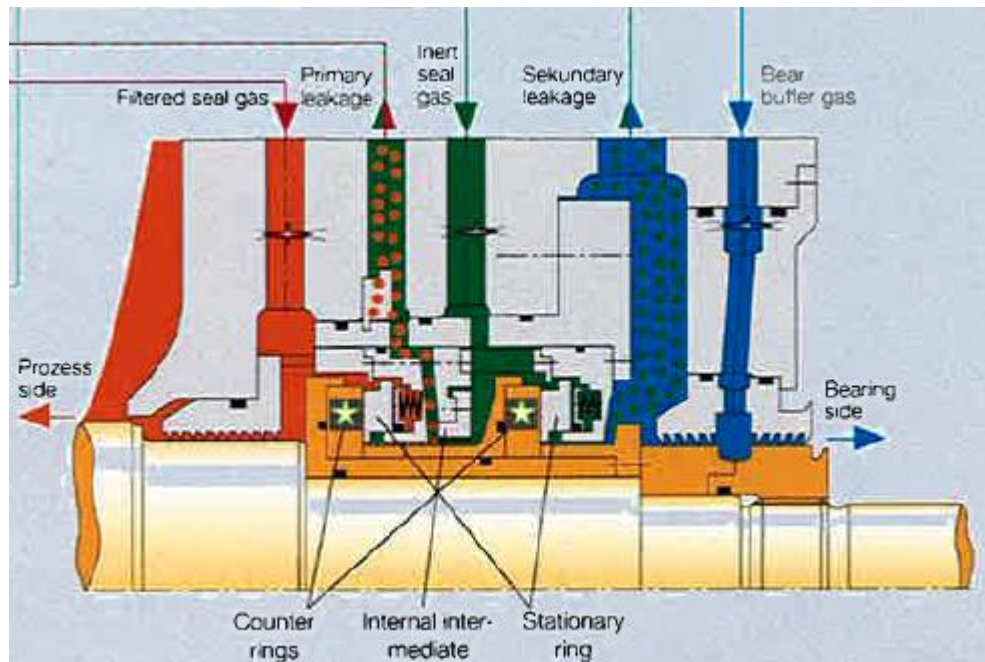
Mäntäkompressoreiden tiivistejärjestelmät ovat usein yksinkertaisempia. Niissä typpi ajetaan suodattimien kautta männänvarrentiivisteille, jotta komprimoitava kaasu ei pääsisi vuotamaan sylinterikammioista. Mäntäkompressoreissa on kolme eri tiivistettä. Ensimmäinen tiiviste on lähimpänä sylinterikammiota, ja tämän tarkoitus on estää komprimoitavan kaasun pääsy sylinterikammioista välitilaan. Mahdolliset vuotokaasut ajetaan välitilasta vuotolinjaan ja täältä soihtuun tai johonkin muuhun turvalliseen paikkaan. Toinen tiiviste toimii varatiivisteenä, jonka avulla varmistetaan, että kaasu ei pääse vuotamaan ristikkappaleelle tai kampikammioon. Viimeinen tiiviste sijaitsee ristikkappaleen lähellä ja tällä varmistetaan, että voiteluöljy pysyy kampikammiossa. Kuvassa 8 on kuvattu mäntäkompressorin sylinterin rakenne ja osoitettu tiivisteiden sijainti. Kuvan *pressure packings* on ensimmäinen tiiviste, *oil wiper packings* viimeinen tiiviste ja näiden välissä on toinen tiiviste, jonka englanninkielinen nimi on *intermediate packings*.



Kuva 8. Mäntäkompressorin tiivisteet [6]

Turbokompressoreiden tiiviste- ja vuotokaasujärjestelmän pääperiaatteet ovat hieman samanlaiset, mutta ne ovat jonkin verran monimutkaisempia ja vaativat enemmän seuranta. Tiivistetyyppejä on useita erilaisia, mutta jalostamalla käytetään pääasiassa kolmivaiheisia kaasutiivisteitä. Ensimmäiselle tiivisteelle ajetaan yleensä tiivistekaasu kompressorin painelinjasta. Tällöin käynnistyksessä käytetään erillisiä typpipainepulloja, jotta tiivisteet saadaan paineistettua käynnistyksenkin aikana. Seuraavalle tiivisteelle ajetaan erillistä tiivistetyyppiä paineensäätimellä. Tämä tiivistetyyppi ajetaan suodattimen

läpi. Näiden kahden tiivisteiden välille muodostuu välitila, josta vuotokaasut ajetaan soihdulle tai muuhun turvalliseen paikkaan. Liian suuren vuotokaasun virtauksen tapauksessa, eli tiivisteiden vuotaessa, laukaistaan kompressorisuojaus vuotokaasulinjan virtaus- tai painemittauksen avulla. Toisen tiivisteiden jälkeen on vielä viimeinen tiiviste, jolla varmistetaan, että vuotokaasut ja voiteluöljyt eivät pääse sekoittumaan. Myös toisen ja kolmannen tiivisteiden välisestä tilasta vuotokaasut ajetaan pois kompressorilta. Kuvassa 9 on kuvattu, kuinka eri kaasut kulkevat tiivisteessä. [8, s. 3, 8–9; 9, s. 162–168.]



Kuva 9. Kaasutiiviste, jossa käytetään prosessikaasua ensimmäisessä vaiheessa [9, s. 164.]

Jalostamolla on käytössä myös öljytiivisteitä. Nämä toimivat melko samalla tavalla kuin edellä mainittu kaasutiiviste, mutta typpikaasun sijaan akseli tiivistetään tiivisteöljyllä. Tiivisteöljyn ja vuotokaasujen sekoitus ajetaan keräilysäiliölle, jossa kaasu ja öljy erotetaan. [9, s. 150.]

3.5 Paaksauslaite ja lukituslaite

Paaksauslaite on tarkoitettu pääasiassa mäntäkompressoreille. Se on käytännössä laite, joka pyörittää kompressoria hitaasti ilman tarvetta käynnistää kompressoria. Ennen mäntäkompressorin käynnistystä on tarpeellista pyörittää kompressoria paaksauslait-

teen avulla muutama kierros. Näin tarkistetaan, ettei koneistossa ole mitään epänormaalii ja poistetaan mahdolliset nesteet sylintereistä. Myös seisovaa kompressoria tulisi pyörittää kerran viikossa muutaman kierroksen verran samoista syistä. Paaksauslaitteella voidaan myös pyörittää kompressoria haluttuun asentoon huoltojen aikana.

Lukituslaitetta käytetään nimensä mukaisesti kompressorin lukitukseen. Se estää kompressorin pyörimisen lukitsemalla kompressorin akselin mekaanisesti. Porvoon öljynjalostamolla käytetyt lukituslaitteet toimivat manuaalisesti.

Paaksaus- sekä lukituslaitteiden tilaa tulee olla mahdollista valvoa suojausten ja käynnistyseneston kannalta. Laitteiden tulee olla lepotilassa kompressoria käynnistettäessä ja käynnin aikana, sillä työtilassa oleva laite vaurioituu kompressorin pyöriessä ja mahdollisesti vaurioittaa myös kompressoria. Tämän takia on tarpeellista anturoida paaksaus- ja lukituslaitteiden tilaa ja varmistaa näin turvallinen kompressorin käynti.

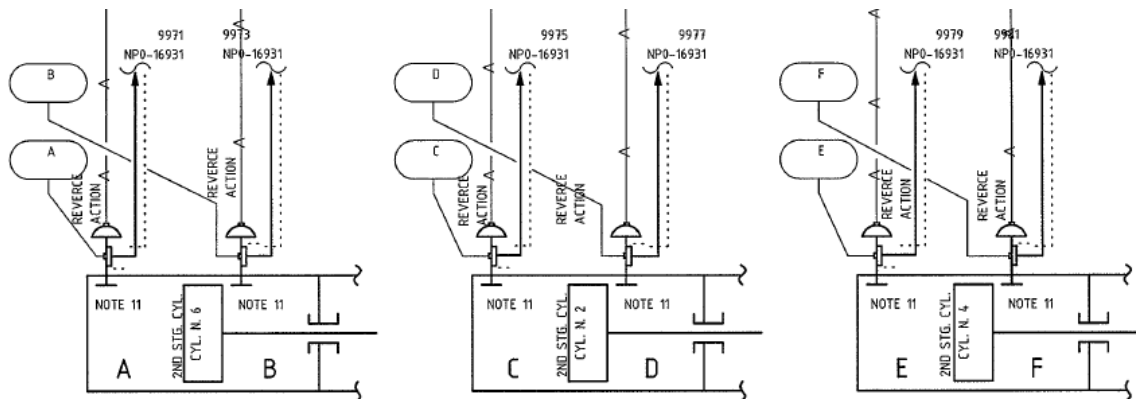
3.6 Kuormituksen kevennys

Mäntäkompressoreissa sylinterissä vallitsevaa painetta voidaan laskea keventimillä. Suuret mäntäkompressorit vaativat todella tehokkaan sähkömoottorin pyöriäkseen. Täysin kuormitettuna kompressorin käynnistys vaatisi erittäin paljon vääntömomenttia ja sähkömoottorilta suurta ylikuormituksen kestoa. Tämän takia käynnistystä helpotetaan keventimillä. Keventimien avulla prosessi voidaan myös paineistaa asteittain.

Kaksitoimisuuntaisissa mäntäkompressoreissa keventimet nostavat toiselta tai kummaltakin puolelta mäntää imuventtiilit auki-asentoon. Kun mäntä puristaa kaasua, palaa se keventimen avaaman imuventtiilin kautta takaisin imulinjaan ja sieltä jälleen toisen imuventtiilin kautta männän toiselle puolelle. Usein käytettyjä kuormitusasteita ovat 0 %, 50 % ja 100 %. [10, s. 1126.]

Kompressori käynnistetään täysin kevennettynä (0 %), minkä jälkeen lisätään kuormitusta asteittain. Normaaliajossa kompressori pidetään täysin kuormitettuna (100 %). Joskus käytetään kuormitusasteina myös 25 % ja 75 %. Näitä käytetään usein, jos kompressorilla voidaan ajaa erilaisia kaasuja. Esimerkiksi TL4:n kompressoreita GB-71001A/B/S voidaan ajaa maakaasuajolla, jolloin suurin sallittu kuormitusaste on 75 %.

Kompressorin kuormitusasteita voidaan säätää avaamalla eri määrä imuventtiilejä. Sylinteri on täysin kevennettyä (0 %), kun molemmat imuventtiilit ovat auki. Vain toisen venttiilin ollessa auki on kuormitus 50 % ja molempien ollessa kiinni kuormitus on 100 %. [10, s. 1126.] Eri kuormitusasteita voidaan saavuttaa sylinterien erilaisilla kuormitusyhdistelmillä. Kuvassa 10 ovat kompressorin GB-71001A ensimmäisen ja toisen vaiheen kuormitustaulukko sekä kuormituksen PI-kuva. Taulukoista voidaan lukea, mitkä imuventtiilit on avattava, jotta haluttu kuormitusaste saavutetaan.



		CAPACITY CONTROL SEQUENCE --- 1 ST & 2 ND STAGE KAPASITEETIN SÄÄTÖSEKVENSSI --- 1. JA 2. VAIHE												NOTE 15														
		HYDROGEN RUN VETYAJO						NATURAL GAS RUN MAAKAASUAJO						NITROGEN RUN TYPPIAJO														
		CYLINDER ENDS SYLINTERIN PÄÄT			SOV			CYLINDER ENDS SYLINTERIN PÄÄT			SOV			CYLINDER ENDS SYLINTERIN PÄÄT			SOV											
% CAPACITY % KAPASIT.	DEVICE LAITE	A	B	C	D	E	F	XCV 71001	XCV 71002	XCV 71003	A	B	C	D	E	F	XCV 71001	XCV 71002	XCV 71003	A	B	C	D	E	F	XCV 71001	XCV 71002	XCV 71003
100		-	-	-	-	-	-	E	E	E	INHIBITED / EI KÄYTÖSSÄ						INHIBITED / EI KÄYTÖSSÄ											
75		INHIBITED / EI KÄYTÖSSÄ						X	-	-	-	X	-	-	-	E	E	D	INHIBITED / EI KÄYTÖSSÄ									
50		X	-	X	-	X	-	E	D	D	INHIBITED / EI KÄYTÖSSÄ						X	-	X	-	X	-	E	D	D			
0 (x)		X	X	X	X	X	X	D	D	D	X	X	X	X	X	X	D	D	D	X	X	X	X	X	X	D	D	D

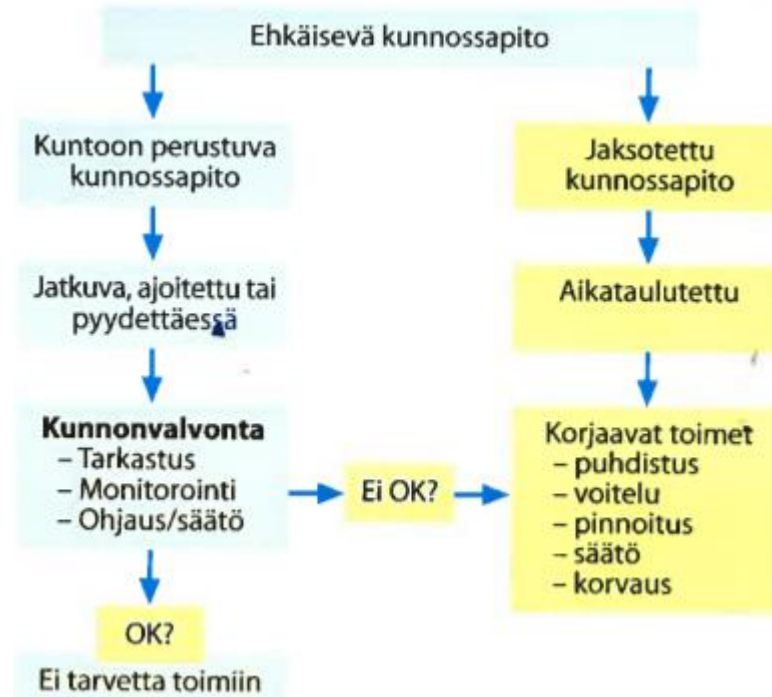
Kuva 10. GB-71001A-kompressorin kuormitustaulukko [11]

4 Kunnonvalvonta

4.1 Määritelmä ja tarve

Koneiden ja laitteiden kunnonvalvonta on tärkeä osa ehkäisevää kunnossapitoa (kuva 11). Kunnonvalvonnalla tarkoitetaan laitteiden kunnan seurantaä käytön ja huoltojen aikana. Tämä tehdään havaitsemalla kompressorin dynaamisia muutoksia anturoinnin avulla. Tarkoitus on, että viat voidaan havaita ennen kuin ne johtavat laitteen pysäytykseen rikkoutumisen tai suojausjärjestelmän takia. Esimerkiksi laakeriviat voidaan havaita

niin kauan ennen laitteen vaurioitumista, että laitetta voidaan turvallisesti käyttää vielä pitkään. Näin laakerin vaihto voidaan ajoittaa niin, ettei se häiritse tuotantoa. Seuranta voidaan suorittaa jatkuvasti tai jaksottaisesti. Tässä insinööriyössä keskitytään jatkuvaan monitorointiin pohjautuvaan kunnonvalvontaan eli jatkuvaan kunnonvalvontaan.



Kuva 11. Kunnonvalvonta ehkäisevän kunnossapidon osana [12, s. 188.]

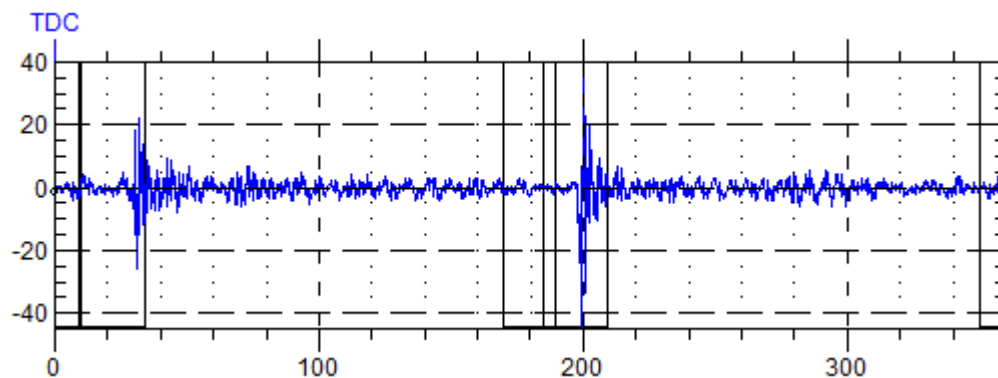
Kunnonvalvonnalla voidaan varmistaa laitoksen korkeat käyttöasteet, minimoida suunnittelemattomista huolloista johtuvat tuotantohäviöt ja maksimoida laitteiden elinikä. Kunnonvalvonnan anturoinnilla saadaan myös hyödyllistä tietoa käytön sekä investointien kannalta.

4.2 Anturointi

Laitteiden kuntoa valvotaan erilaisilla laitteisiin asennetuilla antureilla. Näiltä saadaan tietoa esimerkiksi laitteen kulumisesta tai värähtelystä. Pyörivien laitteiden kunnonvalvontaan kuuluvat erilaiset värähtelymittaukset, siirtymämittaukset, lämpötilamittaukset sekä painemittaukset. Näitä mitataan kompressoreista, turbiineista, vaihteistoista sekä laitteiden sähkömoottoreista.

4.2.1 Mäntäkompressorit

Värähtely- ja tärinämittaukset ovat mäntäkompressorin kunnonvalvonnan kannalta hyvin tärkeitä. Yleisiä mittauksia ovat rungon tärinä, ristikappaleiden kiihtyvyydet sekä laakeripukkien värähtelyt. Erityisen tärkeitä ovat runkotärinämittaukset. Niitä ei yleensä käytetä varsinaiseen kunnon diagnosointiin, mutta niistä tehdään suojaukset kompressorille. Suuri runkotärinä vaurioittaa mäntäkompressoria helposti. Värähtelymittauksista voidaan tehdä diagnoosia kompressorin kunnosta ja ennakoida mahdollinen rikkoutuminen. Esimerkiksi ristikappaleiden kiihtyvyyksien suuri ero maksimiarvon ja minimiarvon välillä viittaa usein mahdolliseen rikkoutumiseen. Värähtelymittauksilla voidaan esimerkiksi todeta myös laakereiden kuluminen. Kuvassa 12 on kuvattu jalostamon kompressorin ristikappaleen kiihtyvyyttä suhteessa kampiakselin kulmaan. Kuvassa 12 nähdään kiihtyvyyden yhden kampiakselin kierroksen ajalta.



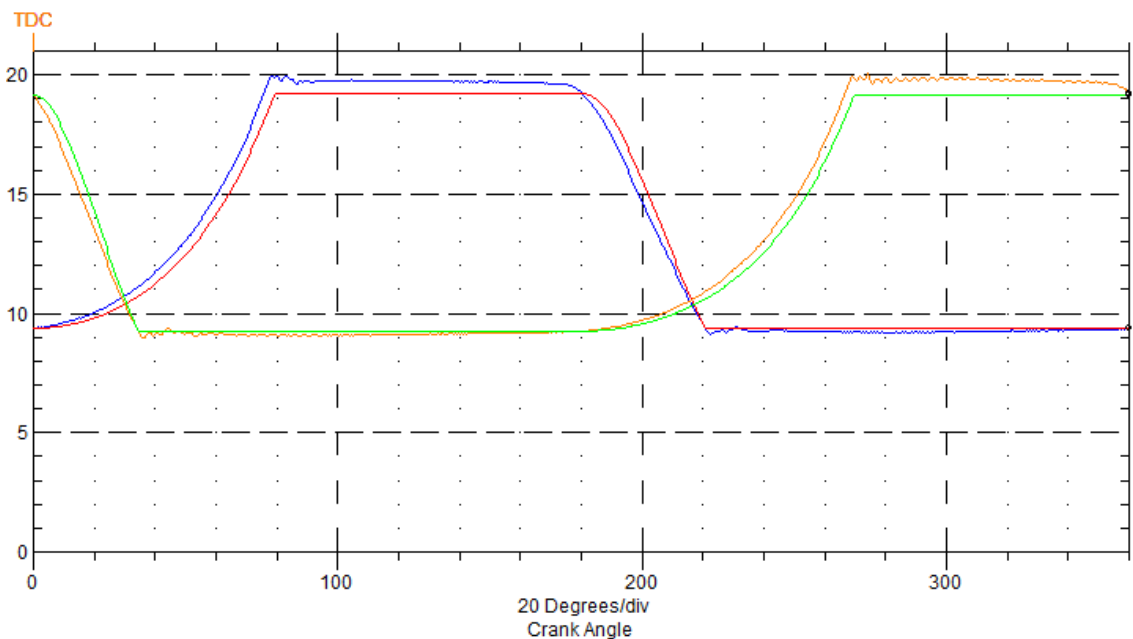
Kuva 12. Jalostamon kompressorin ristikappaleen kiihtyvyyden suhteessa kampiakselin kulmaan

Kompressoreiden horisontaalisen rakenteen vuoksi männät sekä öljyrenkaat kuluvat enemmän alapuolelta painovoiman vaikuttaessa näihin. Tästä syystä mitataan männävarsien tippumaa. Näiden mittausten avulla osataan määrittää, milloin mäntien tai öljyrenkaiden kuluma on liian suuri. Tämä huomataan myös sylinterien painemittauksista. Kuluneet männät tai öljyrenkaat laskevat kompressorin hyötysuhdetta.

Lämpötilamittaukset antavat tietoa mahdollisista vioista ja vaurioista. Yleisiä lämpötilamittauksia mäntäkompressoreissa ovat sylinterien ulostulon, laakereiden sekä venttiilien lämpötilamittaukset. Suuret lämpötilan nousut viittaavat usein vikaantumiseen tai

rikkoutumiseen. Esimerkiksi venttiilin vioittuminen havaitaan korkeana venttiilin lämpötilana.

Mäntäkompressorin sylintereihin asennetut painemittaukset tuottavat kunnonvalvonnan kannalta erittäin paljon tarpeellista tietoa. Ne ovat tehokkain mittaus kompressorin kokonaiskunnon määrittämiseksi. Kaksisuuntaisessa mäntäkompressorissa mittaukset asennetaan niin, että ne sijaitsevat sylinterin vastakkaisissa päissä. Näin paine voidaan mitata männän kummaltakin puolelta. Painemittauksien avulla mahdolliset vuodot paineiskut havaitaan helposti. [13, s. 3.] Sylinterin painemittaukset männän molemmilta puolilta voidaan tuoda kunnonvalvontajärjestelmässä samaan kuvaan, jolloin poikkeamat voidaan havaita (kuva 13). Mittaukset voidaan sovittaa käyrään esimerkiksi suhteessa kampiakselin kulmaan tai syrjäytettyyn tilavuuteen. Painemittauksien avulla voidaan helposti määrittää muun muassa kompressorin puristussuhde ja havaita venttiilivuodot, männänrenkaiden kuluma sekä tiivistevuodot.



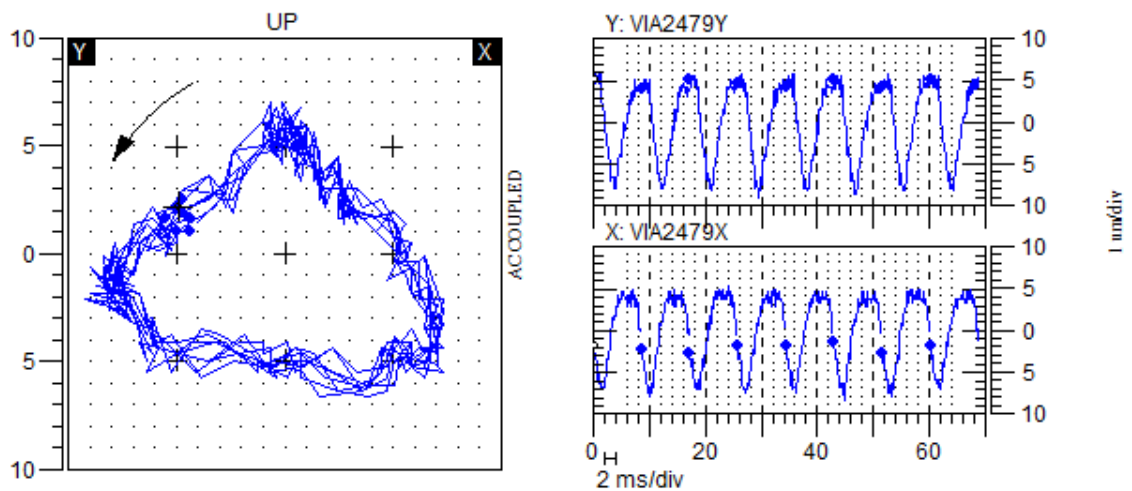
Kuva 13. GB-71001A:n sylinterin 1 painemittaukset suhteessa kampiakselin kulmaan

Kuvassa 13 sinisellä ja oranssilla käyrällä on merkitty painemittaukset männän molemmilta puolilta. Punaisella ja vihreällä on merkitty kompressorin ideaaliset käyrät. Jos toisen puolen imuventtiili kantaisi koko ajan, eli ei sulkeutuisi kokonaan, havaittaisiin trendissä jatkuva alempi paine kuin toisen puolen painetrendissä.

4.2.2 Turbokompressorit

Turbokompressoreissa on huomattavasti vähemmän mitattavia suureita ja niiden kunnonvalvonta perustuu pitkälti siirtymä- ja värähtelymittauksiin. Näissä tärkeimpänä mitattavana suureena voidaan pitää kompressorin aksiaalisiirtymää. Nopeasti pyörivät turbokompressorit ovat erittäin herkkiä aksiaalisiirtymälle, jotka nämä vahingoittavat helposti kompressoria. Aksiaalisiirtymää aiheuttaa esimerkiksi surgetila.

Aksiaalisiirtymän lisäksi turbokompressoreilta on tärkeä mitata akseliradan värähtelyitä X-akselin ja Y-akselin suunnassa. Näiltä mittauksilta voidaan todeta esimerkiksi kompressorin laakereiden kuluminen. Kuvassa 14 on tuotu samaan koordinaatistoon X- sekä Y-akselin suuntaisia värähtelyitä mittaavien antureiden trendit. Turbokompressoreilta mitataan myös laakereiden lämpötiloja sekä kompressorin ulostulevan kaasun lämpötilaa. Joskus mitataan myös turbokompressorien rungon tärinää.



Kuva 14. Jalostamon turbokompressorin akselivärähtely X- ja Y-suunnassa

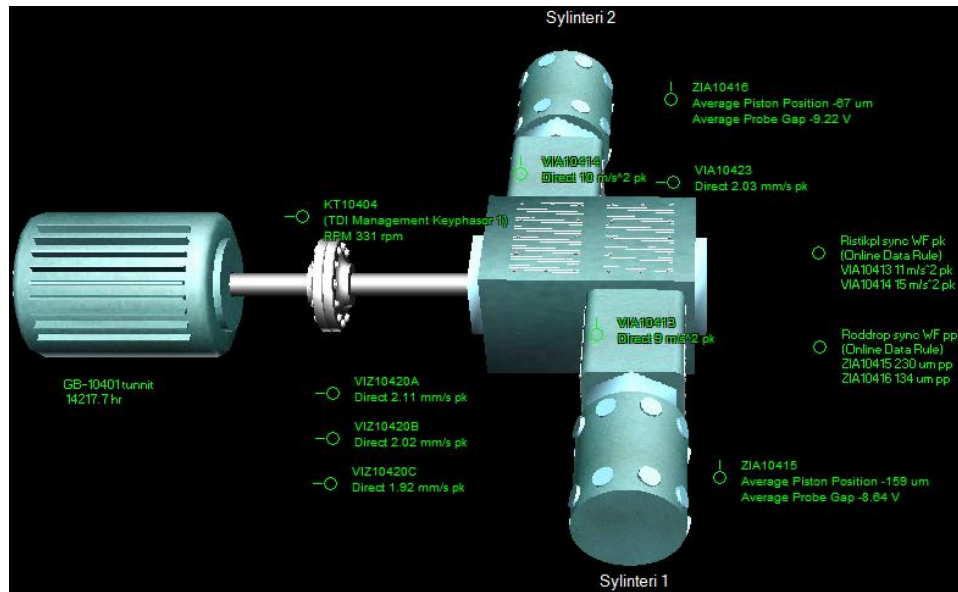
4.2.3 Sähkömoottorit, turbiinit ja vaihteistot

Sähkömoottoreiden kunnonvalvonnan mittauksia ovat tyypillisesti käämityksen ja moottorin laakerin/laakereiden lämpötilamittaukset sekä laakeripukin värinämittaukset. Turbiineissa kriittinen mittaus on turbiinin aksiaalsiirtymä. Lisäksi mitataan laakereiden lämpötiloja sekä akselivärähtelyitä. Vaihteistoissa tyypillisiä mittauksia ovat laakereiden lämpötilamittaukset sekä värähtelymittaukset.

4.3 Kunnonvalvontajärjestelmät

Käyttöautomaatiojärjestelmän ja turva-automaatiojärjestelmän lisäksi prosessin laitteiden kuntoa valvotaan myös erillisellä kunnonvalvontajärjestelmällä. Syy erillisille kunnonvalvontajärjestelmille on usein mittausten erikoisuus tai mittauskorteilta vaadittu suuri nopeus tai tarkkuus. [12, s. 192.] Tietoa voidaan lukea todella suurella taajuudella, jolloin esimerkiksi mäntäkompressorilta tuotu mittaus voidaan lukea suhteessa kampiakselin kulmaan. Kunnonvalvontajärjestelmän mittauskortit ovat kuitenkin hyvin kalliita verrattuna DCS:n (käyttöautomaatiojärjestelmän, Distributed Control System) mittauksiin, ja siksi on kannattavaa suorittaa DCS:ssä mittaukset, joita ei välttämättä tarvitse viedä kunnonvalvontajärjestelmään. Kunnonvalvontajärjestelmältä voidaan viedä tietoa DCS:ään, turva-automaatio- ja kunnossapitojärjestelmään. [14.]

Kunnonvalvontajärjestelmästä löytyvät laitoksen laitteiden kuvat ja näiden kunnonvalvonnanmittaukset (kuva 15). Mittauksia voidaan tarkastella erilaisissa käyrissä yhdessä muiden mittausten kanssa, kuten kuvassa 13 on esitetty aiemmin. Laitteen kuntoa voidaan analysoida näiden käyrien avulla.



Kuva 15. GB-34001:n kuva Porvoon öljynjalostamon kunnonvalvontajärjestelmässä

5 Turva-automaatio

5.1 Riski

Riski on tapahtuman todennäköisyyden ja seurauksien yhdistelmä. Mitä vaarallisempi prosessi, sitä suurempi riski on ja tällöin vaaditaan myös riskiä vähentäviltä turvatoimenpiteiltä enemmän. Prosessin suunnitteluvaiheessa tulisikin suorittaa poikkeamatarkastelu eli HAZOP, jossa riskit arvioidaan ja selvittää riskien suuruus turvallisuuden eheystasolaskennoilla (TET-laskennat). Riskin suuruuden ja hyväksyttävyyden arviointi tehdään seurauksien vakavuuden perusteella ja laskemalla riskin toteutumisen todennäköisyys. Hyväksyttävät riskit eli siedettävät riskit ovat riskejä, joiden todennäköisyyden ja seurausten yhdistelmä on riittävän pieni, eivätkä ne vaadi erityisiä turvatoimenpiteitä. [15, s. 10, 24; 21].

5.2 Turva-automaatiojärjestelmä

Turva-automaatiojärjestelmää käytetään riskin pienentämiseksi. Se toimii käyttöautomaatiojärjestelmästä erillisenä järjestelmänä, vaikkakin nämä voivat keskustella keskenään ja lukea esimerkiksi mittauksia toisiltaan. Yhteisen mittakanavan käyttäminen käyttöautomaatiojärjestelmässä ja turva-automaatiojärjestelmässä vaatii kuitenkin erilaisten ehtojen toteutumista. [17, s. 5–6.] Turva-automaatiojärjestelmä toimii varalla käyttöautomaatiojärjestelmälle, mikäli se pettää. Turva-automaatiojärjestelmää voidaan myös joissakin kohteissa käyttää yksinään ilman käyttöautomaatiojärjestelmää. Prosessissa turva-automaatiojärjestelmä usein mittaa jotakin suuretta ja ryhtyy toimenpiteisiin mitattavan suureen ollessa raja-arvon ei-toivotulla puolella. Esimerkiksi kompressoreiden apujärjestelmien kohdalla turva-automaatiojärjestelmä käynnistää voiteluöljyn varapumpun, jos voiteluöljyn paine on liian matala. Jos tilanne ei muutu paremmaksi ja paine laskee yhä, laukaisee turva-automaatio suojauksen ja koko kompressori pysäytetään vaurioiden välttämiseksi. Turva-automaatiolla pyritään myös siis välttämään turvallisuusriskien lisäksi laitteiden vaurioitumiset. [16.]

Turva-automaatiojärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon prosessin sille asettamat vaatimukset. Turva-automaatiojärjestelmän tulee olla riittävän luotettava ja huoltovapaa. Vaatimukset suoritettavalle turvatoiminnolle asettaa toiminnolle luokiteltu turvallisuuden eheystaso (TET), joka määritetään riskin suuruuden mukaan. Järjestelmään liitettyjen laitteiden tulisi olla ensisijaisesti turvallisuuskäyttöön tyyppihyväksytyjä. [17, s. 5.]

Porvoon öljynjalostamolla turva-automaatiojärjestelmän suunnittelun ohjeistukset ja vaatimukset perustuvat Nestein spesifikaatioihin sekä työohjeisiin. Nämä spesifikaatiot ja työohjeet taas perustuvat maailmanlaajuisesti käytettyihin standardeihin IEC 61508 ja IEC 61511. [15, s. 3.]

5.3 Suojaus ja lukitus

Suojauksella tarkoitetaan automaattisesti tai käsin aloitettua prosessin automaattista pakko-ohjausta turvalliseen tilaan. Kompressoreiden kohdalla tämä tarkoittaa usein

kompressorin pysäytystä. Suojauksella pyritään välttämään ihmisille, ympäristölle, prosessille tai laitteille vaarallinen tilanne. Suojaus tapahtuu muista ohjauksista tai lukituksista riippumatta. [15, s. 6.]

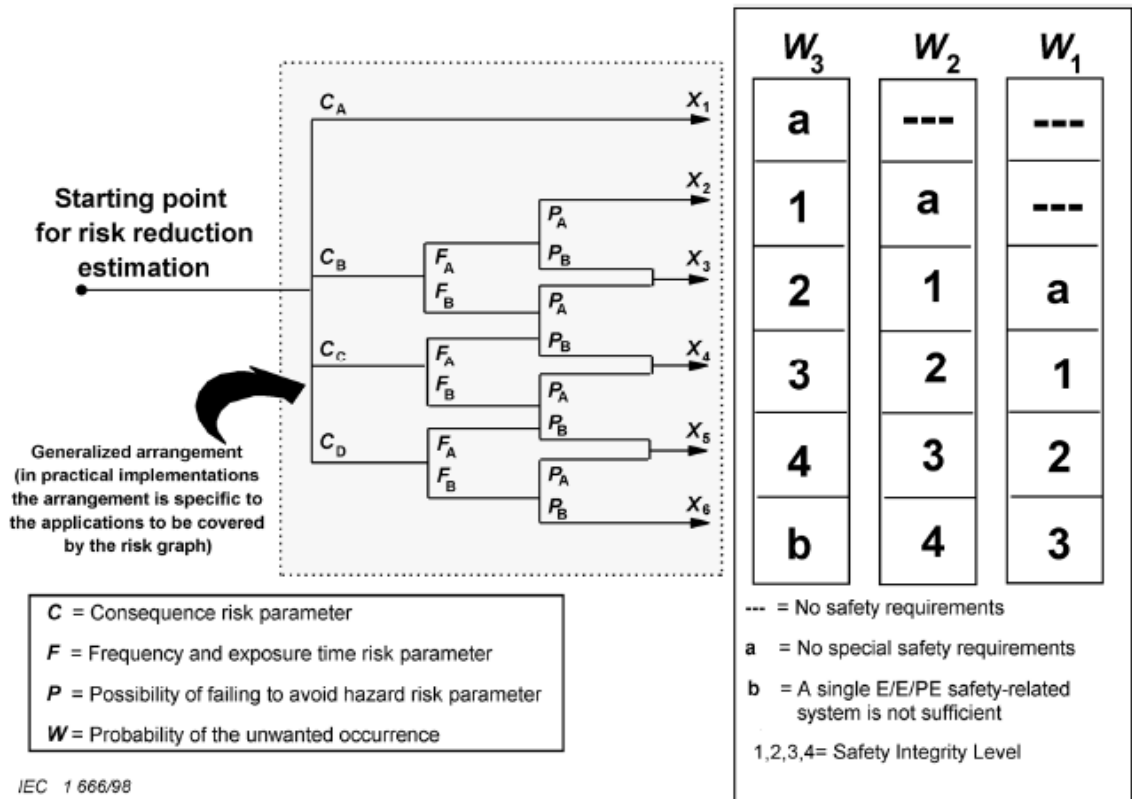
Lukitus tarkoittaa ohjauksen estämistä. Tällä pyritään välttämään samoja asioita kuin suojauksellakin, mutta lukitus ei pysäytä prosessia. Lukitus ei myöskään estä jo aloitetun ohjauksen loppuun suorittamista. [17, s. 4.]

Suojaus- ja lukitusjärjestelmän tehtävänä on suojata laitos, henkilökunta ja ympäristö estämällä väärät käyttötoimenpiteet tai suorittamalla tarpeelliset pysäytystoiminnot vaarallisen tilanteen uhatessa. Suojauksia ja lukituksia ei tule kuitenkaan sekoittaa keskenään. Näitä termejä tulisi käyttää johdonmukaisesti ja oikein väärinkäsitysten välttämiseksi. [15, s. 6.]

5.4 Turvallisuuden eheystaso

Turvallisuuden eheystaso (TET tai SIL) määrittää, kuinka tehokkaasti turvatoiminnon tulee pienentää riskiä tai kuinka tehokkaasti turvatoiminto tämän tekee. Turvallisuuden eheystaso 4 on korkein ja taso 1 on matalin. Mitä parempi toiminnon eheys taso on, eli mitä korkeampi taso on, sitä todennäköisemmin se onnistuu suorittamaan vaaditun turvatoiminnon. Neste Oyj pyrkii välttämään SIL3-tason suojauksia ja näissä tapauksissa riskiä pyritään vähentämään muilla keinoilla. SIL4-tason suojauksia ei hyväksytä lainkaan. Käytännössä jalostamolla tavataan vain SIL1- tai SIL2-eheystasoja. [15, s. 8, 24.]

Turvallisuuden eheystaso tulee määritellä jokaiselle toiminnolle erikseen eikä koko järjestelmälle. Järjestelmän turvallisuuden eheystaso tulee olla vaativimman suoritettavan toiminnon mukainen. Tapahtumalle määritellään vaadittava turvallisuuden eheystaso IEC 61508 -standardin mukaisella riskigraafilla. (kuva 16). [18.]



Kuva 16. IEC 61508 -standardin mukainen riskigraafi [18, osa 5, liite E.]

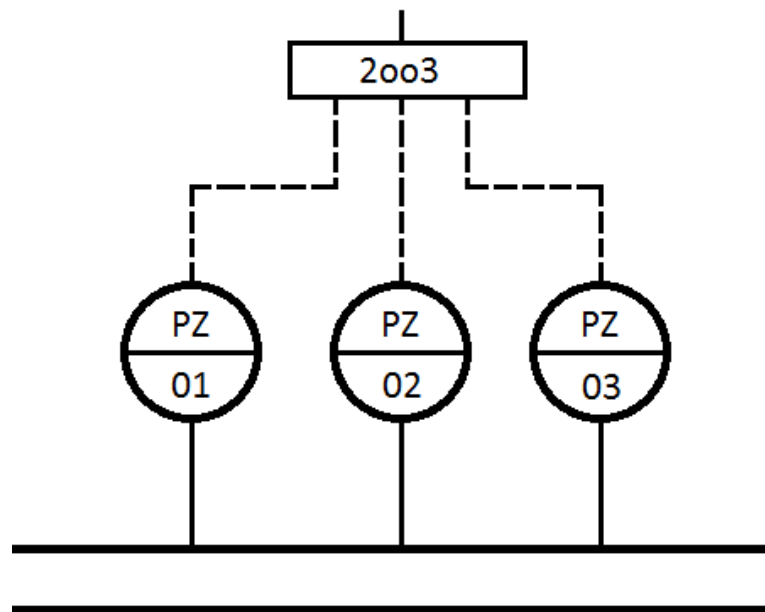
Riskigraafin ensimmäisellä tasolla (C) määritellään tapahtuman seuraukset. Seuraavalla tasolla (F) määritellään henkilöiden riskille altistumisen aika. Tämän jälkeen arvioidaan mahdollisuus välttää tapahtuma (P), jonka jälkeen määritetään vielä tapahtuman todennäköisyys (W). Lopputuloksena graafi antaa turvallisuuden eheystasoksi arvon 1–4. On mahdollista saada tulokseksi myös a tai b. Jos tulokseksi saadaan a, tarkoittaa se sitä, että tapahtumalla ei ole erityisiä turvallisuusvaatimuksia ja vaadittu toimenpide voidaan toteuttaa DCS:ssä. Jos tulokseksi saadaan kuitenkin arvo b, on riski sietämättömän suuri, eikä ole mahdollista toteuttaa yksittäistä turvatoimintoa, jotta riskin suuruus saataisiin riittävän pieneksi. [18; 15, s. 24.]

Öljynjalostamolla turvallisuuden eheystaso määritellään myös ympäristöturvallisuuden ja taloudellisen turvallisuuden kannalta. Koska ympäristö- ja taloudelliset riskitekijät ovat jatkuvasti läsnä, valitaan näiden riskigraafikäsittelyssä parametriksi aina F_B . Seurausmuuttujan (C) määrittämiseksi Neste Oyj:llä on omat taulukkonsa ympäristöturvallisuutta

ja taloudellista turvallisuutta varten. Henkilöturvallisuutta määritettäessä arvo lasketaan vaaralle alttiina olevien henkilöiden määrän ja vaaran vakavuuden perusteella.

5.5 MooN-arkkitehtuuri tai -äänestyslogiikka

MooN-arkkitehtuuria tai -äänestyslogiikkaa käytetään turva-automaation suojaustoiminoissa. MooN-arkkitehtuurissa suoritetaan turvatoiminto, kun N-määrästä mittauksista M-määrä mittauksia on ylittänyt tai alittanut suojarajan. Esimerkiksi 2oo3-arkkitehtuurissa linjaan on kytketty kolme anturia, joista kahden tulee olla yli tai ali suojarajan, jotta suojaus laukeaa (kuva 17). Äänestysarkkitehtuurilla voidaan toteuttaa laitteiden ja prosessin suojauksia kriittisistä suureista.



Kuva 17. Suojaus painemittauksista 2oo3-arkkitehtuurilla

Suojaukset toteutetaan lepovirtaperiaatteella. Tämä tarkoittaa sitä, että kun prosessi on normaalitilassa, piirin lähtö on jännitteinen. Turva-automaatiojärjestelmän havaitessa prosessin vaarallisen tilan se laukaisee suojauksen muuttaen piirin ulostulon jännitteettömäksi. Tällä pyritään siihen, että esimerkiksi virtalähteistä johtuvat ongelmat eivät estä suojausten laukaisua. Äänestyksen ulostulona on siis OK-signaali, jonka kadotessa laukaistaan suojaus. [17, s. 8.]

Prosessin matalan paineen suojauksen voi toteuttaa esimerkiksi asentamalla linjaan kolme painemittausta, joista kahden havaitessa suojarajan alittavan mittausarvon laukaisee äänestysarkkitehtuuri suojauksen. Jalostamolla käytettyjä äänestyksiä ovat 1001, 1002, 2002, 2003 ja 2004. Näiden lisäksi on olemassa itsediagnostiikalla varustettuja 1001D-, 1002D- ja 2002D-arkkitehtuureja. Itsediagnostiikka pyrkii havaitsemaan arkkitehtuurin vikaantumisen ja tekemään tällöin tarvittavat toimenpiteet.

1001-arkkitehtuurissa käytössä on vain yksi kanava. Jos tämä havaitsee vaaratilanteen, ajetaan prosessi suojaustilaan. Tässä käytetään vain yhtä mittausta eikä se varsinaisesti ole äänestys. 1001-arkkitehtuuri on täysin vikasiedoton ja redundantiton. Mittauksen vikaantuessa laukaistaan usein suojaus, mutta jos vikaantuminen havaitaan, voidaan tästä tehdä myös pelkkä hälytys. Jos vikaantumisesta tehdään pelkkä hälytys ja prosessin operointia jatketaan, tulee vika korjata ja prosessin turvallisuus taata muilla keinoilla ja menetelmillä. [17.]

1002-arkkitehtuuri käyttää kahta kanavaa. Suojauksen laukaisemiseen riittää, että toinen mittauksista havaitsee vaaratilanteen. Koska yhden mittauksen vikaantuminen voi laukaista suojauksen, on tämä äänestyslogiikka herkkä virheellisille suojuksille. Jos turva-automaatiojärjestelmässä voidaan kuitenkin diagnosoida laitteen tilaa, voidaan tällä säästyä vikaantumisen aiheuttamilta suojuksilta. Jos havaitaan mittauksen vikaantuminen, voidaan logiikka asettaa toimimaan 1001-arkkitehtuurin mukaisesti tai laukaista suojaus. [16.]

2002-arkkitehtuuri on myös kaksikanavainen. Tässä molempien antureiden tulee havaita vaaratilanne ennen kuin suojaus laukeaa. 2002-arkkitehtuuri ei ole niin herkkä virheellisille suojuksille, sillä yhden mittauksen mahdolliset piikit eivät vielä laukaista hälytystä. Tämä äänestyslogiikka on turvallisuuden näkökantilta kuitenkin heikohko. Äänestyksen molempien mittausten tulee havaita vaaratilanne ennen kuin suojaus laukeaa ja tämä muodostaa riskin, jos toinen kanava ei jostakin syystä kykene suorittamaan suojauksen laukaisua (esimerkiksi jos kosketin on hitsautunut kiinni). Vikaantuessaan arkkitehtuurin tulisi toimia samoin kuin 1001, jos vikaantuminen havaitaan. Jos taas mittaus vikaantuu ja jumittuu samaan arvoon, ei tätä välttämättä havaita ja turva-automaatiojärjestelmä luulee prosessin olevan hyvässä tilassa. Tällöin suojaus ei laukea, vaikka jäljellä oleva mittaus havaitaisikin vaaratilanteen. Öljynjalostamolla on useampia 2002-arkkitehtuureita, joissa toinen mittaus voidaan ohittaa, mutta tämä estää koko suojauksen laukaisun. [17.]

2oo3-äänestyslogiikka on turvallisuuden ja turhien suojausten kannalta hyvä vaihtoehto. Logiikka on vikasietoinen, sillä se sietää yhden mittauksen vikaantumisen. Suojaus laukeaa, kun kaksi mittausta kolmesta havaitsevat vaaratilanteen. Jalostamalla monessa kohteessa yhden mittauksen ohitus muuttaa suojauksen toimimaan 2oo2-arkkitehtuurin tavoin ja kahden mittauksen ohitus estää suojauksen kokonaan. [16.]

6 Laitteiden ja prosessin vaatimukset

6.1 Turvaeheystason asettamat vaatimukset

Suojausten arkkitehtuurit määräytyvät Neste Oyj:n spesifikaation K-151 mukaisen eheystaso- ja testausvälitarkastelun perusteella. Tässä määritellään, minkälaisia turvatoimia eri tapahtumat vaativat. Spesifikaatio noudattaa standardin IEC 61511 mukaisia arkkitehtuurirajoituksia SIL-tason (turvallisuuden eheystaso, TET) ja turvallisten vikojen osuuden (SFF) mukaan (kuva 18). Jos turvatoiminnon SIL-taso on 2 ja turvallisten vikojen osuus 60–90 %, on vaadittu minimivikasietoisuus 1. Tämän vaatimuksen täyttävät esimerkiksi 1oo2- ja 2oo3-arkkitehtuurit. Laitteistosta riippuen voidaan joutua käyttämään myös korkeampaa vikasietoisuutta.

SIL	Minimum hardware fault tolerance		
	SFF < 60 %	SFF 60 % to 90 %	SFF > 90 %
1	1	0	0
2	2	1	0
3	3	2	1
4	Special requirements apply (see IEC 61508)		

Kuva 18. Ohjelmoitavan logiikan minimivikasietoisuusvaateet [19, s. 7.]

Jos vikasietoisuusvaatimuksia määritellään mittalaitteille, toimilaitteille tai ei-ohjelmoitaville logiikoille, käytetään samoja arvoja kuin jos turvallisten vikojen osuus olisi 60–90 %. [19, s. 7.]

Turvatoiminnoilta vaaditaan myös TET:n mukainen vikaantumistodennäköisyys. Mitä korkeampi turvallisuuden eheystaso, sitä alhaisempi vikaantumistodennäköisyyden tulee olla. Kuvassa 19 on kuvattu standardin IEC 61508 mukainen taulukko vaadituista

vikaantumistodennäköisyyksistä (PFD). Taulukossa on eri arvot harvojen vaateiden tavalle sekä tiheiden vaateiden ja jatkuvan toiminnan tavalle. Tiheiden vaateiden tapa ja jatkuvan toiminnan tapa vaativat alhaisempaa vikaantumistodennäköisyyttä. Lopulliseen PFD-arvoon vaikuttaa anturiosan PFD_S , logiikkaosan PFD_L sekä viimeisen elementin (esimerkiksi venttiilin) PFD_{FE} . PFD-arvot lasketaan yhteen ja niistä saadaan lopullinen PFD-arvo. [18, osa 2.]

Safety integrity level (SIL)	(PFD_{avg})	(PFH)
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	$\geq 10^{-9}$ to $< 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	$\geq 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$

Kuva 19. IEC 61508:n mukainen vikaantumistodennäköisyystaulukko [18, osa 2.]

6.2 Käytännöllisyys ja kunnossapidettävyys

Uusien kompressoreiden automaation toteutuksessa tulisi ottaa huomioon käytännöllisyys ja kunnossapidettävyys. Kunnossapidettävyys kuvaa laitteen huollettavuusominaisuuksia. Tähän vaikuttavat kolme eri tekijää:

- vian havaittavuus
- huollettavuus
- korjattavuus.

Automaation toteutuksella voidaan vaikuttaa suoraan vain vian havaittavuuteen. Hyvin toteutettu instrumentointi ja kunnonvalvonta nopeuttavat vian havaitsemista. [20, s. 37–38.]

Suojauksien suunnittelussa äänestysarkkitehtuureja tulee miettiä myös käytännöllisyyden kannalta. Turvallisuuden eheystaso määrää suojauksen minimiarkkitehtuurivaatimukset, mutta joissain kohteissa olisi hyvä käyttää esimerkiksi suurempaa vikasetoitusta. TET-määritykset eivät ota taloudellisissa kustannuksissa huomioon virheellisten suojausten laukaisuja. Virheellisten suojausten laukaisut aiheuttavat myös taloudellisia

tappioita, jos ne aiheuttavat prosessihäiriöitä tai jopa tuotantoyksikön alasajon. Taloudellisten tappioiden lisäksi prosessihäiriöt voivat aiheuttaa myös riskin henkilö- ja ympäristövahingoista. Jos esimerkiksi 2003-arkkitehtuurilla voidaan välttää yksikin virheellinen suojaus, on arkkitehtuuri usein maksanut itsensä jo takaisin tätä verrattaessa esimerkiksi 1001-arkkitehtuuriin.

7 Insinööriyön toteutus

Insinööriyössä selvitettiin käytetyt automaation eri ratkaisut jalostamon dokumentteja tutkien sekä kunnossapitoyksikön työntekijöiden kanssa keskustellen. Kompessoreista kerättiin lista ja näistä valittiin palaverissa kunnossapitoyksikön työntekijöiden kanssa useampia tärkeitä mäntäkompressoreita ja turbokompressoreita, joita insinööriyössä on tutkittu tarkemmin. Kompessoreiden toimintaan tutustuttiin laiteohjeiden, säätökuvausten sekä suojauskuvausten avulla. Kompessorien kunnonvalvonnan ja apujärjestelmien kaikki mittaukset ja säätöpiirit selvitettiin ja listattiin järjestelmällisesti kompressori kerrallaan käyttäen apuna kunnonvalvonnan ja apujärjestelmien PI-kuvia sekä säätökaavioita. Paikallismittaukset jätettiin insinööriyössä huomiotta. Mittaukset ja säätöpiirit lajiteltiin kunnonvalvonnan ja apujärjestelmien mukaan. Piirien toiminta selvitettiin säätökaavioiden avulla. Turva-automaatiojärjestelmässä toteutettujen suojausten toiminta selvitettiin logiikkakaavioista.

Kompressorien automaatoratkaisut kirjattiin Excel-taulukoihin, joissa esimerkiksi erilaisia suojausten toteutuksia on helppo vertailla. Excel-taulukoihin listattiin myös jokaisen kompressorin kunnonvalvonnan mittaukset, jotta selvitys valvottavista suureista olisi helppoa. Dokumentteja tutkimalla selvitettiin, mitä kompressorisuojaus on toteutettu ja mitä kunnonvalvonnan ja apujärjestelmien mittauksia laitteille on asennettu. Suojauksien toteutuksien eroja tutkittiin logiikkakaavioista.

Insinööriyössä pyrittiin selvittämään kunnonvalvonnan ja apujärjestelmien automaatoratkaisujen eroja ja miksi erilaisia ratkaisuja on tehty. Syitä suojauseroille selvitettiin TET-määrittelysien ja TET-laskentojen avulla sekä kunnossapitoyksikön työntekijöiden kanssa keskustelemalla. Kunnonvalvonnan mittauksista pidettiin palaveri pyörivien laitteiden kunnonvalvonnasta vastaavan kunnossapitoinsinöörin kanssa. Palaverissa pyrittiin kartoittamaan välttämättömät kunnonvalvonnan mittaukset erilaisille kompressoreille

sekä millaisia mittauksia tulevaisuudessa kompressoreille halutaan asentaa aikaisemman kokemuksen perusteella. Näitä tuloksia vertailtiin laitevalmistajan suosituksiin kunnonvalvonnan mittauksista.

Havaintojen perusteella tehtiin suositukset automaation ratkaisuihin ja kunnonvalvonnan mittauksista. Suositusten perustana on käytetty TET-määrittelyjä, Neste Oyj:n spesifikaatioita ja työohjeita, laitevalmistajan suositteluja sekä keskusteluja Neste Oyj:n eri ammattialojen työntekijöiden kanssa. Nämä suositukset esitellään luvussa 9. Lopuksi insinööriyöntekijän suositukset käytiin läpi Neste Oyj:n eri ammattialojen asiantuntijoiden kanssa ja näistä tehtiin erillinen dokumentti Neste Oyj:lle.

8 Havainnot ja pohdintaa Porvoon öljynjalostamon automaatiotratkaisuihin

8.1 Voiteluöljyjärjestelmä

Voiteluöljyjärjestelmien automaatio on toteutettu pääpiirteittäin samalla tavalla kompressorista riippumatta. Apuvoiteluöljypumppujen käynnistyksessä on kuitenkin eroja riippuen siitä, ovatko molemmat öljypumput sähkökäyttöisiä vai pyörittääkö esimerkiksi kompressorin akseli päävoiteluöljypumppua.

Voiteluöljyn matalan paineen suojaus on toteutettu lähes aina 2003-arkkitehtuurilla, vaikka ainoastaan GB-71002-kompressorin TET vaatii sen tason vikasietoisuuden. Siinä turvallisuuden eheystasoksi on määritelty 2, koska kompressorin vaurioituessa koko yksikkö jouduttaisiin ajamaan alas. Muissa kompressoreissa arkkitehtuurivalinta on perusteltu käytävämääräisyydellä. Tästä arkkitehtuurivalinnassa on poikettu kompressoreilla GB-2401 ja GB-36001. Näissä kohteissa suojaus toteutetaan 1001-arkkitehtuurilla. Syy näille arkkitehtuurivalinnoille on luultavasti kompressoreiden valmistusvuosi. Tällöin ei ole otettu huomioon arkkitehtuurin käytännöllisyyttä.

Apuvoiteluöljypumpun käynnistys on toteutettu painemittauksen avulla. Jos apuvoiteluöljypumpun käynnistystä varten on asennettu oma painemittauksensa, käynnistyy pumppu, kun mittaus alittaa LL-rajaa. Joissakin kompressoreissa apuvoiteluöljypumpun

käynnistykseen käytetään samoja antureita, jotka laukaisevat voiteluöljyn matalan paineen suojauksen 2003-äänestyslogiikalla. Näissä tapauksissa apuvoiteluöljypumppu käynnistyy L-rajaa alittuessa ja kompressorin suojaus LL-rajaa alittuessa.

Kun päävoiteluöljypumppu saa käyttövoimansa kampiakselilta, apuvoiteluöljypumppu käynnistyy, jos kompressorin sammuu tai voiteluöljyn paine laskee liian matalaksi. Pumppu on myös käynnistettävissä ja sammutettavissa kenttäkytkimillä tai DCS:stä. Jos kompressorin molemmat pumput ovat sähkömoottorikäyttöisiä, käytetään pumppujen käynnistyksessä myös toisen pumpun käyntitietoa. Tällöin pumppu käynnistetään, jos toinen pumppu ei ole käynnissä tai voiteluöljyn paine on alle tälle asetetun rajan.

Öljypumppujen käynnistysehdoksi tulisi asettaa tarvittavat esivalmistelut. Esimerkiksi kompressorilla GB-36001, jotta pumpun voi käynnistää kenttäkytkimillä, tulee aputiiviste olla typpipursutettu sekä voiteluöljyn lämpötila tarpeeksi korkea. Kompressorin GB-34002 ohjeissa neuvotaan aputiivisteeseen olevan ehdottomasti typpipursutettu, jotta öljypumppu saadaan käynnistää. Aputiivisteeseen typpipursutustietoa ei silti ole viety pumpun käynnistysehdoksi. Tällaiset vaatimukset tulisi asettaa käynnistysehtoihin, jotta huolimattomuudesta johtuvilta epäonnistuneilta käynnistyksiltä vältyttäisiin.

Apuvoiteluöljypumpun käynnistys on toteutettu turva-automaatiojärjestelmässä NExBTL-yksikön mäntäkompressoreita lukuun ottamatta. Täällä apuvoiteluöljypumppujen käynnistykset on toteutettu DCS:ssä ja pumppujen käynnistykseen käytetään täysin turva-automaatiojärjestelmästä riippumattomia PISA-piirejä. Apuvoiteluöljypumpun käynnistykseksi ei ole varsinaisia TET:n asettamia vaatimuksia, sillä vain voiteluöljyn matalan paineen suojaukselle on määritetty TET, jossa apuvoiteluöljypumpun käynnistys mainitaan vain tähän määrittelyyn vaikuttavana tekijänä. Voiteluöljyn matalan paineen suojauksen laukaisu toteutetaan uusilla kompressoreilla aina 2003-arkkitehtuurilla PIZ-piirejä käyttäen. Koska nämä mittaukset asennetaan kohteeseen joka tapauksessa, voidaan apuvoiteluöljypumpunkin käynnistykseen käyttää näitä mittauksia, eikä tällöin ole tarvetta erilliselle PISA-piirille. Vaikka pumpun käynnistykseen käytettäisiinkin suojauksen laukaisevia mittauksia, voidaan apuvoiteluöljypumpun käynnistys tehdä silti DCS:ssä. Lähtökohtaisesti olisi hyvä, että apuvoiteluöljypumpun käynnistäisivät samat mittaukset, jotka laukaisevat myös kompressorisuojauksen. Suojauksen laukaisevat mittaukset mittaavat sitä painetta, johon apuvoiteluöljypumpulla halutaan vaikuttaa. Apuvoiteluöljypumppu voidaan käynnistää myös 1003-arkkitehtuuria käyttäen, sillä pumpun virheellisestä käynnistyksestä ei ole haittaa.

Turvallisuusmielessä apuvoiteluöljypumpun käynnistys turva-automaatiojärjestelmässä olisi parempi, mutta tämä tuottaa lisää kustannuksia ja työtunteja eikä TET-määrittely vaadi sovellusta toteutettavan turva-automaatiojärjestelmässä. Piirit voidaan siis toteuttaa DCS:ään, jos tämä on mahdollista. Varsinainen suojaus voiteluöljyn matalasta paineesta tehdään kuitenkin aina turva-automaatiojärjestelmässä.

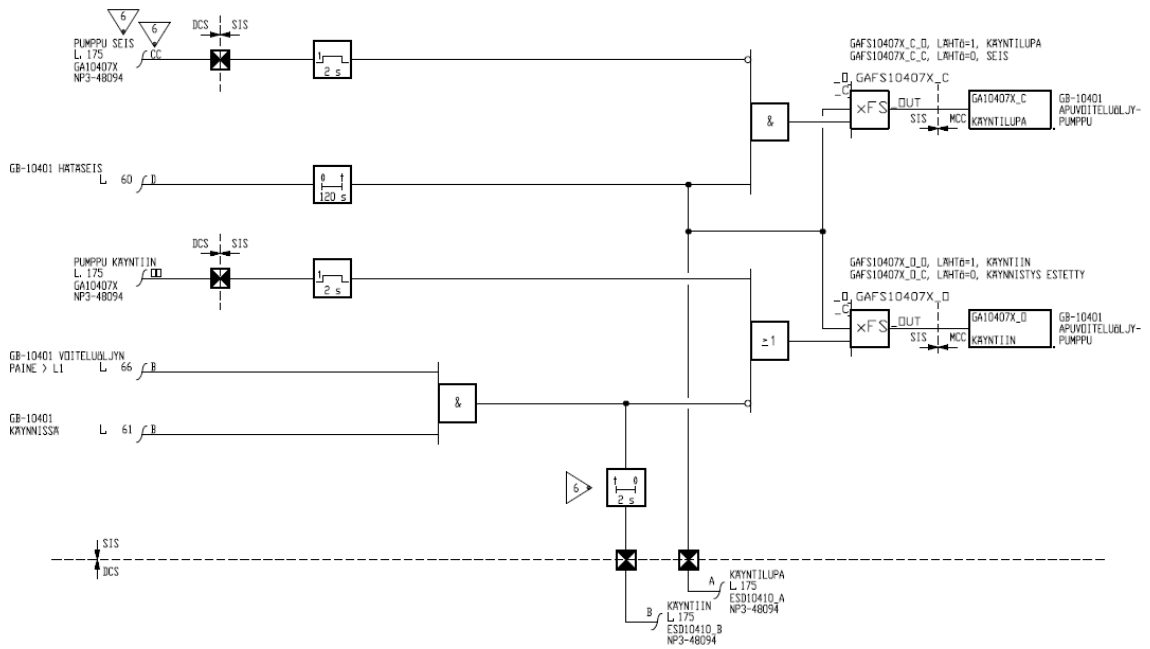
Profibus-väylällä ohjatut voiteluöljypumput saattavat tuottaa ongelmia. Turva-automaatiojärjestelmästä lähetetty käynnistystieto ohittaa Profibus-väylän tiedot ja käynnistää pumpun väylän tiedoista huolimatta. Jalostamolla on ollut tapauksia, joissa turva-automaatiojärjestelmä on käynnistänyt pumpun, mutta käynnistystiedon kadotessa (paineen noustessa), pumppu on pysähtynyt. Tämän epäillään tapahtuneen, koska pumpun logiikassa on tapahtunut joitakin ristiriitoja, jotka sammuttavat pumpun pakko-ohjauksen kadotessa. Apuvoiteluöljypumpun tulisi jäädä päälle, vaikka paine nousisikin takaisin normaaliarvoihin. DCS:ltä lähetetty käynnistystieto kulkee väylän kautta, joten jos sovellus toteutetaan DCS:ssä, ei apuvoiteluöljypumpun logiikassa tapahdu ristiriitoja.

Apuvoiteluöljypumpun käynnistykseen voitaisiin harkita kahta erilaista ratkaisua:

- Jos pumpun moottori on Profibus-väylällä ohjattu, toteutetaan apuvoiteluöljypumpun käynnistys DCS:ssä ja käytetään käynnistykseen voiteluöljyn matalan paineen suojauksen kolmen mittauksen L1-rajaa. Käytetään 1003- tai 2003-arkkitehtuuria.
- Jos pumpun moottoria ei ohjata kenttäväylällä, toteutetaan apuvoiteluöljypumpun käynnistys turva-automaatiojärjestelmässä ja käytetään käynnistykseen voiteluöljyn matalan paineen suojauksen kolmen mittauksen L1-rajaa. Käytetään 1003- tai 2003-arkkitehtuuria.

Voiteluöljypumppujen piireihin olisi myös hyvä viedä hätä-seis-tieto. Mäntäkompresso-
reiden, esimerkiksi GB-34001:n, voiteluöljypumppujen käynnistykset on toteutettu niin, että pumppu käynnistyy, jos kompressori sammuu. Tämä tehdään siitä syystä, että kompressori pyörii vielä mahdollisesti kymmeniä sekunteja, mutta kompressorin oma öljypumppu ei tuota välttämättä enää riittävää painetta. Jos kompressoria ei pidetä pysäytettynä pitkään, saatetaan pumppu myös jättää päälle. Tämä muodostaa riskin hätä-seis-painiketta painaessa. Jos kompressorin hätä-seis aktivoidaan jonkin vaaran välttämiseksi, tulisi myös kompressorin sähköisten voiteluöljypumppujen sammua. Pumppu-

jen sammumiselle voisi asettaa kohteesta riippuen jonkin pituisen viiveen, jotta kompressori ei pyörisi ilman voiteluöljyä tämän sammuttua. Jos kuitenkin ympäristössä on esimerkiksi kaasupilvi, ei alueella saisi olla sähkölaitteita ollenkaan käytössä ja pumppu tulisi sammuttaa välittömästi räjähdyksen välttämiseksi. Häätä-seis-tieto on otettu huomioon ainoastaan kompressoreissa GB-305 ja GB-10401. Kuva 20 on kompressorin GB-10401 apuvoiteluöljypumpun käynnistykseen logiikasta. Kuvasta nähdään, että pumppu pysäytetään 120 sekunnin viiveellä hätä-seis-tiedon aktivoinnista.



Kuva 20. GB-10401:n apuvoiteluöljypumpun logiikkakaavio

Voiteluöljysäiliöön on usein myös asennettu sähköinen lämmitin, jotta öljyn lämpötila säilyy oikeana. Lämmitintä ohjaa TISA-piiri, joka kytkee lämmittimen pois ja päälle tiettyjen raja-arvojen ylittyessä ja alittuessa. Lisäksi turva-automaatiojärjestelmässä on toteutettu LIZ-piiri, joka sammuttaa lämmittimen, jos säiliön pinnankorkeus laskee liian alas. Näillä piireillä estetään öljyn kokaantuminen ja lämmittimen ylikuumeneminen.

Voiteluöljyn kiertoa jäähdytetään glykoliveden avulla lämmönvaihtimilla. Osassa kompressoreita jäähdytystä voidaan säätää lämpötilansäätöpiirillä, mutta osassa tällaista piiriä ei ole luotu. Jos säätöpiiri on tehty, niin operaattori asettaa piirille sopivan asetusarvon. Asetusarvoja ei juurikaan muutella, vaan ne pidetään samoina.

8.2 Lubrikaattori

Lubrikaattoreiden voiteluöljyn matalan paineen suojaukset on pääosin toteutettu kahdella painelähettimellä, joista tehdään 2002-äänestys. Lisäksi suojauksiin on tehty kaikkiin kohteisiin 30 minuutin viive matalan paineen havaitsemisen ja suojauksen laukeamisen välille. Viive on tehty siitä syystä, että kompressorin vaurioituminen lubrikaattorin matalan paineen takia ei ole välitöntä ja siksi kompressoria voidaan ajaa jonkin aikaa vielä matalan paineen havaitsemisen jälkeenkin. Tämä viive mahdollistaa vian korjaamisen ennen kuin kompressori pysähtyy. Lubrikaattorin matalasta paineesta ei TET-määrittelyiden mukaan tarvitsisi tehdä suojausta turva-automaatiojärjestelmässä. Suojaus on kuitenkin osa kompressoreiden käyntilupaa, joten ne toteutetaan turva-automaatiojärjestelmässä.

Lubrikaattoreiden matalan paineen suojauksissa on jalostamalla muutama poikkeus. Kompressoreissa GB-34001 ja GB-34001S näitä suojauksia ei ole toteutettu ollenkaan. Lubrikaattorin painetta mitataan, mutta matalan paineen tapauksessa tästä viedään DCS:lle vain hälytys. KARP3-yksikön kompressorissa GB-10401 suojaus on toteutettu vain yhdellä mittauksella. Kohteesta on tehty työtilaus, jossa ehdotetaan nykyisen 1001-arkkitehtuurin tilalle 2002-arkkitehtuuria. Virheellisten suojausten välttämiseksi suojaukseen käytetty painemittaus haluttaisiin kahdentaa. Näin vältettäisiin turhat suojaukset eikä yhden mittauksen vikaantuminen pysäyttäisi kompressoria. Vaikka SIL-taso ei tätä vaatisikaan, tällaiset tapaukset on hyvä huomioida käytännöllisyyden vuoksi.

TL4:n kompressoreilla GB-71001A/B/S lubrikaattorin voiteluöljyn painetta valvotaan painekeytkimillä. Lubrikaattorille on asennettu kaksi painekeytkintä, jotka hälyttävät, kun paine laskee alle kytkimen ala-ajan. Jos molemmat kytkimet havaitsevat matalan paineen, laukaistaan kompressorin suojaus tilan pysyessä aktiivisena 30 minuutin ajan. Kohteen kanssa on havaittu ongelmia ja tästä onkin tehty muutoshanke. On havaittu, että lubrikaattorin paineen valvonta on puutteellista pelkällä kytkintiedolla, sillä paineen muutoksia ei voida seurata. Hankkeessa halutaan parantaa käytettävyyttä ja korvata painekeytkimet painelähettimillä sekä muuttaa suojaus 2003-arkkitehtuurilla toimivaksi. Nesteenspesifikaation K-105 mukaan painekeytkimet eivät ole hyväksyttäviä kompressorien valvontaan tai näiden suojausjärjestelmiin. [21, s. 9.]

Spesifikaatio K-151 neuvoo välttämään 2002-arkkitehtuuria tämän vikasiedottomuuden takia, mutta koska TET-määrittelyt eivät aseta suojauksille erityisiä vaatimuksia, voidaan

2002-arkkitehtuuria kuitenkin käyttää. [19, s. 10.] Tämä on 2003-arkkitehtuuria halvempi ratkaisu. Tulisikin siis harkita, kannattaako lubrikaattorin matalan paineen suojauksiin käyttää 2003-arkkitehtuuria vai riittäisikö esimerkiksi GB-71001A/B/S-kompressoreiden kohdalla kytkinten vaihto painelähettimiin.

Lubrikaattorin öljykammiossa on usein sähköinen öljynlämmitin. Öljyn lämpötilaa säädetään TISA-piirillä, joka kytkee lämmittimen päälle ja pois asetettujen raja-arvojen ylittyessä ja alittuessa. Kompressorissa GB-10404 lubrikaattorin voiteluöljyn lämpötilansäätö on toteutettu termostaattien avulla. Lisäksi suurimmasta osasta kompressoreita löytyy turva-automaatiojärjestelmään toteutettu lubrikaattorin voiteluöljyn matalan pinnankorkeuden suojaus. Suojauksen lauetessa öljynlämmitin kytketään pois päältä. GB-10401-kompressorissa ei pinnankorkeutta mitata ollenkaan ja siksi tällaista piiriä ei ole toteutettu. Kompressorin GB-34001 lubrikaattorilla ei lämmitintä ole ollenkaan, joten tällaisia piirejä ei ole tehty.

Jos lubrikaattorin öljyn lämpötilaa on tarve säätää, voitaisiin se tehdä TISA-piirillä ja sammuttaa sähköinen öljynlämmitin LIZ-piirillä. Näin lubrikaattoreiden öljyn lämpötilansäätö olisi yhdenmukainen jokaisella kompressorilla.

8.3 Tiivistekaasu- ja tiivisteöljyjärjestelmät

Tiivistejärjestelmät ovat Porvoon öljynjalostamolla pääasiassa kaasukäyttöisiä. Kompressorit GB-10332A/B käyttävät yhteistä öljytiivistejärjestelmää, mutta muissa insinööri-työssä tarkastelluissa kompressoreissa on kaasukäyttöinen tiivistejärjestelmä. Mäntä- ja turbokompressoreiden tiivistejärjestelmät eroavat jonkin verran toisistaan ja turbokompressoreiden tiivistejärjestelmät ovat hieman monimutkaisempia kuin mäntäkäyttöisten. Tiivistejärjestelmien säädöt toteutetaan DCS:ssä. Turva-automaatiojärjestelmään vietään tieto vuotokaasujen suuresta määrästä suojausta varten sekä tieto aputiivisteiden typpipursotuksesta öljypumpun käynnistysehdoksi vain turbokompressorien kohdalla.

Mäntäkäyttöisillä kompressoreilla käytetään vain kaasutiivistejärjestelmiä ja näiden automaation osuus jää muutama erillisiin mittauksiin. Näistä ei tehdä suojauksia, mutta poikkeavista arvoista tehdään hälytykset. Tiivistekaasuna käytetään typpeä, joka ajetaan männänvarren tiivisteille. Erilaiset mitattavat suureet ovat

- tiivistetyypen virtaus kompressorille (GB-71001A/B/S, GB-85301/2/3)
- tiivistetyypen paine kompressorilla
- paine-ero typpisuodattimen yli
- typpiverkon ja tiivistetyypen paine-ero.

Tärkeintä on pystyä osoittamaan, että tiivistetty kulkee männänvarrentiivisteille.

Turbokompressoreissa tiivistevuodoista tehdään kompressorisuojaus vaurioiden ja henkilövahinkojen välttämiseksi. Tiivisteiden vaurioituessa prosessikaasu (usein vety) pääsee ilmakehään ja voiteluöljy kompressorin sisälle, jolloin kompressorin vaurioituu. Turbo-kompressoreille säädetään typpikaasun painetta toiselle ja viimeiselle tiivisteelle painesäätimellä. Typpikaasun virtausta voidaan myös vahtia virtausmittauksella. Lisäksi mitataan aina paine-eroa typpisuodattimien yli sekä ensimmäiselle tiivisteelle ajettavan prosessikaasun suodattimien yli. Suuren vuotokaasun virtauksen tapauksessa tehdään suojaus virtaus- tai painemittauksien avulla. Kompressorit GB-71002 sekä GB-10332A/B ovat ainoat, jolle suojaus on toteutettu 2003-arkkitehtuurilla. Muissa kohteissa suojaus tehdään 1001-arkkitehtuurilla. TET-määrittely ei vaadi mihinkään kohteeseen vikasietoisuuden tai PFD:n kannalta parempaa arkkitehtuuria kuin 1001. Esimerkiksi GB-34002-kompressorin kaasuvuodon suojaus on toteutettu 1001-arkkitehtuurilla. Tässä turvallisuuden eheystasoksi on määritetty 1. Tähän vaikuttavia tekijöitä ovat turva-automaatiojärjestelmästä riippumattomat erilliset mittaukset sekä kaasunhaistajat. Taloudellista turvallisuutta määritettäessä tuotantotappioiksi on arvioitu yli kaksi miljoonaa euroa, mutta tässä ei ole otettu huomioon virheellisten suojauksien mahdollisuutta. Jos kompressorin pysäytys aiheuttaa suuria prosessihäiriöitä, voitaisiin eri arkkitehtuureja harkita.

8.4 Glykolivesijärjestelmä

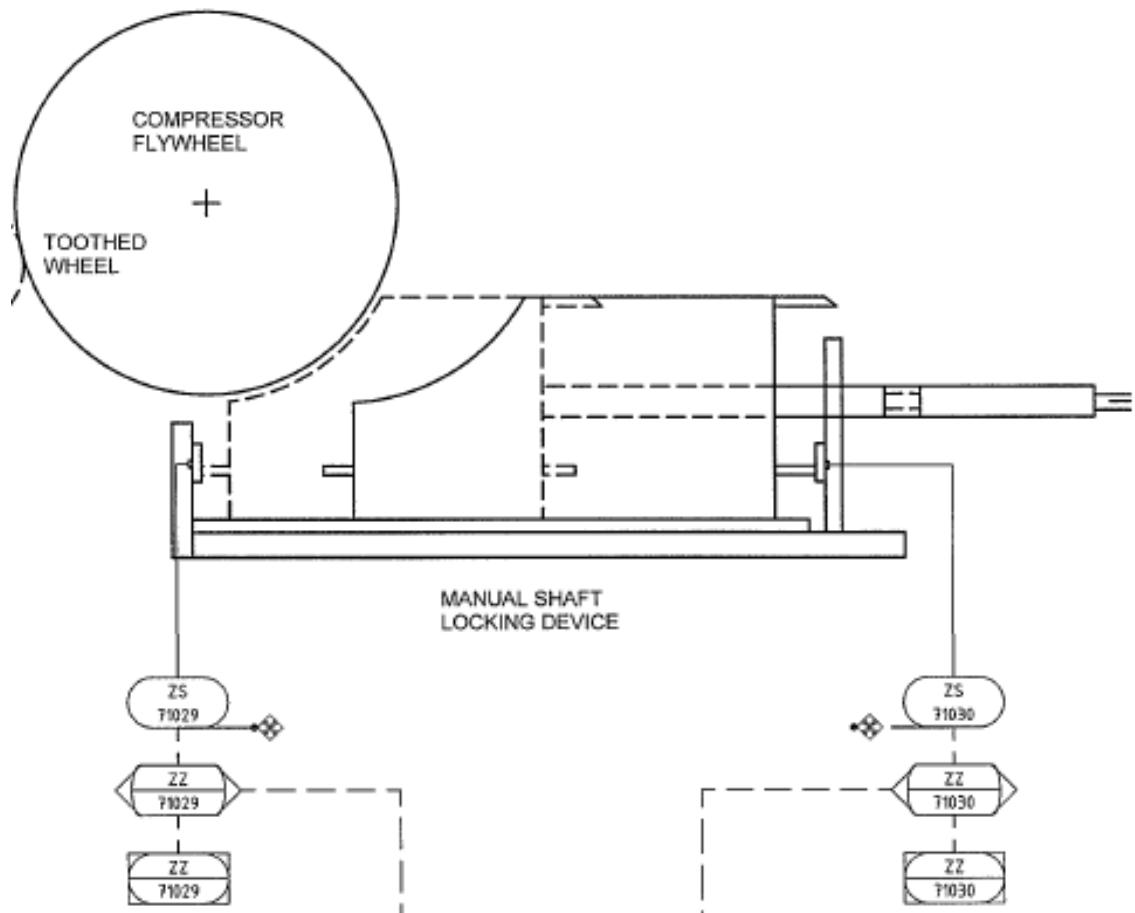
Glykolivesijärjestelmät sisältävät insinööriyön kannalta melko vähän automaatiota. Glykoliveden lämpötilaa säädetään lämpötilansäätöpiirillä, joka ohjaa kolmitieventtiilin avulla osan virtauksesta lämmönvaihtimen läpi. Glykolivedellä tulisi lämmittää sylinterit ennen kompressorin käynnistystä, jonka jälkeen glykoliveden lämpötila säädetään kompressorin jäähdyttäväksi. Osaan kompressoreista glykoliveden virtaus on asetettu käynnistys ehdoksi. Näin voitaisiin tehdä muidenkin kompressorien kohdalla, sillä glykoliveden kierto on joka tapauksessa yksi kompressorin käynnistyksen edellytyksistä.

8.5 Paaksaus- ja lukituslaite

Lähes kaikille mäntäkompressoreille on asennettu paaksaus- ja lukituslaite. Näiden lisäksi GB-10332A- ja GB-10332B-turbokompressoreille on asennettu paaksauslaite akselin taipumisen välttämiseksi kompressoreiden seisoessa. Paaksauslaite pyörittää kompressoreiden akselia automaattisesti, kun koneet eivät ole käynnissä. Jos paaksaus- ja lukituslaitteet on asennettu kohteeseen, niiden asemaa valvotaan usein rajakytkimillä. Näiden avulla tehdään kompressorille käynnistysehdot ja suojaus ehdot. Paaksauslaitteen ja lukituslaitteen tiloista voidaan tehdä käynnistys- ja suojaus ehdot kompressorille samantlaisilla toteutuksilla, sillä molempien laitteiden asemaa voidaan valvoa samoilla periaatteilla. Jalostamolta löytyy kolme erilaista ratkaisua laitteiden tilojen osoitusta varten:

- Rajakytkimen työtilassa-raja estää kompressorin käynnistämisen, ei kuitenkaan toteutettu turva-automaatiojärjestelmässä.
- Rajakytkimen lepotilassa-raja on kompressorin käynnistysehtona turva-automaatiojärjestelmässä.
- Rajakytkimet asennettu laitteen radan molempiin päihin, joista tehdään käynnistysehdot ja suojaus ehdot.
- Kaksi rajakytkintä radan lepotilapäässä, joista tehdään suojaus ehdot 2oo2-äänestyksellä.

Kuvassa 21 nähdään kuinka kompressorin GB-71001A lukituslaitteen radan molempiin päihin on asennettu rajakytkin lukituslaitteen tilan havaitsemiseksi. Paaksauslaitteelle on toteutettu samantlaiset rajakytkimet sekä käynnistysehdot ja suojaus kset.



Kuva 21. GB-71001A:n lukituslaitteen PI-kuva [11]

Turvallisuuden kannalta näistä parhaita ratkaisuja ovat 2002-äänestys radan toisessa päässä sekä rajakytkimet radan molemmissa päissä. Näissä ratkaisuissa kompressorin suojaus tai käynnistysehto ei ole yhden rajakytkimen varassa ja saadaan tieto, että laite on varmasti irti kompressorista, sillä kahden anturin vikaantuminen samaan aikaan on hyvin epätodennäköistä.

Vetykrakkausyksikön mäntäkompressori GB-305, NExBTL-yksikön mäntäkompressorit sekä TL4:n mäntäkompressorit ovat ainoita, joissa lukitus- ja paaksauslaitteen tiloista on käynnistysehtojen lisäksi tehty suojaukset. Näissä myös laitteiden tilaa valvotaan useammilla rajakytkimillä.

NExBTL-yksikön kompressoreihin lukituslaitteen rajakytkimet on asennettu radan molempiin päihin ja paaksauslaitteen lepotilan päähän on asennettu kaksi rajakytkintä. Näistä käynnistysehdot on toteutettu seuraavasti:

- lukituslaite lepotilassa

Kompressoreiden suojaus laukaistaan, jos jokin seuraavista **ei** ole tosi:

- paaksauslaite lepotilassa, 2oo2 (kun kummatkin anturit menettävät tiedon laitteen lepotilasta, laukaistaan suojaus)
- lukituslaite ei työtilassa

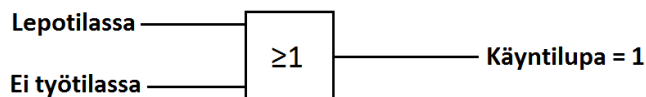
Vaikka paaksauslaitteen lepotila ei ole kompressoreiden käynnistysehtona, ei kompressoria voida käynnistää, jos jokin suojaus on aktiivisena. Suojaukset estävät siis myös kompressorin käynnistämisen.

TL4:n mäntäkompressoreihin lukitus- ja paaksauslaitteiden ratojen molempiin päihin on asennettu rajakytkimet. Näiden molempien ehtojen on täytyttävä, jotta kompressori voidaan käynnistää:

- paaksauslaite lepotilassa **JA** ei työtilassa
- lukituslaite lepotilassa **JA** ei työtilassa.

Suojaus laukaistaan, jos jokin seuraavista **ei** ole tosi:

- paaksauslaite lepotilassa **TAI** paaksauslaite ei työtilassa
- lukituslaite lepotilassa **TAI** lukituslaite ei työtilassa.



Kuva 22. Suojausehdot GB-71001A:n paaksaus- ja lukituslaitteista

Kompressoria käynnistettäessä lukitus- ja paaksauslaitteen kummankin ”OK”-tilan tulee pitää paikkansa, mutta suojaus laukaistaan vasta, kun kummatkaan eivät enää pidä paikkaansa (kuva 22). Suojausta ei siis laukaista, jos esimerkiksi kesken käynnin lepotilan tieto kadotetaan vaan vasta, kun myös ei työtilassa -tieto kadotetaan.

Myös GB-305-kompressorilla lukitus- ja paaksauslaitteiden ratojen molempiin päihin on asennettu rajakytkimet. Toisin kuin TL4:llä, siinä suojaus ehdot ovat tiukempia kuin käynnistys ehdot. Käynnistys ehtona on, että

- paaksauslaite lepotilassa **JA** lukituslaite lepotilassa.

Suojaus laukaistaan, kun jokin seuraavista **ei** ole tosi:

- paaksauslaite lepotilassa
- paaksauslaite ei käytössä
- lukituslaite lepotilassa
- lukituslaite ei käytössä.

Suojaukset käsittävät siis käynnistys ehdot sisälleen, joten kompressorin toiminta ei muuttuisi, vaikka käynnistys ehdot poistettaisiin kokonaan.

Jos suojaus ehdot ovat tiukemmat kuin käynnistys ehdot, on riski virheellisille suojuuksille suurempi. Esimerkiksi kompressorissa GB-305 minkä tahansa rajakytkimen vikaantumisen voi aiheuttaa suojuuksen. Jos suojaus toteutetaan samoin kuin TL4:n mäntäkompressoreissa, niin radan toisen anturin vikaantuessa ei kompressorilla vielä pysähdy, vaan anturi voidaan huoltaa sopivana ajankohtana. Virheelliset suojuukset käynnin aikana aiheuttavat riskin prosessihäiriöistä ja tämän takia käynnistys ehtojen olisi hyvä olla tiukempia kuin suojaus ehtojen.

Kompressoreissa, joissa paaksauslaitteen tai lukituslaitteen tilaehdot ovat vain käynnistys ehtoina, on huonona puolena se, että kompressorilla ei pysähdy, jos paaksauslaite tai lukituslaite kytkeytyy jostakin syystä päälle kesken käynnin. Vaikka näiden TET-määrittelyt eivät vaadi erityisiä turvatoimia, voisi näistä tehdä myös suojuukset, sillä nämä tiedot viedään joka tapauksessa turva-automaatiojärjestelmään. Lukitus- ja paaksauslaitteen tilan havaitsemiseen kannattaa käyttää useampaa kuin yhtä anturia, jotta kompressorin käynti ja suojaus eivät olisi vain yhden rajakytkimen varassa. Useamman rajakytkimen asennus ei ole taloudellisesti suuri sijoitus, joten käyttövarmuussyistä tämä olisi perusteltua.

8.6 Anti-surge

Porvoo öljynjalostamolla lähes kaikki anti-surgesäätimet ovat CCC:n (Compressor Controls Corporation) toimittamia yksikkösäätimiä. Poikkeuksena on kompressorin GB-302 anti-surgesäätö, joka on tehty DCS:ään. Anti-surgesäätimen tulee olla erittäin nopea sekä tarkka, ja tästä syystä käytetään lähes aina erillisiä yksikkösäätimiä. Lisäksi joihinkin kompressoreihin surgen esto tehdään käsisäädöillä. Jos anti-surgesäätö on tarpeellinen, niin tulevaisuudessa halutaan käyttää erillisiä yksikkösäätimiä. Laitevalmistajan, esimerkiksi CCC:n, toimittamat yksikkösäätimet tulevat jalostamolle pitkälti valmiina ”paketteina”, joten varsinaisesti säätöjen toteutukseen insinööriytyö ei ota kantaa eikä selitä anti-surgesäädön toimintaperiaatteita tarkemmin. Kaasujen kierrätyslinjan toteutus on kuitenkin Neste Oyj:n vastuulla ja kierrätysventtiilin toimiva toteutus onkin kriittistä anti-surgesäädön toiminnan kannalta. Insinööriytyössä keskitytään siis kierrätysventtiilin automaation toteutuksiin.

Kierrätysventtiilin asennosta on jalostamolla tehty käynnistysehto jokaiselle turbokompressorille. Kierrätysventtiilin tulee olla täysin auki, jotta kompressorin voi käynnistää. Tämä tehdään siitä syystä, että anti-surgesäädin on viritetty normaalille toiminta-alueelle, eikä surgelaskenta ole kovin luotettava käynnistykseen pienillä kierroksilla ja kuormilla. Jotta surgetila varmasti vältetään, on kierrätysvirtaus syytä pitää maksimissaan. Tämä on hyvä tehdä myös kompressorin pysäytyksessä. [3.] Kierrätysventtiilin tulisi olla varmatoiminen ja vikatilanteissa ajautua tilaan, joka ei aiheuta vaaratilanteita. Siksi kierrätysventtiileinä käytetään toimsuunnaltaan sulkeutuvia venttiileitä. [5.] Venttiili pysyy siis auki, kun säätimeltä ei tule ohjausta.

Esimerkiksi REF3-yksikössä turbokompressorien GB-10331, GB-10332A ja GB-10332B anti-surgesäädön kierrätysventtiilin asennon valvonta on toteutettu niin, että DCS:n näytöllä näkyy anti-surgesäätimen ohjaus sekä venttiilin todellinen asento. Näin venttiilin asennosta voidaan olla varmoja. Jos esimerkiksi venttiili jostakin syystä ei aukea säätimen ohjauksen mukaisesti, todellinen asento nähdään venttiilin asennon mittauksesta. Näiden kahden mittauksen arvon liian suuresta erosta on tehty myös hälytys. Koska venttiilin todellinen asento ei näy kohteissa suoraan ajonäytöllä vaan alanäytön alla, hälytyksen avulla tieto arvojen erosta viedään operaattorille asti. SYRP-yksikön GB-34002-kompressorille on tehty samanlainen ratkaisu. Siinä kuitenkin venttiilin todellinen asento ja säätimen ohjaus ovat molemmat näkyvillä suoraan ajokuvassa. Mittausten liian suuresta erosta tehdään myös hälytys.

8.7 Kunnonvalvonta

Porvoon öljynjalostamolla kunnonvalvontajärjestelmässä on toteutettu värähtelymittaukset, siirtymämittaukset sekä jotkin kunnonvalvontaan liittyvät painemittaukset. Lämpötilamittaukset on toteutettu pelkästään DCS:ssä. Näin on toimittu, koska lämpötilamittausten toteuttaminen DCS:ään on hyvin halpaa, kun taas mittakortit kunnonvalvontajärjestelmään maksavat melko paljon. On kuitenkin todettu, että lämpötilojen seuranta samassa järjestelmässä helpottaisi kunnonvalvontaa ja sen diagnosointia. Jos lämpötiloista saataisiin piirrettyä käyrät samoihin koordinaatistoihin kuin muistakin kunnonvalvonnan mittauksista, voitaisiin analysoida laitteiden kuntoa ja eri tapahtumien vaikutuksia lämpötiloihin helpommin.

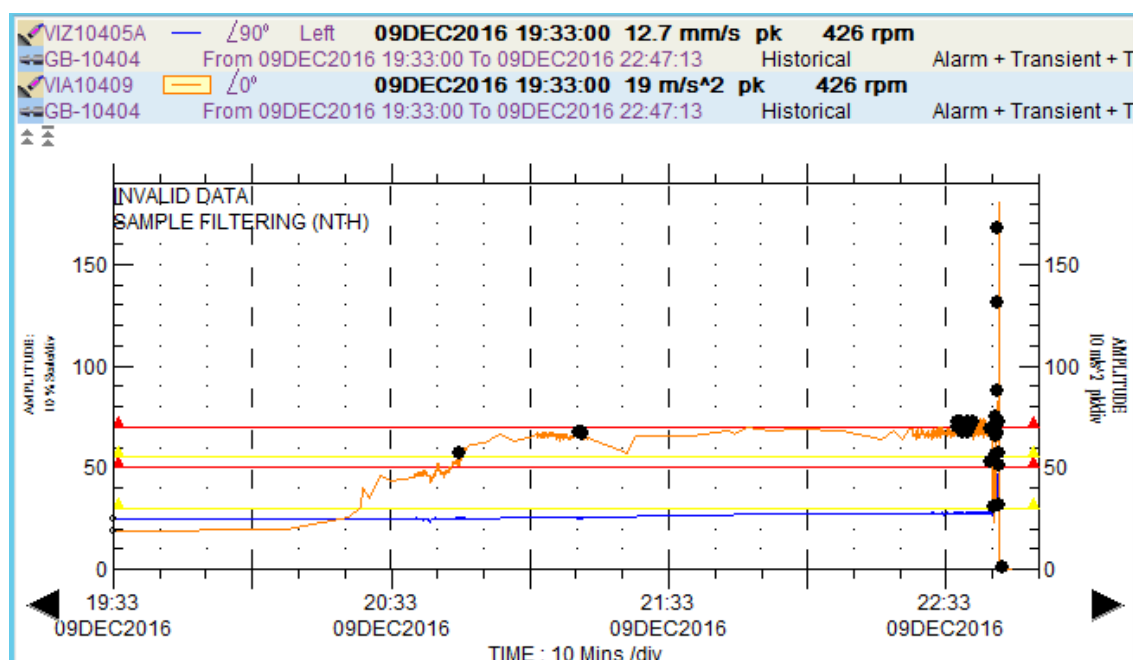
8.7.1 Mäntäkompressorit

Porvoon öljynjalostamolla mäntäkompressoreille kunnonvalvontajärjestelmässä on toteutettu runkotärinämittaukset, ristikappaleen kiihtyvyydsmittaukset, männänvarren tippumamittaukset sekä sylinterikammioiden painemittaukset. Näiden lisäksi venttiileiden sekä laakereiden lämpötilamittaukset on tehty turva-automaatiojärjestelmässä tai DCS:ssä.

Runkotärinämittaukset on toteutettu neljällä anturilla. Nämä on asennettu niin, että kaksi anturia on kampikammion toisella puolella ja toiset kaksi kampikammion vastakkaisella puolella. Runkotärinämittauksia ei käytetä kompressorin kunnon diagnosointiin, vaan näitä käytetään vain kompressorisuojauksiin. Runkotärinä nousee suojausrajalla kuitenkin usein vasta, kun jotakin on vaurioitunut, joten tämä suojaus estää yleensä vain kompressorin täydellisen tuhoutumisen. Suojaus tehdään joko kolmelta mittaukselta 2003-arkkitehtuurilla, jolloin yksi mittaus jää turva-automaatiojärjestelmän ulkopuolelle ja tämä viedään suoraan DCS:ään tai neljältä mittaukselta 2004-arkkitehtuurilla, jolloin kaikki mittaukset viedään suoraan turva-automaatiojärjestelmään. 2004-arkkitehtuuria on käytetty vain TL4:n mäntäkompressoreilla. Korkean runkotärinän suojaus on yksi standardin API 670 (American Petroleum Instituten standardi laitesuojauksista) perusvaatimuksia.

2004-arkkitehtuurilla toteutettua korkean runkotärinän suojauksen tarpeellisuutta voitaisiin harkita. Ratkaisuun on päädytty luultavasti siitä syystä, että kyseessä ovat todella suuret kompressorit ja suojauksesta on haluttu tehdä mahdollisimman turvallinen. TL4:n kompressoreita lukuun ottamatta 2003-arkkitehtuuri on jalostamon käytännön mukainen suuren runkotärinän tapauksessa. 2004-arkkitehtuuri on kuitenkin täysin turva-automaatiosta riippuvainen, sillä tällöin yhtäkään mittausta ei viedä suoraan DCS:ään. Turvallisuusmielessä on hyvä, että mittaukset eivät ole kaikki yhden järjestelmän varassa, sillä tämän järjestelmän pettäessä ei saada mittauksilta tietoa ollenkaan.

Ristikappaleiden kiihtyvyydsmittaukset on asennettu jokaiseen mäntäkompressoriin. Niiltä saadaan tärkeää tietoa erilaisista iskuista ristikappaleessa ja näin koko kompressorin kunnosta. Kompressorin vaurioituminen havaitaan yleensä ristikappaleen suuresta kiihtyvyyden vaihtelusta jo kauan ennen runkotärinän nousua suojausrajalle asti (kuva 23) ja siksi kunnonvalvontajärjestelmän laitevalmistaja (GE Measurement & Control) suosittelee kompressorisuojausta suurten ristikappalekiihtyvyyksien tapauksessa. [13, s. 4.] Tämän suojauksen toteuttaminen vaatisi kuitenkin kahta kiihtyvyyssanturia jokaiselle ristikappaleelle, joten suojauksen toteutus olisi kallista. Lisäksi Porvoon öljynjalostamolla on arveltu ristikappaleiden kiihtyvyydsmittauksien toiminnan olevan liian epäluotettavaa suojauskäyttöön. Näistä syistä Porvoon öljynjalostamolla ristikappaleiden suuresta kiihtyvyydestä ei ole tehty suojauksia ja kiihtyvyydsmittauksia käytetään vain kunnan diagnosointiin. Kuvassa 23 on kuvattu erään jalostamon kompressorin runkotärinän (sinisellä) sekä ristikappaleen kiihtyvyyden amplitudi (oranssilla). Kuvasta huomataan, että ristikappaleen kiihtyvyydsmittaus reagoi vaurioon jo kaksi tuntia ennen kuin runkotärinän suojaus laukesi kampiakselin katketessa. Ristikappaleiden kiihtyvyyksiä tulee mitata myös tulevilta kompressoreilta. [22.]



Kuva 23. Jalostamon kompressorin rikkoutuminen [22.]

Männänvarren tippumamittaukset on myös asennettu jokaiseen mäntäkompressoriin ja näilläkin voidaan diagnosoida kompressorin kuntoa. Mittauksilta tehdään hälytykset tippuman ollessa liian suuri, mutta ei suojausta. Ristikappaleen kiihtyvyyden kanssa männänvarren tippuman perusteella voidaan ennakoida kompressorin vaurioituminen. Lisäksi männänrenkaiden kuluminen on helposti havaittavissa tippumamittauksen avulla. Männänvarsien tippumaa tulee mitata myös tulevilta kompressoreilta. [23.]

Sylinterikammioiden painemittaukset on asennettu vain osaan kompressoreita. Painemittaukset helpottavat kuitenkin huomattavasti kompressorin kunnan diagnosointia, sillä näiden avulla muut mittaukset voidaan sijoittaa työkiertoon. Ilman painemittauksia ei voida olla täysin varmoja männän sijainnista sylinterissä. Painemittauksilla havaitaan myös helposti venttiili-, tiiviste- sekä männänrenkasvauriot. GE Measurement & Control suosittelee myös näistä mittauksista tehtävän suojauksen, mutta Porvoon öljynjalostamolla ei ole nähty tarvetta tälle. [13, s. 4.] Painemittausten on todettu olevan hyödyllisiä kunnan diagnosointia varten, joten nämä toivotaan asennettavan myös tuleviin kompressoreihin.

Edellä mainittujen mittausten lisäksi myös lämpötilamittaukset ovat tärkeitä. Lämpötilamittaukset eivät jalostamolla ole kunnanvalvontajärjestelmän alla eikä näistä saa piirrettyä käyriä samoihin koordinaatistoihin, mutta tulevaisuudessa uuden TOP-järjestelmän

(ylemmän tason säätöjärjestelmä) myötä voidaan kunnonvalvonnan mittauksia sekä lämpötilamittauksia tarkastella samassa koordinaatistossa. Mäntäkompressoreilla lämpötilamittaukset on asennettu kaikille laakereille, joille se on mahdollista asentaa sekä osaan kompressoreista venttiileiden lämpöä mittamaan. On todettu, että lämpötiloja halutaan vastaisuudessaakin näiltä kohteilta mitata. Varsinkin venttiileiden lämpötilamittauksilta voidaan todella helposti lukea, jos venttiili on vioittunut. Myös laitevalmistaja GE Measurement & Control suosittelee imu- ja pakoventtiilien lämpötiloja mitattavan, sillä venttiilit ovat tyypillisesti mäntäkompressoreiden eniten huoltoa vaativia osia ja voivat vaikuttaa suuresti kompressorin hyötysuhteeseen. [13, s. 4.]

Jalostamon kompressorien kunnonvalvonta on melko yhteneväinen GE Measurement & Controlin suositusten kanssa. Lämpötilamittauksia ei tuoda kunnonvalvontajärjestelmään, niin kuin on aikaisemmin mainittu, mutta nämä mittaukset on pääosin jalostamon kompressoreille asennettu. Suosituksista poiketen ristikappaleiden lämpötiloja mitataan vain muutamilta kompressoreilta, muun muassa kompressoreilta GB-71001A/B/S. Näillä kompressoreilla ristikappaleen korkeista lämpötiloista on tehty suojaukset toisin kuin laitevalmistaja suosittelee. Myöskään kaasun imupuolen lämpötilaa ja männänvarren ensimmäisen tiivisteiden lämpötilaa ei ole yleensä viety DCS:ään vaan ne on toteutettu paikallismittauksina.



	See Note ²			MALFUNCTION ¹												
	API-618 (Fourth Ed.)	Protection Solution	Management Solution	Excessive Crankcase and Cylinder Vibration	Excessive Main Bearing Temperature (loss of lubrication)	Rod Load Faults (including reversal, excessive loading, etc.)	Faulty Cylinder Suction Valves	Faulty Cylinder Discharge Valves	Leaking Pressure Rings	Worn Rider Bands	Pressure Packing Case Leaks & Seizures	Excessive Clearance in Crosshead Bushing/Pin	Excessive Crosshead Slipper Clearance	Liquid Ingestion	Mechanical Looseness (piston, liner, piston rod)	
MEASUREMENT																
Frame Vibration	■	■	■	■											■	
Main Bearing Temperature		■	■		■											
Crosshead Acceleration		■	■	■		■	■	■				■	■	■	■	
Multi-Event-Per-Revolution Keyphasor [®] Signal		■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Cylinder Pressure		■	■			■	■	■	■		■	■	■	■		
Combined Rod Load ³		■	■			■	■	■				■			■	
Piston Rod Position				■						■	■		■		■	
Hyper Plunger Position				■							■				■	
Suction Valve Temperature				■			■									
Discharge Valve Temperature				■				■								
Pressure Packing Case Temperature				■							■					
Crosshead Shoe Temperature				■									■			
Suction Gas Temperature				■			■									
Discharge Gas Temperature	■	■	■					■	■							
Online Gas Analyser Data Input				■			■	■	■						■	
Trending & Analysis Software				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

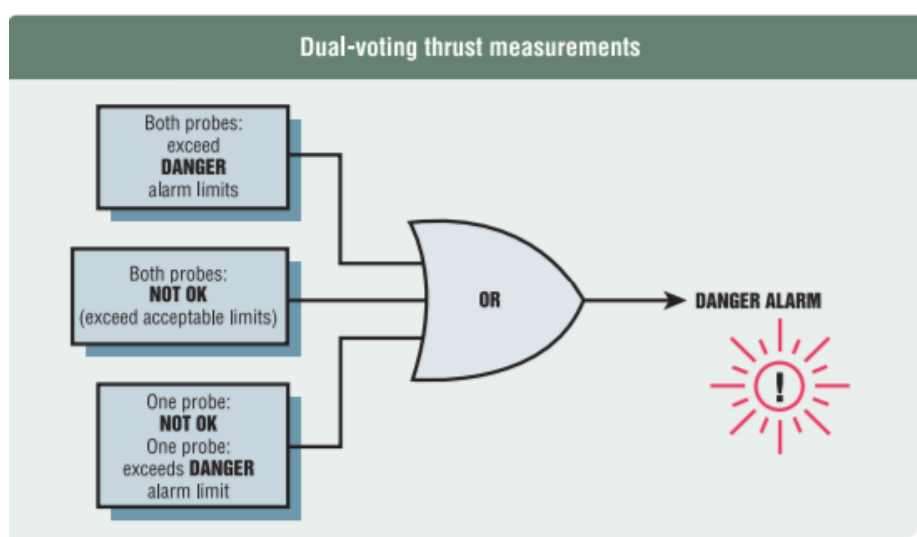
Kuva 24. Laitevalmistaja GE:n suositukset mäntäkompressoreiden kunnonvalvonnasta [13, s. 4.]

Kuvassa 24 ovat GE Measurement & Control -laitevalmistajan suositukset mäntäkompressoreiden kunnonvalvonnasta. Taulukon vasemmalla puolella ovat kunnonvalvonnan mittaukset ja ylälaidassa mäntäkompressorin mahdolliset viat. Taulukko kertoo, millä mittauksilla kyseiset viat voidaan havaita ja mitä mittauksia laitevalmistaja suosittelee käytettävän. Ensimmäisellä pystyrivillä ovat mittaukset, jotka standardi API 618 (American Petroleum Instituten standardi mäntäkompressoreista) vaatii, toisella pystyrivillä ovat mittaukset, jotka on hyvä olla normaalia mäntäkompressoria operoidessa ja kolmannella pystyrivillä ovat laitevalmistajan suositellut mittaukset kompressorin optimaaliseen ja turvalliseen ajoon. Punaisella on merkitty ne mittaukset, joista laitevalmistaja suosittelee tekemään suojaus poikkeavien arvojen tapauksessa. Suositusten vastaisesti suojaus Porvoon öljynjalostamolla on tehty vain runkotärinästä ja ulostulevan kaasun lämpötilasta. Kuten aiemmin mainittiin, kuvan 23 kompressorin rikkoutuminen olisi voitu havaita jo tunteja aiemmin ristikkappaleen kiihtyvyyksistä. Jos näistä olisi tehty suojaus, olisi kompressorin voitu pysäyttää ajoissa. Ristikappaleiden kiihtyvyyksistä ei luultavasti ainakaan lähitulevaisuudessa tehdä kompressorisuojaus, mutta arvojen näkyvyyttä aiotaan parantaa, jotta operaattorit huomaavat poikkeavat arvot. [23.]

8.7.2 Turbokompressorit

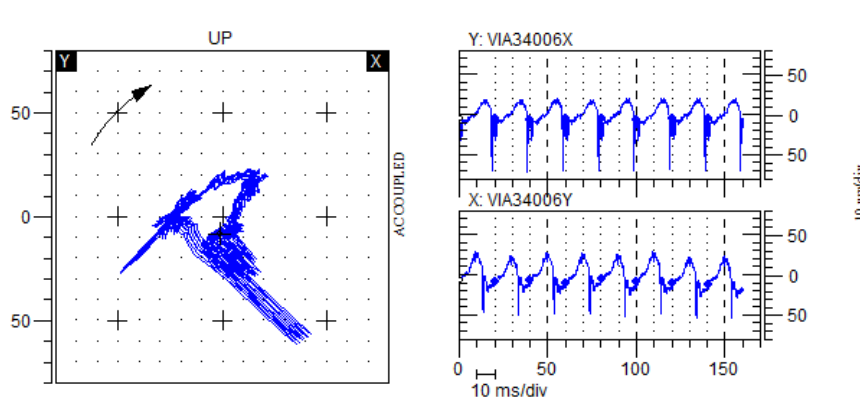
Turbokompressoreiden kunnonvalvonta perustuu pitkälti aksiaalisiirtymämittauksiin sekä akselivärähtelymittauksiin. Porvoon öljynjalostamolla mitataan lisäksi laakereiden lämpötilaa sekä ulostulon kaasun lämpötilaa.

Aksiaalisiirtymämittaukset asennetaan jalostamolla usein kahteen eri paikkaan: kompressorin aksiaalilaakerin viereen akselin päähän sekä turbiinin tai sähkömoottorin päähän. Antureita asennetaan jalostamolla aina kaksi kappaletta yhteen paikkaan. [23.] Turbokompressorien aksiaalisiirtymän suojaukset on toteutettu poikkeuksetta 2oo2-arkkitehtuurilla. Tätä pidetään maailmanlaajuisesti vähimmäisvaatimuksena turbokompressoreiden aksiaalisiirtymien suojuksille. 2oo2-arkkitehtuuri on yleisin tapa toteuttaa nämä suojuukset. [24, s. 51.] Suojauksen optimaalisin toteutus turvallisuuden ja virheellisten suojausten kannalta olisi 2oo3-arkkitehtuuri. Tilarajoitusten takia on kuitenkin epäkäytännöllistä asentaa kolme etäisyysanturia akselin päähän. Lisäksi etäisyysanturit ovat kykeneväisiä itsediagnostiikkaan, jolloin anturit pystyvät ilmoittamaan olevansa vikatilassa. Kuvassa 25 on kuvattu suojausten laukaisevat tapahtumat. Suojauksen laukaisee molempien mittausten samanaikainen suojausrajan ylitys ja molempien antureiden havaittu vikatila. Suojaus laukaistaan myös, jos toinen anturi on vikatilassa ja toinen mittaus on ylittänyt suojausrajan. Tämä itsediagnostiikka lisää järjestelmän turvallisuutta lähes itsediagnostiikalla varustamattoman 2oo3-arkkitehtuurilla toteutetun järjestelmän tasolle. Jos turvallisuuden eheystasoksi määritellään taso 3, tulee 2oo3-arkkitehtuuria kuitenkin käyttää. [24, s. 53.]



Kuva 25. Aksiaalisiirtymän suojausten 2oo2-arkkitehtuurin laukaisevat tapahtumat [24.]

Akselivärähtelyä mitataan etäisyysantureilla. Akselin liikkeitä mitataan kahdella anturilla: X-akselin suuntaisella ja Y-akselin suuntaisella anturilla. Anturit on asennettu niin, että näiden välinen kulma on 90°. [25, s. 3.] Akselivärähtelyistä ei tehdä suojauksia, mutta suuresta värähtelystä tehdään hälytys kompressoreita GB-10332A/B lukuun ottamatta. Akselivärähtelystä olisi epäkäytännöllistä toteuttaa suojausta, sillä jo pienetkin naarmut ja poikkeamat akselin pinnassa näkyvät mittauksissa (kuva 26). Jos mittaukselle tehdään suojausraja, laukaisisivat naarmujen aiheuttamat piikit mittauksessa suojauksen, jolloin itse tärinästä ei saataisi suojausta laukaistua. Kuvassa 26 huomataan akselin liikkeessä terävä piikki kahteen eri suuntaan, jolloin suojauksen toteutus akselin tärinästä on vaikeaa. Piikit johtuvat akselin naarmuuntumisesta.



Kuva 26. Naarmu kompressorin akselissa

Akselivärähtelymittaukset asennetaan kompressorin molemmille puolille (vapaapää ja kytkinpää), vaihteiston kummallekin akselille (jos vaihteisto), turbiinin molemmille puolille (jos turbiini) sekä sähkömoottorin molemmille puolille (jos sähkömoottori). [23.]

Kunnonvalvonnan aksiaalisiirtymän ja akselivärähtelyn hälytysrajoja asettaessa on ehdottoman tärkeää tietää laakerin geometria. Laakereita on useita erilaisia ja akseliradan paikka vaihtelee eri laakerityyppien mukaan. Hälytysrajoja asetettaessa on tiedettävä, miten akseli liikehtii laakerissa ja millaiset välykset laakerissa on.

Kompressorille GB-2401 on asennettu myös runkotärinämittaus. Runkotärinämittaukset eivät ole kunnonvalvonnan kannalta välttämättömiä mittauksia, mutta ne tukevat havaintoja diagnooseissa. Runkotärinää ei myöskään jokaisella kompressorilla ole mahdollista mitata, sillä sopivaa paikkaa anturin asentamiseksi ei välttämättä ole. [23.]

8.7.3 Sähkömoottorit, vaihteistot sekä turbiinit

Sähkömoottoreiden akselivärähtelyitä mitataan, jos moottoreita käytetään turbokompressoreiden kanssa. Mäntäkompressoreilla osaan on asennettu anturi mittaamaan vain tärinää. Moottorille asennettu tärinä- tai värähtelymittaus olisi kuitenkin hyvä olla, sillä tämä on kunnonvalvontajärjestelmässä ainut tapa, jolla moottorin kunnon voi määrittää. Kunnonvalvontajärjestelmän ulkopuolella on toteutettu laakereiden ja käämitysten lämpötilamittaukset, joiden avulla moottoreiden kuntoa voidaan diagnosoida. Pyörrevirtaantureilla (värähtelymittaus) voitaisiin poikkeamat todeta lämpötilamittauksia aikaisemmin. Koska moottoreissa on liukulaakerit, voidaan pyörrevirta-anturit näille asentaa. Niiden avulla kuntoa on helpompi diagnosoida kuin kiihtyvyyssanturilla toteutetulla tärinäänturilla.

Turbiineiden kunnonvalvonta on toteutettu hyvin samalla tavalla kuin turbokompressoreidenkin. Jalostamalla turbiineja käytetään vain turbokompressorien käyttövoiman lähteenä ja tällöin ei käytetä vaihteistoja vaan laitteistot ovat suoravetoisia. Turbiineilta mitataan akselivärähtelyitä sekä aksiaalsiirtymää. Lämpötilamittaukset tehdään turbiinin laakereille. Lisäksi turbiineille on tehty kierrosnopeusmittaukset ja ylikierrossuoja 2003-arkkitehtuurilla.

Jalostamalla kunnonvalvontajärjestelmän alla olevat vaihteistot on asennettu vain turbokompressoreihin. Tällöin kunnonvalvonnan mittaukset ovat turbokompressorien kunnonvalvonnan mukaiset. Molemmilta vaihteiston akseleilta mitataan akselivärähtelyä sekä aksiaalsiirtymää. Lämpötilamittaukset tehdään vaihteiston laakereille. Lisäksi voidaan mitata vaihteiston tärinää kiihtyvyyssanturilla.

8.8 Muut suojaukset ja toteutus yleisesti

Kompressorisuojausten automaatio on toteutettu kohteesta riippuen hieman eri tavalla. Äänestys toteutetaan aina turva-automaatiojärjestelmässä, mutta samojen suojausten toteutukseen on kuitenkin käytetty usein erilaisia arkkitehtuureja. Käytettyyn arkkitehtuuriin vaikuttavat toiminnon TET-vaatimukset. Nämä määrittävät arkkitehtuurin vaaditun vikasietoisuuden ja vikaantumistodennäköisyyden. TET-vaatimusten lisäksi toteutukseen vaikuttavat käytännöllisyys ja taloudelliset kustannukset. Usein arkkitehtuurien vikasietoisuus onkin vaadittua suurempi käytännöllisyyssistä.

Aiemmin mainittu 1001-arkkitehtuurilla toteutettu KARP3-yksikön GB-10401:n sylinterin voiteluöljyn matalan paineen suojaus voi aiheuttaa tarpeettoman alasajon mittauksen vikaantuessa. Siksi tätä halutaan muokata ja tehdä tilalle 2002-äänestys. Tämän avulla vältetään mahdolliset turhat suojaukset, vaikka ylimääräinen mittaus tuottaa lisää työmääriä. Nesteen K-151-spesifikaation mukaan 2002-äänestyksiä tulisi lähtökohtaisesti välttää, sillä ne ovat täysin vikasiedottomia äänestyksiä. Turvallisuusmielessä 2002-arkkitehtuuri ei ole yhtä tehokas kuin jokin muu arkkitehtuuri, joten voidaan myös miettiä 2002-arkkitehtuurin sijaan 2003-arkkitehtuuria. Sylinterin voiteluöljyn matalan paineen tapauksessa TET-määrittely ei kuitenkaan vaadi tapahtumalle erityisiä turvatoimia. Tällöin 2002-arkkitehtuuri voi olla hyvä ratkaisu, sillä riski virheellisille suojuuksille on pieni ja myös turvallisuusvaatimukset täytetään. Jos mittauksen vikaantumisen on mahdollista saada diagnostiikkaa, voidaan nykyisessä 1001-arkkitehtuurin vikaantumisen tapauksesta tehdä vain hälytys. Näin on tehty TL4:n GB-71001A-kompressorin ristipäiden lämpötilojen kanssa. Tämä kuitenkin vaatisi, että prosessin turvallisuutta voidaan valvoa jotenkin toisin ja kompressorin tulisi mahdollisesti kuitenkin pysäyttää mittauksen korjauksen ajaksi.

Sylintereiden ja vaiheiden ulostulojen korkeiden lämpötilojen suojaukset on mäntäkompressorien kohdalla toteutettu 2003-äänestyslogiikalla lukuun ottamatta KARP3-yksikön GB-34001-kompressoria, jossa suojaus on toteutettu 2002-arkkitehtuurilla. TL4:n mäntäkompressoreissa ensimmäisen vaiheen suojaus on ainut suojaus, jolta 2003-arkkitehtuurin vikasietoisuus vaaditaan. Muualla arkkitehtuurivalintaa on perusteltu käytännöllisyyssyillä. Myös GB-34001-kompressorilla suojaus olisi TET:n mukaan voitu toteuttaa yhdellä mittauksella, mutta 2002-arkkitehtuuria on perusteltu käytännöllisyyssyillä.

TL4:n kompressoreiden GB-71001A/B/S sähkömoottoreiden käämityksen korkeista lämpötiloista on toteutettu suojaukset. Näin on tehty, koska kompressoreiden sähkömoottorit poikkeavat muista sähkömoottoreista hieman. Moottorit ovat huomattavasti isompia kuin muut ja näille on asennettu omat jäähdytyspuhaltimet. Puhaltimien vikaantuessa moottorit ovat herkkiä ylikuumentumiselle. TET-määrittely ei vaadi suojausta toteutettavan turva-automaatiojärjestelmässä, mutta näin on kuitenkin menetelty. Tämän kaltaisissa tilanteissa tulee harkita, voisiko sovelluksen tehdä DCS:ään.

Kompressoreiden pisaranerotimien korkeasta pinnankorkeudesta tehdään poikkeuksetta kompressorisuojaus. Pisaranerotin on eräänlainen säiliö, jossa kaasun seasta

poistetaan kaikki nesteet. Jos pinnankorkeus nousee tarpeeksi korkeaksi, imee kompressori pisaranerotimesta nestettä sisälleen. Nesteet vaurioittavat kompressoria helposti, jos ne pääsevät sen sisään. Korkean pinnankorkeuden suojaus tehdään lähes aina 2003-arkkitehtuurilla. Usein tapahtuma vaatii TET2-tason suojauksen, joka tarkoittaa, että vikasietoisuuden tulee olla vähintään 1. Tällöin 2003-arkkitehtuuri on hyvä ratkaisu. Suojaus pysäyttää yleensä myös varakompressorit, sillä kompressorit käyttävät usein samoja pisaranerotimia. Esimerkiksi GB-71001A/B/S-kompressorien turvallisuuden eheystasoksi on määritelty TET1, mutta niissäkin suojaukseen käytetään 2003-arkkitehtuuria, vaikka 1001-arkkitehtuurikin täyttäisi vaatimukset. 1001-arkkitehtuurin käyttö ei kuitenkaan ole välttämättä käytännöllisyyden näkökulmasta paras ratkaisu, sillä suojaus pysäyttäisi kaikki kolme kompressoria ja aiheuttaisi koko yksikön alasajon. Yhden mittauksen vikaantumisen ei tulisi aiheuttaa kokonaisen tuotantoyksikön alasajoa.

Äänestysarkkitehtuureista voidaan yleisesti ajatella, että 1002-arkkitehtuuria ja 2002-arkkitehtuuria tulisi käyttää varauksella. 1002-arkkitehtuuri on kaksi kertaa herkempi virheellisille suojuuksille kuin yhdellä mittauksella toteutettu suojaus. 2002-arkkitehtuurissa on taas kaksi kertaa suurempi mahdollisuus suojauksen laukeamattomuudelle tätä vaadittaessa kuin yhdellä mittauksella toteutetussa suojuuksessa. Jos siis 1001-arkkitehtuuri ei ole turvatoimenpiteenä riittävä tai käytännöllisyyssyistä tätä ei haluta, suositellaankin käytettävän 2003-arkkitehtuuria. 1001-arkkitehtuuria tulee käyttää harkiten suojuuksissa, jotka pysäyttävät kompressorin. Kompressorin pysäytys voi aiheuttaa prosessihäiriöitä tai mahdollisesti koko tuotantoyksikön alasajon, joten yhden mittauksen varassa olevat kompressorisuojaukset voivat muodostaa riskin. Uudemmissa kompresso-reissa, esimerkiksi TL4:n kompresso-reissa, ei kompressorin pysäyttäviä suojuuksia olekaan enää toteutettu 1001-arkkitehtuureilla toisin kuin vanhemmissa kompresso-reissa, joissa useammat kompressorin pysäyttävät suojuukset on toteutettu yhdellä mittauksella. Virheellisten suojausten välttämiseksi 2002-arkkitehtuuri voi olla hyvä ratkaisu, jos tapahtumalle ei ole määritelty minkäänlaisia turvallisuusvaatimuksia. Tällöin tulee myös harkita, tarvitseeko suojausta toteuttaa ollenkaan.

8.9 Suojausten viiveet

Osalle kompressorien suojuuksista on asetettu lyhyt viive ennen kuin suojaus laukaistaan mitta-arvojen ylittäessä tai alittaessa suojausrajat. Hidastuksen pituus on monissa suojuuksissa yhdestä sekunnista viiteen sekuntiin. Viiveen idea on karsia ”räpsyvät” suojuukset pois. Ilman viivettä mittauksissa esiintyvät piikit saattavat jo laukaista suojuuksen. Viiveen kanssa mittauksen tulee olla raja-arvojen ulkopuolella hidastukseen asetetun aikamäärän ajan, minkä jälkeen suojaus vasta laukeaa. Koska tuotantolinjan uudelleenkäynnistys voi kestää jopa viikon, on tärkeää, että kompressorin aiheuttomat suojuukset eivät muodosta riskiä koko yksikön alasajolle. Havaittiin, että viiveitä oli asetettu suojuuksiin erityisesti TL4:llä, mutta myös muilta tuotantolinjoilta löytyi vastaavia viiveitä. Viiveet on toteutettu päästöhidastuslohkolla, sillä piirit on toteutettu lepovirtaperiaatteella.

Suojausten päästöhidastukset vähentävät mahdollisia räpsymisestä johtuvia turhia suojuuksia ja näin mahdollisesti vältetään yksikön alasajo. Päästöhidastusten pituus tulee kuitenkin asettaa harkiten. Suojauksen ollessa aiheellinen liian pitkän viiveen kanssa kompressorin saattaa vaurioitua. Tällöin alasajon tuottamien tuotantohäviöiden lisäksi kompressorin vaurioituminen aiheuttaa suuria kustannuskuluja korjauksissa. Lisäksi on mahdollista, että yksikön käynnistys viivästyy korjaustöiden takia. Tämän takia jotkin suojuukset olisi mahdollisesti hyvä laukaista heti raja-arvojen ylittyessä.

Varsinkin kunnonvalvonnan mittausten suojuuksien viiveitä tulisi miettiä tarkasti. Turva-automaatiojärjestelmän viiveen lisäksi kunnonvalvontaräkkiin asetetaan viive. Standardin API 670 mukaan kunnonvalvonnan värähtely- ja siirtymämittauksilla tulisi käyttää 1–3 sekunnin viivettä. Standardi ohjeistaa viiveen pituuden olevan oletusarvolta yhden sekunnin pituinen. [26, s. 63.] Nykyään esimerkiksi TL4:n kompressoreilla runkotärinän ja aksiaalisiirtymien suojuuksiin on asetettu turva-automaatiojärjestelmässä ja kunnonvalvontajärjestelmässä viiveet. Kunnonvalvonnan suojuuksien viiveet on mahdollisesti asetettu turhan korkeiksi suojuuksia suunniteltaessa ja suojuuksien viiveitä ehdotetaan miettimään uudestaan. Suojauksen viiveen pituus tulisi olla tarpeeksi pitkä, jotta ”räpsymiset” eivät aiheuta hälytyksiä, mutta myös tarpeeksi lyhyt, jotta laite ei vaurioituisi. Lisäksi viiveet olisi hyvä asettaa vain yhdessä järjestelmässä sekaannuksien välttämiseksi. TL4:n kompressoreita käytetään todennäköisesti esimerkkinä tulevia kompressoreita suunniteltaessa, joten viiveitä tulisi ehdottomasti miettiä uudelleen, ennen kuin uusien kompressorien viiveitä asetetaan.

Jos matalan voiteluöljyn suojuukselle on asetettu viive, on se monesti asetettu 5–10 sekuntiin. Tässä tapauksessa suojuuksen ei tarvitse pysäyttää kompressoria välittömästi. Lubrikaattorin matalan voiteluöljyn suojuuksien viive on lähes poikkeuksetta asetettu 30 minuuttiin lukuun ottamatta NExBTL-yksikön mäntäkompressoreita, joilla viive on kymmenen minuuttia. Sylinterin voiteluöljyn matala paine ei vahingoita kompressoria välittömästi, joten kompressoria voidaan ajaa pidemmänkin aikaa tässä tapauksessa. Kompressorin ulostulevan kaasun korkean lämpötilan suojausten viiveeksi on asetettu usein 2–5 sekuntia tai sitten viivettä ei ole asetettu ollenkaan. Pisanerottimien korkean pinnankorkeuden suojuuksissa on käytetty viiveenä 5 sekuntia, jos viive on asetettu. Koska neste ei pääse kompressorin sisään välittömästi korkean pinnankorkeuden havaitsemisen jälkeen, voidaan suojuukselle asettaa lyhyt viive.

Päästöhidastuslohkot voitaisiin asettaa suojuuksille oletusarvoisesti ja näille voitaisiin asettaa haluttu viiveen määrä. Jos todetaan, että viivettä ei saa olla ollenkaan, asetetaan arvoksi nolla sekuntia. Näin voitaisiin käyttää suojuuksissa samaa mallipohjaa, jossa päästöhidastuslohko on aina mukana. Suojuuksien viiveiden raja-arvoiksi voitaisiin miettiä seuraavia:

- runkotärinä 1–3 sekuntia (kunnonvalvonnan suojuuksien viiveitä ehdotetaan mietittävän uusiksi)
- aksiaalisiirtymät 0–3 sekuntia (kunnonvalvonnan suojuuksien viiveitä ehdotetaan mietittävän uusiksi)
- matala voiteluöljyn paine 1–5 sekuntia
- matala lubrikaattorin paine 30 minuuttia
- korkeat lämpötilat 1–5 sekuntia
- paaksaus- ja lukituslaite 0–2 sekuntia
- pisanerottimen korkea pinnankorkeus 1–6 sekuntia
- vuotokaasujen suuri määrä 1–3 sekuntia
- ylikierrossuoja aina 0 sekuntia, ei viivettä.

8.10 Kevennys ja kuormitus

Kompressoreille, joille on asennettu keventimet, on kevennyksen ja kuormituksen sovel-
lus tehty pääasiassa turvalogiikalle. Poikkeuksena tästä on GB-305, jonka keven-
nys/kuormitussovellus on tehty DCS:lle. Saman kompressorin kohdalla kuormituksen te-
kee täysin operaattori, kun muilla kompressoreilla tämä on ainakin osittain automatisoitu.

Kaikkiin tarkasteltuihin kompressoreihin on asetettu käynnistysehdoksi, että kompressori
on täysin kevennetty. Käynnistyksen jälkeen operaattori voi kuormittaa kompressorin 50
%:iin tai 25 %:iin riippuen siitä, onko kompressorissa kolme- vai viisivaiheinen kuormitus.
Jos operaattori ei käynnistyksen jälkeen kuormita kompressoria, niin turva-automaati-
ojärjestelmä kuormittaa kompressorin automaattisesti 300 sekunnin jälkeen. Jos auto-
maattinen kuormitus tehdään ensin 25 %:iin, kuormittaa turva-automaatiojärjestelmä
kompressorin automaattisesti 300 sekunnin kuluttua vielä 50 %:iin. Kompressorin kuor-
mituksen 100 %:iin voi tehdä vain operaattori. Operaattori voi myös keventää tai kuor-
mittaa kompressoria tarpeen tullen. Kuormituksen aste riippuu myös komprimoitavasta
kaasusta. Esimerkiksi kompressoria GB-85301 ei voida kuormittaa 50 %:iin ollenkaan
vaan kompressori kuormitetaan 0 %:sta suoraan 100 %:iin, kun kompressori on typ-
piajolla. Kun kompressorit pysäytetään, pysyvät ne kuormitettuna vielä 60 sekunnin ajan,
jotta pyörimisliike pysähtyisi nopeammin. Tämän jälkeen kompressorit kevennetään au-
tomaattisesti.

Kompressorilla GB-305 kuormitusta tai kevennystä ei ole automatisoitu. Sille on asetettu
käynnistysehdoksi olla täysin kevennetty. Lisäksi kompressorin suojaus laukeaa, jos sitä
ajetaan 300 sekuntia 0 %:n kuormituksella. Itse kuormitus ja kevennys tehdään operaat-
torin toimesta täysin manuaalisesti. Pysäytyksen jälkeen kompressori pysyy kuormitet-
tuna, jos operaattori ei sitä kevennä.

Kompressoreita GB-71001A/B/S ja NExBTL-yksikön kompressoreita operaattori ei voi
keventää täysin kesken käynnin. Kompressorissa GB-34001 tämä kuitenkin on mahdol-
lista. Tässä tapauksessa tulisi se mahdollisesti ottaa huomioon myös suojauksissa, jotta
kompressoria ei olisi mahdollista ajaa täysin kevennettynä pitkiä aikoja. Automaattinen
kuormituskaan ei tällöin kuormita kompressoria, sillä kuormitussignaali on kahden se-
kunnin pituinen pulssi, joka lähetetään, kun kompressori on ollut käynnissä 300 sekuntia.
Jos pulssi on jo lähetetty, eikä kompressorin käyntitieto ole muuttunut, on kompressori
mahdollista jättää käymään täysin kevennettynä. Jos ei ole erityistä syytä sille, miksi

kompressorin pitäisi keventää käynnin aikana täysin, voitaisiin täysin keventäminen estää ohjelmallisesti.

Kompressorin kuormitus ja kevennys on hyvä toteuttaa automaattisesti tiettyyn pisteeseen asti, kuitenkin prosessin turvallisuutta silmällä pitäen. Kompressorin käynnistämisen tai sammuttamisen aikana operaattorilla on useita asioita valvottavana, joten jos operaattorin ei tarvitse huolehtia kompressorin kuormittamisesta tai kevennyksestä, voidaan tällä vähentää operaattorin työkuormaa. Tällöin vältetään myös inhimilliset virheet, jolloin esimerkiksi kompressorin kuormittaminen unohtuu ja kone pyörii täysin kevennettyinä kunnes tämä huomataan tai suojaus aktivoituu. Oletettavasti kompressorin on kuitenkin tarkoitus kuormittaa, jos tämä on käynnistetty. Jos prosessi on herkkä muutoksille, tapaturman riski on suuri tai manuaalisen kuormituksen käytölle on joitakin erityisiä syitä, tulee harkita, onko automatisointi tässä tapauksessa järkevää.

8.11 Liian tiheiden käynnistysten esto

Sähkömoottorilta käyttövoimansa saavat kompressorit vaativat käynnistyksessä moottorilta paljon virtaa. Tämä aiheuttaa lämpötilan nousun moottorin käämityksessä, ja siksi kompressorin ei tulisi käynnistää liian tiheästi. Määrätyt aikavälit tulevat suoraan laitevalmistajalta. Suurelle osalle kompressoreista on ohjeistuksissa nämä aikavälit kerrottu. Ajan pituuteen vaikuttaa se, käynnistetäänkö kompressorin kylmänä vai lämpimänä.

TL4:n kompressorit GB-71001A/B/S ovat kuitenkin ainoat kompressorit, joille on automaatiojärjestelmään tehty liian tiheiden käynnistysten esto. Tämä piiri on toteutettu yksinkertaisilla ohjelmointilohkoilla ja moottorin käämitysten lämpötilamittaukselta luetaan, käynnistetäänkö kompressorin lämpimänä vai kylmänä. Tieto käynnistysluvasta vietään kompressorin ohjauspiirille. Tämä esto on myös operaattorin toimesta ohitettavissa. Kompressorin käynnistysvälit on ohjelmassa määritelty seuraavasti:

- kylmänä: 10min -> 10min -> 30min -> 10min -> 30min -> 10min...
- lämpimänä: 10min -> 30min -> 10min -> 30min -> 10min...

Tällaista sovellusta voitaisiin harkita varsinkin tuleville suuritehoisille kompressoreille. Koska kompressoriohjeissa on määritelty sallitut aikavälit kompressorin käynnistykselle, voitaisiin näille tehdä myös ohjelmalliset estot, jotta moottoria ja kompressorin muita osia

ei kuormitettaisi varmasti liikaa. Sovellus toteutetaan DCS:ssä, sillä ei ole erityisiä syitä tehdä sovellusta turva-automaatiojärjestelmään. Operaattorin tulee kuitenkin pystyä ohittaa esto nopeasti esimerkiksi DCS:n näytöltä.

8.12 Kaasuajon vaihto

Jotkut kompressorit on suunniteltu käytettäväksi eri kaasuilla. Esimerkiksi NExBTL-yksikön kompressoreita GB-85301, GB-85302 ja GB-85303 voidaan ajaa tyypellä. Typpiajo on tarkoitettu kompressorien koekäyttöön, ja sen avulla voidaan testata mm. kompressorien venttiilien toiminta. Myös esimerkiksi maakaasua käytetään kompressoreilla GB-71001A/B/S poikkeustilanteissa vedyn osapaineen alentamiseksi. [7.]

NExBTL-yksikön kompressorien vaihto typpiajolta vetyajolle tehdään sammuttamatta kompressoria. Kun moodi vaihdetaan, kuormitus putoaa 60 sekunnin kuluttua 0 %:iin, jonka jälkeen operaattori tai järjestelmä kuormittaa kompressorin 50 %:iin. Vaihto toiseen suuntaan on estetty kompressorin käynnin aikana.

TL4:n mäntäkompressoreilla GB-71001A/B/S vaihto typpiajolta vetyajolle voidaan tehdä myös konetta sammuttamatta, mutta vaihto toiseen suuntaan on estetty käynnin aikana. Nämä kompressorit ovat ainoita, joiden mittauspiirien hälytysrajat vaihtuvat ajatun kaasun mukaan. Kompressoreita GB-71001A/B/S voidaan ajaa myös maakaasuvetyseoksella. Maakaasua käytetään häiriötilanteessa, kun yksikön painetta tulee alentaa. Maakaasuprofiili vaikuttaa kompressorien kuormitukseen sekä joidenkin säätimien asetusarvoihin. Maakaasuprofiili on mahdollista pyytää DCS:n näytöltä yhdellä kytkimellä. Tällaisten ratkaisujen kanssa tulee olla huolellinen, jotta tilannetta, jossa säätimien asetusarvot ja käytetty kaasu ovat ristiriidassa toistensa kanssa, ei pääse tapahtumaan.

Turbokompressoreilla kaasua vaihdettaessa tulee anti-surgesäätimeen syöttää normaaliajosta poikkeavat parametrit. Säätimille on usein ainakin kahdet eri parametrit eri kaasuajoille. Parametrien vaihtoa ei kuitenkaan toteuteta automaattisesti vaan vaihtoon tarvitaan automaatioasentajaa.

On tärkeää, että profiilia ei pysty vaihtamaan vahingossa, sillä kaasujon vaihdot eivät ole täysin automaattisia ja nämä vaativat paljon käsin suoritettavaa operointia. Jos on mahdollista, että operaattori kytkee profiilin vahingossa päälle, tulee ristiriitaisista tiedoista tehdä vähintäänkin hälytykset ja varmistaa, että operaattori huomaa tilanteen.

8.13 Kytkimet ja mittaukset

Nesteen turva-automaatiojärjestelmien suunnitteluohjeen K-140-spesifikaation mukaan suojauksissa tulisi käyttää ensisijaisesti mittauksia. Jos mahdollista, suojaus tulisi toteuttaa niin, että mittaus viedään suoraan turva-automaatiojärjestelmälle, jossa on tehty rajalohko mittauksen arvolle. Äänestyslohkolle viedään tieto signaalin OK-tilasta. Analogisten mittauslaitteiden luotettavuus piilevien vikojen suhteen on usein parempi kuin binääristen mittauslaitteiden. Lisäksi analoginen mittaus mahdollistaa prosessin jatkuvan valvonnan. [17, s. 16–18.] Kompressoreiden instrumentaatiota käsittelevässä spesifikaatiossa K-105 ohjeistetaan, että painekytkimiä sekä lämpötilakytkimiä ei tule käyttää kompressorin valvontaan tai suojauksiin. [21, s. 9–10.]

Kompressoreilla GB-71001A/B/S on käytetty lubrikaattorin matalan paineen suojaukseen pelkkiä painekytkimiä, jotka antavat tiedon, kun paine laskee liian matalaksi. Suojaus on toteutettu 2002-arkkitehtuurilla. Tällä tavoin paineen nousua tai laskua ei ole kuitenkaan mahdollisuutta seurata. Kohteeseen ei ole asennettu turva-automaatiojärjestelmästä riippumattomia mittauksia tai rajakytkimiä. Painekytkimet on haluttu muuttaa painelähtetimiksi, jotta lubrikaattorin toimintaa voidaan seurata paremmin ja saada tietoa lubrikaattorin painemuutoksista. TET-määrittelyssä on todettu, että kompressorin lubrikaattorin matalan paineen tapauksella ei ole erityisiä turvatoimenpidevaatimuksia, sillä tapauksella on vain pieniä taloudellisia seurauksia. Aiempi kokemus on kuitenkin osoittanut, että virheellisen suojauksen aiheuttama kompressorin pysäyttäminen, jota TET ei ota huomioon, aiheuttaa prosessihäiriöitä LCF-yksikön reaktoreissa.

Jos mitattavalta suurelta tarvitaan kuitenkin vain ON/OFF-tietoa, esimerkiksi paaksauslaitteen asema, voidaan suojaukseen tai käynnistysehtoon käyttää kytkimiä.

9 Suositukset automaatoratkaisuista

Tässä luvussa käydään läpi suositukset tuleville kompressoreille. Suositukset pohjautuvat insinööriyön aikana tehtyihin havaintoihin nykyisten ratkaisujen hyvistä ja huonoista puolista, Neste Oyj:n spesifikaatioihin ja työhjeisiin sekä keskusteluihin Neste Oyj:n eri ammattialojen henkilöiden kanssa. Suositukset ovat suuntaa antavia.

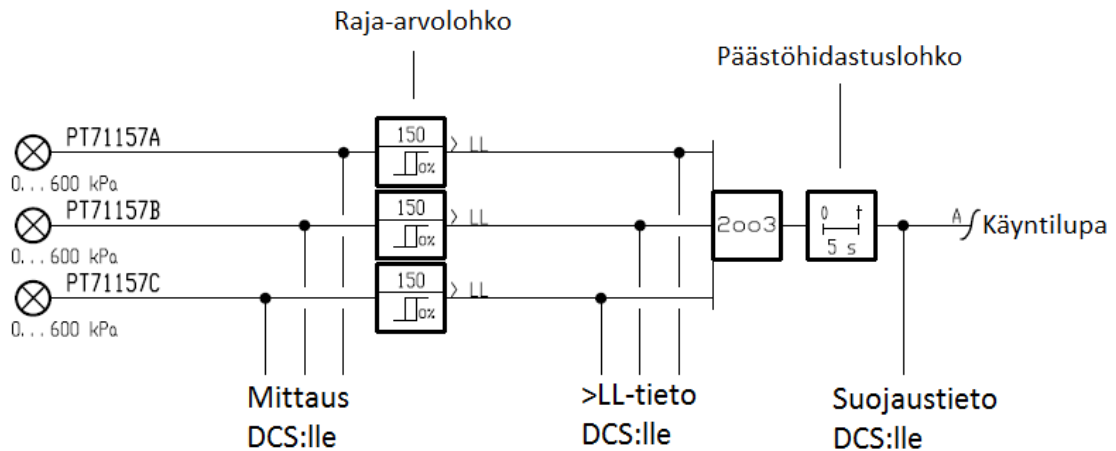
9.1 Suojaukset ja äänestyslogiikat yleisesti

Sovellus voidaan toteuttaa käytännöllisyyssyistä turva-automaatiojärjestelmässä, vaikka TET-määrittelyssä olisi todettu, että sovelluksen voisi tehdä DCS:lle. Jos TET-määrittely ei vaadi tapahtumalle turvatoimenpiteitä, tulee suojauksen poisjättöä myös harkita. Jos suojausta ei ole pakko toteuttaa, voidaan siitä tehdä pelkkä hälytys, jolloin myös laitteen käyttövarmuus paranee. Lähtökohtaisesti turhat suojaukset tulee jättää pois.

Mittaukset luetaan ensisijaisesti suoraan turva-automaatiojärjestelmälle, jonka jälkeen asetetaan mittauksille suojausrajat, joiden ylittyessä tai alittuessa tieto ei-halutusta arvosta kulkeutuu äänestykseen. Suojausraja viedään turva-automaatiojärjestelmältä myös DCS:ään. Rajat on voitu asettaa myös kunnonvalvontajärjestelmässä, jos mittaukset ovat kunnonvalvontajärjestelmän alla. Tällöin turva-automaatiojärjestelmälle tulee kunnonvalvontajärjestelmästä vain tieto ylittyneestä tai alittuneesta rajasta. Kunnonvalvontajärjestelmästä mittaus viedään kuitenkin Modbus-väylän kautta käyttöautomaatiojärjestelmälle, jotta operaattorille saadaan tieto mittauksen arvosta. Myös hälytys- ja suojausrajat tulee tällöin viedä DCS:lle, jotta järjestelmien rajoissa ei olisi eroja. Raja-arvojen siirrosta kunnonvalvontajärjestelmästä DCS:sään kerrotaan kappaleessa 9.9.

Kuvassa 27 on kuvattu esimerkki siitä, miten normaali äänestysarkkitehtuurilla toimiva suojaus tulisi toteuttaa. Mittaustieto tuodaan suoraan turva-automaatiojärjestelmälle, josta tämä viedään myös DCS:lle. Raja-arvolohkon jälkeen DCS:lle viedään >LL-tieto. Mittauksista toteutetaan äänestys, joka laukaisee suojauksen tarpeeksi monen mittauksen alittaessa raja-arvolohkon arvon. Suojauksen tulee olla päällä päästöhidastuslohkoon asetetun sekuntimäärän ajan ennen kuin kompressorin pysäytystieto viedään eteenpäin. DCS:lle viedään tieto päästöhidastuslohkon jälkeisestä arvosta (1=OK, 0=Suojaus). Kun tiedot viedään DCS:lle esimerkin tavoin, saadaan operaattorille tieto

mittauksien arvoista, hälytys mittauksesta, joka on alittanut (tai ylittänyt) raja-arvon sekä tieto siitä, mikä suojaus on pysäyttänyt kompressorin.



Kuva 27. Esimerkki matalan voiteluöljyn paineen suojauksesta

K-151-spesifikaation mukaisesti TET määrittää suojaukseen käytetyn minimiarkkitehtuurin, mutta valinnassa on myös syytä miettiä arkkitehtuurin käytännöllisyyttä. Monet suojaukset voidaan TET:n mukaan toteuttaa ilman äänestysarkkitehtuuria, mutta jos kohteeseen on mahdollista tämä toteuttaaärkevin perustein, tulisi äänestysarkkitehtuurin käyttöä harkita. Äänestyksellä toteutetut suojaukset ovat vähemmän herkkiä virheellisille suojuuksille, lukuun ottamatta 1oo2-arkkitehtuuria.

9.2 Mittalaitteiden käyttö turva-automaatiossa

Spesifikaatio K-140 ohjeistaa asettamaan analogiset mittaukset binääristen mittausten edelle turva-automaatioon liittyvissä mittauksissa. Analogisten mittauslaitteiden luotettavuus on piilevien vikojen suhteen parempi. Lisäksi ne mahdollistavat prosessisuureen jatkuvan valvonnan. [17, s. 16–17.] Mittauksina, jotka laukaisevat suojauksen, suositellaan vahvasti käytettävän analogisia mittauksia.

Mittauksissa on otettava huomioon seuraavat asiat:

- Pyritään mittaamaan aina suoraan suojaustarpeen ilmoittavaa suuretta.
- Lähettimien mittausalue ulottuu riittävästi suojausrajojen ulkopuolelle.

- Mittalaitteen vasteaika on riittävän lyhyt sovelluskohteen turva-aikaa ajatellen.
- Tavanomaisimmat mittausantureiden ja lähettimien vikaantumiset voidaan havaita. Tämä edellyttää mm. elävän nollan viestiä (4–20mA).
- Mittauslaitteen lähtöviestin vikaturvallinen suunta on oltava valittavissa.
- Mittauslaitteen sisäisen vikadiagnostiikan havaitessa vian tulee viesti ohjata sellaiseen arvoon, että se aiheuttaa hälytyksen käyttöautomaatiojärjestelmässä.

9.3 Suojaukset ja käynnistysehdot

Tässä luvussa käydään läpi suojaukset ja käynnistysehdot, joita suositellaan kompressorin varten toteutettavan sekä millaisella arkkitehtuurilla nämä olisivat hyvä toteuttaa. Suositukset ovat vain suuntaa antavia ja lopulliset arkkitehtuurivalinnat päätetään suojauksia suunnitellessa. Arkkitehtuurivalintojen tulee kuitenkin aina täyttää turvallisuuden eheystason asettamat vaatimukset, jotka ovat esitelty luvussa 6.1.

Käynnistysehdot tulee toteuttaa niin, että kaikki tarpeellinen kompressorin käynnistystä varten on määritelty käynnistysehdoissa. Näin vältetään tapahtumat, joissa kompressorin käynnistetään, mutta suojaus pysäyttää kompressorin välittömästi, koska jokin esivalmistelu on unohdettu tehdä.

Suojauksille on suositeltu myös viiveitä, jotka toteutetaan päästöhidastuslohkoilla. Jos viivettä ei haluta, asetetaan lohkon ajaksi nolla sekuntia. Kunnonvalvonnan viiveitä ehdotetaan mietittävän uusiksi. Kunnonvalvonnan mittauksiin on asetettu kunnonvalvontaräkissä jo valmiiksi viive, joten turva-automaatiojärjestelmässä lisätty viive voi aiheuttaa sen, että viive on liian pitkä. Viiveen ajan tulisi olla tarpeeksi pitkä, jotta "räpsymiset" eivät aiheuta suojausta, mutta tarpeeksi lyhyt, jotta laite ei ehtisi vaurioitua. Lisäksi voitaisiin harkita viiveiden asettamista vain yhteen paikkaan. Esimerkiksi kunnonvalvontamittauksien viiveet asetettaisiin vain kunnonvalvontajärjestelmässä.

9.3.1 Kunnonvalvonnan suojaukset

Kunnonvalvonnan mittauksista toteutetaan suojaukset seuraavista tapahtumista:

- kompressorin suuri aksiaalsiirtymä (turbokompressorit), suositus 2002 jalostamon käytännön mukaisesti, suositellaan viiveen pituutta mietittävän uudestaan ja harkitsemaan viiveen toteutuspaikkaa, API 670 -standardin mukaan 1–3 sekuntia
- turbiinin tai sähkömoottorin suuri aksiaalsiirtymä (turbokompressorit), suositus 2002 jalostamon käytännön mukaisesti, suositellaan viiveen pituutta mietittävän uudestaan ja harkitsemaan viiveen toteutuspaikkaa, API 670 -standardin mukaan 1–3 sekuntia
- runkotärinä (mäntäkompressorit), suositus 2003 jalostamon käytännön mukaisesti, suositellaan viiveen pituutta mietittävän uudestaan ja harkitsemaan viiveen toteutuspaikkaa, API 670 -standardin mukaan 1–3 sekuntia
- sylintereiden tai vaiheiden ulostulon korkea lämpötila, suositus 2003, viive 1–5 sekuntia
- ylikierrossuoja, suositus 2003 jalostamon käytännön mukaisesti, ylikierrossuojalle ei aseteta koskaan viivettä (turbiinit).

9.3.2 Voiteluöljyjärjestelmän suojaukset

Voiteluöljyjärjestelmään ja lubrikaattoriin liittyvistä mittauksista tehdään seuraavat suojaukset:

- voiteluöljyn matala paine, suositus 2003, viive 1–5 sekuntia
- lubrikaattorin matala paine (mäntäkompressorit), suositus 2002, mutta tarvittaessa 2003, viive 30 minuuttia

Lisäksi voiteluöljysäiliön ja lubrikaattorin matalan pinnankorkeuden tapauksessa sammutetaan sähköinen öljynlämmitin LIZ-piirillä.

9.3.3 Paaksaus- ja lukituslaitteen suojaukset ja käynnistysehdot

Paaksaus- ja lukituslaitteiden valvontaan suositellaan käytettävän rajakytkintä ratojen molemmissa päissä. Tällöin käynnistysehdoksi asetetaan seuraavat:

- paaksauslaite lepotilassa ja ei työtilassa
- lukituslaite lepotilassa ja ei työtilassa.

Suojaus laukaistaan, jos toinen seuraavista **ei** ole tosi:

- paaksauslaite lepotilassa **TAI** ei työtilassa, viive 0–2 sekuntia
- lukituslaite lepotilassa **TAI** ei työtilassa, viive 0–2 sekuntia.

9.3.4 Kevennyksen ja kuormituksen suojaukset ja käynnistysehdot

Jos mäntäkompressoria on mahdollista keventää, tulee käynnistysehdoksi asettaa seuraava:

- kuormitus 0 %.

Jos kompressori on mahdollista jättää käyntiin täysin kevennettynä, tulee liian pitkän täysin kevennetyn käynnin tapausta varten tehdä suojaus:

- kompressori käynyt n sekuntia 0 %:n kuormituksella.

Aikamäärä (n) on usein 300 sekuntia.

9.3.5 Muut suojaukset ja käynnistysehdot

Kompressoreille suositellaan myös seuraavia suojauksia ja käynnistysehtoja:

- pisaranerotimien korkea pinta, suojaus 2oo3, viive 1–6 sekuntia
- vuotokaasujen suuri määrä, suojaus 1oo1 tai 2oo3 riippuen suojauksen aiheuttaman prosessihäiriön suuruudesta ja TET-määrittelystä, viive 1–3 sekuntia
- anti-surgeventtiili auki, käynnistysehto (turbokompressorit)
- glykolivesikierto >LL, käynnistysehto (mäntäkompressorit).

9.4 Kunnonvalvonnan mittaukset

Kunnonvalvonnan värähtely-, siirtymä- ja painemittaukset tehdään kunnonvalvontajärjestelmään. Lämpötilamittaukset tehdään DCS:ään tai turva-automaatiojärjestelmään. Suositellaan käytettävän ainakin seuraavia mittauksia:

Mäntäkompressorit:

- runkotärinä
- ristikappaleiden kiihtyvyys

- männänvarsien tippuma
- sylinterikammioiden paineenmittaukset
- laakereiden lämpötilat
- venttiileiden lämpötilat
- ulostulevan kaasun lämpötila
- ristikappaleiden lämpötilat (suuret mäntäkompressorit)
- vuotokaasulinjan tai ensimmäisen männänvarrentiivisteiden lämpötila (nykyisin paikallismittauksia, suurissa kompressoreissa mahdollisesti DCS:ään)

Turbokompressorit:

- akselivärähtelyt (vapaapää ja kytkinpää)
- aksiaalisiirtymä
- runkotärinä (kompressorista riippuen)
- laakereiden lämpötilat
- ulostulevan kaasun lämpötila

Sähkömoottorit:

- käämityksen lämpötilat
- laakerin/laakereiden lämpötila
- laakeritärinä tai akselivärähtelyt
- aksiaalisiirtymä (jos turbokompressori)

Turbiinit:

- akselivärähtely (kummaltakin puolelta)
- aksiaalisiirtymä
- laakereiden lämpötila
- runkotärinä

Vaihteistot:

- akselivärähtely (molemmat akselit)
- aksiaalisiirtymä (molemmat akselit)
- laakereiden lämpötilat
- runkotärinä

9.5 Apuvoiteluöljypumpun sovelluksen toteutus

Apuvoiteluöljypumppu tulee ottaa käyttöön pääpumpun rinnalle voiteluöljyn paineen las-
kiessa alle alarajan. Mittauksena käytetään matalan öljynpaineen suojauksen laukaise-
via mittauksia, jolloin L1-raja käynnistää apupumpun ja <LL-raja suojauksen tai erillistä
yksittäistä painemittausta, joka on tarkoitettu vain apuvoiteluöljypumpun käynnistykseen.
Suojaukseen käytetyt kolme painemittausta asennetaan jokaiselle kompressorille ja siksi
näitä kannattaa ehdottomasti käyttää apuvoiteluöljypumpun käynnistykseen. Käytettä-
vyyden maksimoinniksi apuvoiteluöljypumpun käynnistys voidaan toteuttaa myös 1003-
arkkitehtuuriilla.

Profibus-väylällä ohjatuissa moottoreissa sovelluksen toteuttaminen DCS:ään on järke-
vää, tällöin käynnistysviesti voidaan viedä väylää pitkin, kun taas turva-automaatiojärjes-
telmässä väylän ohjaus tulisi ohittaa.

Apuvoiteluöljypumpun käynnistykseen toteutukseen suositellaan kahta erilaista ratkaisua:

- Jos pumpun moottori on Profibus-väylällä ohjattu, toteutetaan apuvoitelu-
öljypumpun käynnistys DCS:ssä ja käytetään käynnistykseen voiteluöljyn
matalan paineen suojauksen kolmen mittauksen L1-rajaa. Käytetään 1003-
tai 2003-arkkitehtuuria
- Jos pumpun moottoria ei ohjata kenttäväylällä, toteutetaan apuvoiteluöljy-
pumpun käynnistys turva-automaatiojärjestelmässä ja käytetään käynnis-
tykseen voiteluöljyn matalan paineen suojauksen kolmen mittauksen L1-
rajaa. Käytetään 1003- tai 2003-arkkitehtuuria

Apuvoiteluöljypumppu tulee voida käynnistää kenttäkytkimillä ja DCS:stä. Kompressorin
käynnin aikana öljypumput pidetään aina automaattilla. Jos päävoiteluöljypumppu on ak-

seliveton, apuvoiteluöljypumppu käynnistyy kompressorin pysähtyessä. Jos molemmat pumput ovat sähköisiä, niin toinen käynnistyy välittömästi toisen pysähtyessä. Apuvoiteluöljypumppu pysähtyy vasta, kun operaattori sammuttaa sen.

Apuvoiteluöljypumpulle viedään hätä-seis-tieto ja pumppu pysähtyy päästöhidastuslohkoon asetetun ajan kuluttua. Sekuntimäärä määritetään sen mukaan, kuinka kauan kompressorin pyörimisliikkeen pysähtyminen hätä-seis-painikkeen aktivoinnista kestää. Jos öljypumpun käynnistykselle on ehtoja joiden tulisi täytyä ennen kuin pumpun saa käynnistää, tulee näistä tehdä järjestelmässä käynnistysehdot pumpulle (esimerkiksi tarpeeksi korkea öljyn lämpötila tai turbokompressorin aputiiviste typpipursettu).

9.6 Kevennys ja kuormitus

Mäntäkompressoreiden kuormitus ja kevennys toteutetaan turva-automaatiojärjestelmässä. Kompressoria käynnistettäessä kuormitus on 0 % ja käynnistyksen jälkeen kuormitus toteutetaan automaattisesti tiettyyn pisteeseen asti, jos ei ole erityisiä syitä tehdä tätä manuaalisesti. Jos operaattori ei kuormita kompressoria, niin se kuormitetaan esimerkiksi 25 %:iin tai 50 %:iin 300 sekunnin kuluttua käynnistyksestä. Operaattorin tulee voida kuormittaa tai keventää kompressoria DCS:n näytöltä, mutta kuormitusten ja kevennysten väliin asetetaan vetohidastuslohkolla toteutettu tauko, jolloin kompressoria ei voida keventää tai kuormittaa vielä seuraavalle asteelle. Tauon pituus voi olla esimerkiksi 4–10 sekuntia. 100 %:iin kuormituksen tekee operaattori. Kompressorin pysähtymisen jälkeen pidetään tätä kuormitettuna vielä esimerkiksi 60 sekuntia, jotta pyörimisliike saataisiin pysäytettyä nopeammin. Ajan kuluttua loppuun kevennetään kompressori 0 %:iin.

9.7 Liian tiheiden käynnistysten esto

Liian tiheiden käynnistysten estoa suositellaan erityisesti suuritehoisille kompressoreille, joiden sähkömoottorit ovat kalliimpia ja käynnistysvirrat suurempia. Sovellus tehdään DCS:ään. Jos mahdollista, sovellus tehdään niin, että aikaviiveen määrittämiseen vaikuttaa, käynnistetäänkö kompressori kylmänä vai lämpimänä. Sallittu käynnistysten määrä tiettyssä ajassa tulee laitevalmistajalta. Käynnistysten esto tulee olla operaattorin ohitettavissa helposti ja nopeasti esimerkiksi DCS:n näytöltä.

9.8 Anti-surgesäätö

Käytetään anti-surgesäätöön asiaan erikoistuneen toimittajan, kuten CCC:n, toimittamia yksikkösäätimiä. Kierrätysventtiilinä käytetään venttiiliä, joka on turva-asennossa auki. Venttiilin asentoa suositellaan valvottavan erillisellä mittauksella. Anti-surgesäätimen ohjauksen lisäksi viedään DCS:lle mittaus venttiilin todellisesta asennosta. Näiden kahden mittauksen liian suuresta erosta tehdään hälytys. Näin voidaan olla varmoja venttiilin asennosta ja venttiilin jumiutuminen voidaan havaita.

9.9 Kunnonvalvonnan hälytys- ja suojausrajojen siirto DCS:ään

Kunnonvalvontajärjestelmän alla oleville mittauksille hälytysrajat ja suojausrajat tehdään kunnonvalvontajärjestelmässä. Näiden mittauksien raja-arvoissa ei saa olla eroja eri järjestelmien välillä, jotta väärinkäsitykset vältetään. Siksi hälytys- ja suojausrajat tulee viedä DCS:ään kunnonvalvontajärjestelmältä. [27, s. 2.]

Raja-arvojen siirto tehdään eri järjestelmiin hieman eri tavoilla, mutta raja-arvot luetaan aina järjestelmän rajoiksi Modbus-väylällä kunnonvalvontaräkiä. Raja-arvojen siirrossa noudatetaan seuraavia periaatteita:

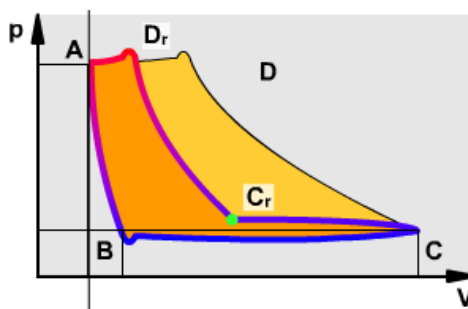
- Määrävä laite on koneen kunnonvalvontaräkki. Hälytysrajat asetetaan räkissä ja luetaan muihin järjestelmiin väylän kautta floating point –lukuina.
- Räkin suojausraja (A2) luetaan DCS-järjestelmän suojausrajaksi.
 - Jos mittaus ei ole lukitseva, ei räkkiin tule määritellä A2-rajaa.
 - Tällöin ei DCS-järjestelmäänkään määritellä suojausrajoja.
- Räkin varoitusrajat (A1) luetaan DCS-järjestelmän hälytysrajaksi.
- DCS-järjestelmän varoitusrajat ovat operaattorin asetettavissa.

Hälytys- ja suojausrajojen siirrossa on tehty Nesteen sisäinen työohje, jossa menetelmä on selitetty tarkemmin. Hälytysrajat sekä suojausrajat tulee siirtää järjestelmään tämän työohjeen mukaisesti. Samassa ohjeessa on määritelty myös, mihin rekistereihin mitausarvot, raja-arvot ja vikatiedot tulee asettaa. Tarkoituksena on, että samat tiedot löytyisivät aina samalta paikalta jokaisessa laitteessa. [27, s. 5.]

10 Tulevaisuuden kehityskohteita

Uuden TOP-järjestelmän myötä myös lämpötilamittaukset voidaan tuoda samoihin koordinaatistoihin kunnonvalvonnan mittauksien kanssa. Tällöin voidaan tutkia helpommin näiden vaikutuksia toisiinsa. Voidaan esimerkiksi tutkia, voisivatko muutokset aksiaali-siirtymissä johtua lämpölaajenemisesta. Tällöin voitaisiin myös tarvittavia lämpötilamittauksia miettiä tarkemmin. Esimerkiksi lämpötilamittaus vuotokaasulinjassa kertoo mahdollisista tiivistevuodoista. Tällaisia mittauksia on joillekin mäntäkompressoreille asennettu, mutta nämä ovat vain paikallismittauksia, eli niitä ei tuoda DCS:ään. Uuden TOP-järjestelmän kanssa tiivistevuotojen vaikutusta muihin mittauksiin voitaisiin tutkia helpommin, jos mittaukset tuotaisiin DCS:ään. Myös GE Measurement & Control suosittelee tätä mittausta vuotojen osoitukseen. Erilaisten lämpötilamittausten tarvetta DCS:ssä tulisi miettiä, kun uusi TOP-järjestelmä saadaan käyttöön.

Eräs tulevaisuuden sijoituskohteita voisi olla portaaton kuormituksen säätö. Tämä toteutetaan sähköisillä tai hydraulisilla toimilaitteilla, jotka asennetaan imuventtiileihin. Nykyisin kuormituksen säätö toimii pneumaattisilla toimilaitteilla, jotka avaavat imuventtiilit ja sulkevat vasta, kun kompressoria kuormitetaan. Esimerkiksi laitevalmistaja Hoerbiger valmistaa mäntäkompressoreille sekä sähköisiä että hydraulisia portaattomia kuormitussäätöjärjestelmiä. Portaattoman kuormituksen säädön ideana on, että kaasua imeetään sylinteriin vain tarpeellinen määrä ja vältetään ylimääräinen kaasun komprimointi. Kun kompressorilta ei haluta käynnin aikana täyttä tuottoa, niin kuormituksen säätö pitää kompressorin kierron aikana imuventtiiliä auki, kunnes haluttu määrä kaasua on imetty sylinterikammioon. Tämän jälkeen imuventtiili sulkeutuu ja vain haluttu määrä kaasua paineistetaan. [28.] Kuvassa 28 on kuvattu kompressorin pV-käyrä osittain kevennettyä Hoerbigerin HydroCOM-järjestelmällä. Keltaisella pohjalla oleva käyrä kuvaa kuormitetun kompressorin käyrää ja sinipunainen käyrä kuvaa osittain kevennettyä käyrää.



Kuva 28. Kompressorin pV-käyrä osittain kevennettyä HydroCOM-järjestelmällä [6]

Tällä hetkellä kompressorin lähtöpainetta säädetään painesäätimen avulla, joka ohjaa kierrätysventtiiliä. Jos paine on liian korkea, avaa säädin kierrätysventtiiliä. Portaattomalla kuormituksen säädöllä ei kaasua tarvitsisi kierrättää takaisin liian suuren paineen takia, vaan painetta voitaisiin tuottaa kompressoreilla vähemmän.

Kierrätyksen minimointi voi mahdollisesti säästää energiakuluissa suuria määriä. Neste Oyj on teettänyt Hoerbiger-laitevalmistajalla laskentoja, joissa investointikulut ja taloudelliset säästöt on laskettu. Laitteiden hinnaksi kompressoreille GB-71001A ja GB-71001B on arvioitu noin 750 000 €. Laitteiden tuomat taloudelliset säästöt energiakuluissa olisivat noin 1 000 000 € kompressoria kohden vuodessa. Laitteet maksaisivat itsensä takaisin laskentojen perusteella siis alle viidessä kuukaudessa. [29.]

Tulevaisuudessa myös kenttäväylävalintaa moottoreiden ohjaukseen on syytä miettiä. Nykyisellään Porvoon öljynjalostamolla käytetään Profibus-väylää, mutta teollisuudessa siirrytään vähitellen Ethernet-pohjaiseen kommunikointiin. Tulevaisuudessa Ethernet-pohjainen Profinet-väylä tulee mahdollisesti syrjäyttämään Profibus-väylän, vaikkakin Profibus-väylään luvataan tukea vielä useiksi vuosiksi. [30.]

Profinetin etuja Profibusiin nähden ovat esimerkiksi parempi laajennettavuus, joustavat rakenteet, erilaiset web-työkalut ja diagnostiikka sekä mahdollisuus langattomiin laitteisiin. Lisäksi Profinetin tiedonsiirto on nopeampaa osittain uuden tarjoaja/kuluttaja-tyypisen ratkaisun vuoksi ja osittain yksinkertaisesti Ethernetin mahdollistaman suuremman siirtonopeuden vuoksi. Tarjoaja lähettää dataa ilman pyyntöä verkon muille laitteille eli kuluttajille. Profibus-väylän kommunikointi toimii isäntä/orja-tyyppisesti, jossa orja lähettää dataa vain, kun isäntä pyytää sitä. Koska Profinet- ja Profibus-kommunikointistandardit ovat saman yritykset ylläpitämiä (Profibus & Profinet International), on myös siirtyminen Profibusista Profinetiin suhteellisen helppoa. Profinet on mahdollista yhdistää Profibus-väylään, jolloin siirtyminen voidaan tehdä portaittain. Siirtyminen esimerkiksi Profinetiin voisi olla järkevää, jos Profibus tullaan tulevaisuudessa syrjäyttämään sillä. [30.]

11 Yhteenveto

Tämän insinööriyön kirjallisuusosassa selvitettiin kompressoreiden eri apujärjestelmien ja kunnonvalvonnan mittausten toimintaperiaatteet ja tarpeellisuus sekä eri kompressorityyppien rakenne ja toimintaperiaatteet. Lisäksi selvitettiin turva-automaation suunnitteluperiaatteita sekä DCS:ssä ja turva-automaatiojärjestelmässä toteutettavien automaatoratkaisujen, erityisesti äänestysarkkitehtuurien, turvallisuutta ja käytettävyyttä.

Työn soveltavassa osassa selvitettiin dokumentoinnin avulla tiedot öljynjalostamon alueella käytetyistä automaatoratkaisuista. Ratkaisuista selvitettiin näiden hyvät ja huonot puolet. Työssä pohdittiin muun muassa suojausten äänestysarkkitehtuurien käytännöllisyyttä sekä tarvitseeko eri ratkaisut toteuttaa turva-automaatiojärjestelmässä vai voiko nämä tehdä DCS:ään. Hyvistä ratkaisuista koottiin suositukset tulevaisuutta varten ja näitä käytetään apuna mahdollisessa uudessa spesifikaatiossa pyörivien laitteiden automaation toteutuksesta. Lisäksi selvitettiin haastattelujen ja kunnonvalvontajärjestelmien laitevalmistajan suositusten perusteella, mitä kunnonvalvonnan mittauksia tulevaisuudessa kompressoreille halutaan asentaa. Luku 9 on lista insinööriyöntekijän suosituksista tulevaisuutta varten automaation toteutuksista ja kunnonvalvonnan mittauksista. Suositukset perustuvat insinööriyön aikaisiin havaintoihin sekä keskusteluihin kunnosapitoyksikön työntekijöiden kanssa. Suositukset käytiin vielä eri ammattialojen asiantuntijoiden kanssa läpi ja tämän lopputuloksena tehtiin dokumentti Neste Oyj:lle suositelluista ratkaisuksista.

Työn aihe oli laaja, ja sen eri osa-alueisiin voisi syventyä huomattavasti enemmänkin. Suosituksia apujärjestelmien ja kunnonvalvonnan ratkaisuista ei olekaan järkevää tehdä kovin yksityiskohtaisesti, ainakaan tämän insinööriyön puitteissa, sillä ratkaisuihin vaikuttaa kompressorin tyyppi, kokoluokka, käyttötarkoitus sekä käyttökohde. Insinööriyön suositukset ovatkin vain suuntaa antavia.

Insinööriyön aikana havaittiin, että jalostamon kompressorien automaatoratkaisut poikkesivat toisistaan välillä melko paljonkin. Työssä havaittiin, että aiemmin selkeää linjausta automaation toteutukselle ei ole ollut ja automaatoratkaisuissa on menty pitkälti laitevalmistajan näkemyksen mukaan. Viimeisen 15 vuoden aikana Neste Oyj:lle on kuitenkin muodostunut oma linjaus ja hyväksi todettuja ratkaisuja on otettu uusille kompressoreille käyttöön. Selkeää ohjeistusta toteutuksesta ei silti ole vielä ollut, ja tämän takia insinööriyö päätettiin tehdä. Spesifikaatiosta, jolle insinööriyö oli esityötä, olisi

varmasti apua projekteja suunniteltaessa. Suunnittelun työmäärissä voitaisiin säästää huomattavasti, jos voitaisiin TET-määrityksien ja käytännöllisyyden tarpeiden perusteella toteuttaa jo valmiiksi määritellyt automaatoratkaisut. Koska jalostamo on melko vanha laitos, löytyy kompressoreitakin eri aikakausilta. Varsinkin vanhempien kompressoreiden automaation toteutuksissa oli eroja uusiin verrattuna. Käytännöllisyyttä ei näitä suunniteltaessa ole havaintojen perusteella otettu huomioon niin paljon kuin uudemmissa kompressoreissa. Automaatiosuunnittelussa on selvästi menty eteenpäin.

Lähteet

- 1 McMillan, Gregory K. 1983. Centrifugal and Axial Compressor Control. Durham: Instrument Society of America.
- 2 HPI:n verkkosivut <<http://www.hpi-llc.com/expertise/maintenance-repair-overhaul-controls/heavy-industrial-turbine-services/turbine-repairs/reciprocating-compressor-repair>>. Luettu 26.1.2017.
- 3 Arimo, Emmi. CCC-itseopiskelumateriaali. Nesteen sisäiset dokumentit.
- 4 Almasi, Amin. 2013. Axial Compressors For Pipeline Compression Stations. Pipeline & Gas Journal. Tammikuu 2013. Verkkodokumentti. <<https://pgjonline.com/2013/01/17/axial-compressors-for-pipeline-compression-stations/>>. Luettu 14.2.2017.
- 5 Ghanbariannaeni, Ali & Ghazanfarihashemi, Ghazalehsadat. Protecting A Centrifugal Compressor From Surge. Pipeline & Gas Journal. Maaliskuu 2012. Verkkodokumentti. <<https://pgjonline.com/2012/04/02/protecting-a-centrifugal-compressor-from-surge/>>. Luettu 6.2.2017.
- 6 Neste Oyj. Kompressorikoulutus 12.11.2013. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 7 Suursalmi, Teemu. 2013. GB-71001A/B/S tuorevety- ja kiertokaasukompressorien käyttöohje. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 8 Ranta-Korpi, Joonas. 2015. GB-71002 laiteohje. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 9 Siemens AG. Siemens Turbo Compressor Training for Neste Finland 13.9.2016.-15.9.2016. Kurssimateriaali.
- 10 Liptak, Bela G. 1999. Instrument Engineers' Handbook, Process Control. Boca Raton: CRC Press.
- 11 GB-71001A PI-kuva. NP0-16934. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 12 Heinonkoski, Risto. 2013. Kone- ja prosessiautomaation kunnossapito. Helsinki: Opetushallitus
- 13 GE Measurement & Control. 2015. Condition Monitoring Solutions for Reciprocating Compressors. Verkkodokumentti. <https://www.gemeasurement.com/sites/gemc.dev/files/gea14927e_recip_brochure_horizontal_r2.pdf>. Luettu 9.3.2017.
- 14 Olli, Jari. Kunnossapito. Kurssimateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

- 15 Koivuvirta, Jari. 2016. Turva-automaation suunnittelu, toteuttaminen ja ylläpito. Neste Jacobsin sisäinen dokumentti.
- 16 Savolainen, Jari. Turva-automaatio. Kurssimateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 17 Neste Jacobs Oy. Nesteen spesifikaatio K-140, Turva-automaatiojärjestelmän suunnittelu. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 18 IEC 61508 -standardi. 2010.
- 19 Neste Jacobs Oy. Nesteen spesifikaatio K-151, Turva-automaatiopiirien turvallisuuden eheystasot ja määräaikaikoeväli. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 20 Järviö, Jorma. 2007. Kunnossapito. Helsinki: KP-Media Oy.
- 21 Neste Jacobs Oy. Nesteen spesifikaatio K-105, General instrumentation specification of package units, Compressors. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 22 Soininen, Pekka. 2016. GB-10404 kunnonvalvontaräkin ja suojausten uusinta. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 23 Soininen, Pekka. 2017. Kunnossapitoinsinööri, Neste Oyj, Porvoo. Haastattelu 21.3.2017 ja 27.3.2017.
- 24 Sabin, Steve. 2001. Voting Thrust Measurements with Other Parameters. Orbit 1/2001, s.51–54. Verkkodokumentti. <<https://www.orbit-magazine.com/wp-content/uploads/2014/07/1q01sabin3.pdf>>. Luettu 24.2.2017.
- 25 PSK 5702 -standardi. 2007.
- 26 API 670 -standardi. 2014.
- 27 Soininen, Pekka. 2016. Hälytysrajat kunnonvalvonta- ja DCS-järjestelmissä. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 28 Hoerbiger. HydroCOM-esittelymateriaali. PDF-dokumentti. Luettu 31.3.2017.
- 29 Hoerbiger. 2014. REE Solutions Quotation. Nesteen sisäinen dokumentti.
- 30 Pyykkö, Tero. 2012. Simatic Net, Profinet. Siemens. Verkkodokumentti. <<http://www.siemens.fi/pool/cc/events/turvateknikka2012/profinet.pdf>>. Luettu 7.4.2017.