

Opinnäytetyö AMK

Konetekniikan koulutusohjelma

2021

Joni Hannuniemi

TEKNINEN SELVITYS LÄMPÖPUMPPUJEN KOMPRESSOREISTA

– Huolto- ja laatuvaatimukset

Joni Hannuniemi

TEKNINEN SELVITYS LÄMPÖPUMPPUJEN KOMPRESSOREISTA

- Huolto- ja laatuvaatimukset

Opinnäytetyö tehtiin Fortum Power & Heat Oy:n tilauksesta. Työn päätavoitteena oli saada mahdollisimman kattava kuva lämpöpumppujärjestelmiin sisältyvien kompressoreiden huoltotoiminnasta. Käsittelyssä oli kolme yleisintä lämpöpumppusovelluksiin sopivaa kompressorityyppiä, joista yleisin on radiaalinen turbokompressor. Tällä perusteella sille annettiin työssä myös suurin painoarvo.

Työssä tarkasteltiin kompressoreiden toimintaa, pääkomponentteja sekä niiden huoltovaatimuksia niin resurssien kuin menettelyjenkin suhteen. Sen aikana käsiteltiin lisäksi oleellisia kylmäalan lakipykälä lämpöpumppujen alasajoon ja huoltoon ottoon liittyen. Lain määrittelemät vaatimukset, koulutukset sekä pätevyudet tulee olla ajan tasalla jokaisella, joka on tekemisissä kylmäaineiden kanssa tai valvoo tällaista työtä.

Jokaisen kolmen kompressorityypin osalta käsiteltiin niiden yleisen täyshuollon yhteydessä tehtävät toimenpiteet sekä arvioituja läpivientiaikoja. Kompressoreiden pääkomponenttien osalta tutustuttiin komponenttien seurantaan, jonka avulla pystytään keräämään tietoa käytön aikana syntyneistä komponenttien kulumisista tai jopa rikkoutumisista. Tietojen avulla voidaan ennakoida ja suunnitella huollot entistä paremmin. Huollon aikana kompressoreiden ollessa avattuina tulisi jokainen komponentti huoltaa, puhdistaa ja tarkastaa perusteellisesti ja oikeiden menettelytapojen mukaisesti ennen laitteen uudelleenkasaamista.

Lähdeaineistona käytettiin pääasiallisesti konetekniikan kirjallisuutta, asiantuntijahaastattelua sekä lakitekstejä.

ASIASANAT:

Huolto, kompressor, kunnossapito

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering

Spring 2021 | 49 pages, 5 pages in appendices

Joni Hannuniemi

TECHNICAL REPORT OF COMPRESSORS IN A HEAT PUMP SYSTEM

- Maintenance and quality requirements

The thesis was commissioned by Fortum Power & Heat OY. The main objective of this thesis was to create a view as comprehensive as possible about service and maintenance performance of compressors, which belong to an industrial heat pump system. In this report the three most general compressor types which will fit in heat pump systems were studied. However, the most used compressor type is a centrifugal compressor and that is why it is the focus of attention in this thesis.

In this thesis the operational aspect of compressors, the main components and what requirements a service like this would include, both in terms of resources and procedures, were reviewed. Also, the environmental law about the refrigerants that must be taken into consideration when maintenance is performed on heat pumps was dealt with. There are requirements, trainings and qualifications which are mandatory when dealing with refrigerants. There are qualification standards for fitters and supervisors.

The three compressor types were introduced in terms of the general procedures for overhauls and lead times for overhauls with a certain number of fitters. Main components were studied and how to monitor these main components and their capability to give information about how the compressor works on drive. This kind of information helps to plan the next overhauls more precisely. When the compressor is dismantled, every component should be repaired, cleaned up and inspected in a proper way, with tools and chemicals which are intended to that work.

In this study technical literature about mechanical engineering, professional interview and legal texts was used as source material.

KEYWORDS:

Compressor, maintenance, service

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Tausta	8
1.2 Rakenne ja rajaus	9
2 YRITYSESITTELY	10
2.1 Fortum Power & Heat Oy	10
2.2 Fortum eNext	10
2.2.1 Smart operations	10
2.2.2 Environmental performance	11
2.2.3 Turbine & generator service	11
3 TURBOKOMPRESSORI	12
3.1 Radiaalikompressori	12
3.1.1 Toiminta	13
3.1.2 Rakenne ja pääkomponentit	14
3.2 Aksiaalikompressori	20
3.2.1 Toiminta	21
3.2.2 Rakenne ja pääkomponentit	21
4 RUUVIKOMPRESSORI	23
4.1 Toimintaperiaate	23
4.1.1 Öljyvapaa tekniikka	24
4.1.2 Öljyvoideltu tekniikka	25
4.2 Rakenne ja pääkomponentit	26
5 HUOLTO	29
5.1 Kylmäala ja sen säädökset	29
5.2 Kompressorin huolto	31
5.2.1 Radiaalikompressori	31
5.2.2 Aksiaalikompressori	33
5.2.3 Ruuvikompressorin huolto	35
5.3 Poikkeamien seuranta	36
5.4 Havaittujen vikojen vaikutus toimintaan	39

5.5 Pääkomponenttien yleiset huolto- ja korjaustyöt	42
5.6 Varaosat	44
6 YHTEENVETO JA POHDINTA	46
LÄHTEET	47

LIITTEET

Liite 1 Kylmäalan pätevyystaulukko

Liite 2 MAN Axial compressor operating manual

KUVAT

Kuva 1. Friothers-lämpöpumppujärjestelmän radiaalikompressorin (Friothers).....	13
Kuva 2. Poikkileikkaus monivöhykkeisestä radiaalikompressorista (Perez 2019).	14
Kuva 3. Staattorivöhykkeen puolikas. (Brun & Kurz 2018).	15
Kuva 4. DGS:n pyörivä liukurengas (stahley 2001).	17
Kuva 5. Leikkauskuva tandem kaasutiiviste. (Stahley 2001).	18
Kuva 6. Aksiaalilaakeri (Brun & Kurz 2018).....	19
Kuva 7. Radiaalilaakeri (Brun & Kurz 2018).....	19
Kuva 8. Siemens energyn valmistama aksiaalikompressorin (Siemens).	20
Kuva 9. Poikkileikkaus aksiaalikompressorin vöhykkeistä (Sun 1998).....	22
Kuva 10. Howden:in valmistama ruuvikompressorin (Howden).	23
Kuva 11. Ruuvikompressorin roottorit päästä kuvattuna (Forsthoffer 2017).	24
Kuva 12. Poikkileikkaus öljyvapaasta ruuvikompressorista (Turbomachinery 2020). ..	25
Kuva 13. Kaksi vaiheinen ruuvikompressorin (Brun & Kurz 2019).....	27
Kuva 14. Säätoventtiili ruuvikompressorissa (Bernouilli 2014).	28
Kuva 15. radiaalikompressorin poikkileikkauskuva. (Friothers n.d.).	31
Kuva 16. Poikkileikkauskuva aksiaalikompressorista (Forsthoffer 2011).	33
Kuva 17. Tandem-mallinen liukurengastiiviste, jossa välitilan labyrinttiiviste (Forsthoffer 2018).	39
Kuva 18. Havainnekuva staattisen epätasapainon luomasta liikkeestä (Rangwala 2009).	40
Kuva 19. Havainnekuva dynaamisen epätasapainon luomasta liikkeestä (Rangwala 2009).	40

TAULUKOT

Taulukko 1 Radiaalilaakerin raja-arvoja, sekä niiden raja-arvoja (Forsthoffer 2018)....	37
Taulukko 2 Aksiaalilaakerin seuranta-arvoja, sekä niiden raja-arvoja (Forsthoffer 2018).	38
Taulukko 3 DGS:n seuranta-arvoja, sekä niiden raja-arvoja (Forsthoffer 2018).	39

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys
μm	Mikrometri
CHP	Combined heat and power – Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto
DGS	Dry Gas Seal – Liukurengastiiviste
IGV	Inlet Guide Vanes – Imukanavan siivistö
OEM	Original equipment manufacturer – Alkuperäinen valmistaja
Voluutti	Spiraalimaisesti kiertyvä muoto

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

Opinnäytetyö sisältää selvityksen lämpöpumppujärjestelmiin liittyvien kompressoreiden huoltotoiminnasta. Työn tarkoitus on selvittää mahdollisimman kattavasti huoltoihin liittyviä teknisiä menettelytapoja sekä vaatimuksia resurssien ja lämpöpumppuihin liittyvien pätevyysvaatimuksien suhteen, kuten vaatimukset sen kanssa työskenteleville ja työtä valvoville tahoille.

Tällä hetkellä huomion keskipisteenä energian tuotantoalalla on uusiutuvien energialähteiden käyttö ja niiden kehitys. Ala kehittyy koko ajan ja uusia teknologioita pyritään yhdistelemään vanhaan. Uusien teknologioiden avulla tuotantolaitosten tavoitteena on leikata niiden päästöjä. Lämpöpumput ovat tästä hyvä esimerkki, koska niiden avulla on pystytty hyödyntämään erilaisten laitosten kuten elintarvikelaitosten ja voimalaitosten prosessien tuottamaa hukkalämpöä. Hukkalämpöjen hyödyntäminen ei ole kuitenkaan uusi asia, vaan sitä on pystytty hyödyntämään jo vuosikymmeniä. Tällä hetkellä sen tuomat edut ja hyödyt on todettu laajemmin ja uusia lämpöpumppujärjestelmiä on rakennettu ja rakennetaan monen megawatin edestä Suomeen. Teollisuuden hukkalämpöä hyödynnetään erityisesti kaukolämmön tarjonnassa.

Lähtökohta toimeksiantajan ja työn tekijän puolesta on se, että tietoa kompressoreista ja niiden huoltotoiminnasta on hyvin rajallisesti, mikä ei palvele tilannetta, jossa on pyrkimys tulevaisuudessa pystyä tarjoamaan korjaus- ja huoltopalveluja lämpöpumppujen omistajille. Selkeimpänä tavoitteena työssä onkin ymmärtää kompressorin toimintaa ja pääkomponenttien huoltovaatimuksia ja rakenteita. Samalla on tutustuttu kompressorin valmistajan määrittämään täyshuoltoon. Tähän on käytetty lähteinä teknillistä kirjallisuutta liittyen konetekniikkaan ja haastateltu ammattilaista, joka on ollut tämän kaltaisissa huoltotoimissa mukana. Työ on teoreettinen selvitys aiheesta.

1.2 Rakenne ja rajaus

Työn ensimmäisessä luvussa on esittely yrityksestä, mihin työ tehdään. Tilaajana toimii Fortum Power & Heat Oy:n yksikkö TGS eli Turbine & Generator Service. Esittelyssä käydään läpi lyhyesti yrityksen toimintaa ja sen eri toimialojen tuottamia palveluja.

Toisessa luvussa tutustutaan ennalta sovittuihin kahteen eri kompressorityyppiin, joita ovat aksiaali- ja radiaalikompressorit, ja kolmannessa luvussa tutustutaan myös ennalta sovittuun kompressorin, joka on ruuvikompressorit. Luvuissa tutkitaan jokaisen kompressorin toimintaperiaatteita, ja samalla selvitetään kompressoreiden rakenne ja pääkomponentit. Komponenttien rakenne ja toiminta on tärkeää sisäistää, jotta olisi valmiudet ymmärtävät niiden huoltoon ja korjauksiin liittyvät tarpeet ja jopa haasteet. Kun ymmärtää komponentteihin liittyvät tarpeet pystyy näkemään eri komponenttien mahdolliset kohdat, jotka joutuvat koviin kompressorin käynnin aikana, ja erityistä tarkkuutta vaativat kohteet, mikäli kompressorin halutaan toimivan parhaalla mahdollisella tavalla.

2 YRITYSESITTELY

2.1 Fortum Power & Heat Oy

Fortum Power & Heat Oy on Fortumin tytäryhtiö, jonka pääasiallinen tarkoitus on sähkön ja lämmön tuotanto. Erilaisia tuotantolaitoksia on yli 150 eri puolilla maailmaa, kuten vesivoima-, CHP-, lauhdevoima- ja ydinvoimalaitoksia, näiden lisäksi on myös tuulivoimapuistoja ja aurinkovoimalaitoksia, näiden ansiosta Fortum Power & Heat Oy onkin Pohjoismaiden kolmanneksi suurin energian tuottaja ja yksi maailman suurimpia lämmön tuottajia. (Fortum 2021.)

2.2 Fortum eNext

Fortum eNext on osasto Fortum Power & Heat Oy:n sisällä, jolla on vuosikymmenten kokemus lämpövoimalaitoksista. Tänä päivänä pystytään toimittamaan ammattitaitoista ja perusteellista palvelua voimalaitoksille ympäri maailman hyödyntäen uusinta digitaalista teknologiaa. (Salovaara 2021.)

Palveluihin kuuluu pitkälle erikoistunutta asiantuntijapalvelua koko laitoksen elinkaaren ajalle, kuten laitoksen modernisointia, hyötysuhteen nostoa, päästöjen vähentämistä, turbiini ja generaattori korjauksia ja huoltoja. Lisäksi voidaan tarjota kokonaisvaltaista käyttö- ja kunnossapitopalvelua, sekä ratkaisuja energiajärjestelmien optimointiin. (Salovaara 2021.)

2.2.1 Smart operations

Smart operations tarjoaa kattavia ja täysimittaisia käyttö- ja kunnossapitoratkaisuja voimalaitosten omistajille ja sijoittajille kansainvälisille markkinoille. Smart operations pystyy tarjoamaan mitattavan arvon kasvua voimalaitoksen omistajalle, samalla kun huolehtii laitoksen kokonaisvaltaisesta käytöstä ja kunnossapidosta. Smart operations hyödyntää

viimeisimpiä digitaalisia ratkaisuja ja laajaa sisäistä verkostoa ja sen kokemusta käyttö- ja kunnossapitoratkaisuista, jotka on räätälöity jokaisen asiakkaan tarpeen mukaisesti. (Salovaara 2021.)

2.2.2 Environmental performance

Environmental performancen tarkoituksena on auttaa energiantuottajia saamaan laitokset vastaamaan tämän päivän, koko ajan tiukkenevia, energia-alan lakeja ja säädöksiä kasvattamalla laitoksen hyötysuhdetta ja kestävyyttä. Ympäristötehokkaat ratkaisut tukevat asiakkaiden lämpölaitosten suorituskykyä ja saatavuutta. (Salovaara 2021.)

2.2.3 Turbine & generator service

Turbine & generator service vastaa kunnossapidon suunnittelusta ja riskitasojen optimoinnista aina kokonaisten huoltojen toteutukseen, modernisointeihin ja korjauksiin. Kokonaisvaltainen palvelu höyry- ja kaasuturbiineille, generaattoreille ja automaatio- ja suojausjärjestelmille, turbiinista valtakunnalliseen sähköverkkoon asti. Tämän perustana on vahva, paikallinen organisaatio Suomessa ja Ruotsissa, joissa molemmissa ammattitaitoinen verstaas. (Salovaara 2021.)

3 TURBOKOMPRESSORI

Termiset turbokompressorit ovat turbokoneita, jotka paineistavat kaasun dynaamisten periaatteiden avulla. Näin tehdessään kaasu etenee jatkuvasti pyörivän roottorin mukaisesti. Mekaanisen akselin tuottama energia ohjataan roottorin siipien avulla kaasuun, joka nostaa painetta ja lämpötilaa, ylimääräinen kineettinen energia johdetaan diffuusoriin, jossa se muuttuu paineeksi ja voidaan ohjata esimerkiksi kompressorin seuraavaan vyöhykkeeseen paluukanavien kautta. Turbokompressoreita on kolmea tyyppiä, jotka määritellään niiden muodon ja virtauksen suunnan mukaan, aksiaali- ja radiaalikompressorit, sekä kolmas, joka käytännössä on sekoitus kumpaakin edellistä, eli ”mixed flow” kompressorit. Tässä luvussa käsitellään näistä kahta, eli radiaali- ja aksiaalikompressoreita. (Celeroton.)

3.1 Radiaalikompressorit

Radiaalikompressorit (kuva 1) saavuttaa suuren painesuhteen jo yhden vyöhykkeen aikana, toisin kuin sen aksiaalinen vastine. Suuria tehonkorotuskompressoreita käytetään tavallisesti maakaasun siirtoon mannerten läpi ja myös maakaasun offshore-tuotantolaitoksissa. Monivyöhykkeinen radiaalikompressorit, jota kutsutaan myös tynnyrikompressiksi, on sovellus, jota käytetään silloin, kun tarvitaan erittäin korkeita painetasoja. Tämän kaltaiset kompressorit ovatkin usein osana järjestelmää, joka tarjoaa joko jäähdytystä ilmastointijärjestelmiin tai kaukolämmön tuotannossa. (Korpela 2011.)

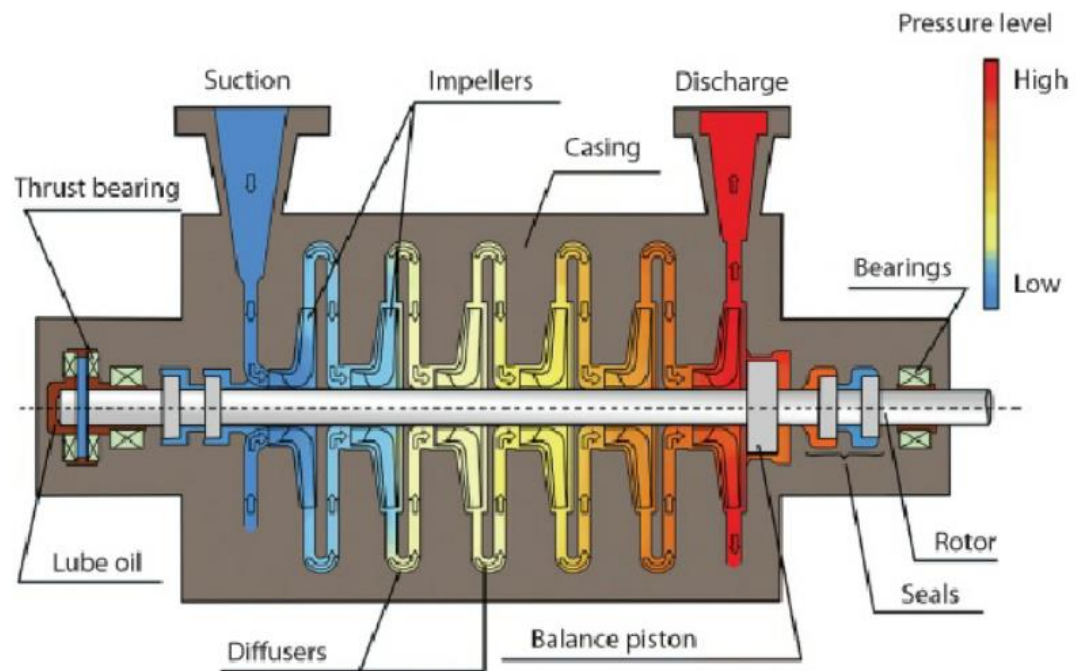


Kuva 1. Frio-therm-lämpöpumppujärjestelmän radiaalikompressorin (Frio-therm).

3.1.1 Toiminta

Tyypillisesti tarpeeksi korkean painesuhteen saavuttamiseksi radiaalikompressorin roottorissa on monta siipivyöhykettä ja niille vastinepari, eli staattori. Roottori- ja staattorisii- vistö yhdessä nostavat painetasoa kaasun kulkeutuessa läpi kompressorin imukana- vasta painekanavaan. Kompressorin pesän pitäessä paineen koneen sisällä oikeaoppi- sella tiivistyksellä ja tukemalla staattorivyöhykkeitä, samaan aikaan roottoria pyöritetään ulkoisen koneen avulla, kuten esimerkiksi sähkömoottorilla tai kaasuturbiinilla, tuoden työtä prosessiin, mikä kompressorin siipivyöhykkeissä muuttuu paineen nousuksi, jokai- sen vyöhykkeen kohdalla tietyssä suhteessa. Prosessin tärkeimmät komponentit ovat roottori, laakerit, akselitiiviste, diffuusorit jokaisen vyöhykkeen välissä ja ulkoinen pesä. (Perez 2019.)

3.1.2 Rakenne ja pääkomponentit



Kuva 2. Poikkileikkaus monivöhykkeisestä radiaalikompressorista (Perez 2019).

Siipivöhyke

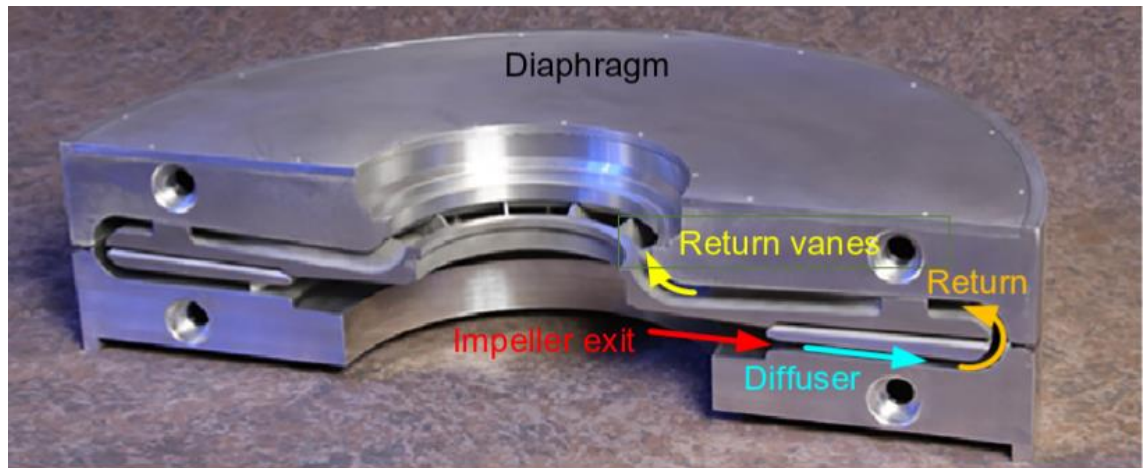
Siipivöhyke on kompressorin tärkeimpiä komponentteja, se suunnitellaan tapauskohtaisesti vastaamaan vaadittuihin suorituskyky odotuksiin. Siivistö valikoituu sen aerodynaamisten ominaisuuksien ja materiaalin mekaanisten ominaisuuksien perusteella. Siipivöhykkeet ovat joko osittain avonaisia tai suljettuja. (Brun & Kurz 2018.)

Kuvassa 2 siipivöhykkeitä on yhteensä 6 kappaletta, ja ne sijoittuvat kompressorin akselille. Kuvan 2 englanninkielinen termi "Impellers" vastaa siipivöhykettä.

Diffusori ja paluukanava

Diffusori ja paluukanava sijaitsevat roottorissa olevan siipivöhykkeen vastakappaleessa, eli staattorissa. Staattorivöhyke on horisontaalisesti jaettu kappale. Kuvassa 3 staattorivöhyke on siten, että kaasun virtaussuunta on alhaalta ylöspäin. Roottorin sii-

vistön aiheuttama virtaus suuntautuu radiaalisuunnassa, poispäin roottorista. Staattori-vyöhykkeen malli on suunniteltu niin, että kaasuvirtaus ohjautuu roottorin siipivyöhykkeestä suoraan diffuusoriin. (Kuva 3.)



Kuva 3. Staattorivyöhykkeen puolikas. (Brun & Kurz 2018).

Diffuusori on usein 10—20 % pienempi tilavuudeltaan, kuin siipivyöhykkeen ulostulokanava. Kuristuksen avulla virtauksen nopeutta kiihdytetään sen kulkeutuessa diffuusoriin, jonka ansiosta virtauksen laatu on tasaisempaa, myös matalilla virtausnopeuksilla. Diffuusorista virtaus johdetaan paluu kanavaan ja sitä kautta paluusiivistön kautta seuraavaan vyöhykkeeseen. (Kuva 2.)

Tulokanava

On usein kompressorin pesässä oleva laippa, johon kaasu tuodaan putkea pitkin. Tulokanava vastaanottaa virtauksen ja pyrkii jakamaan sen tasaisesti koko kehälle ja aksiaalisuuntaisesti. Kaasun suuntausta voidaan parantaa siipien avulla. (Brun & Kurz 2018.)

Purkukanava

On kompressin prosessin lopussa oleva tila, josta kaasu ohjautuu painelinjaan, joka yhdistyy laipalla kompressorin pesään. Kanavia on vakio-tilavuuksisia ja voluutteja, joka tarkoittaa spiraalimaisesti kiertyvää muotoa. (Brun & Kurz 2018.)

Tiivisteet

Tiivisteiden tarkoitus kompressorissa on ylläpitää paine-eroa kahden tilan välillä. Tiivisteitä voi olla kahden staattisen rungon välillä tai ne voivat tiivistää roottorin ja staattisen komponentin välillä. (Brun & Kurz 2018.)

Tasapainotusmäntä

Tasapainotusmännän tehtävä on tasapainottaa roottorin siipien aiheuttamia aksiaalivoimia, jotka syntyvät kompressorin käydessä. Kompressoreissa, joissa on vain yksi vaihe, komponentista käytetään nimitystä tasapainotusmäntä, ja kompressoreissa, joissa on enemmän kuin yksi vaihe, käytetään nimitystä "Division wall seal", koska se toimii tiivisteinä kahden eri vaiheen välillä. Kuvassa 3 havainnollistettu kaksivaiheinen kone. (Brun & Kurz 2018.)

Tällaiset tiivisteet ovat usein labyrinttiivisteitä, mikä mahdollistaa matalat vuotomäärät välysten ollessa pienet, koska labyrinteissa käytetty materiaali on usein pehmeää, kuten alumiini. Näin ollen mahdollisuus, että tiiviste vahingoittaisi roottoria, on hyvin pieni. (Brun & Kurz, 2018.)

Eye/Interstage -tiivisteet

Radiaalikompressoreissa yleisesti käytetään siipivyöhykkeen tuloreiän ja vyöhykkeiden välistä tiivistystä, jotka ovat melkein aina labyrinttimallia. Niin kuin tasapainotusmännässä, tässäkin syynä on materiaalin antama mahdollisuus koneistaa tiivisteet erittäin pienillä välyksillä, minkä ansiosta vuodot ovat minimaaliset. (Brun & Kurz 2018.)

Liukurengastiiviste / DGS - Dry Gas Seal

Kaikissa kompressoreissa, joissa on pyörivä akseli, tarvitaan akselitiiviste. Akselitiivisteiden tarkoituksena on tiivistää kohta, josta akseli lävistää kompressorin pesän ja pitää prosessin paineen ja sitä kautta prosessissa kiertävän kaasun kompressorissa. Tiivisteinä käytetään hyvin yleisesti mekaanista ja öljyvoideltua liukurengastiivistettä (Dry gas seals (DGSs)). (Brun & Kurz 2018.)

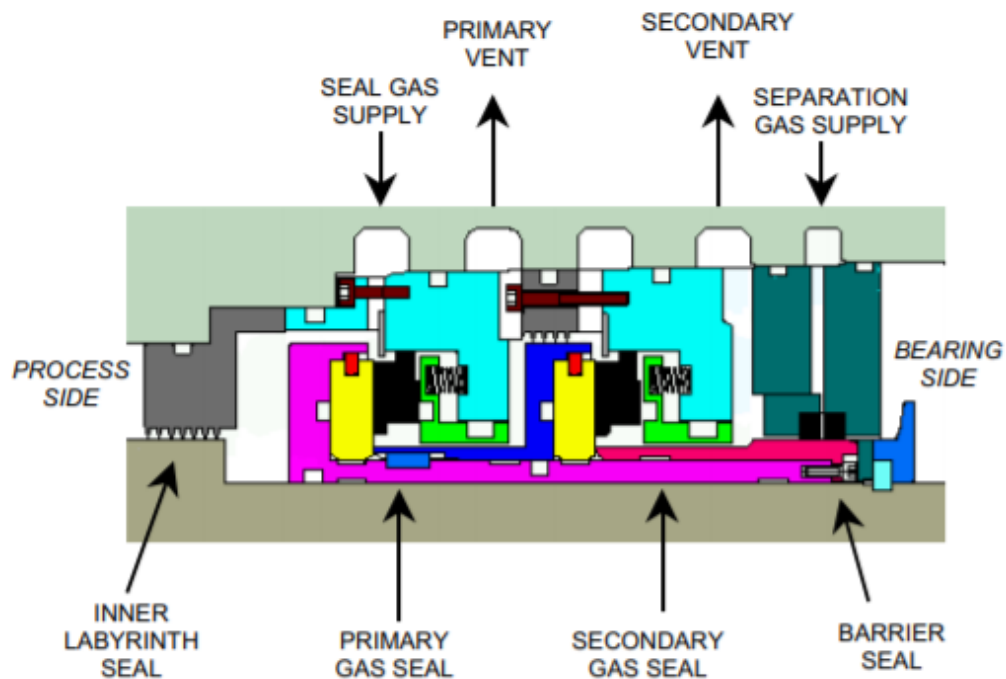
Kompressoreissa käytetyin malli on tandemmallin tiiviste (kuva 4). Se koostuu ensisijaisesta tiivisteestä ja toissijaisesta tiivisteestä. Ensisijainen tiiviste toimii liukurengastiivis-

teen pääasiallisena tiivistysmekanismina. Toissijaisen tiivisteen tarkoitus on toimia varalla tapauksissa, joissa ensisijainen tiivistys pettää. Näissä tapauksissa toissijainen tiivistys antaa mahdollisuuden kompressorin turvalliseen alasajoon ilman, että kylmäainetta vuotaa hallitsemattomasti. Normaalin käytön aikana ensisijainen tiiviste ohjaa kaasun kulkemaan ensisijaisen ilmausjärjestelmän kautta. Liukurengastiivisteen tärkeimmät komponentit ovat staattinen ja pyörivä liukurengaspari (kuva 4). (Stahley 2001.)



Kuva 4. DGS:n pyörivä liukurengas (stahley 2001).

Käynnin aikana pyörivään tiivisterenkaaseen tehdyt muodot (kuva 4) aiheuttavat imua renkaiden väliin, mikä luo hydrodynaamista painetta kohti staattista rengasta sen verran, että se ylittää staattisen renkaan jousikuorman. Tämä aiheuttaa staattisen renkaan irtoamisen pyörivästä renkaasta ja luo pienen raon renkaiden väliin. Tiivistävä kaasu syötetään kanavaa pitkin tiivisteeseen, mikä luo renkaiden väliseen rakoon ohuen paineellisen tilan. Liukurenkaiden välissä vallitseva paine käytön aikana on suunniteltu suuremmaksi, kuin prosessissa vallitseva kaasun paine. Tiivistekaasun tarkoituksena on myös jäähdyttää ja ohjata epäpuhtaudet pois rengasparilta. DGS:n sisäpuolella on labyrinttitiiviste, jonka tarkoitus on pitää prosessikaasu ja tiivistekaasu erillään ja laakerien puolella on sulkutiiviste joka eristää kompressorin laakerit tiivistekaasulta ja myös laakerien voiteluöljyn pääsyn DGS:n sisälle (Kuva 5.)



Kuva 5. Leikkauskuva tandem kaasutiiviste. (Stahley 2001).

Akseli

Pyörivään akseliin on usein asennettu tai koneistettu siipipyörät, painekiekkok aksiaalilaakerille, laakeripinnat radiaalilaakereille, urat tiivistenauhoille ja kytkinlaippa tai -hammastus. Akseli on valmistettu tarkkoihin mittoihin siirtämään kytkimeen ohjatun vääntömomentin siipipyöriin. Akselin suunnittelussa tulee huomioida vääntömomentin aiheuttamat voimat ja sivuttaisliikkeet, sekä materiaalivalinnat. Akselit koneistetaan usein yhdestä kappaleesta. (Brun & Kurz 2018.)

Laakerit

Laakereilla on tärkeä tehtävä pitää akselin/roottorin asema halutulla alueella. Yhdessä koneessa on kaksi radiaalilaakeria ja yksi aksiaalilaakeri, josta voidaan käyttää myös nimitystä painelaakeri. Radiaalilaakerien tehtävä on ottaa vastaan gravitaationaalista kuormaa akselilta, sekä roottorin pyörimisestä aiheutuvia dynaamisia voimia, jotka johtuvat yleensä akselin epätasapainosta tai epätarkasta linjauksesta. Aksiaalilaakerin tehtävä on asemoida akseli aksiaalisuunnassa oikein ja kantamaan aksiaaliset kuormat, jotka syntyvät kompressorissa. Aksiaalisia kuormia aiheuttavat esimerkiksi paineen nousu prosessin aikana. (Brun & Kurz 2018.)

Aksiaali- ja radiaalilaakerit ovat öljyvoideltuja, voiteluöljy ruiskutetaan laakeripinnoille voiteluöljyjärjestelmässä olevan pumpun tuottaman paineen avulla. Voiteluöljy muodostaa ohuen pinnan roottorin ja laakeripintojen väliin, tämä vaikuttaa laakerien käyttöikään positiivisesti, koska öljykerros vähentää kitkaa roottorin ja laakeripintojen välillä. Tämän tyyppiset laakerit ovat hyvin pitkäikäisiä ja niiden huoltovälit ovat varsin pitkiä, jopa 5 vuotta. (Brun & Kurz 2018.)



Kuva 6. Aksiaalilaakeri (Brun & Kurz 2018).



Kuva 7. Radiaalilaakeri (Brun & Kurz 2018).

3.2 Aksiaalikompressor

Kuvan 8. Kaltaisissa aksiaalikompressoreissa ilmavirtaus liikkuu nimensä mukaisesti aksiaalisuunnassa kompressorissa. Kompressorissa hyödynnetään paineen tuottoon roottorissa ja staattorissa olevaa siivistöä. Roottorin siivistön pyöriessä, se siirtää energiaa siivistä kaasuun ja aiheuttaa kaasun liikkeen. Kaasu liikkuu kompressissa siten, että se osuu tietyssä kulmassa staattorin siivistöön mikä muuttaa synnytetyn liikkeen paineen nousuksi. (Boyce 2012.)

Aksiaalikompressorit ovat osa isompaa kokonaisuutta, koska ne tarvitsevat ulkoisen voiman lähteen. Ne voidaan kytkeä kytkimen avulla esimerkiksi kaasu- tai höyryturbiinin roottoriin kiinni. On mahdollista myös kytkeä erilaisiin moottorisovelluksiin. Näiden avulla saadaan pyörimisliike aikaiseksi kompressorin roottorille. (Boyce 2012.)

Aksiaalikompressorin vaatii kaksi kertaa enemmän vyöhykkeitä, kuin radiaalikompressorin saman painesuhteen tuottamiseen. Tämän ominaisuuden myötä, aksiaalikompressorit rakennetaan monivyöhykkeisiksi kompressoreiksi. (Brown 2005.)



Kuva 8. Siemens energyn valmistama aksiaalikompressor (Siemens).

3.2.1 Toiminta

Kaasuvirtaus kulkee kompressorin imukanavan kautta, läpi ohjaussiivistön. Ohjaussiivistön tarkoitus on suunnata virtaus tasaisesti koko kehän alueelle roottorilla, mistä se kulkeutuu ensimmäisen staattorivyöhykkeen läpi. Ensimmäisen vyöhykkeen läpi tultua, kaasuvirtaus kohtaa seuraavassa vyöhykkeessä roottorin. Roottori siirtää virtauksen toisen staattorivyöhykkeen läpi. Kaasuvirtaus jatkuu aksiaalisuuntaisesti niin pitkään kuin kompressorissa on vyöhykkeitä. Viimeinen vyöhyke käsittää usein yhden tai kaksi staattoria, mitkä tasapainottavat virtausta ja poistavat turbulenssia. Viimeisestä staattorivyöhykkeestä virtaus kulkee tasaisena diffuusoriin tai suoraan painekanavaan, painehäviöiden ollessa minimoituja. (Brown 2005.)

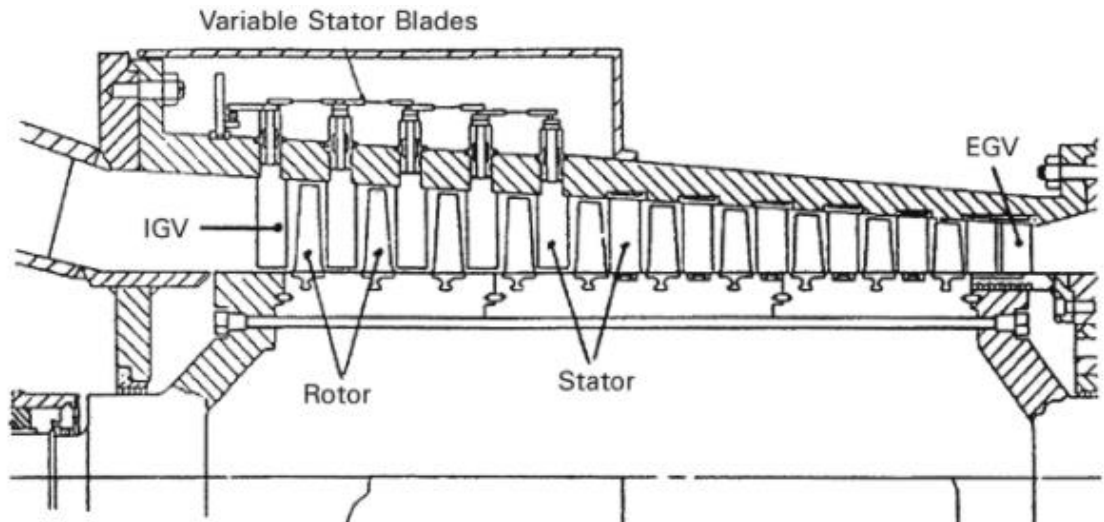
3.2.2 Rakenne ja pääkomponentit

Inlet guide vanes – IGV

Ilman tultaessa kompressorin imukanavaan osuu se ensimmäisen ilman säätösiivistön, jonka tarkoituksena on aksiaalikompressorissa ohjata ilma roottorin siiville halutussa tulokulmassa. Säätösiivistö on kierresäätävä ja niitä voidaan säätää kompressorin muuttuvien virtausvaatimusten mukaisesti. (Boyce 2012.)

Roottori ja staattori

Aksiaalikompressorin kaksi keskeisintä komponenttia ovat roottori ja staattori. Roottori on kytketty kytkimen avulla ulkoiseen laitteeseen, joka tuottaa työtä kompressorille. Roottorissa on siivistö, joka on asennettu akselille koko kehän matkalle tasaisesti. Nämä siivet työntävät kaasua kompressorin takaosaa kohti samalla tavalla, kuin potkuri työntää vettä. Roottori pyörii korkealla kierrosnopeudella ja työntää ilmaa sarjassa olevien vyöhykkeiden läpi ja tuottaa korkeanopeuksisen ilman virtauksen. Staattorin siivet muuttavat roottorin aiheuttaman kineettisen energian paineeksi. Staattorin siipien toinen tehtävä on ohjata virtauksen suuntaa siten, että sen tulokulma on optimaalinen, kun se osuu seuraavaan vyöhykkeeseen ja sen roottorin siipiin. Yksi vyöhyke käsittää roottori- ja staattorisiivistön ja niitä voi aksiaalikompressorissa olla jopa kymmeniä (kuva 10). Jokaisen vyöhykkeen nostaessa painetasoa kompressorissa, niiden määrä määräytyy laitoksen tarpeen mukaan. (Escobar 2003.)



Kuva 9. Poikkileikkaus aksiaalikompressorin vyöhykkeistä (Sun 1998).

Laakerit

Aksiaalikompressoreissa käytetään yleisesti saman kaltaisia laakereita kuin radiaalikompressoreissa, eli öljy voideltuja liukulaakereita. Laakerit ovat käsitelty edellisessä luvussa 3.1.2, radiaalikompressorin yhteydessä.

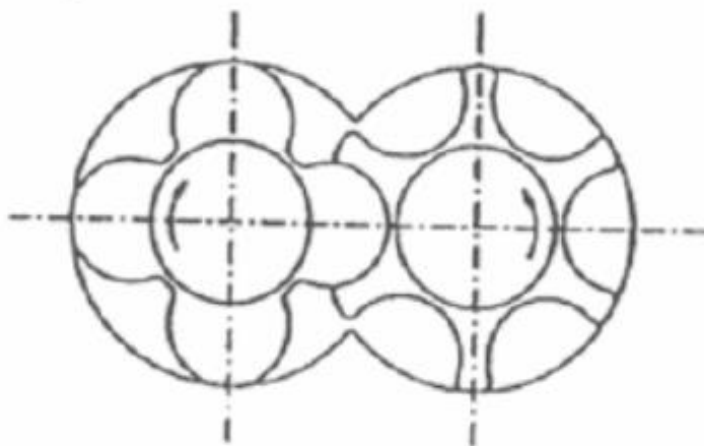
4 RUUVIKOMPRESSORI

4.1 Toimintaperiaate

Ruuvikompressori (kuva 10) on mekaaninen laite jossa kaksi roottoria pyörii limittäin, vastakkaisiin suuntiin imien kaasua niiden väliin muodostuvaan tilaan (Kuva 11). Roottoreiden pyöriessä niiden välinen tilavuus pienentyy lineaarisesti, mikä nostaa kaasun painetta sen edetessä kohti kompressorin päätyä ja sitä kautta painelinjaan. Tämä kompressorityyppi on hyvin yleinen teollisuuskäytössä, jossa kaasun suuret tilavuusvirrat ja kaasun tasainen syöttö on tärkeää. (Atlas copco.)



Kuva 10. Howden:in valmistama ruuvikompressori (Howden).

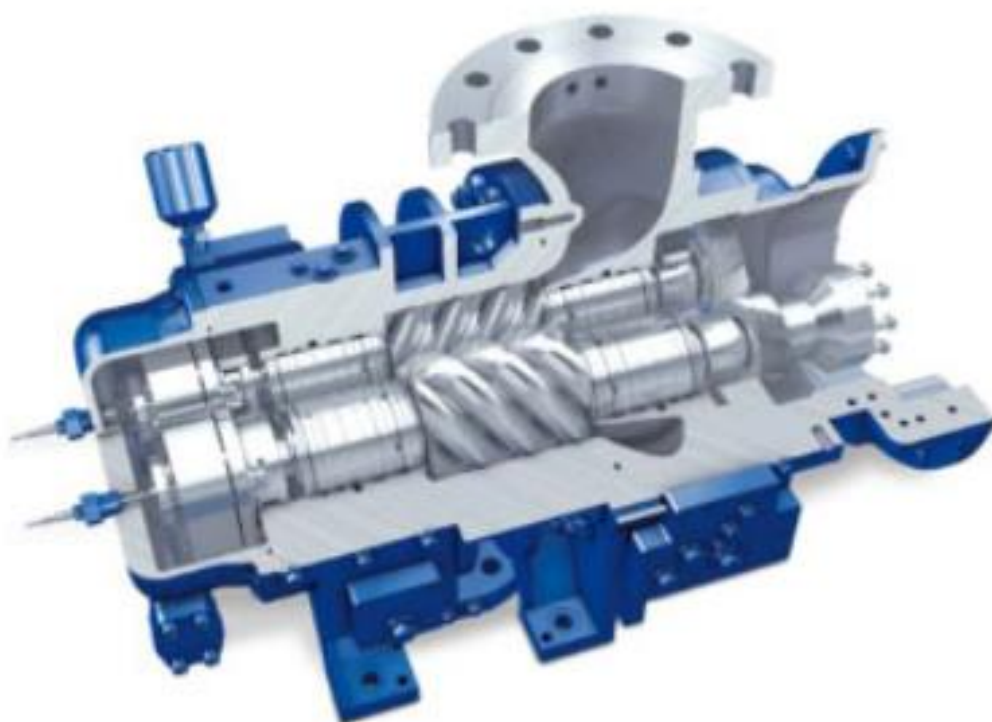


Kuva 11. Ruuvikompressorin roottorit päästä kuvattuna (Forsthoffer 2017).

Roottoreita ajetaan eri tavoin sen mukaan, onko kompressorin öljyvoideltu vai öljyvapaa. Öljyvoidellussa kompressorin ulkoinen käyttömootori on kytketty pääroottoriin. Pääroottorin pyörimisliike välittyy toiseen roottoriin sen ruuvimaisen muodon välityksellä. Öljyvapaassa kompressorissa pääroottorin pyörimisliike välitetään roottoreiden päässä olevien ajoitusrattaiden välityksellä. (Atlas copco.)

4.1.1 Öljyvapaa tekniikka

Ulkoiset ajoitusrattaat ajoittavat roottoreiden toimintaa. Tarkan ajoituksen takia roottoreiden välillä ei ole kosketusta ja näin ollen niiden toiminnasta ei aiheudu kitkaa, joka nostaisi esimerkiksi lämpötilaa tai kuluttaisi materiaalia roottoreista. Voiteluöljy on tarpeeton puristuskammiossa, minkä seurauksena koneen tuottama paineilma on öljytöntä. Koneen mitoitus vaatii kuitenkin erityistä tarkkuutta sisäisten painevuotojen ja paineen pudotusten minimoimiseksi. Kompressorissa olevat ajoitusrattaat on kuitenkin öljyvoideltu, eli öljyttömyys kattaa vain kompressorin puristuskammion. (Atlas copco 2020.)



Kuva 12. Poikkileikkaus öljyvapaasta ruuvikompressorista (Turbomachinery 2020).

4.1.2 Öljyvoideltu tekniikka

Öljyvoidellussa ruuvikompressorissa öljy ruiskutetaan suoraan puristuskammioon, jotta se jäähdyttäisi ja voitelisi kompressorin komponentteja. Tämän lisäksi se jäähdyttää kokoonpuristuvaa ilmaa ja tiivistää roottoreiden välyksiä, jotta puristettu ilma ei pääse pakenemaan takaisin tulosuuntaan. Öljy on käytetyin neste sen jäähdytys- ja tiivistämisominaisuuksien takia, mutta on myös mahdollista käyttää esimerkiksi vettä. Öljy separoidaan, puhdistetaan ja jäähdytetään ennen kuin se kiertää takaisin prosessiin. (Atlas copco, 2020.)

4.2 Rakenne ja pääkomponentit

Kompressorin pesä

Kompressorin pesät, niin öljyvapaissa kuin öljyvoidelluissa malleissa pesän valmistus tapahtuu valamalla. Valumateriaalina käytetään yleisesti harmaata valurautaa. Öljyttömissä malleissa pesässä on jäähdytystä varten tehty kanavisto, jossa kulkee jäähdytysvesi tai muu vaihtoehtoinen jäähdytykseen soveltuva neste. Jäähdytyksessä käytetyn nesteen toinen tärkeä tehtävä on vakauttaa kompressorin pesään kohdistuvia lämpötilamuutoksia. Lämpötilamuutosten hallinnalla pystytään minimoimaan pesässä tapahtuvat muodon muutokset. Useimmat pesät ovat vertikaalisesti ja toisesta päädyistä avattavia, minkä ansiosta roottorit ovat helposti poistettavissa huoltoa varten. Suuremmissa, öljyttömissä koneissa jakotaso on horisontaalisesti jakautuva, mikä antaa mahdollisuuden käyttää nostovälineitä roottoreiden nostoon. (Brown 2005.)

Roottorit

Roottorit ovat kompressorin työtä tekevät komponentit, jotka ovat molemmat koneistettu tekemään kierteen muotoista liikettä ja muotoa, tilavuuden pienentyessä tasaisesti. Öljyvapaissa malleissa voidaan käyttää onttoja roottoreita ja niiden sisälle voidaan valmistaa ylimääräinen jäähdytyspiiri. (Brown 2005.)

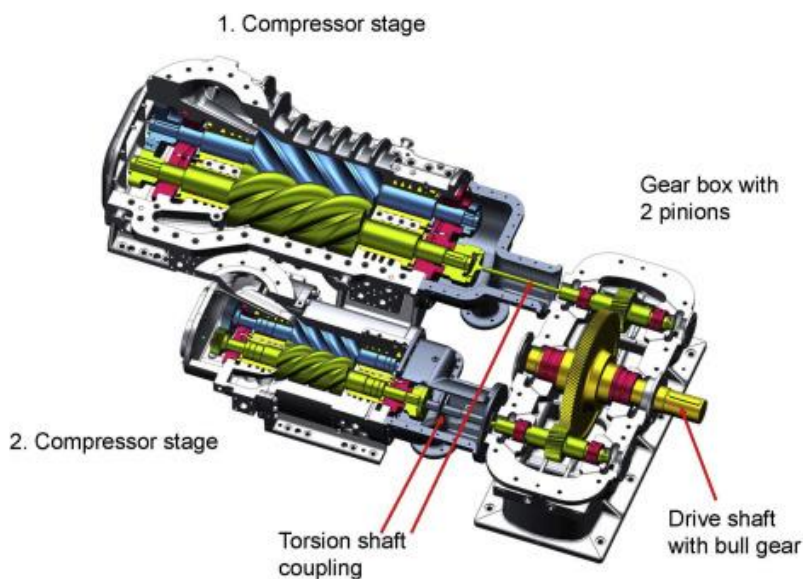
Laakerit

Yleisimmin käytössä olevat laakerit öljyvapaissa kompressoreissa ovat liukulaakereita. Laakereiden liukupinnat, mitkä ovat kompressorin roottoria vasten voidaan tehdä kiinteiksi pinnoittamalla laakerin runko valkometallilla tai valmistaa laakerirunkoon kiinnitettävät valkometalli palat. API 619 standardin mukaan laakereiden sijoitus on toteutettava siten, että ne ovat mahdollista irrottaa ilman, että roottoreita puretaan. Kompressoreissa missä on horisontaalinen jakotaso laakereiden sijoitus on tehtävä niin, että kompressorin pesää ei tarvitse avata. Aksiaalilaakerit ovat yleisesti liukulaakereita jotka ovat toteutettu irrotettavien palojen kanssa. Käytön aikana roottoriin kohdistuu aksiaalisuuntaisia voimia ja roottori liikkuu aksiaalisuunnassa, irralliset laakeripalat soveltuvat muuttuvaan roottorin asemaan paremmin kuin kiinteä laakerimalli. Kaikki laakerit ovat aina öljyvoideltuja. (Brown 2005.)

Tiivisteet Yleisimpiä ruuvikompressorin akselitiivisteitä ovat labyrinttitiiviste, tiivisterengas, mekaaninen tiiviste, öljyllä toimiva liukurengastiiviste ja DGS eli kaasulla toimiva liukurengastiiviste (Brown 2005).

Ajoitusrattaat

Öljyvapaissa ruuvikompressoreissa tarvitaan roottoreiden ajoitusratastusta. Roottoreiden voitelun puuttumisen ansiosta oikea-aikainen liike on tärkeässä roolissa kompressorin kestävyys ja kulumisen kannalta. Ajoitusrattaat sijaitsevat roottoreiden vastakkaisessa päässä kuin kompressoria ajava ulkoinen moottori. Nimensä mukaisesti näiden rattaiden tehtävä on ajoittaa roottoreiden pyörimistä oikea-aikaiseksi toisiinsa nähden. Tehoiltaan suuremmissa kompressoreissa kuin 220kW on oltava paineellinen voiteluöljyjärjestelmä ajoitusrattailla. (Brun & Kurz 2019.) Kuvassa 13 ajoitusrattaat sijoittuvat kompressorien roottoreiden vasempaan päähän.

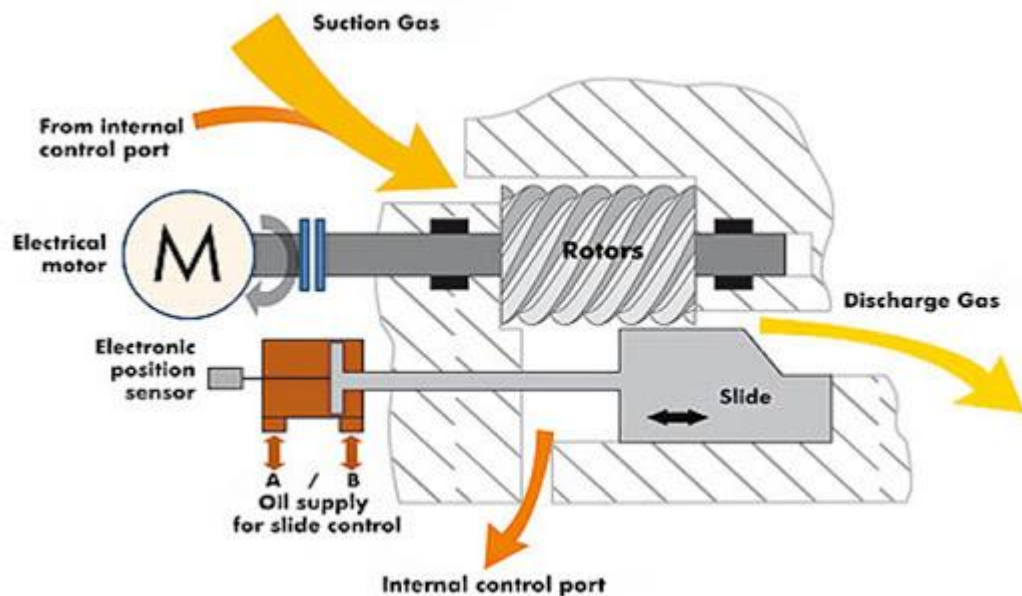


Kuva 13. Kaksi vaiheinen ruuvikompressor (Brun & Kurz 2019).

Säätöventtiili

Säätöventtiili on käytössä yleisesti öljyvoidelluissa kompressorimalleissa. Öljyvapaissa malleissa säätöventtiili on vielä käytössä vain rajoitetusti, koska se on vielä kohtalaisen uusi sovellus ja sen eduista ei ole tarpeeksi näyttöä. Säätöventtiilin tarkoitus kompressorissa on säädellä kompressorin imuilman virtausta. Yleinen säädettävä kuorman alue on noin 10—100 % kompressorin maksimituotosta. Säätöventtiili on käytännössä öljyllä

ajettava sylinteri, joka liikuttaa kompressoripesässä olevaa mäntää. Männän haluttu asento määräytyy kompressoripesän paineen mukaan. Paineen noustessa liikaa järjestelmä ajaa säätöventtiilin mäntää siten, että kompressorin pesässä oleva kanava aukeaa ja paine purkautuu sitä kautta takaisin kiertoon. Paine purkautuu kompressorin sisällä takaisin imupuolelle. (Brown 2005.)



Kuva 14. Säätöventtiili ruuvikompressorissa (Bernouilli 2014).

Kuvasta 14 nähdään, että säätöventtiili sijoittuu kompressorin roottorien alapuolelle.

5 HUOLTO

5.1 Kylmäala ja sen säädökset

Lämpöpumppujärjestelmä on suljettu piiri, jossa kiertää järjestelmään parhaiten sopivaksi todettu kylmäaine, jonka kanssa työskennellessä pätevät tietyt säädökset ja lainalaisuudet.

”Otsoniasetuksen ja F-kaasusasetuksen liitteen I mukaisia aineita sisältäviä laitteita tai järjestelmiä asentavalla, kunnossapitävällä, huoltavalla, korjaavalla, käytöstä poistavalla tai edellä mainittujen aineiden talteenottoa suorittavalla henkilöllä ja toiminnanharjoittajalla on oltava aineiden päästöjen ehkäisemiseksi edellytetty riittävä pätevyys” (Ympäristönsuojelulaki 2017/215 §159).

Hyväksyntä ja pätevyysvaatimukset

Kylmäaineiden kanssa työskentelevien henkilöiden tulee huolehtia siitä, että heillä on työn edellyttämät pätevyudet voimassa. Kylmäalan henkilöpätevyudet ja pätevyysvaatimukset jaetaan kahteen ryhmään: koneet, jotka sisältävät alle 3 kg kylmäainetta, ja koneet, jotka sisältävät yli 3 kg kylmäainetta. (Tukes 2019.)

Molemmat henkilöpätevyudet jaetaan vielä kahteen eri vastuualueeseen, eli vastuuhenkilön pätevyYTEEN ja asentajan pätevyYTEEN. Vastuuhenkilön kohdalla vaatimukset ovat korkeammat kuin asentajan. (Tukes 2019.)

Yli 3 kg kylmäainetta sisältävien koneiden kanssa työskentelevän vastuuhenkilöltä vaaditaan kylmäalalle soveltuvan tekniikan, insinöörin tai diplomi-insinöörin tutkintoa. Kylmäalan ammattitutkinto ja kylmäsestarin erikoisammattitutkinto on riittävä. Lisäksi vaaditaan vähintään kahden vuoden työkokemus kylmäalalta. Vastuuhenkilö on vastuussa siitä, että toiminnassa noudatetaan ympäristösuojeluvaatimuksia ja asentajat täyttävät pätevyysvaatimukset. (Tukes 2019.)

Yli 3 kg kylmäainetta sisältävien koneiden kanssa työskentelevän asentajan pätevyysvaatimuksen täyttämiseen riittää kylmäasentajan ammattitutkinto, kylmäasentajan osa-ammattitutkinto joka sisältää vähintään kylmäaineiden käsittelyyn liittyvän tutkinnon osan ja yhden valinnaisen asennukseen ja huoltoon liittyvän tutkinnon osan tai talotekniikan

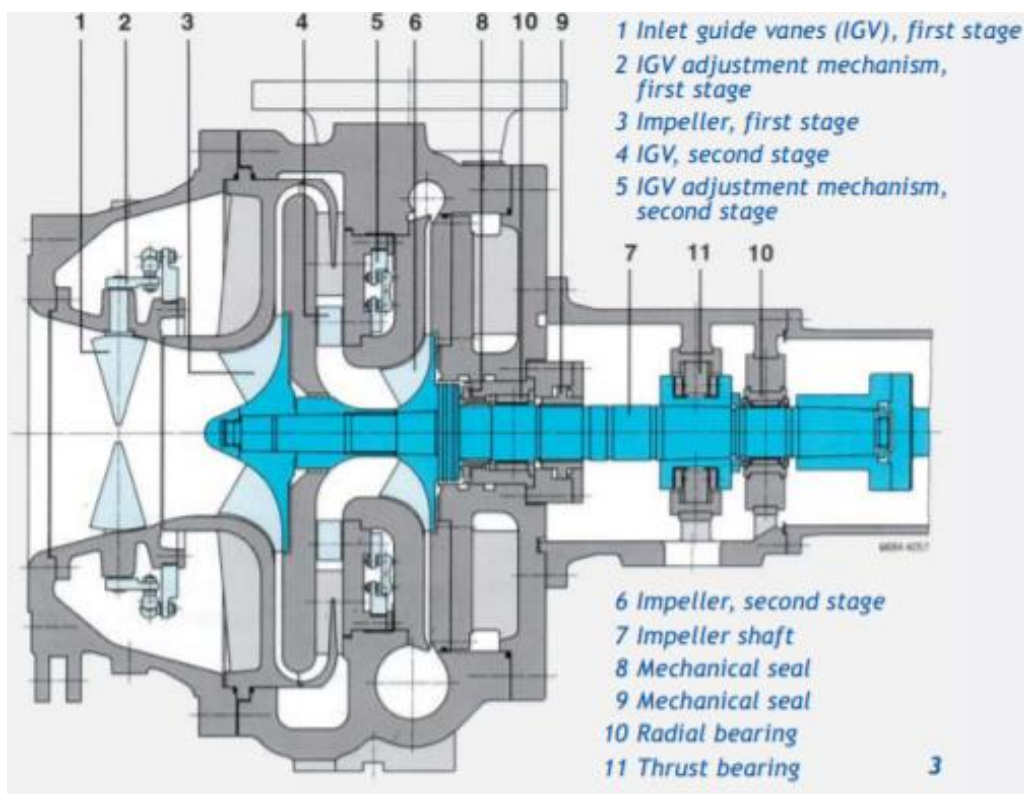
perustutkinnosta osat kylmäkomponenttien ja putkiston asentaminen sekä kylmälaitoksen käyttöönotto. (Tukes 2019.)

Alle 3 kg kylmäainetta sisältävien koneiden kanssa työskentelevältä vastuuhenkilöltä vaaditaan kylmäaineiden käsittelyyn liittyvä tutkinnon osa, lämpöpumppujen asennus ja huolto tutkinnon osa tai kylmätekniikan laitteiden asennus-, huolto- ja korjaustyöt tutkinnon osa. Lisäksi vaaditaan vähintään vuoden työkokemus toiminnanharjoittajan toimialalta, kylmäala tai muu soveltuva tekninen toimiala. Pätevyyden haltija vastaa siitä, että toiminnassa noudatetaan ympäristönsuojeluvaatimuksia ja asentajat täyttävät pätevyysvaatimukset. (Tukes 2019.)

Alle 3 kg kylmäainetta sisältävien koneiden kanssa työskentelevältä asentajalta vaaditaan tutkinnon osa suoritettuna kylmätekniikan laitteiden asennus-, huolto- ja korjaustyöstä, lämpöpumppujen asennuksesta ja huoltamisesta tai pienkylmälaitteiden asennuksesta. (Tukes 2019.)

5.2 Kompressorin huolto

5.2.1 Radiaalikompressor



Kuva 15. radiaalikompressorin poikkileikkauskuva. (Friotherm n.d.).

Radiaalikompressorin huolto aloitetaan erottamalla kompressorin muusta lämpöpumppujärjestelmästä sulkemalla imu- ja paineventtiilit, tällä toimenpiteellä pyritään rajaamaan tyhjennettävän kylmäaineen määrä järjestelmästä. Kylmäaineen tyhjennys kompressorista tapahtuu tyhjiöpumpun kanssa. Suositeltava tyhjiöpumppu on kaksi kalvoinen, jonka kyky tuottaa suurempi alipaine kuin yksikalvoisen version on turvallisuuden kannalta ajateltuna varmempi tapa saada kaikki kylmäaineet varmasti siirrettyä väliaikaiseen tankkiin. (Leskinen 4.3.2021.)

Itse huoltotyö aloitetaan kompressorin ja moottorin välisen kytkimen avauksella, joka sijoittuu kuvassa 15 kompressorin akselin oikeaan päähän ja kompressorin ja käyttömootorin välisen kytkimen linjauksen tarkastuksella. Tämän jälkeen avataan imupuolen päätylaippa ja saadaan akselinpää ja ensimmäinen siipivyöhyke näkyville. Päätylaipasta puretaan IGV:n siivet ja sen säätömekanismi. Huollon yhteydessä IGV:n siivet tarkastetaan

visuaalisesti, eli silmämääräinen tarkastus halkeamien, säröjen tai muiden silmien kanssa havaittavissa olevien vikojen toteamiseksi. Säättömekanismin kaikki osat uusitaan, lukuunottamatta siiven vartta suojaavaa laakeriholkkia. Valmistaja toimittaa aina huollon yhteydessä varaosat säättömekanismiin. Päätylaipan kaikki tiivistepinnat, IGV:n kaikki osat ja siihen liittyvät läpiviennit puhdistetaan perusteellisesti. (Leskinen 4.3.2021.)

Ennen kuin puretaan akselilta mitään, on erittäin tärkeä mitata kaikkien komponenttien asema aksiaalisuunnassa kytkimeltä. Kompressorin akseli on toteutettu siten, että komponentit asemoituvat akselin kartiopinnoille. Oikea aksiaalinen asema takaa siis oikean välyksen komponentilla ja tarpeeksi suuren puristuksen akselin ja komponentin välillä. (Leskinen 4.3.2021.)

Ensimmäinen siipipyörä puretaan imupuolen kautta ja sille suoritetaan visuaalinen tarkastus poikkeavuuksien varalta, sekä se puhdistetaan perusteellisesti (Leskinen 4.3.2021).

Kompressorin mallin takia se on kaadettava siten, että kompressorin imupuoli tulee olla maata vasten. Tässä asennossa kompressorin akseli on pystysuorassa ja se voidaan nostaa suoraan ylös ja ulos kompressorin pesästä. Akseli nostetaan kiinnittämällä nostoväline kytkimeen. Samalla akselin mukana nousee toinen siipipyörä, DGS eli liukurengastiiviste, radiaalilaakerit ja aksiaalilaakeri. Akseli lasketaan pukkien päälle. Pukkien päällä komponentit puretaan puhdistusta ja tarpeellisia korjauksia varten. Komponenteille suoritetaan visuaalinen tarkastus poissulkien DGS, jolle tehdään dynaaminen testaus ja painekokeet staattisille yhteille aina huollon yhteydessä. (Leskinen 4.3.2021.)

Kompressorin pesä puhdistetaan perusteellisesti ja DGS:n vastinpinta läpätään. Läpäyksellä tarkoitetaan komponentin ja sen vastinpinna yhtenäiseksi hiomista. Komponentin ja sen vastinpinnan väliin laitetaan hiomatahnaa ja komponenttia pyöritetään kevyesti painaen pesän vastinpintaa vasten, kunnes se on tiivis. Tiiveys voidaan todentaa esimerkiksi siniväritestillä, jossa komponenttiin laitetaan kevyt kerros siniväriä ja painetaan vastinpintaa vasten, mikäli vastinpintaan jäänyt väri on yhtenäinen, voidaan todeta, että pinta on tiivis. (Leskinen 4.3.2021.)

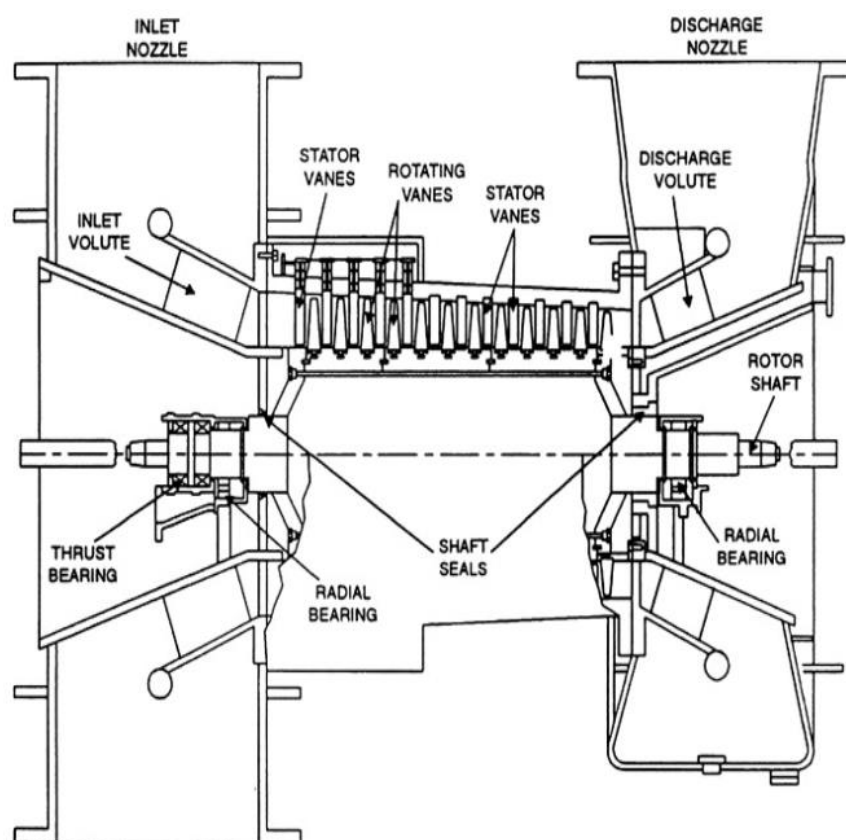
Toisen vyöhykkeen IGV säättömekanismi puretaan ja puhdistetaan perusteellisesti. Säättömekanismin osat uusitaan kaikki, poissulkien siivet ja siipien läpivientien laakeriholkit, mitkä puhdistetaan ja tarkastetaan visuaalisesti. Valmistaja toimittaa säättömekanismin uudet osat. (Leskinen 4.3.2021.)

Kompressorin komponenttien korjauksen jälkeen voidaan kompressorin uudelleen kasata. Kasauksen jälkeen kytkimen linjaus tarkastetaan ja tehdään tarvittavat korjaukset linjaukseen, että se vastaisi valmistajan antamia arvoja. (Leskinen 4.3.2021.)

Ennen kuin kompressorin yhdistetään takaisin järjestelmään, tulee suorittaa tiiveyskokeet kompressorille. Tiiveyskoe voidaan suorittaa siten, että kompressorin luodaan typpifaasi ja kaasumittarilla tutkitaan kaikki liitoskohdat, mikäli mittari havaitsee tyyppiä liikaa, on liitos korjattava. Tämä toistetaan, kunnes kompressorin on tiivis. Kompressorin kylmäaineen täyttö tapahtuu avaamalla imu- ja paineventtiilit, minkä jälkeen kompressorin on toimintakunnossa. (Leskinen 4.3.2021.)

Revision aikavaade on noin 3-4 viikkoa. Suunnitellut henkilöresurssit ovat 1 työnjohtaja tai valmistajan asiantuntija, sekä 2-3 asentajaa (Leskinen 4.3.2021).

5.2.2 Aksiaalikompressorin



Kuva 16. Poikkileikkauskuva aksiaalikompressorista (Forsthoffer 2011).

Aksiaalikompressorin huolto aloitetaan kytkimen aukaisulla ja kytkimen linjauksen tarkastuksella (MAN Unternehmensbereich 1980).

Etu- ja takapään laakeripesät avataan ja puretaan yläpuolikkaat etu- ja takapään radiaalilaakereilta ja etupäästä aksiaalilaakerin yläpuolikas. Laakerit puhdistetaan perusteellisesti ja suoritetaan visuaalinen tarkastus ja mahdolliset korjaukset. Kun roottori on nostettu pois pesästä, voidaan purkaa laakereiden alapuolikkaat, joille suoritetaan puhdistukset ja visuaalinen tarkastus myös. (MAN Unternehmensbereich 1980.)

Kompressorista avataan kompressorin pesän pultit ja nostetaan pesän yläpuolikas pois. Puretaan sisäpesän ja jokaisen vyöhykkeen johtosiipikannakkeet, minkä jälkeen roottori voidaan nostaa pukkien päälle. Kaikki osat puhdistetaan perusteellisesti ja niille suoritetaan visuaaliset tarkastukset. Roottorille suoritetaan visuaalisten tarkastusten lisäksi suoruuden tarkastus, mikäli asiakas vaatii. (MAN Unternehmensbereich 1980.)

Laakeripesien ja laakereiden väliset ohjauspinnat tarkastetaan epätasaisuuksilta ja korjataan tarvittaessa. Visuaalinen tarkastus on riittävä. Samalla tarkastetaan öljyputket maadoitus- ja korroosioaurioilta, sekä putkien kannakointi ja liitokset tarkastetaan. kaikki epäkohdat tulee korjata. (MAN Unternehmensbereich 1980.)

Kompressorin säätö-, automaatio- ja turvajärjestelmien tarkastukset on suoritettava aina kun kompressor on huollossa (MAN Unternehmensbereich 1980).

Voiteluöljyjärjestelmän puhdistukset ja visuaaliset tarkastukset. Voiteluöljyjärjestelmä käsittää jäähdyttimen, suodattimet ja tankin. Samalla puhdistetaan ja tarkastetaan lauhdutin. (MAN Unternehmensbereich 1980.)

Vaihdelaatikko avataan, puhdistetaan perusteellisesti ja suoritetaan tarkastukset. Mikäli kyseessä on planeettavaihteisto tarkastuksen suorittaa valmistajan asiantuntija. Valmistajan asiantuntija suorittaa myös käyttömoottorin tarkastuksen. (MAN Unternehmensbereich 1980.)

Kaikkien korjausten, puhdistusten ja tarkastusten jälkeen voidaan kompressor uudelleen kasta. Kasauksen jälkeen suoritetaan kytkimen linjauksen tarkastus. Kun todetaan linjauksen olevan määrättyjen arvojen puitteissa voidaan kytkin kiinnittää. Ennen kompressorin käynnistystä käydään vielä kertauksena läpi kompressorin säätö-, automaatio- ja turvajärjestelmät, sekä koestetaan hätäpysäytyspainike. (MAN Unternehmensbereich 1980.)

Revision aikavaade on noin 1-8 viikkoa, riippuen kompressorin kokoluokasta, perustuen 56h työviikkoon. Kompressorin kokoluokasta riippuu myös työhön määrätty henkilöresurssit, yleisesti mukana on 1-3 asiantuntijaa kompressorille, 1 asiantuntija vaihdelaatkolle, mikäli kompressorissa on planeettavaihteisto ja asentajia tarpeen mukaan. (MAN Unternehmensbereich 1980.)

5.2.3 Ruuvikompressorin huolto

Ruuvikompressorin huolto voidaan määrittää ajallisesti tai se voidaan suorittaa tarpeen vaatiessa. Tätä tarvetta voidaan seurata esimerkiksi öljyanalyysien avulla. Kuluneista osista irtoaa partikkeleita öljyn joukkoon ja kulkeutuvat öljyn mukana öljytankkiin tai tilaan. Mikäli analyyseistä näkyy huomattava määrä sinne kuulumatonta materiaa, voidaan todeta kompressorin sisällä tapahtuneen normaalia suurempaa kulumaa kompressorin komponenteissa. (Grabau.)

Tarkemman kuvan saamiseksi kompressorin huollon tarpeesta ja sen laajuudesta voidaan määrittää tarkastamalla kompressorista keskeisimmät komponentit. Tässä tapauksessa kompressorin erotetaan jännitelähteestä, sekä kompressorin tyhjennetään ja todetaan paineettomaksi. (Kent 1997.)

Kompressorista puretaan käyttömoottori ja kompressorin päätylevy, jonka alta löytyy laakerit. Päädyn ollessa auki on helppo havainnoida laakerien kuntoa ja roottoreiden pyörimisliikkeen tasaisuutta. Samalla tarkastetaan puretun käyttömoottorin mekaaninen kunnottaso pyörittämällä akselia. (Kent 1997.)

Mikäli käyttömoottorina on käytössä sähkömoottori sen sähköiset mittaukset suorittaa ammattitaitoinen sähköasentaja. Sähköiset mittaukset antavat hyvän kuvan moottorin toimintakunnosta. Käyttömoottorista mitataan jokaisen käämin vastusarvot, käämien väliset vastusarvot ja maadoituksen vastusarvo. (Kent 1997.)

Ohjauspiirit tulee tarkastaa lämmön aiheuttamien vaurioiden varalta. Lämpö voi aiheuttaa sulamista ja nokeentumista. Käyttökunnon toteamiseksi käydään ohjauspiirit läpi yleismittarilla. (Kent 1997.)

Kompressorin huoltoon suunniteltu aikavaade on noin 16-24 tuntia, jos huollon suorittaa ammattitaitoinen ja kokenut asentaja. Huollossa kompressorista puretaan roottorit, venttiilit, separaattorin tankki, putkistot, letkut ja kaikki muut mekaaniset komponentit. Komponentit puretaan osiin, tarkastetaan ja puhdistetaan perusteellisesti. (Kent 1997.)

Kompressoriin ja sen komponentteihin vaihdetaan uudet O-renkaat, taso- ja laippatiivisteet, V-hihnat, letkut ja muut kuluneet osat. Samalla rasvataan kaikki liikkuvat osat, sekä tarkastetaan venttiilien toimilaitteet ja todetaan niiden toimivuus. (Kent 1997.)

Komponenttien korjausten ja kompressorin sekä sen komponenttien puhdistuksen jälkeen kompressorin uudelleen kasataan. Kompressorin täytetään manuaaliin merkityllä voiteluöljyllä. (Kent 1997.)

Ennen kompressorin käynnistystä tehdään ohjauspiirien tarkastukset (Kent 1997).

5.3 Poikkeamien seuranta

Pääasiallinen tiedon hankinta tehdään lämpötila- ja paineanturien avulla, muutokset näissä arvoissa kertoo syntyvistä vaurioista tai kulumista mitkä vaativat toimenpiteitä.

Roottori (radiaalikompressor)

Roottorin seurannassa mitataan arvoja kuten polytrooppinen huippu joka kertoo vaaditun työn määrän jolla voidaan tuottaa tietty määrä kaasua. Sen lisäksi mitataan kaasunvirtausta, pyörimisnopeutta, hyötysuhdetta ja kompressorin tehoa. Roottorin seurannassa on tärkeää, että edellä mainitut arvot saadaan reaaliaikaisesti luettavaksi, jotta pystytään pääättelemään, tapahtuuko roottorissa vikaantumista. Esimerkiksi, jos virtausmäärä tippuu vakionopeudella, pitäisi polytrooppisen huipun nousta, samalla tehon tarve kasvaa ja hyötysuhde laskee. Mikäli näin ei tapahdu roottorissa voi olla kulumaa tai jopa vaurioita. (Forsthoffer 2018.)

Radiaalilaakeri

Radiaalilaakeri on öljyvoideltu mikä tarkoittaa, että roottorin ja laakerin reiän välisessä sovitteessa on välystä. Kun laakerin ja roottorin välissä on välystä, voidaan seurata root-

torin värinätasoa laakeriin asennetuilla antureilla, mihin johdetaan vaihtovirta ja jännitteen muutoksesta voidaan laskea roottorin etäisyys anturista jokaisen kierroksen aikana. Värinämittausten lisäksi laakereista mitataan laakeripalojen lämpötiloja, vaihekulma, roottorin keskilinjän asema ja värinän taajuutta. Tilanteessa jossa edellä mainitut arvot kasvavat tarpeeksi on laakerille tehtävä tarkastukset ja todeta muutosten aiheuttaja. (Forsthoffer 2018.)

Taulukko 1. Radiaalilaakerin raja-arvoja, sekä niiden raja-arvoja (Forsthoffer 2018).

Mitattava arvo	Sallitut arvojen muutokset, sekä muutoksen mahdolliset syyt ja toimenpiteet
Yleinen värinä	20% kasvu perustasosta kertoo, että tutkittava tarkemmin.
Laakeripalojen lämpötila	20% kasvu perustasosta kertoo, että tutkittava tarkemmin
Vaihekulma	30° kasvu perustasosta kertoo mahdollisesta vauriosta.
Roottorin keskilinjän asema	30% kasvu perustasosta kertoo laakerien kulumisesta.
Värinän taajuus	Voidaan käyttää työkaluna tarkastellessa millä taajuudella värinät ovat kasvaneet. 1 kertaiset = Epätasapaino 2 kertaiset = Linjaus huono

Aksiaalilaakeri

Aksiaalilaakerin lämpötilasta voidaan päätellä roottorille tulevan kaasun tuottamaa kuormaa, lämpötilan noustessa voidaan päätellä, että roottori painautuu suuremmalla voimalla laakeria vasten. (Forsthoffer 2018, s.56-59.)

Tärkein seurattava arvo aksiaalilaakerilla on paine-ero tasapainotusmännän ja aksiaalilaakerin aktiivisten palojen välillä, eli imu- ja painepuolen paine-ero. Tätä mitataan painemittareilla useista kohtaa kompressoria. Aksiaalilaakerin aksiaalisuuntaiseen kuormaan vaikuttaa suoraan tasapainotusmännän labyrinthitiivisteen kunto, ennen kaikkea

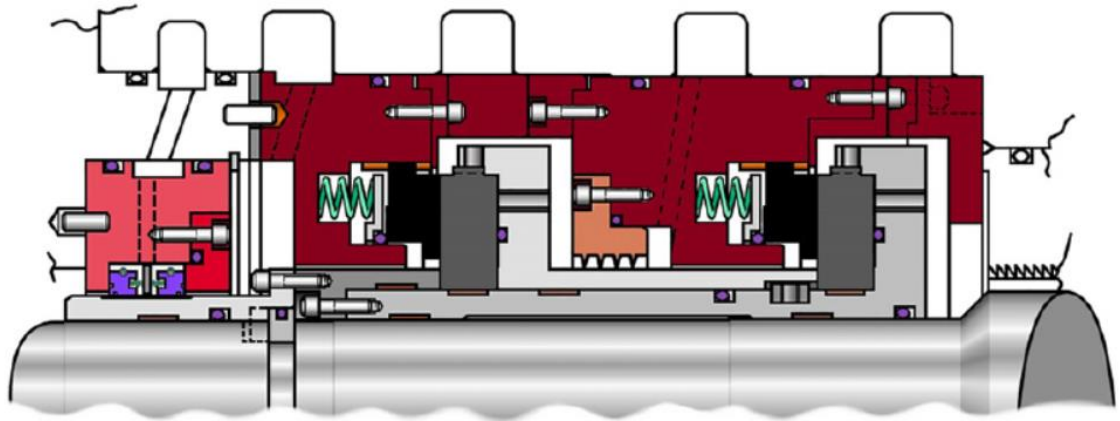
labyrinttitiivisteiden välilyönti. Labyrinttitiivisteiden kuluessa ja välilyöntien kasvaessa sen kyky tiivistää heikkenee, mikä näkyy paine-eron tasaantumisessa. Paine-eron tasaantuminen kompressorissa aiheuttaa roottoriin kohdistuvan aksiaalivoiman kasvun. Aksiaalivoiman kasvaessa aksiaalilaakerin kuorma kasvaa ja lämpötilakin laakeripaloissa kasvaa. (Forsthoffer 2018.)

Taulukko 2. Aksiaalilaakerin seuranta-arvoja, sekä niiden raja-arvoja (Forsthoffer 2018).

Mitattava arvo	Sallitut arvojen muutokset, sekä muutoksen mahdolliset syyt ja toimenpiteet
Aksiaalinen asema	20% muutos tutkittava, tyypillinen hälytysraja-arvo 0.4-0.5mm. Mahdollinen laakeripalojen lämpötilan nousu tukee hälytystä.
Laakeripalojen lämpötila	20% kasvu kertoo kuorman kasvusta, tyypillinen hälytysraja 108°C.
Tasapainolinjaus	Roottorin aksiaalista asemaa seurataan imu- ja painepuolen välillä vallitsevaa paine-eron avulla. Paine-eron tasaantuessa on suositeltavaa korjata labyrinttitiivistettä seuraavassa huollossa.

DGS Dry Gas Seal

DGS:ssä eli liukurengastiivisteessä käytetään ensisijaisena tiivistekaasuna puhdasta ja kuivaa kaasua mikä tuotetaan erillisellä järjestelmällä ja pumpataan tiivisteeseen. Tiivistekaasun painetta säätelee automaattinen säätöventtiili, jonka tarkoitus on pitää tiivistekaasun painetaso korkeampana kuin prosessikaasun painetaso. Tiivistekaasun toivottu virtaussuunta on prosessikaasun joukkoon ja pieni osa poistuu järjestelmästä ensisijaisen tiivisteiden tyhjennyslinjaa pitkin. Tyhjennyslinjasta ohi kulkeutuva kaasua joka pääsee toissijaiseen tiivisteeseen asti, pyritään pitämään poissa siten, että toissijainen tiiviste paineistetaan tyhjän kanssa. Typpi estää prosessikaasun pääsyn toissijaiseen tiivisteeseen, sekä estää laakerin voiteluöljyn pääsyn labyrinttitiivisten läpi liukurengastiivisteiden sisälle.



Kuva 17. Tandem-mallinen liukurengastiiviste, jossa välitilan labyrinttitiiviste (Forsthoffer 2018).

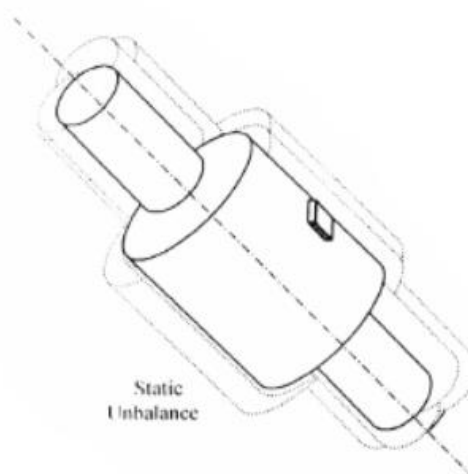
Taulukko 3. DGS:n seurattavia kohteita (Forsthoffer 2018).

Mitattava arvo	Sallitut arvojen muutokset, sekä muutoksen mahdolliset syyt ja toimenpiteet
Ensisijaisen tiivisteiden paine-ero verrattuna prosessikaasuun	Seurataan säätöventtiilin asennosta. Paine-eron muutokset kertovat labyrinttitiivisteiden kulumisesta
Ensisijaisen tiivisteiden tyhjennyslinjan virtaus	Kasvanut arvo kertoo ensisijaisen tiivisteiden kulumisesta ja laskenut arvo kertoo toissijaisen tiivisteiden kulumisesta
Välitilan tyypin painetaso	Kertoo toissijaisen tiivisteiden kulumisesta

5.4 Havaittujen vikojen vaikutus toimintaan

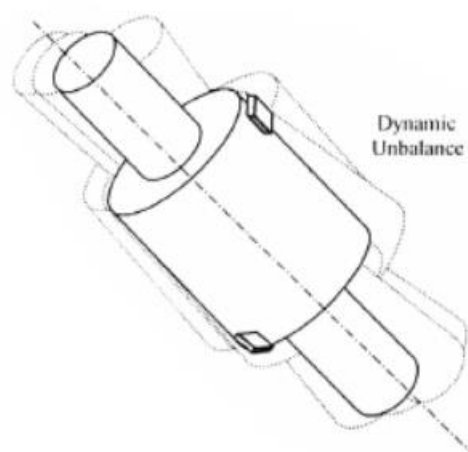
Roottori

Kompressorin toimintaan vaikuttaa roottorin epätasapaino. Roottorin epätasapaino voi johtua monesta eri syystä, kuten muutokset siivistössä, laakereiden liian suuri välys tai roottorin muodon muutos. Roottorissa ilmenevää epätasapainoa voi olla staattista, joka aiheuttaa roottorin pyöriessä keskipakoisvoimaa joka liikuttaa roottoria siten, että sen keskiakseli kiertää pyöreää liikettä akselinsa ympäri. (kuva 16.)



Kuva 18. Havainnekuva staattisen epätasapainon luomasta liikkeestä (Rangwala 2009).

Toinen mahdollinen epätasapainon muoto voi olla dynaaminen epätasapaino. Dynaaminen epätasapaino johtuu kahden epätasapainoisen massan olemassaolosta roottorin vastakkaisissa päissä, sekä vastakkaisilla puolilla roottorin kehää. Roottorin päissä olevat epätasainottavat massat kumoavat toisensa staattisessa tilassa. Roottorin pyöriessä myös keskipakovoimat kumoutuvat, mutta roottorin pyöriessä molemmat massat aiheuttavat kartiomaisen liikkeen mikä johtaa roottorin värinöihin. (kuva 17.)



Kuva 19. Havainnekuva dynaamisen epätasapainon luomasta liikkeestä (Rangwala 2009).

DGS – Dry Gas Seal

Yleisin huoltoa vaativa ongelma on tiivisteiden saastuminen. DGS:n tiivisterengasparin väliin syntyvä toiminnan kannalta välttämätön rako on vain noin 3-4 µm. Tiivisteeseen voi päätyä likaa ja ylimääräisiä sinne kuulumattomia partikkeleita esimerkiksi prosessikaasun, laakerien voiteluöljyn tai tiivistekaasun mukana. Jokaisessa tapauksessa on suuri riski rengasparin vaurioitumiseen epäpuhtauksien kulkeutuessa tiivistepinnoille. Tämä aiheuttaa tiivisterenkaissa lämpötilan nousua, joka vaikuttaa negatiivisesti sen toimintaan ja voi pahimmassa tapauksessa aiheuttaa tiivisterenkaiden rikkoutumisen. Optimaalisessa tilanteessa tiivisterenkaiden mallin ansiosta ne eivät koske toisiinsa käytön aikana. (Stahley 2001.)

Sulkutiivisteiden, eli labyrinthitiivisteet jotka tiivistävät DGS:n reiän ja akselin välisen tilan kulumisen aiheuttaa saastumisriskin DGS:lle. Kuluneet labyrinthitiivisteet alkavat päästää välyksen kasvaessa enemmän prosessikaasua ja laakereiden voiteluöljyä DGS:n sisään. Prosessikaasu ja voiteluöljy ovat suurimpia ulkoisille partikkeleille ja lialle altistajia järjestelmässä. (Stahley 2001.)

Laakerit

Laakerin ja laakeripesän tai -pukin välinen ohjauspinta on laakerissa kriittinen kohta viikaantumisen kannalta. Mikäli ohjauspinnat eivät istu laakeriin jämäkästi voi se aiheuttaa monenlaisia ongelmia. Tämä voi johtua huonosti suunnitellusta laakerimallista tai asennusvirheestä. Tästä voi seurata laakerin liitospintojen lämpövaurioita ja väsymistä, jotka johtavat pahimmillaan laakerin ytimen vaurioitumiseen. Lisäksi laakerin valkometallipinnat voivat kulua epätasaisesti ja normaalia nopeammin. (Geitner & Bloch 2012.)

Voiteluöljyn riittämätön laatu laakereilla, mikä voi johtua useasta syystä. Roottorille kytketty voiteluöljypumppu voi käynnistyksessä aiheuttaa riskin, jos sen kyky tuottaa öljyn virtausta pienillä kierroksilla on riittämätön, voiteluöljyjärjestelmän suodattimien silmäkoko on liian suuri tai muuten ei sovellu kyseiseen sovellukseen tai muu ulkopuolinen seikka joka aiheuttaa voiteluöljyn saastumisen. Riippuen ongelmien laajuudesta ja kestosta, ne voivat aiheuttaa laakerin pettämisen, valkometallin sulamista, laakeripalojen naarmuuntumista tai jopa laakerin kiinni leikkaantumisen. (Geitner & Bloch 2012.)

Lämpötilojen kasvu laakerissa voi aiheuttaa laakeripaloissa vaurioita. Vauriot ovat usein koko kehän matkalla kulkevia naarmuja tai halkeamia. Lämpötilojen muutos vakiokuorman vaikutuksen alla voi aiheuttaa valkometallipintoihin painaumuksia ja halkeamia. Nämä vauriot ovat tutkittava mahdollisimman nopeasti ja korjattava. (Geitner & Bloch 2012.)

5.5 Pääkomponenttien yleiset huolto- ja korjaustyöt

Roottori

Roottorille tärkein tehtävä huoltotoimenpide huollon yhteydessä on sen uudelleen tasapainotus. Kompressorin purettaessa siipipyörät joudutaan purkamaan akselilta, mikä aiheuttaa tilanteen, jossa roottorin tasapaino muuttuu. Tasapainotilanteen muutos johtuu siitä, että siipipyöriä on mahdoton saada täsmälleen niille paikoille takaisin josta ne on purettu. Kun puhutaan korkeista nopeuksista kompressoreissa, roottorin tasapainotus on erittäin tärkeässä roolissa kun halutaan varmatoimista ja kestävää operointia. Oikea tapa tasapainottaa roottori menee niin, että ensimmäisenä koneistetaan jokaisen siipipyörän keskireikä ja tarkastetaan se roottorilla, sekä todetaan tasapainotus riittäväksi. Run out-testi on tehtävä jokaisen siipipyörän asennuksen yhteydessä, mikä kertoo, onko siipipyörä kohtisuorassa akselin radiaalisuunnassa, epänormaali muutos testin arvoissa kertoo virheasennuksesta. Lopuksi roottorille tehdään mekaaninen testi, eli se kiinnitetään laitteeseen, minkä avulla sitä on mahdollista pyörittää vaaditulla pyörimisnopeudella ja tutkitaan roottorin tuottamia värinöitä ja niiden taajuuksia. (Davis.)

Laakerit

Liukulaakerit vaativat tasaisin väliajoin tehtävää huoltoa. Tärkein syy tälle on laakerin kyky ylläpitää laakeripalojen tai -pinnan ja akselin välissä olevaa voiteluöljykerrosta, joka on tarpeellinen laakerin ennenaikaisen rikkoutumisen estämiseksi. Tämä voi olla kuitenkin haastavaa ja kontaktia yleensä syntyy. Kontakti joka syntyy operoinnin aikana on usein niin lievää, ettei se vaadi koneen alasajoa. Tärkein huoltotoimenpide onkin valkometallisten laakeripintojen ja voiteluöljykanavien puhdistaminen. Joskus laakereille on kohdistunut niin paljon kuormaa tai lämpötilojen muutokset ovat olleet niin suuria, että laakeripalat ovat rikkoutuneet. Näissä tapauksissa laakeripalat on uusittava, jos kyseessä kiinteä laakeri tulee se pinnoittaa uudestaan. (Leskinen 4.3.2021.)

DGS – Dry Gas Seal

Ensimmäinen asia DGS:n huoltotyössä on saada laitteen käyttäjältä mahdollisimman kattavasti tietoa sen huoltohistoriasta ja, jos on mahdollista valokuvia sen hetkellisestä tilanteesta. Tämä auttaa yritystä, joka tekee huoltotyön määrittämään tarkan aikataulun ja hinnan työlle. (Aessel 2016.)

DGS:n saavuttua aloitetaan purkamalla se, kartoittamalla sen kunto sekä sen kunnosta ja korjauskehoituksista luodaan raportti asiakkaalle. Raportista tulee selvitä työn laajuus tiivisteiden korjaamiseksi ja kustannusarvio. Työtarjoukseen olisi hyvä liittää protokolla DGS:lle suoritettavasta dynaamisesta testistä joka suoritetaan korjausten jälkeen. (Aessel 2016.)

Vaurioituneiden pintojen korjaus on erittäin tärkeä osa DGS:n huoltoa, näin voidaan minimoida sen riskit likaantumisesta, joka voi vaikuttaa sen toimintaan. (Aesseal 2016).

Pyörivän tiivisterenkaan kohdalla on hyvä tarjota uutta vastaavaa, mikä on valmistettu ensiluokkaisesta materiaalista, kuten volframikarbidi, reaktiosidottu ja sintrattu piikarbidi tai piinitriitti. Staattinen tiivisterengas tulisi vaihtaa samalla ja siihen sopii materiaaleiksi hiili tai lasittuneen tapainen hiilipinnoitettu piikarbidi. Teräsosat tulee hioa, puhdistaa ja korjata perusteellisesti. (Aessel 2016.)

Varaosia kuten staattisen tiivisterenkaan jouset, kiinnikkeet ja sekundääritiivisteiden O-renkaat tulee vaihtaa aina huollon yhteydessä uusiin vastaaviin. Kaikki DGS:ään asennetut O-renkaat tulee olla räjähdyspuristuksen kestäviä. (Aessel 2016.)

DGS:n sulkutiivisteet ovat usein labyrinthitiivisteitä ja uudet segmentit ovat suositeltavaa asentaa aina huollon yhteydessä. (Aessel 2016).

Kun mekaaninen työ on saatu päätökseen ja DGS on uudelleen kasattu, sille tehdään kuormitustestejä, jotka sisältävät pyörimisen testauksen 23 % yli sen maksimikierronopeuden. Kuormitustesti altistaa DGS:n kaksi kertaa normaalia suuremmalle pyörimisjännitykselle. Jos on mahdollista sille, suoritetaan myös dynaaminen tasapainotesti, mikä pitäisi suorittaa yleisesti kaikille pyöriville laitteille. Lopuksi suoritetaan painekokeet kaikille staattisille asennuksille ja varmistetaan DGS:n paineen pitävyys. (Aessel 2016.)

IGV – Inlet Guide Vanes – Imuilman säätösiivistö

Imuilman säätösiivet puretaan jokaisen huollon yhteydessä. Säättövarret ja niissä olevat nivelet vaihdetaan uusiin aina. Siivet itsessään tarkastetaan ja puhdistetaan. Sama toimenpide toistetaan jokaisella vyöhykkeellä, jos kyseessä monivyohtyhykkeinen kompressor. Kun siivet ja sen säätövarret ovat irti, puhdistetaan pesässä olevat vastinpinnat ja kompressorin pesän lävistävän varren laakeriolkki puhdistetaan ja tarkastetaan vaurioilta, sitä ei ole tarpeellista vaihtaa, ellei selviä vaurioita. (Leskinen.) Kuva 11 havainnollistaa säätösiiven säätömekanismin ja siihen liittyvät osat.

5.6 Varaosat

Miten tehdä päätös siitä, että kannattaako varaosaa korjata, maailma on pullollaan informaatiota laitteiden teknisistä spesifikaatioista ja ominaisuuksista, mutta siltikään hyvin harva osaa vastata kysymykseen, milloin on parempi ratkaisu korjata osa, kuin ostaa uusi ja ennen kaikkea, miten korjata se osa. (Geitner & Bloch 2019.)

Kun halutaan ymmärtää milloin on hyvä korjata vanha osa mieluummin kuin ostaa uusi, on hyvä lähtökohta konsultoida ammattilaista. Suositeltavaa olisi kysyä yritykseltä joka huoltaa koneiden ja laitteiden komponentteja, usein se ei edes maksa mitään. Itse osan korjaamisella pyritään saavuttamaan myös etuja verrattuna uuden ostoon, esimerkiksi osan nopeampi saatavuus ja matalampi hinta. Osan korjattavuuden varmistamiseksi, voidaan pyytää valmistajan edustaja tekemään arvio asennuspaikalle, näin toimitaan yleisesti vain, kun kyseessä on suurempi ongelma. (Geitner & Bloch 2019.)

Helpottava tieto liittyen koneiden ja laitteiden osien korjattavuuteen, niin lähes kaikki osat ovat korjattavissa, kuten esimerkiksi pumppujen, kompressorien, kaas- ja höyryturbiinien ja sekoittajien. Osista voidaan korjata vikoja, kuten rikkoutumiset, kulumat, eroosion ja korroosion aiheuttamat muutokset, halkeamat, muodon muutokset ja kuumenemisen aiheuttamat muutokset. (Geitner & Bloch 2019.)

On mahdollista, että päädytään tilanteeseen jossa alkuperäinen valmistaja suosittelee uuden osan ostamista korjauksen sijaan. Alkuperäisellä valmistajalla on erittäin laaja nä-

kökulma asiaan, koska he ovat käyttäneet usein valtavasti aikaa ja rahaa varaosan tutkimiseen ja suunnitteluun, siksi onkin erittäin tärkeää kolmannen osapuolen, eli korjauspalvelun edustajan pystyä näyttämään asiakkaalle hyvät referenssit, sertifioidut menetelmät ja jos on tarpeellista, suorittaa testaukset varaosalle korjausten jälkeen ja toimittaa pöytäkirjat. Näillä toimilla on mahdollista vakuuttaa asiakas. (Geitner & Bloch 2019.)

Muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta varaosien korjaaminen on hyvin paljon edullisempaa, kuin uuden varaosan ostaminen, sekä se pystytään suorittamaan paljon nopeammalla aikataululla, kuin uuden valmistaminen. Tämä säästää koneen tai laitteen omistajan rahaa, koska sen käyttöaste on parempi, kuin tilanteessa missä joudutaan uutta varaosaa odottamaan, usein jopa kuukausien ajan. (Geitner & Bloch 2019.)

6 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tämän opinnäytetyöprosessin aikana tehtiin selvitystyötä lämpöpumppujen toimintaan oleellisesti liittyvien kompressoreiden osalta. Toimeksiantaja rajasi työn niin, että siinä käsiteltiin kolmea eri kompressorityyppiä ja niiden huoltotoimintaa. Nämä kompressorityypit olivat aksiaalikompressor, radiaalikompressor ja ruuvikompressor. Näiden kompressoreiden vertailua keskenään ei pidetty tarpeellisena, koska tavoitteena on pystyä tarjoamaan huoltopalvelua jo olemassa oleville kompressoreille. Työn edetessä huomattiin, että lämpöpumppujärjestelmissä yleisin käytössä oleva kompressorityyppi on radiaalikompressor. Tämän takia radiaalikompressoria käsiteltiin suhteessa eniten opinnäytetyön huoltotoimintaan liittyvissä luvuissa. Vaikka työ rajattiin kolmeen kompressorin, oli haastavaa pitää työ maltillisen mittaisena ja samalla selvittää mahdollisimman tarkasti, mitä vaatimuksia tällainen huoltotoiminta pitää sisällään.

Työ jäi hyvin pinnalliseksi ja kysymyksiä on vielä auki. Toisaalta tämä opinnäytetyö antoi hyvän pohjan ymmärtää, mitä sellainen prosessi kuin lämpöpumpun kompressorin huolto vaatii niin henkilöresurssien suhteen kuin itse huollon ja pätevyyksien asettamien vaatimusten suhteen. Kompressorin pääkomponenttien huollot ja korjaukset selvenivät työn edetessä, mutta tiettyjen haastavimpien komponenttien kuten DGS:n eli liukurengastiivisteiden osalta selvitystyötä on vielä jatkettava. Liukurengastiiviste on kompressorin kriittisin komponentti ja sille huollon jälkeen tehtävät testaukset ovat tärkeitä, koska ne antavat asiakkaalle luotettavaa kuvaa huoltotoiminnasta ja sen ammattimaisuudesta. Selvitystä vaatii vielä, mitä tällaisen tiivisteiden testaukseen soveltuva testipenkki sisältää ja onko sellainen mahdollista valmistaa itse.

Huoltotoiminnassa yhtä tärkeitä ovat myös varaosat. Työssä selvitettiin varaosien ja komponenttien osalta hyvin pinnallisesti periaatteita, joiden mukaisesti voi tehdä päätöksiä siitä, kannattaako osa korjata vai ostaa uusi. Työssä ei päästy läheskään niin syvälle kuin olisi tarpeellista, kun ajatellaan huoltoa käytännön tasolla. Varaosien osalta pääpaino oli selvittää, onko Suomessa yritystä, joka myy tai valmistaa varaosia eri komponentteihin. Kompressorin huolto ja toimeksiantajan toimiala huomioiden tärkein komponentti oli liukurengastiiviste. Toimeksiantajalla on vahva kokemus voimalaitosturbineista, joissa komponentit ovat peruseriaatteeltaan hyvin samanlaisia ja näin sovellettavissa kompressorien huolloissa.

LÄHTEET

API 619, 2010. Rotary-type positive displacement compressors for petroleum, petrochemical and natural gas industries. American petroleum institute.

Assel 2016. Turbomachinery – Advances in dry gas seal technology for compressors. Viitattu 18.3.2021 <https://www.aesseal.com/sites/aesseal.com/files/whitepaper/Hydrocarbon%20Processing%20Dec%202015.pdf>

Atlas copco 2020. Your essential guide to rotary screw compressors. Viitattu 18.2.2021 <https://www.thecompressedairblog.com/principles-of-the-rotary-screw-compressor>

Atlas copco n.d. Screw compressor technology. Viitattu 1.4.2021. <https://www.atlas-copco.com/en-au/compressors/air-compressor/screw-compressor-technology-explained>

Boyce, M. 2012. Gas turbine engineering handbook. 4th Edition. Elsevier Science & Technology

Brown, R. 2005. Compressors: Selection and Sizing. Elsevier Science & Technology

Brun, K. & Kurz, R. 2018. Compression machinery for oil and gas. Oxford: Elsevier Science & Technology

Celeroton n.d. Turbocompressors. Viitattu 16.2.2021 <https://www.celeroton.com/en/technology/turbo-compressor.html>

Davis, H. N.d. Centrifugal compressor operation and maintenance. Viitattu 19.3.2021 <https://core.ac.uk/download/pdf/87266306.pdf>

Escobar J. 2003. Turbine engine compressor sections: Basic theory and operation. Viitattu 22.3.2021. <https://www.aviationpros.com/engines-components/article/10387158/turbine-engine-compressor-sections-basic-theory-and-operation>

Forsthoffer W. 2011. Best practice handbook for rotating machinery. Elsevier Science & Technology.

Forsthoffer M. 2017. More best practice for rotating equipment. Elsevier Science & Technology.

Forsthoffer, M. 2018. Forsthoffer's component condition monitoring. Elsevier Science & Technology

Fortum 2021. Our company. Viitattu 15.2.2021 <https://www.fortum.com/about-us/our-company/our-energy-production/our-power-plants>

Friotherm n.d. Uniturbo 50FY - Centrifugal compressors for large for refrigeration plants and heat pumps. Viitattu 15.3.2021 https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/12/turbo50fy_uk_g008.pdf

Geitner F. & Bloch H. 2019. Machinery component maintenance and repair. Elsevier Science & Technology.

Geitner F. & Bloch H. 2012. Machinery failure analysis and troubleshooting. 4th edition. Elsevier Science & Technology.

Grabau D. N.d. Overhauling an air compressor: Cost control, rigorous testing and quality parts. Viitattu 19.3.2021 <https://www.airbestpractices.com/technology/air-compressors/overhauling-air-compressor-cost-control-rigorous-testing-and-quality-part>

Howden n.d. Oil-injected screw compressor packages. Viitattu 26.3.2021. <https://www.howden.com/en-gb/products/compressors/oil-injected-screw-compressor-package>

Iopscience 2017. The results of pre-design studies on the development of a new design of gas turbine compressor package of GPA-C-16 type. Viitattu 19.2.2021 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/233/1/012022/pdf>

Kent D. 1997. Overhauling a rotary screw compressor: A step-by-step guide. Viitattu 22.3.2021. <https://www.plantservices.com/articles/1997/002/>

Korpela, S. 2011. Principles of turbomachinery. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Leskinen, P. 04.03.2021. Työnjohtaja konepaja. Helen Oy. Haastattelu.

Linquip 2020. Axial flow compressor 101: The essential overview. Viitattu 22.3.2021. <https://www.linquip.com/blog/axial-flow-compressors/>

Machinery lubrication 2020. What you need to know about compressor lubrication. Viitattu 19.2.2021 <https://www.machinerylubrication.com/Read/31844/know-compressor-lubrication>

MAN Unternehmensbereich 1980. Operating instructions, turbo compressor set.

Perez, R. 2019. Operator's guide to process compressors. Hoboken, new Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Piping engineer n.d. Types of gas compressors. Viitattu 1.2.2021 <http://www.piping-engineering.com/types-of-gas-compressors.html>

Rotary-screw compressor 2021. Wikipedia. Viitattu 16.2.2021 https://en.wikipedia.org/wiki/Rotary-screw_compressor

Salovaara, S. 2021. Fortum eNext. Viitattu 15.2.2021 <https://fortum.sharepoint.com/sites/city-solutions-en/sitepages/e-next.aspx>

Siemens n.d. Axial compressors. Viitattu 26.3.2021 <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/compression/axial-compressors.html>

Sulzer n.d. Sulzer esite. Täyden palvelun tiivistehuolto. Viitattu 25.3.2021. https://www.sulzer.com/finland/-/media/files/services/spare-parts/brochures/yourservicepartnerforrepairofseals_e10268.ashx?la=fi-fi

Sun J. 1998. Numerical optimization of a stator vane setting in multistage axial-flow compressor. Viitattu 22.3.2021. https://www.researchgate.net/publication/245392222_Numerical_optimization_of_a_stator_vane_setting_in_multistage_axial-flow_compressors

Tukes 2019. Henkilöpätevyydet ja pätevyysvaatimukset. Viitattu 2.3.2021 <https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/kylmaala/henkilopatevyydet-ja-patevyysvaatimukset>

Turbomachinery 2020. Selecting screw compressors. Viitattu 24.3.2021. <https://www.turbomachinerymag.com/selecting-screw-compressors/>

Vanhanen, J. 2020. Energia-ala on murroksessa ja siitä kannattaa ottaa kaikki irti. Viitattu 15.2.2021 <https://www.gaia.fi/fi/blog/energia/energia-ala-on-murroksessa-ja-siita-kannattaa-ottaa-kaikki-hyoty-irti/>

Ympäristönsuojelulaki 2017/215. Annettu Helsingissä 7.4.2017. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <<https://tukes.edilex.fi/fi/lainsaadanto/20140527#L17P159>>

PÄTEVYYSTAULUKKO 1.1.2019 alkaen

	Vastuuhenkilön vaatimukset	Asentajan vaatimukset
<p>Vähintään 3 kg kylmäainetta sisältävät kiinteät jäähdytys-, ilmastointi- ja lämpöpumppulaitteet</p> <p>Kylmäkuljetuskuorma-autojen ja kylmäkuljetusperävaunujen jäähdytysyksiköt (vaatimukset vain asentajalle)</p> <p>Laivojen ja vesialusten jäähdytys- ja ilmastointi- ja lämpöpumppulaitteet (vaatimukset vain asentajalle)</p> <p>(asennus, kunnossapito, huolto, korjaaminen, käytöstä poistaminen, vuototarkastus, talteenotto)</p>	<p>kylmäalalle soveltuva tekniikan tai insinöörin tai diplomi-insinöörin tutkinto sekä osa kylmäaineiden käsitteleminen (talotekniikan at, kylmäasennuksen osaamisala) tai aiempi kylmäasentajan at: osa 1, kylmäaineiden käsittely)</p> <p>kylmäasentaja, AT (talotekniikan at: kylmäasennuksen osaamisala) tai aiempi kylmäasentajan at</p> <p>kylmäestarin erikoisammattitutkinto</p> <p><i>Lisäksi vähintään kahden vuoden työkokemus kylmäalalta</i></p>	<p>osat kylmäaineiden käsitteleminen ja yksi viidestä valinnaisesta asennus- ja huolto-osasta (talotekniikan at: kylmäasennuksen osaamisala) tai aiempi kylmäasentajan at: osa 1, kylmäaineen käsittely sekä jokin valinnaisista asennus- ja huoltoosista 4-8)</p> <p>kylmäasentaja, AT (talotekniikan at: kylmäasennuksen osaamisala) tai aiempi kylmäasentajan at</p> <p>osat kylmäkomponenttien ja putkiston asentaminen sekä kylmälaitoksen käyttöönotto (talotekniikan perustutkinto, kylmäasennuksen osaamisala) tai osat kylmäkomponenttien ja putkiston asennus ja kylmälaitoksen käyttöönotto</p>
<p><i>Kylmäasentajan ammattitutkinto (AT) ja kylmäestarin erikoisammattitutkinto (EAT) siirtyvät talotekniikan ammattitutkintoon 1.1.2019. Aiemmin aloitettujen opintojen siirtymäaika päättyy 31.12.2021</i></p>		

<p>Alle 3 kg kylmäainetta sisältävät kiinteät jäähdytys-, ilmastointi- ja lämpöpumppulaitteet</p> <p>Kylmäkuljetuskuorma-autojen ja kylmäkuljetusperävaunujen jäähdytysyksiköt (vain asentajan pätevyys)</p> <p>Laivojen ja vesialusten jäähdytys- ja ilmastointi- ja lämpöpumppulaitteet (vaatimukset vain asentajalle)</p> <p>(asennus, kunnossapito, huolto, korjaaminen, käytöstä poistaminen, vuototarkastus, talteenotto)</p>	<p>osa kylmäaineiden käsitteleminen (talotekniikan at: kylmäasennuksen osaamisala) tai aiempi kylmäasentajan at: osa 1, kylmäaineiden käsittely</p> <p>osa lämpöpumppujen asentaminen ja huoltaminen (talotekniikan at, lämmityslaitte-asennuksen osaamisalasta osa) tai lämmityslaitteasentajan at: osa lämpöpumppulämmityslaitteistotyöt¹⁾</p> <p>kotitalouskoneasentajan at: kylmätekniikan laitteiden asennus-, huolto- ja korjaustyöt²⁾</p> <p><i>Lisäksi vähintään vuoden työkokemus toiminnanharjoittajan toimialalta (kylmäala tai muu soveltuva tekninen työkokemus)</i></p>	<p>osa lämpöpumppujen asentaminen ja huoltaminen (talotekniikan at, lämmityslaitte-asennuksen osaamisalasta osa) tai lämmityslaitteasentajan at: osa lämpöpumppulämmityslaitteistotyöt¹⁾</p> <p>kotitalouskoneasentajan at: osa kylmätekniikan laitteiden asennus-, huolto- ja korjaustyöt²⁾</p> <p>talotekniikan perustutkinnosta osa pienkylmälaitteiden ja ilmalämpöpumppujen asentaminen (tai pienkylmälaitteiden asennus)</p>
<p>Vuototarkastaja</p>		<ul style="list-style-type: none"> Tukesin hyväksymän tahon järjestämän pätevyyskokeen suorittaminen (pätevyyskokeen sisältö, ks. asetuksen liite 3, kohta 3)
<p>¹⁾Lämmityslaitteasentajan ammattitutkinnossa (at) on tapahtunut muutoksia 1.1.2019 alkaen. Aiemmin aloitettujen opintojen siirtymäaika päättyy 31.12.2021.</p> <p>²⁾Kotitalouskoneasentajan ammattitutkinnon voimassaolo päättyi 31.12.2018. Siirtymäaika päättyy 31.12.2021.</p>		

MTK4

MASCHINENFABRIK AUGSBURG-NÜRNBERG AKTIENGESELLSCHAFT

UJSAX 410890 BAUEINHEIT (UNIT) 0

-2-

TELEX: 956691 GHH D
 PARTS FOR REPAIR ARE TO BE DELIVERED TO:
 BAHNHOFSTRASSE, TOR 1, WERKSTATT 144,
 FROM MONDAY TO FRIDAY BETWEEN 6.00 AND
 14.00 HRS (OR BY PREVIOUS AGREEMENT).

RECOMMENDATIONS FOR MAINTENANCE

PLANT COMPONENTS SUPPLIED BY OTHER MANUFACTURERS ARE TO BE MAINTAINED IN ACCORDANCE WITH THE RESPECTIVE APPLICABLE INSTRUCTIONS. FOR THE EQUIPMENT SUPPLIED BY M.A.N.-GHH STERKRADE WE RECOMMEND THE REGULAR PERFORMANCE OF THE FOLLOWING PERFORMANCE WORK:

1. HOURLY: ENTRY OF THE OPERATING VALUES IN THE APPLICABLE FORM SHEETS.
2. DAILY: CHECK OF OIL LEVEL;
 ONCE A WEEK: TAKING OF AN OIL SAMPLE FOR CHECKING THE WATER CONTENT.
3. AT LEAST ONCE IN EVERY THREE MONTHS AS WELL AS AFTER EXTENDED PERIODS OF STANDSTILL OR AFTER A REVISION OF THE MACHINE SET: TESTING OF THE TRIP GEAR OF THE DRIVING TURBINE. IF POSSIBLE, THIS TEST IS TO BE CARRIED OUT WITH THE COMPRESSOR DISCONNECTED. IN THE CASE OF TURBINES USED AS DRIVERS FOR GENERATORS, THE GENERATOR SUPPLIER HAS TO BE CONTACTED BEFORE SUCH A TRIP TEST IS CARRIED OUT.
4. AT LEAST TWICE A YEAR: CHECKING OF THE OIL QUALITY AND A CHANGE OF THE OIL, IF NECESSARY.
5. ONCE A YEAR: CHECKING OF ALL CONTROL AND REGULATING EQUIPMENT AS WELL AS OF ALL ELECTRICAL SWITCHING AND SAFETY SYSTEMS FOR PROPER FUNCTIONING. CHECKING OF THE SWITCHING-POINT SETTINGS, AS WELL AS OF BEARINGS AND ALIGNMENT.
6. AS OFTEN AS REQUIRED, DEPENDING ON THE OPERATING EXPERIENCE:
 CLEAN CONDENSER WATER SIDE, AND CHECK FOR TIGHTNESS.
 CLEAN OIL FILTERS AND OIL COOLERS BEFORE THE MAXIMUM ADMISSIBLE DEGREE OF SOILING IS REACHED;
 CHECK EASE OF MOVEMENT OF THE ADJUSTABLE STATOR BLADES OF THE COMPRESSOR (IF APPLICABLE).

FURTHERMORE, PLEASE REFER TO THE MAINTENANCE INSTRUCTIONS GIVEN IN LATER CHAPTERS OF THE INSTRUCTIONS FOR OPERATION, WHICH MUST ALWAYS BE GIVEN PRIORITY OVER THE RECOMMENDATIONS STATED HERE.

RECOMMENDATIONS REGARDING GENERAL OVERHAULS

FOR MACHINE SETS OPERATING UNDER NORMAL CONDITIONS, OUR SERVICE DEPARTMENT FOR TURBO MACHINES (MS) RECOMMENDS A GENERAL OVERHAUL EVERY THREE YEARS.

THE CORRECT TIME INTERVAL BETWEEN SUCH REVISIONS IS LARGELY DETERMINED BY THE MODE OF OPERATION, NATURE AND PURITY OF THE MEDIUMS HANDLED CAREFUL PERFORMANCE OF MAINTENANCE OPERATION ETC.

MTK4

MASCHINENFABRIK AUGSBURG-NÜRNBERG AKTIENGESELLSCHAFT

M·A·N
 UNTERNEHMENSBEREICH
GHH
 STERKHOE

☐ UUSAX 410890 BAUEINHEIT (UNIT) 0

-3-

IN SEVERAL CASES, OUR MACHINE SETS ARE OPERATED FOR A PERIOD OF FIVE YEARS WITHOUT INTERRUPTION, WHEREAS IN OTHER CASES CLEANING HAS TO BE CARRIED OUT AT SHORT INTERVALS DUE TO HEAVY SOILING.

WHERE A REPLACEMENT OF COMPONENTS BECOMES NECESSARY, CARE MUST BE TAKEN TO ENSURE THAT ONLY ORIGINAL GHH SPARE PARTS ARE USED. THESE SPARES MAY ONLY BE INSTALLED BY SPECIALLY QUALIFIED AND TRAINED PERSONNEL. WE RECOMMEND TO HAVE SUCH WORK CARRIED OUT BY GHH SPECIALISTS. SPARE PARTS TAKEN FROM CUSTOMER'S OWN STORE ARE TO BE REPLACED AS SOON AS POSSIBLE.

WE RECOMMEND AN EARLY OVERHAUL PLANNING IN ORDER TO KEEP THE TIME ACTUALLY SPENT ON OVERHAULS AS SHORT AS POSSIBLE. CONSIDERING THAT SOME SPARE PARTS MAY STILL HAVE TO BE PROCURED AND THAT SOME REPAIR WORK CAN BE SCHEDULED IN ADVANCE, THIS PLANNING SHOULD BE COORDINATED WITH OUR SERVICE DEPARTMENT (MS) ABOUT ONE YEAR BEFORE THE OVERHAUL JOB IS TO BE CARRIED OUT.

OUR SERVICE DEPARTMENT (MS) AND THE MACHINERY ERECTION DEPARTMENT (DMM) ARE ALWAYS READY TO ADVISE YOU IN CASE OF EXTRAORDINARY OCCURRENCES OF WHICH THE CAUSES AND EFFECTS CANNOT BE CLEARLY DETERMINED.

THESE OUR RECOMMENDATIONS ARE, OF COURSE, SUBJECT TO THE NATIONAL AND FACTORY INSPECTION AUTHORITIES' OR OTHER APPLICABLE REGULATIONS, ADHERENCE TO WHICH IS THE CUSTOMER'S RESPONSIBILITY.

WITHIN THE SCOPE OF ENGINEERING ORDERS, OUR SERVICE DEPARTMENT FOR TURBO MACHINES (MS) ALSO CARRIES OUT THE REARRANGEMENT OF COMPLETE SETS, EXAMINES THE POSSIBILITY OF CONVERSIONS, AND CONVERTS MACHINES IF A CHANGE OF THE MACHINE CAPACITY APPEARS EXPEDIENT DUE TO CHANGES IN THE PROCESS.

EXECUTION OF GENERAL REVISION

☐ A GENERAL OVERHAUL INVOLVES THE FOLLOWING WORK:

1. TESTING THE ALIGNMENT BEFORE TAKING OFF THE COVERS OF THE MACHINES.
2. OPENING-UP THE TURBINES AND COMPRESSORS, TAKING OUT THE ROTORS AND INTERNALS, AND INSPECTING THESE PARTS FOR SOILING, WEAR AND DAMAGE.
3. CLEANING (IF NECESSARY) BY BRUSHING, WASHING OR BLASTING WITH A SUITABLE BLAST MATERIAL.
4. CHECKING FOR TRUE RUN AND REBALANCING OF ROTORS, IF NECESSARY.
5. IN CASE OF AXIAL COMPRESSORS: CHECKING THE ROTOR AND STATOR BLADES FOR CRACKS.
6. PROVIDING CASING AND INTERNALS WITH A NEW COAT OF PAINT, IF REQUIRED.
7. CHECKING THE BEARING-PEDESTALS AND CASING GUIDES.
8. CHECKING THE PIPING FOR SOILING AND CORROSION, CHECKING THE ANCHORAGE AND THE EXPANSION JOINTS.
9. CHECKING THE BEARINGS.
- ☐ 10. CHECKING ALL THE CONTROL AND SAFETY EQUIPMENT AS WELL AS THE SWITCHING-POINT SETTINGS.
11. CLEANING THE COMPLETE OIL SUPPLY SYSTEM, INCLUDING COOLERS, FILTERS AND TANK.
12. CLEANING AND INSPECTING THE CONDENSER.
13. CHECKING THE GEARBOXES (PLANETARY GEARS BY MANUFACTURER).

MTK4

MASCHINENFABRIK AUGSBURG-NÜRNBERG AKTIENGESELLSCHAFT

UUSAX 410890 BAUEINHEIT (UNIT) 0

- 4 -

14. INSPECTION OF DRIVING MOTORS OR GENERATORS (BY MANUFACTURER).
15. ASSEMBLY OF THE MACHINE SETS.
16. CHECKING THE FINAL ALIGNMENT, IF NECESSARY IN COLLABORATION WITH THE MANUFACTURER OF THE COUPLED MACHINE.
17. CHECKING ALL THE CONTROL AND SAFETY EQUIPMENT FOR PROPER FUNCTIONING, IN PARTICULAR CARRYING OUT AN EMERGENCY TRIP TEST FOR TURBINES (SET UP RECORDS).

REPAIR WORK WHICH IS FOUND TO BE NECESSARY DURING THE OVERHAUL WILL BE GIVEN PRIORITY BY US.

WE ALWAYS RESERVE A CERTAIN CAPACITY IN OUR WORKSHOPS FOR URGENT QUICK-REPAIR JOBS.

FOR A GENERAL OVERHAUL OF THE GHH SUPPLY PORTION THE FOLLOWING PERSONNEL, THE EXACT NUMBER OF WHOM DEPENDS ON THE SIZE OF THE MACHINE SET AND THE TIME SCHEDULED FOR OVERHAUL, IS NEEDED: 1 TO 3 GHH ERECTORS, AND 1 GEARBOX ERECTOR (IN THE CASE OF A PLANETARY GEARBOX), AS WELL AS FITTERS AND ASSISTANTS, AS ACTUALLY REQUIRED.

THE TIME REQUIRED FOR SUCH AN OVERHAUL RANGES BETWEEN 1 AND 8 WEEKS, DEPENDING ON THE SIZE OF THE MACHINE SET AND THE GENERAL SITUATION, BASED ON A WEEKLY WORKING TIME OF 56 HOURS (REGULAR WORKING TIME 5 X 8 = 40 HOURS, AND BEYOND THAT OVERTIME). IF NECESSARY, WORK CAN ALSO BE CARRIED OUT IN TWO SHIFTS.

REPORTS WILL BE DRAWN UP ON THE FINDINGS MADE DURING THE OVERHAUL AS WELL AS ON THE CONDITION OF THE SET AT HANDING-OVER, FOR WHICH WE RESERVE THE RIGHT TO CHARGE SEPARATE FEES.

STORAGE OF SPARE PARTS

PRIOR TO THEIR DESPATCH, GHH SPARE PARTS ARE PRESERVED WITH "PRIOMAT-HAFTGRUND GRAUGRUEN C 7780"; BEARING AREAS RESPECTIVELY BEARING AND CONTROL COMPONENTS WITH "TECTYL 502 C" OR "TECTYL 846"; AND ADEQUATELY PACKED.

WHEN CORRECTLY STORED IN CLOSED ROOMS WITH A DRY AND NEUTRAL ATMOSPHERE (TEMPERATURE BETWEEN -20 DEGR. CENTIGRADES AND +50 DEGR. CENTIGRADES WITHOUT THE FORMATION OF CONDENSED MOISTURE, I.E. RELATIVE HUMIDITY OF THE AIR BELOW 50% AND PREFERABLY BELOW 35%) AND WHEN KEPT IN THE ORIGINAL PACKING WITH ORIGINAL PRESERVATION, THE SPARE PARTS CAN BE STORED FOR SEVERAL YEARS AND ARE IMMEDIATELY READY FOR OPERATION WHEN REQUIRED. THIS APPLIES ALSO TO SPARE ROTORS, THE DIMENSIONAL ACCURACY OF WHICH WILL NOT CHANGE INADMISSIBLY WHEN KEPT IN THE ORIGINAL POSITION IN THE GHH PACKING.

IN THE CASE OF DOUBTFUL TRANSPORT OPERATIONS IT IS ADVISABLE TO CHECK THE SPARE PARTS FOR COMPLETENESS, PROPER PRESERVATION AND POSSIBLE TRANSPORT DAMAGE, BEFORE PUTTING THEM IN STORE. IN PARTICULAR THE DIMENSIONAL ACCURACY OF ROTORS MUST BE CHECKED BY A TRUE-RUN TEST.

THE MAXIMUM ADMISSIBLE ECCENTRICITY AT THE SHAFT COLLAR IS 0.02 TO 0.04 MM, DEPENDING ON THE ROTOR SIZE. THIS MEASUREMENT REFERS TO A BEARING JOURNAL ALIGNMENT WITH A DIAL INDICATION OF MAX. 0.01, WITH THE ROTOR POSITIONED IN A DOUBLE ANTIFRICTION BEARING PEDESTAL OR A LATHE BACK REST.