

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma/ Kone- ja laitossuunnittelu

Merita Halkola

KESKIPAKOPUMPPUJEN LAAKEROINNIN AKSELITIIVISTYS ÖLJYKYLPI-
VOIDELLUISSA LAAKEROINNEISSA

Opinnäytetyö 2013

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Energiatekniikan koulutusohjelma

HALKOLA, MERITA	Keskipakopumppujen laakeroinnin akselitiivistys öljykylpyvoidelluissa laakeroinneissa
Opinnäytetyö	52 sivua + 13 liitesivua
Työn ohjaaja	TkL Ilkka Estlander
Toimeksiantaja	Sulzer Pumps Finland Oy
Huhtikuu 2013	
Avainsanat	Akselitiivistys, sokkelotiivisteet, laakerointi, keskipakopumppu, öljyvoitelu

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää keskipakopumppujen öljykylpyvoideltujen laakerointien akselitiivistysratkaisut sekä kartoittaa niiden keskeisimmät suunnittelu- ja valintaperusteet. Työssä testattiin kuuden eri tiivistysratkaisun toimivuus keskipakopumpun laakeroinnissa.

Tämä työ on tehty aiemmin raportoitujen öljyvuotojen takia. Sulzer Pumps Finland Oy:llä ei myöskään ollut aiemmin kattavaa kirjallista laakeroinnin tiivistyksen valinta- ja suunnitteluopasta.

Teoriaosassa tutkittiin tiivistyksen perusteita sekä suunnittelu- ja valintaperusteita haastatteleamalla Sulzerin suunnitteluinsinöörejä ja tutkimalla kirjallisuutta. Koeajot suoritettiin Sulzer Pumps Finland Oy:n Karhulan tutkimuskeskuksessa. Koeajo-ohjelmaan sisällytettiin pysäytyksiä ja käynnistyksiä sekä eri kierrosnopeuksia. Tutkimustulosten pohjalta selvitettiin tiivisteiden toimivuus sekä tiivistysrakenteen muotoilun vaikutus tiivistyksen toimintaan.

Lopputuloksena tämä opinnäytetyö tarjoaa Sulzer Pumps Finland Oy:lle kirjallisen ohjeen tiivisteiden suunnitteluun ja valintaan. Koeajojen perusteella todettiin, että nykyinen tiivistys on korvattavissa paremmin toimivalla ratkaisulla. Koeajoista saatujen tulosten pohjalta on mahdollista suunnitella täysin uudenlainen tiivistysrakente, joka kokoaa nyt koeajettujen tiivisterakenteiden parhaat ominaisuudet yhteen.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Energy Engineering

HALKOLA, MERITA

Shaft Sealing of Oil Bath Lubricated Bearing Units in
Centrifugal Pumps

Bachelor's Thesis

52 pages + 13 pages of appendices

Supervisor

Ilkka Estlander, Lic.Sc. (Tech.)

Commissioned by

Sulzer Pumps Finland Oy

April 2013

Keywords

shaft sealing, bearing, oil bath lubrication, centrifugal
pumps

The purpose of this thesis was to solve existing problems of shaft sealing in oil bath lubricated bearings as well as to create a guide for the design and selection of bearing shaft seals. The testing was done on six different bearing shaft sealing solutions.

The subject was chosen because of previously reported oil leakages from the bearing housings. There was also a need for a written guide for selecting appropriate bearing shaft seals.

The theory section of the study was done by exploring literature and interviewing development engineers at Sulzer. The sealing tests were done in the research center of Sulzer Pumps Finland Oy, which is located in Karhula Finland.

As a result, the thesis provides a guide for bearing shaft seal design and selection. The test results revealed that solutions better than the current one could be found. The findings can also be used as a base for a new shaft seal design.

ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö on tehty Sulzer Pumps Finland Oy:lle. Työ on suoritettu tuotekehityksen tuotesuunnitteluryhmässä. Työn ohjaajana Sulzerilla toimi tuotekehityspäällikkö Sami Virtanen. Kymenlaakson ammattikorkeakoulun puolesta työn ohjaajana toimi Ilkka Estlander.

Haluan kiittää kaikkia Sulzerin tuotekehitysinsinöörejä, jotka ovat auttaneet minua työssäni. Erityisesti haluan kiittää työni ohjaajaa Sami Virtasta ja prosessipumppujen pääsuunnittelija Hannu Makkosta neuvoista ja opastuksesta. Suuri kiitos kuuluu myös tutkimuslaboratorion työntekijöille, jotka työskentelivät koeajojeni parissa. Ilkka Estlanderia kiitän opinnäytetyön valvomisesta sekä ohjaamisesta.

Kotkassa 5.4.2013

Merita Halkola

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1	JOHDANTO	7
1.1	Sulzer-konserni	7
1.2	Työn tavoitteet	7
1.3	AHLSTAR-prosessipumppusarja	8
2	TIIVISTEET	10
2.1	Yleistä	10
2.2	Tiivistyksen merkitys	11
2.3	Tiivistetyypit	12
	2.3.1 Staattiset tiivisteet	13
	2.3.2 Puolistaattiset tiivisteet	13
	2.3.3 Liiketiivisteet	13
2.4	Valinta- ja suunnitteluperusteet	15
3	LAAKEROINNIN AKSELITIIVISTYS	18
3.1	Laakeroinnin akselitiivistyksen merkitys	18
3.2	Säteishuulitiivisteet	19
3.3	Sokkelotiivisteet	20
3.4	Tiivistysratkaisut Sulzerilla	25
4	TUTKITTAVAT TIIVISTYSRATKAISUT	28
4.1	Vaihtoehto yksi	29
4.2	Vaihtoehto kaksi	31
4.3	Vaihtoehto kolme	32
4.4	Vaihtoehto neljä	33
4.5	Vaihtoehto viisi	34
4.6	Vaihtoehto kuusi	35
5	KOEAJOT	35

5.1 Koeajosuunnitelma	36
5.2 Koeajojärjestelyt	37
5.2.1 Vaihtoehto yksi	39
5.2.2 Vaihtoehto kaksi	40
5.2.3 Vaihtoehto kolme	41
5.2.4 Vaihtoehto neljä	41
5.2.5 Vaihtoehto viisi	42
5.2.6 Vaihtoehto kuusi	43
5.2.7 Paluukanavan merkitys	44
5.3 Tulosten analysointi	46
6 YHTEENVETO	49
LÄHTEET	51
LIITTEET	
Liite 1. Koeajo-ohje	
Liite 2. Koeajo-ohjelma	

1 JOHDANTO

1.1 Sulzer-konserni

Sulzer on perustettu vuonna 1775 Sveitsissä. Nykyään konserni koostuu neljästä eri divisioonasta: Sulzer Pumps, Sulzer Metco, Sulzer Cemtech ja Sulzer Turbo Services. Vuonna 2012 Sulzer-konserni työllisti yli 17 900 henkilöä ja sen myynti oli yli neljä miljardia Sveitsin frangia eli yli 3,2 miljardia euroa. (Sulzer Ltd 2013.)

Sulzerin suurin divisioona on Sulzer Pumps. Se työllisti vuonna 2012 yli 8 500 henkilöä ja sen myynti oli yli kaksi miljardia Sveitsin frangia eli noin 1,7 miljardia euroa. Se on yksi maailman johtavista pumppuvalmistajista. Sulzer Pumpsilla on yli 20 tehdasta ja yli 120 huoltokeskusta ja myyntikonttoria maailmanlaajuisesti. (Sulzer Ltd 2013.)

Vuonna 2000 Sulzer-konserni osti Ahlström Pumput Oy:n. Yritystoston myötä syntyi Sulzer Pumps Finland Oy. (Sulzer Ltd 2013.) Sulzer Pumps Finland Oy valmistaa sekä huoltaa pumppuja ja sekoittimia. Sillä on toimipisteet Karhulassa, Mäntässä ja Oulussa. Karhulassa toimii valimo, pumpputehdas sekä pumppuhuolto. Loppuvuonna 2012 Karhulan toimipiste työllisti yhteensä yli 520 henkilöä. Karhulassa sijaitsee myös Sulzer Pumppujen Suomen tuotekehityskeskus. (Sulzer Pumps Finland intranet 2013.)

Vuonna 2011 Sulzer osti Cardo Flow Solutions -nimisen yrityksen, jonka tuotemerkejä ovat Scanpump ja ABS. Tällä yritysostolla Sulzer Pumps nosti markkinaosuuttaan vesi- ja jätevesimarkkinoilla. (Sulzer Ltd 2013.)

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on perehtyä keskipakopumpun öljykylpyvoidellun laakeroinnin akselitiivistykseen, selvittää sen suunnittelu- ja valintaperusteet sekä testata erilaisia tiivistysratkaisuita. Työn tarve on peräisin aiemmin esiintyneistä laakeroinnin öljyvuodoista.

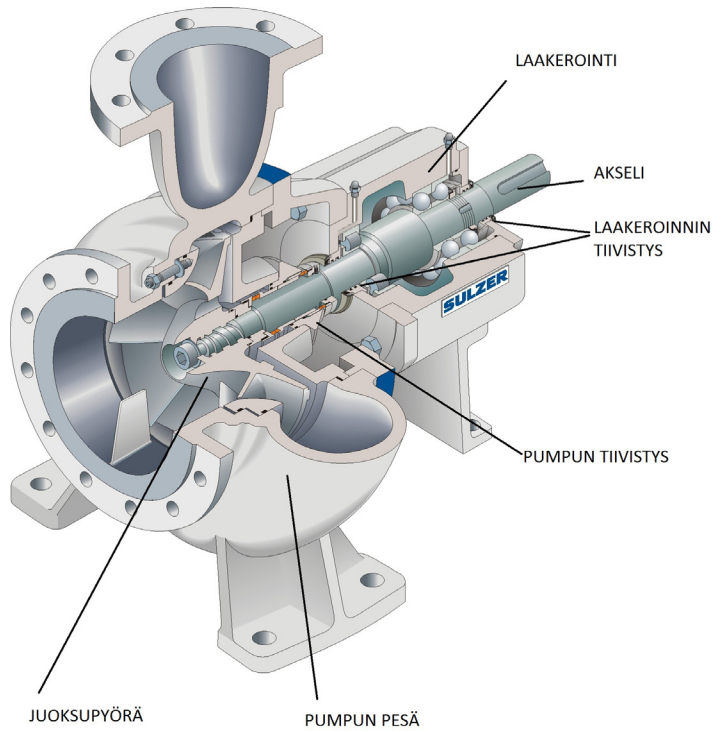
Suunnittelu- ja valintaperusteiden kartoitus on toteutettu tutkimalla kirjallisuutta sekä haastatteleamalla Sulzerin suunnitteluinsinöörejä. Sulzerilla ei ole yhtenäistä ja kattavaa kirjallista ohjetta laakeroinnin akselitiivistyksen suunnitteluun ja valintaan.

Koeajoissa testattiin kuutta erilaista tiivistysratkaisua. Niiden ominaisuuksia verrattiin keskenään ja pyrittiin selvittämään tiivisteiden muotoilun vaikutus vuotoihin. Käytännön koeajot suoritettiin Sulzer Pumps Finland Oy:n Karhulan tutkimuskeskuksessa ja tutkimus suunnattiin laakeroinnin kytkimen puoleiseen päähän, jossa vuotoja on aiemmin esiintynyt. Koeajot suoritettiin AHLSTAR-prosessipumpulla.

Tavoitteena on luoda Sulzerille kirjallinen suunnittelu- ja valintaohje sekä tutkimus keskipakopumpun öljykylpyvoidellun laakeroinnin akselitiivistysratkaisuihin. Tarkoituksena on, että tutkimuksen pohjalta Sulzer voi valita keskipakopumpuille parhaan vaihtoehdon laakeroinnin akselitiivistykseen.

1.3 AHLSTAR-prosessipumppusarja

AHLSTAR on alun perin Ahlström pumppujen kehittämä prosessipumppusarja, josta yritystalon myötä tuli Sulzerin tuotemerkki. Se on Sulzerin myydyin pumppusarja. Niitä on valmistettu vuodesta 1987 ja myyty yli 130 000 kappaletta. AHLSTAR-sarjan pumppuja valmistetaan Kiinassa Dalianissa, Yhdysvalloissa Easleyssa ja Suomessa Karhulassa. (Sulzer Pumps Finland Oy 2012.)

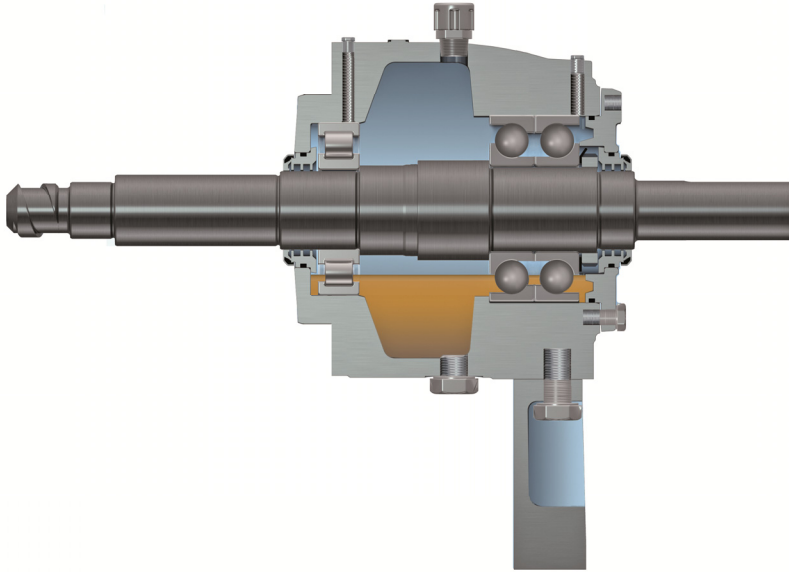


Kuva 1. AHLSTAR versio 11 prosessipumpun rakenne (Sulzer 2012)

Alkuperäisen sarjan virallinen tuotenimi oli AHLSTARTM. Pumppusarja on kehittynyt vuosien saatossa. Viimeisin suuri tekninen uudistus oli vuonna 2005, kun Sulzer julkaisi uuden AHLSTAR^{UP} prosessipumppusarjan. (Sulzer Pumps Finland Oy 2012.) Vuoden 2005 uudistuksessa julkaistiin uusi pumpun pesä, juoksupyörä ja sivulevy, sekä roiskeöljyvoideltu laakerointi. Roiskeöljyvoideltuun laakerointiin suunniteltiin myös uudenlainen sokkelotiiviste. (Makkonen 15.1.2013.)

Vuonna 2011 AHLSTARTM ja AHLSTAR^{UP} sarjat integroitiin AHLSTAR-pumppusarjaksi. AHLSTAR-pumppusarja tarjoaa suuremmat tuottoarvot, sekä paremman hyötysuhteen. (Sulzer Pumps intranet 2013.)

AHLSTAR-laakeroinnissa pumpun puolella on yksirivinen rullalaakeri. Kytkimen puolella on kaksi yksirivistä viistokuulalaakeria, jotka on asennettu O-asentoon (back-to-back -asennus). AHLSTAR-laakerointia saa rasva-, roiskeöljy- ja öljykylpyvoideluna. Kuvassa 2 näkyy öljykylpyvoitelulla varustetun laakeroinnin periaatteellinen rakenne.



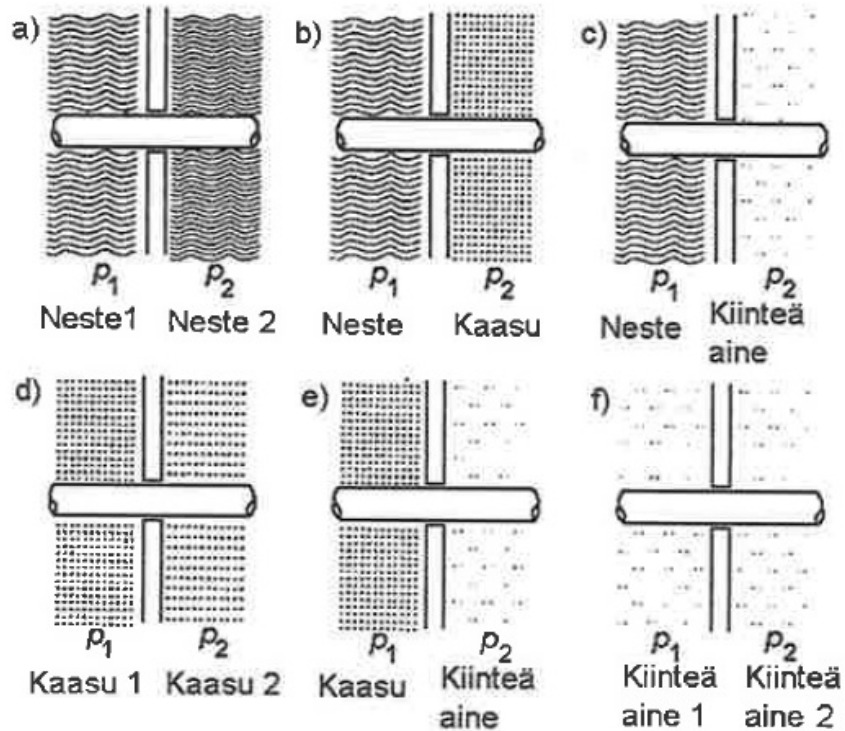
Kuva 2. Öljykylpyvoideltu AUP laakerointi (Sulzer 2013)

Öljyvuotoja on esiintynyt lähinnä öljykylpyvoidellun laakeroinnin kytkimen puoleisessa päässä. Japanista raportoidut vuodot ovat esiintyneet laakerointikoissa kaksi, kolme ja neljä. Karhulan pumppuhuolto vahvisti, että vuotoja on ollut myös viitoskoon laakeroinneissa, mutta nämä ovat pitkälti johtuneet asiakkaalla olleista ylitäyttötilanteista. Eräessä tapauksessa ongelmaan on reagoitu lisäämällä vakiosokkelotiivisteeseen lovi, jonka kautta öljy pääsee vuotamaan vapaammin paluukanavaan. Tämän on raportoitu auttaneen ongelmaan. (Seki 2011, Toikka 25.2.2013.) Näin muokattu sokkelotiiviste on yksi koeajettavista laakeroinnin akselitiivistysratkaisuista.

2 TIIVISTEET

2.1 Yleistä

Tiivisteellä tarkoitetaan laitetta tai järjestelmää, jolla saadaan aikaan tiivistys (Airila 1987, 310). Tiivistyksellä pyritään estämään tai vähentämään vuotoja kahden tilan välillä. Käytännössä tämä tarkoittaa tiivisteiden eri puolilla olevien aineiden virtauksen estämistä. Mahdollinen virtaus aiheuttaa aineiden sekoittumista tai niiden keskinäistä paineen tasaantumista ja on haitallista koneen tai osan kannalta. (Airila - Miettinen 1997, 636.)



Kuva 3. Tiivistystarpeiden perustapakukset (Airila - Miettinen 1997, 636)

Tiivisteiden tulee kestää käytössä aiheutuvia mahdollisia liikkeitä ja kemikaaleja sekä käyttökohteen lämpötiloja (Oy SKF Ab 1995, 6).

2.2 Tiivistyksen merkitys

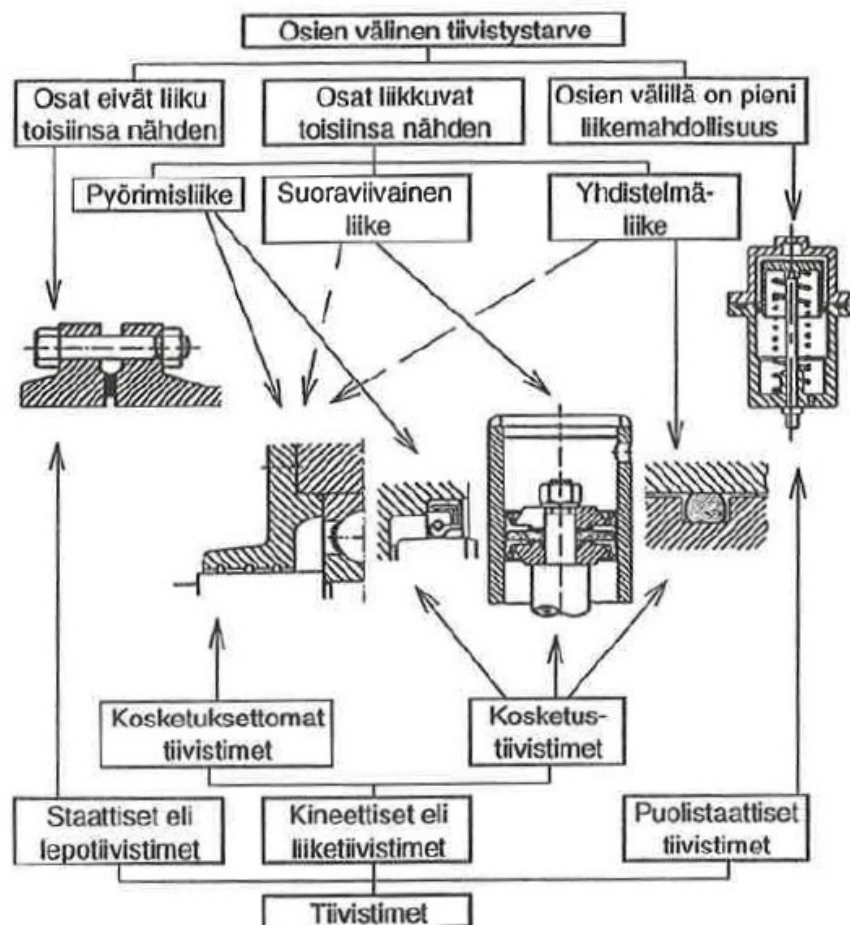
Tiivistys on erittäin oleellinen osa koneenrakennusta ja prosessisuunnittelua. Hyvin suunnitellulla ja valmistetulla tiivistyksellä voidaan lisätä koneen ja prosessin elinikää huomattavasti. Erilaiset tiivistevuodot aiheuttavat teollisuudessa huomattavia lisä kustannuksia. Näiltä voidaan välttyä, kun tiivistyksen suunnitteluun ja toteutukseen panostetaan tarpeeksi.

Tiivistys myös suojelee ympäristöä haitallisilta vuodoilta. Tällaista vuotoa voivat olla myrkylliset nesteet, mutta myös yhtälailta ympäristön sotkeutuminen. (Warring 1981, 27.)

2.3 Tiivistetyypit

Tiivistystarpeet vaihtelevat tapauskohtaisesti, joten on olemassa paljon erilaisia tiivistetyyppejä. Tiivisteet voidaan jakaa ryhmiin tiivistyskohdassa esiintyvän liikkeen mukaan:

- Staattiset, eli lepotiivisteet
- Puolistaattiset tiivisteet
- Dynaamiset, eli liiketiivisteet
 - Pyörimisliikkeen tiivisteet
 - Suoraviivaisen liikkeen tiivisteet sekä
 - Yhdistelmäliikkeen tiivisteet. (Airila - Miettinen 1997, 636.)



Kuva 4. Tiivistetyypin valinta tiivistyskohdassa esiintyvän liikkeen perusteella (Airila - Miettinen 1997, 636)

Jos osien välillä ei esiinny liikettä, tiivistetyypiksi valitaan staattinen eli lepotiiviste. Jos osat liikkuvat toisiinsa nähden vain vähän, tiivistyskohtaan voidaan valita puolistaattinen tiiviste. Osien liikkuaessa selkeästi toisiinsa nähden tiivistimeksi valikoituu kineettinen eli liiketiiviste. (Airila - Miettinen 1997, 637.)

2.3.1 Staattiset tiivisteet

Lepotiivisteet soveltuvat kohteisiin, joissa tiiviste ei altistu liikkeelle, tai liike tiivistyskohdassa on merkityksettömän pientä. Staattisissa olosuhteissa tiivistys perustuu tiivistemateriaalin ominaisuuksiin: materiaali on tarpeeksi elastista, jotta se täyttää tiivistettävän pinnan epätasaisuudet, mutta toisaalta niin jäykkää, ettei tiiviste menetä muotoaan ja vuoda. (Airila - Miettinen 1997, 636 – 638.) Esimerkkinä staattisesta tiivistyksestä voidaan mainita laakeripesän kannen tiivistys O-renkaalla.

2.3.2 Puolistaattiset tiivisteet

Puolistaattiset tiivisteet ovat joustavia tiivisteitä. Niitä käytetään kohteissa, joissa tiivistettävät pinnat liikkuvat toisiinsa nähden lineaarisesti muutamasta millimetristä kahteensataan millimetriin. Kuten staattisissa, myös puolistaattisissa tiivisteissä tiivistemateriaali on erittäin oleellinen osa tiivistystä. Puolistaattisia tiivisteitä ovat erilaiset kalvo- ja paljettiivisteet. Kalvotiivisteitä käytetään usein hydraulikan sekä pneumatikan säätölaitteissa ja voimaelimissä. Paljettiivisteiden yleisin käyttötarkoitus on suojata männänvarsien ja heiluriakseleiden läpivientejä vedeltä ja pölyltä. (Airila - Miettinen 1997, 642.)

2.3.3 Liiketiivisteet

Liiketiivisteet ovat nimensä mukaisesti tiivisteitä, jotka toiminta-alueellaan altistuvat jatkuvalle tai jaksottaiselle liikkeelle. Tällaisia tiivistyskohteita ovat edellisen jaotteen mukaisesti pyörimisliikkeen, suoraviivaisen liikkeen ja yhdistelmäliikkeen tiivisteet.

Liiketiivisteet jaetaan kahteen ryhmään niiden tiivistystavan mukaan:

- Kosketukselliset tiivisteet

- Kosketuksettomat tiivisteet (Airila - Miettinen 1997, 636.)

Kosketuksellisissa tiivistysjärjestelmissä löytyy useita eri vaihtoehtoja, kun tiivistettävän kohteen paine-ero on pieni tai lähes olematon. Koskettavan tiivistysjärjestelmän etu on sen hyvä tiivistävyys sallitun käyttöalueensa sisällä. Kosketukselliset tiivisteet ovat kuitenkin jatkuvassa hankauksessa tiivistyskohdassa. Hankauskohtaa on yleensä voideltava jatkuvasti, koska hankauksesta aiheutuva lämpö kuluttaa ja vanhentaa tiivistettä. (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 1.)

Hankauksesta johtuvat tekijät ja hankalat käyttöolosuhteet ilman huoltoa rajoittavat kosketuksellisen tiivistyksen käyttöikä ja käyttövarmuutta. Usein teknisissä sovelluksissa laitteiden käyttöajat ovat suuria ja tiivisteiden käyttöikä vaikuttaa tiivisteiden valintaan. Myös joissakin sovelluksissa käytettävät korkeat kierrosluvut ovat vaikeita hallita koskettavilla tiivistysjärjestelmillä. (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 1.)

Kosketuksettomilla tiivistysjärjestelmillä voidaan tiivistää ilman hankausta ja tästä johtuen myös kitkahäviöt ovat pienemmät. Pienemmän kitkan ansiosta tiivistyksen käyttöikä ja käyttövarmuus nousevat. Kosketuksettomilla tiivistysjärjestelmillä voidaan ajaa myös suuria kierroslukuja. (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 1.) Kosketuksettomien tiivisteiden huoltokustannukset ovat usein huomattavasti alhaisemmat, koska tiivistemateriaali ei kulu ja sitä ei jouduta vaihtamaan tai huoltamaan jatkuvasti. (Wuori 1971, 220.)

Kosketuksettoman tiivistyksen ongelmaksi muodostuu usein tiivisteiden rakenteesta johtuva tiivistystehon heikentyminen tiivisteiden kerran vuodettua (Wuori 1971, 220). Kosketuksettomien tiivisteiden huonoina puolina voidaan mainita myös niiden huonompi saatavuus ja korkeammat hankintakustannukset verraten kosketuksellisiin tiivisteisiin.

Pyörimisliikkeen tiivisteitä käytetään akselin tiivistämiseen. Pyörimisliikkeen tiivisteitä ovat erilaiset huulitiivisteet, rengastiivisteet, punostiivisteet, liukurengastiivisteet, O-rengastiivisteet, sekä rako- ja sokkelotiivisteet. Tiivistettä valittaessa on oleellista tietää tiivistyskohteen pyörimisliikkeen suunta ja vaihtelevuus. Akselin tiivistys on monimutkaisempaa kuin staattisten kohteiden tiivistys, sillä koskettavasta tiivistyksestä aiheutuu aina kitkahäviöitä ja kulumista. Kosketuksettomalla akselitiivistyksellä

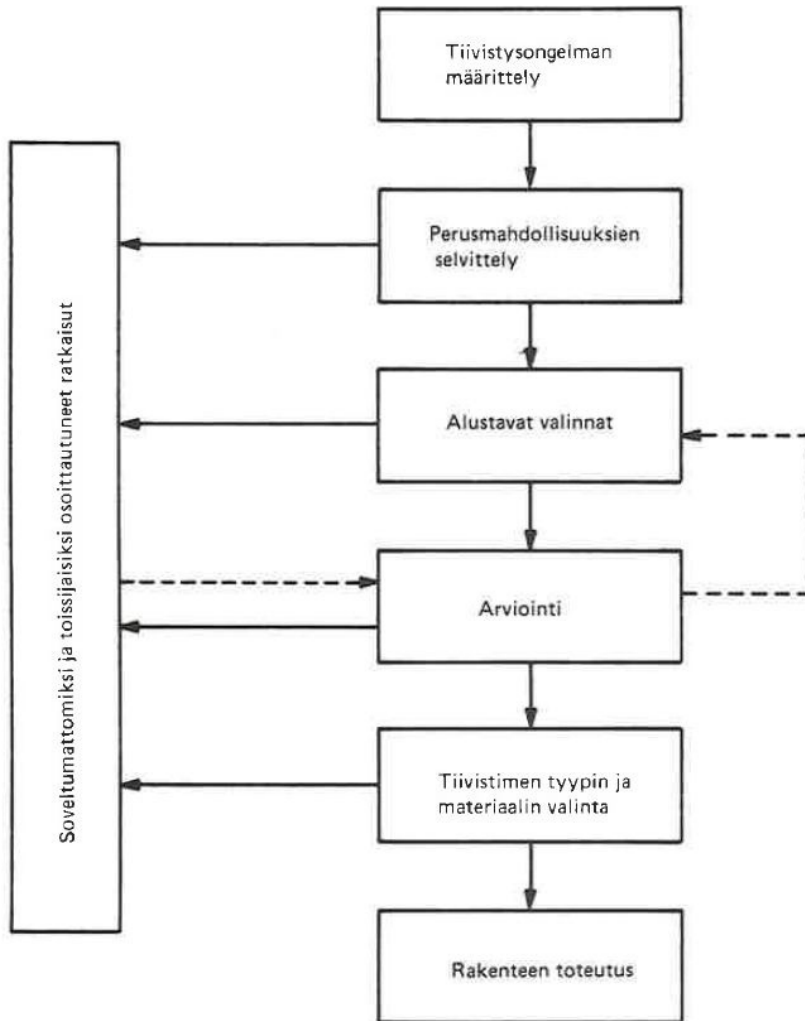
puolestaan on vaikeaa saavuttaa täysin tiivistä järjestelmää. (Airila - Miettinen 1997, 638–652.) Pyörimisliikkeen tiivistyksessä voidaan käyttää apuna myös sulkuainetiivistystä. Sulkuainetta syötetään kahden tiivisteiden väliin. Sen painetta säätelemällä voidaan helpottaa varsinaisen tiivisteiden taakkaa. (Airila 1987, 331.)

Suoraviivaisen liikkeen tiivisteitä käytetään yleisimmin hydraulikka ja pneumatiikkasyylintereiden yhteydessä, mutta myös yleisesti koneenrakennuksessa. Suoraviivaista liikettä tiivistetään esimerkiksi yhdistelmätiivisteillä, urarenkailla, sarjatiivisteillä, O-rengastiivisteillä, liukuholkkitiivisteillä ja pyyhkimillä. Suoraviivaisen liikkeen tiivistämisen haasteet liittyvät kitkahäviöihin ja kulumiseen, joten tiivistemateriaalin valintaan tulee kiinnittää huomiota. Hydraulikkasovelluksissa on myös otettava huomioon suuret paine-erot. (Airila 1987, 332–337.)

Yhdistelmäliikkeen tiivisteisiin voidaan soveltaa pyörimisliikkeeseen ja suoraviivaiseen liikkeeseen tarkoitettuja tiivisteitä kuten O-renkaita, punos-, nauha-, rako-, sarja- ja liukuholkkitiivisteitä. Esimerkiksi ruuviliike on yhdistelmäliikettä. (Airila - Miettinen 1997, 656.)

2.4 Valinta- ja suunnitteluperusteet

Tiivistyksen valinta aloitetaan tiivistettävän kohteen huolellisella kartoittamisella. Tärkeitä tietoja ovat tiivistettävät aineet ja tiivistyskohdassa tapahtuva liike. On otettava huomioon myös muut tiivisteiden valintaan vaikuttavat tekijät, kuten paine tai lämpötilat. (Airila 1985, 223.) Kuvassa 5 on esitetty kaavio tiivistyksen suunnitteluprosessista.



Kuva 5. Suunnitteluprosessi (Airila 1985, 222)

Tiivistyskohteesta riippuen prosessi voi olla hyvinkin erilainen. On olemassa paljon tiivistyskohteita, joihin suunnittelija osaa määrittää oikeanlaisen tiivisteeseen suoraan aiemman kokemuksen perusteella. Vaativammissa tapauksissa suunnittelijan tulee tarkastella tiivistysongelmaa järjestelmällisesti. (Airila 1985, 223.)

Tiivistysongelmaa määriteltäessä tulee huomioida kaikki ne tekijät, joille tiiviste altistuu toiminnassaan. Tässä vaiheessa suunnittelijan tulee selvittää seuraavat asiat:

- Liikemahdollisuudet: liikesuunnat, -nopeudet ja -matkat
- Tiivistettävät aineet: kemialliset ominaisuudet ja vaikutukset tiivistemateriaaleihin

- Lämpötilat: altistuuko tiiviste korkeille tai matalille lämpötiloille?
- Paineet: esiintyykö paine-eroa tiivistyksen yli?
- Käyttöaika: onko kyseessä jatkuvakäyttöinen kohde?
- Kitka: kosketuksellisen tiivisteeseen kulumisen
- Voitelu: jos tiivistettä voidellaan, tulee ottaa huomioon alakohtaiset vaatimukset esimerkiksi elintarviketeollisuudessa.
- Vuodot: sallitaanko tiivistykselle vuotoa? Vuotoreittien suunnittelu.
- Tila: tiivistyksen tilarajoitukset säteis- ja aksiaalisuunnassa
- Valmistustarkkuus: onko tiivistyskohdassa heittoja, karheaa pintaa tai muuta vastaavaa?
- Asennettavuus ja huollettavuus: tiivisteeseen sijainti asennuksen, vaihdon ja huollon aikana
- Kestoikä: kestoikä- ja luotettavuusvaatimukset esimerkiksi määräaikaishuoltojen mukaan ajoitettuna
- Kustannukset: tiivisteeseen hankinta- tai valmistushinta, vaihtoväli ja vaihtokustannukset, mahdollisen tiivisteaurion välittömät ja välilliset kustannukset (Airila 1985, 223 – 224.)

Suunnittelijan tulee selvittää altistuuko tiiviste käytössä liikkeelle. Kappale 2.3 esittää tiivistetyypit tiivistyskohdassa esiintyvän liikkeen mukaan jaoteltuna. Kun oikean liiketyypin tiiviste on löydetty, selvitetään kohteeseen soveltuva tiivistemateriaali. Materiaalivalintaan vaikuttavat paine-erot, lämpötilat ja tiivistettävät aineet. (Airila 1985, 224.)

Tiivistystä suunniteltaessa on otettava huomioon tiivistys kokonaisuutena. Vaikkakin usein tiivistyksen suunnittelu keskittyy itse tiivisteeseen valintaan, on erittäin tärkeää ottaa huomioon myös muut tiivistykseen vaikuttavat tekijät. Itse tiivisteelle on järjestettävä mahdollisimman suotuisa toimintaympäristö, jotta tiiviste ei joudu kohtuuttoman kuorman alle. Kun tiivistys suunnitellaan harkitusti kokonaisuutena, saadaan tiivistyskustannukset optimoitua ja tiivistyksestä mahdollisimman toimiva.

3 LAAKEROINNIN AKSELITIIVISTYS

Akselitiivistys on pyörimisliikkeen tiivistämistä. Se on haasteellista, sillä akselille ei haluta aiheuttaa kuluttavaa kosketusta, mutta toisaalta tiivistyksestä on saatava mahdollisimman pitävä. Tiivisteet jaetaan kosketuksellisiin ja kosketuksettomiin tiivisteisiin.

Laakerointia tiivistettäessä tiiviste ei altistu paineelle, eikä ole jatkuvasti nesteen alla (Hans - Hentzler - Pfluger 2007, 1).

3.1 Laakeroinnin akselitiivistyksen merkitys

Laakeroinnin akselitiivistyksen tehtävä on suojata laakereita ulkopuolisilta epäpuhtauksilta, kosteudelta sekä voiteluainevuodoilta. Tiivisteiden toiminta vaikuttaa suuresti laakerin käyttöikänsä. (Oy SKF Ab 1994, 85.)

Laakereiden laskennallinen kestoikä kohdennetaan hetkeen, jolloin laakerissa ilmenee ensimmäiset materiaalin väsymisen merkit. Usein laakerivauriot kuitenkin esiintyvät ennen laskennallista kestoikää ja johtuvat muista tekijöistä. Tiivisteiden pettäessä laakeroinnin voiteluainevuodot sekä laakerointiin pääsevät epäpuhtaudet ja kosteus alentavat laakeroinnin käyttöikää huomattavasti. Laakerivauriot voivat aiheutua myös liian raskaasta kuormasta, epätasapainotilanteesta tai sähkövirrasta. (Oy SKF Ab 1995, 4.) Laakerivaurioiden syyt eroavat teollisuudessa alakohtaisesti. Paperi- ja massateollisuudessa huono voitelu ja laakerointiin päässeet epäpuhtaudet aiheuttavat suuren osan laakerivaurioista. (Oy SKF Ab 1994, 18.)

On ensiarvoisen tärkeää, että tiiviste pitää kumpaankin suuntaan. Jos voiteluaine pääsee vuotamaan pois tiivisteiden läpi, on vaarana laakeroinnin kuivuminen ja vaurioitu-

minen. (Oy SKF Ab 1995, 4.) Valunut öljy myös sotkee ympäristöä ja aiheuttaa täten turvallisuusriskejä, kuten heikentyneen paloturvallisuuden ja mahdollisen liukastumisvaaran (Tuomaala 1999, 366 – 367). Toisaalta on huolehdittava, ettei laakeripesään pääse ulkopuolisia haittatekijöitä. Jos laakeroinnin öljyn sekaan pääsee vettä, laakerointi vaurioituu helposti: jo 0,10 % vettä öljyn seassa alentaa laakeroinnin ikää 90 %. (Krogel 1991, 139.)

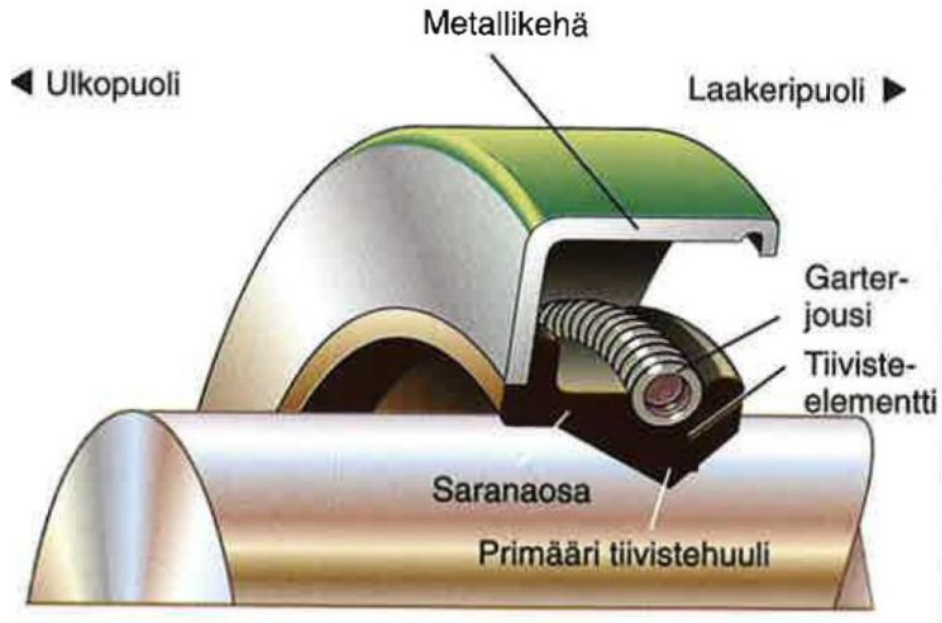
Pumppu on jatkuvakäyttöinen laite, joten sen laakeroinnin tiivistyksen tulisi olla mahdollisimman kestävä ja huoltovapaa. Ihanteellisessa tilanteessa laakerointi huolletaan vain suunniteltujen seisokkien yhteydessä. Laakeroinnin ylimääräiset huollot vievät turhaa aikaa prosessista ja aiheuttavat täten lisäkustannuksia.

Kappaleissa 3.2 ja 3.3 on esitetty yleisimmät laakeroinnin akselitiivistysratkaisut.

3.2 Säteishuulitiivisteet

Laakerointien akselitiivistyksessä on hyvin yleisesti käytetty koskettavaa säteisakselitiivistystä (Oy SKF Ab 1995, 7). Säteisakselitiivisteestä käytetään yleisesti myös nimitystä säteishuulitiiviste (Airila 1985, 183). Sen etuja ovat alhaiset hankintakustannukset, hyvä saatavuus, sekä hyvä tiivistävyys pintakosketuksen ansiosta (Krogel 1991, 139).

Säteishuulitiivisteiden heikkoutena voidaan mainita nopea kuluvuus. Niiden käyttöikä on tyypillisesti noin 2000 tuntia. Monissa jatkuvakäyttöisissä koneissa tällainen käyttöaika saavutetaan jo muutamassa kuukaudessa. (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 1.) Materiaalivalinnoilla voidaan vaikuttaa tiivisteiden käyttöikänsä, mutta kestävämmät materiaalit ovat usein kalliimpia. Materiaalivalinnasta huolimatta säteishuulitiiviste vaatii aina jonkinlaisen voitelun estämään kitkaa ja kulumista. (Oy SKF Ab 1995, 8 – 9.) Koskettava huulitiiviste kuluttaa myös akselin pintaa (Inpro Companies Inc.). Lisäksi ne ovat vaikeita hallita korkeilla kierrosnopeuksilla (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 1).

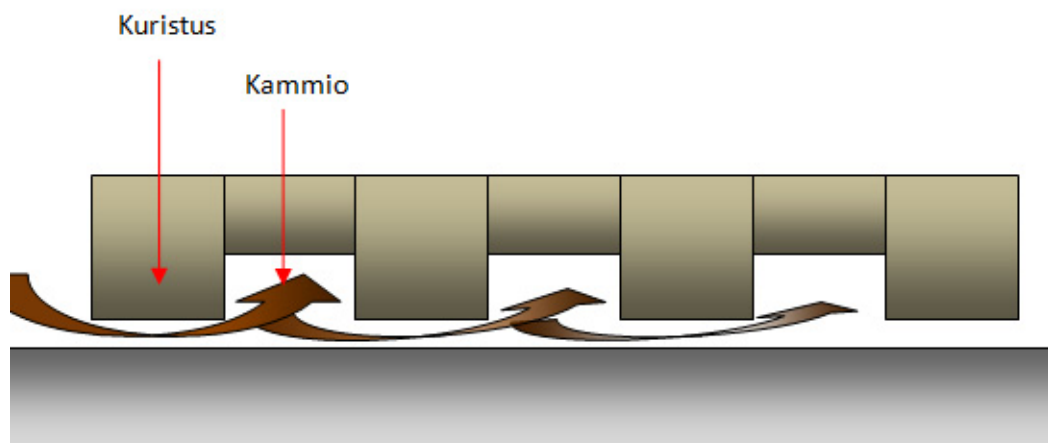


Kuva 6. Säteishuulitiivisteiden tyypillinen rakenne (Oy SKF Ab 1995, 8)

3.3 Sokkelotiivisteet

Sokkelotiivisteet ovat usein käytettyjä laakeroinnin akselitiivistysratkaisuita pumpputeollisuudessa.

Sokkelotiiviste, joka tunnetaan myös nimellä labyrintti tiiviste, on kosketukseton tiiviste. Rakenteellaan sokkelo aiheuttaa tiivistettävälle aineelle vaikeakulkuisen radan, joka koostuu yhdestä tai useammasta kuristuskohdasta. Kuristus aiheuttaa virtaavalle nesteelle painehäviön. Kuristuksen jälkeen rakenteeseen avautuu kammio. (Wuori 1971, 220.).



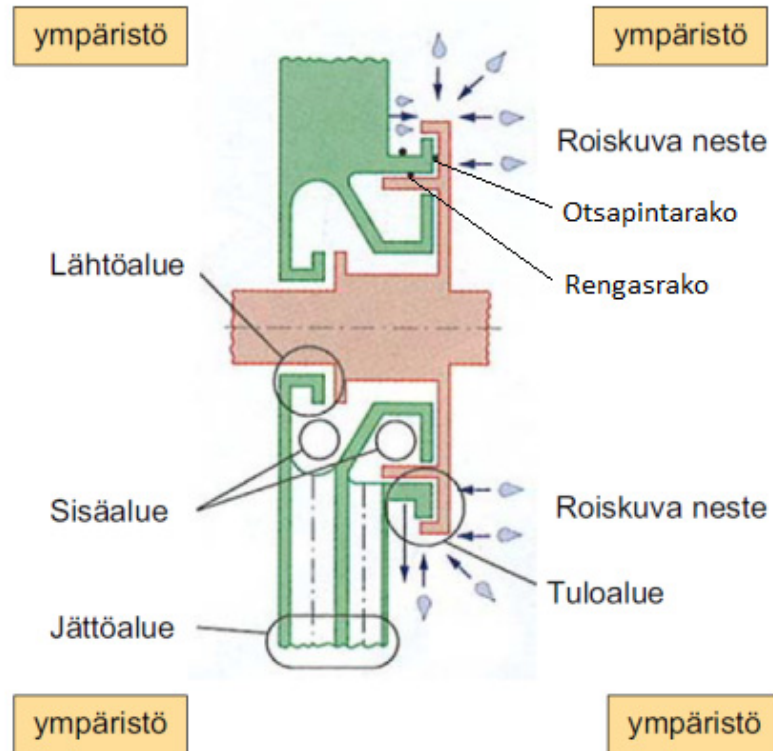
Kuva 7. Yksiosaisen sokkelon peruseriaate

Monimutkaisemmat sokkelorakenteet ovat kaksiosaisia ja rakentuvat akselin mukana pyörivästä roottoriosasta, sekä paikalleen asennetusta staattoriosasta (Krogel 1991, 140). Sokkelorakenne voidaan muodostaa joko aksiaalisesti tai säteittäisesti (Oy SKF Ab 1994, 88).



Kuva 8. Esimerkkejä kaksiosaisista säteittäisistä ja aksiaalisista sokkelorakenteista (Oy SKF Ab 1994, 88)

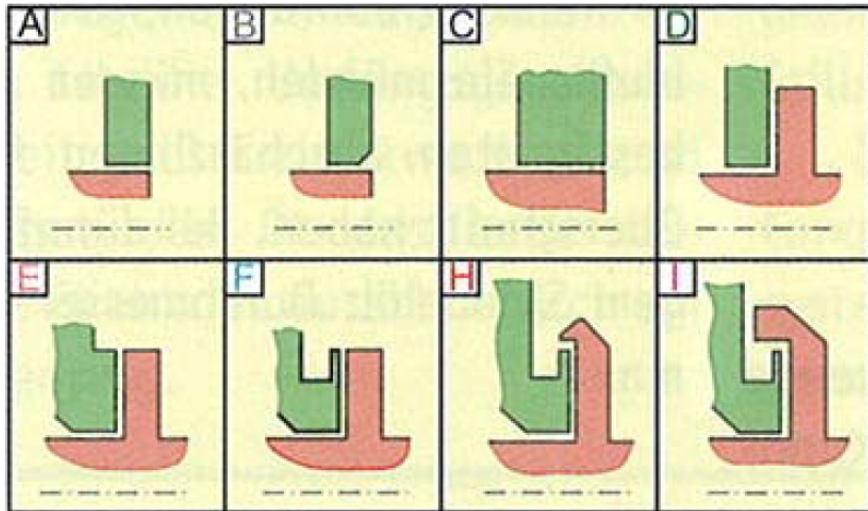
Sokkelotiiviste jaetaan toiminta-alueisiin seuraavasti: tulo-, sisä-, jättö- ja lähtöalue. Näiden lisäksi on otettava huomioon myös ympäristö. Tärkeimpinä pidetään tuloaluetta sekä ympäristöä. (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 1.)



Kuva 9. Sokkelotiivisteiden toiminta-alueet kaksiosaisessa sokkelossa (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 2.)

Tuloalueen tehtävä on estää ympäristöstä tulevien aineiden pääsy tiivistykseen. Lähtöalue puolestaan estää toiselta puolelta aineiden pääsyn tiivistykseen. Jos tulo- tai lähtöalueelta pääsee jotakin läpi, aineet siirtyvät sokkelon sisäalueelle. Sisäalueella sijaitsevat keräilykammiot, jotka johtavat aineen jättöalueelle. Tulo- ja lähtöalueet ovat verrattavissa toisiinsa, sillä niiden tarkoitus on minimoida sisäalueelle pääsevien aineiden määrä. Tiivistystä tulisikin tarkastella kummastakin suunnasta katsottuna.

Tulo- ja lähtöalueen muotoiluilla määritellään tiivistejärjestelmän koko, rakenteen monimutkaisuus, valmistus-/hankintakustannukset ja tiivistysteho. Yksinkertaisimmat rakenteet muodostuvat yksiosaisesta staattisesta sokkelorakenteesta, kun monimutkaisemmissa tiivisteissä on akselin mukana pyörivä dynaaminen sokkelo-osa staattisen osan lisäksi. (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 2.)

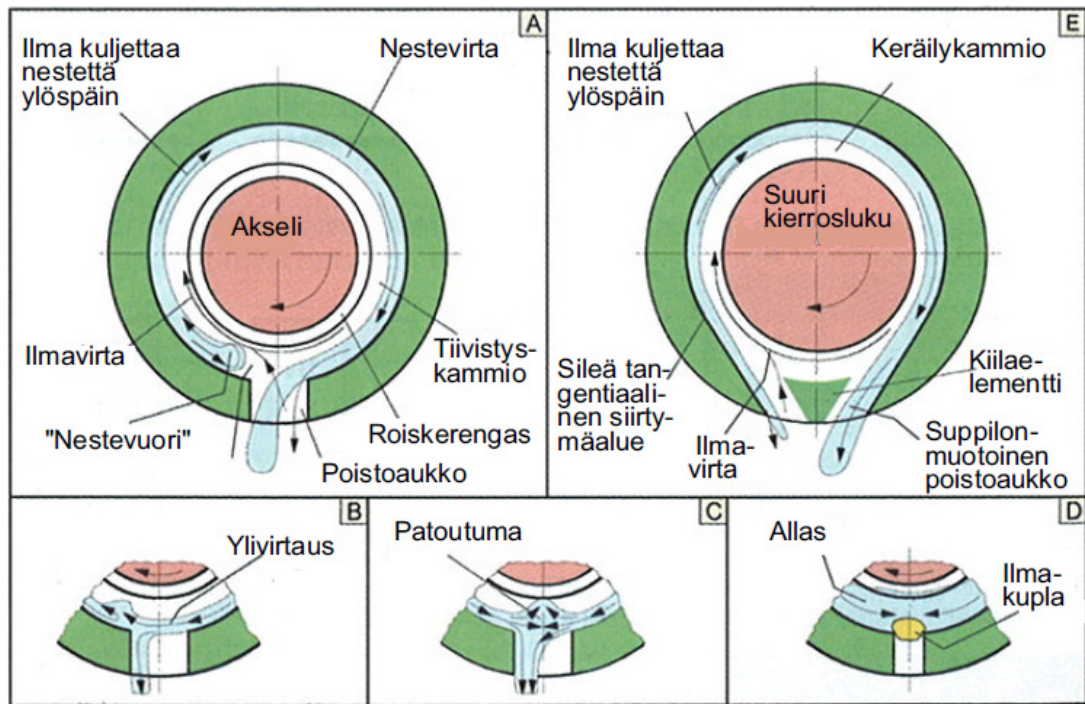


Kuva 10. Eri tavoin muotoiltuja tuloalueita (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 2)

Tuloaluetta suunniteltaessa on huomattava että rakenteeseen muodostuvat otsapinta- ja rengasraot käyttäytyvät eri tavoin akselin pyöriessä. Jos nestettä pääsee otsapintarakoon, rako toimii pumppaavasti ja palauttaa nesteen tyhjentäen alueen. Rengasrako puolestaan toimii miltei passiivisesti, eikä tyhjennä aluetta. (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 1.)

Sisäalueella sijaitsevat keräily- eli tiivistyskammiot. Niiden tehtävänä on kerätä sinne päässyt neste ja palauttaa se takaisin paluukanavia pitkin. Kammioiden rakenne tulisi toteuttaa siten, että akselin mukana pyöriviä seiniä olisi mahdollisimman vähän ja kammioiden rajoitus toteutettaisiin pääsääntöisesti kiinteillä seinillä. Jos kammiot sisältävät pyöriviä seiniä, tulee huolehtia, etteivät ne pääse kosketuksiin nestealtaan nesteen kanssa. Pyörivät osat aiheuttavat liikkeellään nesteen kuohuttamista, joka on epäedullista sokkelotiivistyksen kannalta. Kammiot toimivat parhaiten, kun niihin pääsevä neste voi liikkua rauhallisesti. (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 2.)

Lähtöalueella neste joutuu keräilykammioon. Akselin pyörimisliikkeestä johtuen neste kulkeutuu kammion ulkoreunoille, joita pitkin se valuu edelleen kammion alaosassa sijaitsevaan poistoaukkoon. Poistoaukon tulee olla oikean kokoinen, jotta poisvirtaus tapahtuu mahdollisimman tehokkaasti. Patoutumat, ilmakuplat, ylivirtaus ja nestevuoret aiheuttavat tiivisteseen toimintahäiriöitä ja tiiviste voi alkaa vuotaa. (Hans - Hentzler - Plfuger 2007, 2.)



Kuva 11. Nesteen käyttäytyminen keräilykammiossa sekä esimerkkejä poistoaukon ongelmista (Hans - Hentzler - Pfluger 2007, 3)

Kuvassa 11 esitetään nesteen kulku keräilykammiossa sekä poistoaukon väärästä mitoituksesta johtuvia ongelmia. A-kohdassa havainnollistetaan ilmavirran vaikutusta nesteen kulkuun kammiossa. Ympäri pyörivä ilmavirtaus voi jo alhaisissa pyörimisnopeuksissa aiheuttaa nestevuoren. Liian suuri roiskerengas tai muu akselin ulkoneva osuus aiheuttaa nestevuoreen osuessaan roiskumista ja kuohumista, jota tulisi välttää. Kohdassa B esitetään tilanne, jossa virtaussuunnassa liian lyhyt poistoaukko aiheuttaa nesteen ylivirtausta. Tällainen ylivirtaus tapahtuu usein korkeilla kierrosnopeuksilla. Jos nestettä tunkeutuu keräilykammioon paljon, on mahdollista, että poistoaukon kohdalle syntyy patoutuma, kuten kohdassa C on esitetty. Kohdassa D puolestaan esitetään liian lyhyen poistoaukon taipumusta kerätä kohdalleen ilmakupla, joka estää nesteiden poisvalumisen. (Hans - Hentzler - Pfluger 2007, 3.)

Sokkelotiivistettä suunniteltaessa on muistettava tehdä keräilykammioihin kehän suunnassa tarpeeksi leveät poistoaukot. Liian kapeilla poistoaukoilla tiiviste menettää tiivistyskykynsä. Poistoaukon muotoiluun vaikuttaa ajettavat kierrosnopeudet sekä se, kuinka paljon nestettä keräilykammioon pääsee tunkeutumaan. Jos kammioon tunkeutuu paljon nestettä, tulisi poistoaukko suunnitella suppilon muotoiseksi, kuten kuvan 11 kohdassa E on esitetty. (Hans - Hentzler - Pfluger 2007, 3.)

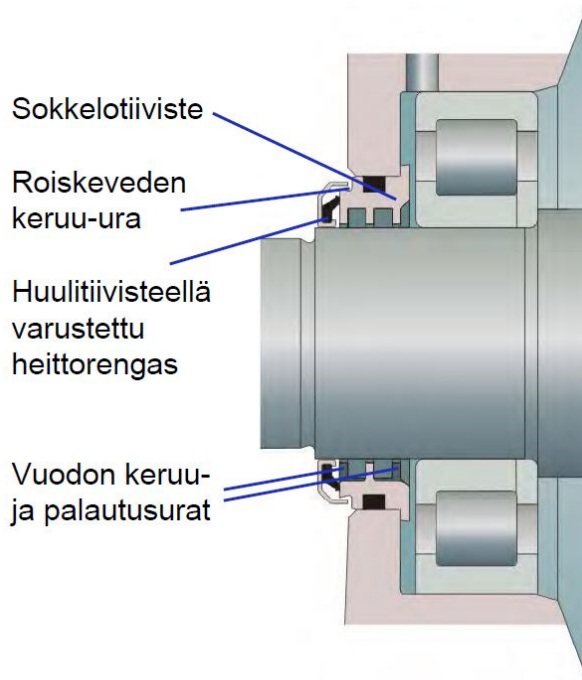
3.4 Tiivistysratkaisut Sulzerilla

Sulzerilla laakeroinnin akselitiivistyksen tärkein suunnittelu- ja valintaperuste on tiivisteiden luotettava toimivuus. Jokainen tiivistyksestä aiheutunut reklamaatio aiheuttaa tarpeettomia lisäkustannuksia yritykselle. Tiivistystä suunniteltaessa tulee kiinnittää myös huomiota tiivistyksen asennettavuuteen ja hankintakustannuksiin. Suunnittelun pääprioriteetit vaihtelevat hiukan tuotteittain. Pääsääntöisesti suunnittelu- ja valintalähtökohdat ovat kuitenkin samat tuotteesta riippumatta.

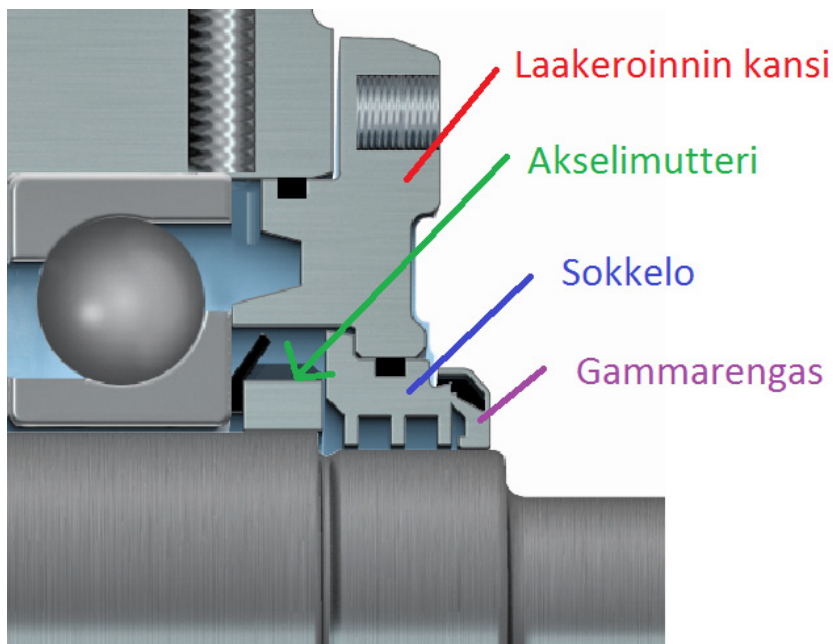
Laakeroinnin akselitiivistysongelmat liittyvät pääsääntöisesti öljyvuotoihin. Gamma-rengas suojaa laakerointia ulkopuolisilta epäpuhtauksilta hyvin normaaliolosuhteissa. Tapaukset, joissa laakerointiin on päässyt ulkopuolisia haittatekijöitä, rajoittuvat liialliseen vesipesuun tai pumpun tiivisteiden totaaliseen pettämiseen (Toikka 25.2.2013).

Aiemmin Sulzer on käyttänyt kaupallista Inpro-tiivistettä, joka on kaksiosainen sokkeloratkaisu. Tämä todettiin kuitenkin huonoksi kuitupitoisissa kohteissa, joissa sokkelon staattori- ja roottoriosien väliin pääsi kiilautumaan kuituja. Kuidut aiheuttivat tiivistystehon menetystä ja lopulta rikkoivat tiivisteiden kokonaan. Asiakas voi kuitenkin vielä halutessaan valita Inpro-tiivisteiden. (Makkonen 30.1.2013.)

Kuten yleisesti pumpputeollisuudessa, myös AHLSTAR:ssa käytetään laakeroinnin akselitiivistykseen yksiosaista staattista sokkelotiivistettä. Ne ovat suosittuja niiden yksinkertaisen rakenteen vuoksi. Paperi- ja metalliteollisuus vaatisivat erilaiset tiivisteet, mutta AHLSTAR:n ruostumattomat sokkelot soveltuvat molemmille teollisuuden aloille (Salomaa 29.1.2013). Sokkelotiivisteiden lisäksi laakerointia suojataan ulkopuolisilta epäpuhtauksilta gammarenkaalla, joka on aksiaalihuulitiiviste. Kytkimen puolella laakeroinnin akselitiivistykseen vaikuttavat myös laakeroinnin kannen muotoilu sekä akselin mukana pyörivä akselimutteri.



Kuva 12. AHLSTAR-laakeroinnin pumpun puoleisen pään tiivistys (Sulzer Pumps intranet 2013)

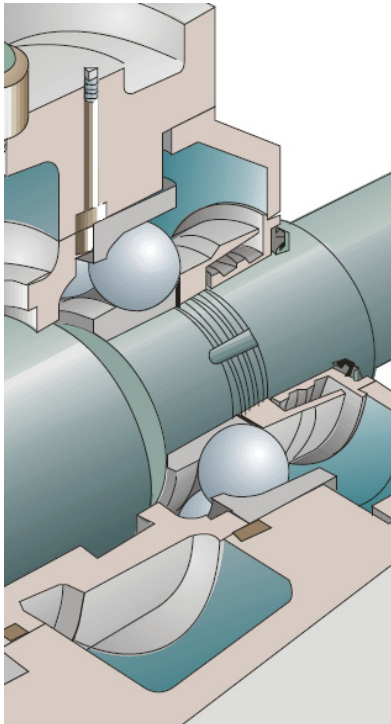


Kuva 13. AHLSTAR-laakeroinnin kytkimen puoleisen pään akselitiivistykseen vaikuttavat komponentit. Esimerkki AUP tiivistyksestä. (Sulzer Pumps intranet 2013.)

Vaikka varsinainen sokkelotiiviste onkin yksiosainen ja staattinen, sokkelon perään asennettava gammarengas pyörii akselin mukana. Tällöin tiivistystä voidaan ajatella kuvan 9 tyyllisenä kaksiosaisena sokkelotiivistysjärjestelmänä.

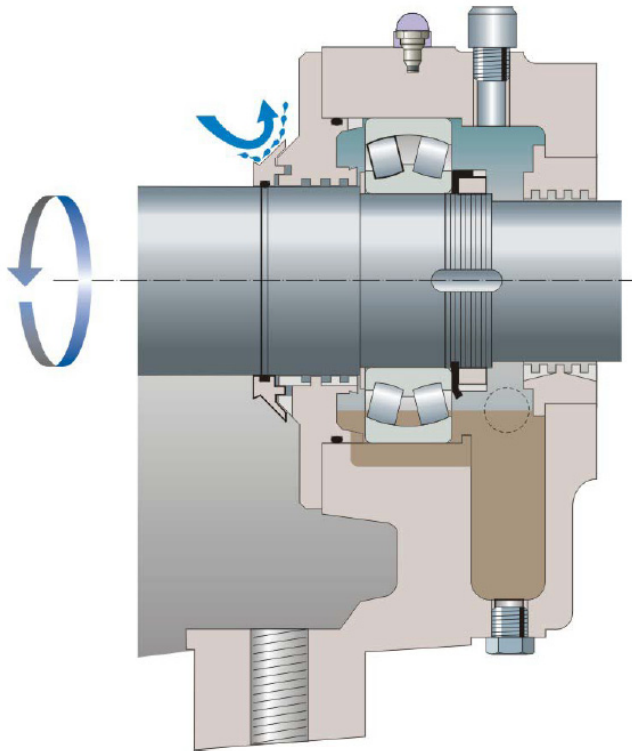
MBN-monijaksopumpussa käytetään samanlaista laakeroinnin akselitiivistystä kuin AHLSTAR:ssa. MBN:ssä tiivistyksen asennettavuus nousee merkittävään rooliin. Pumpun puolella laakeroinnin akselitiivistyksen asennustila voi jäädä joissakin tapauksissa erittäin pieneksi. (Heiskanen 30.1.2013.)

MC-tuotteissa laakeroinnin akselitiivistys poikkeaa muista Sulzerin tuotteista. Niihin on suunniteltu omanlainen kaksiosainen sokkelo. Se on hankintahinnaltaan kalliimpi kuin yksiosainen staattinen sokkelotiiviste, mutta osoittautunut toimivaksi ja luotettavaksi ratkaisuksi. (Nyman 30.1.2013.)



Kuva 14. MC: kytkimen puoleinen sokkelo (Sulzer Pumps intranet 2013)

Kaksipuolisesti imevissä ZPP-pumpuissa laakeroinnin rakenne poikkeaa muista pumppumalleista. ZPP:ssä käytetään useampijaksoista sokkeloa sekä akselin mukana pyörivää heittorengasta.



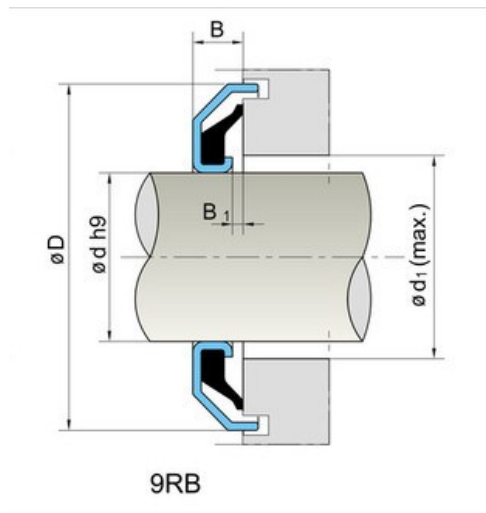
Kuva 15. ZPP laakeroinnin tiivistys (Sulzer Pumps intranet 2013)

Yritystoston myötä myös entisen Scanpumpin sekä ABS:n tuotteet kuuluvat nykyään Sulzerin valikoimaan. Scanpumpin ja ABS:n suunnittelemissa prosessipumpuissa on hieman erilainen laakerointi kuin AHLSTAR:ssa. Laakeroinnin akselitiivistyksessä käytetään rakenteeltaan erittäin pelkistettyä yksiosaista sokkeloa. Asiakkaan halutessa laakeroinnin akselitiivistys voidaan toteuttaa myös kaupallisella Eagle Burgmanin kaksiosaisella sokkelolla. Kaupallinen tiiviste tulee kuitenkin kalliimmaksi ja tästä syystä on saatavissa vain tilauksesta. (Baniameri 1.2.2013.)

4 TUTKITTAVAT TIIVISTYSRATKAISUT

Tämä työ rajoittuu keskipakopumpun laakeroinnin kytkimen puoleisen pään akselitiivistykseen. Jatkossa tässä työssä tiivistyksestä puhuttaessa tarkoitetaan vain kytkimen puoleista tiivistystä. Kaikissa koeajoissa pumpun puolen tiivistys pysyy samana.

Keskipakopumpun laakeroinnin akselitiivistys rakentuu useista elementeistä. Alla olevissa esimerkeissä tiivistyksellä tarkoitetaan kokonaisuutta: sokkelotiivistettä, laakeroinnin kantta ja mahdollisesti asennettavaa gammarengasta. Gammarengaan tarkoitus on suojata laakerointia ulkopuolisilta epäpuhtauksilta, kuten pesuvedeltä.

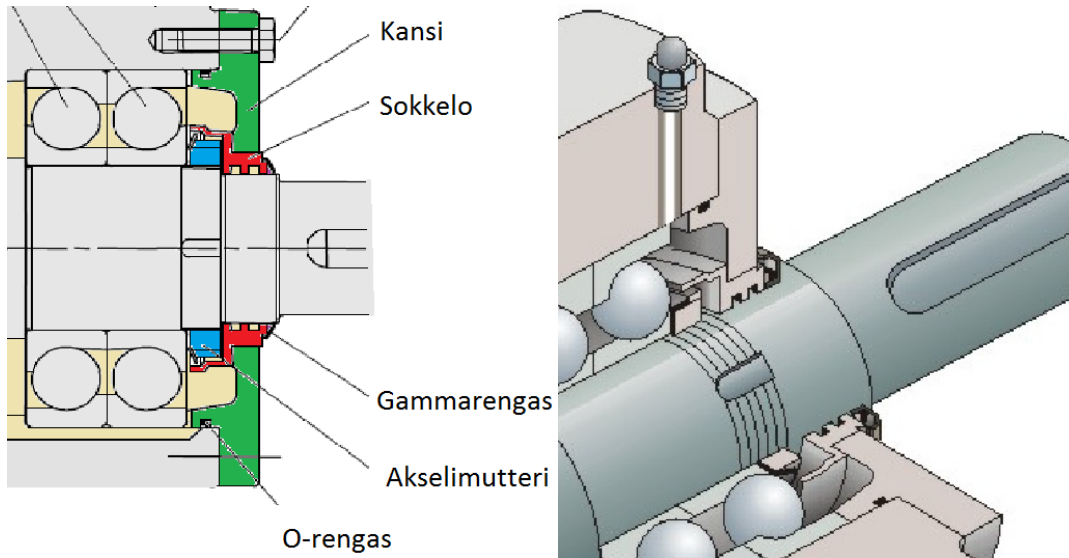


Kuva 16. AHLSTAR-tiivistyksessä käytettävä RB-gammarengas (Tiivistekeskus Oy 2013)

Alla esitettävät tiivistevaihtoehdot on nimetty työnimillä, joita käytettiin tämän projektin aikana. Nimet eivät ole virallisia, eivätkä välttämättä esiinny kaikissa raporteissa juuri siinä muodossa, kuin tässä opinnäytetyössä on esitetty. Poikkeuksena Garlock GmbH:n tiiviste EnDuro, joka on tuotteen virallinen myyntinimi.

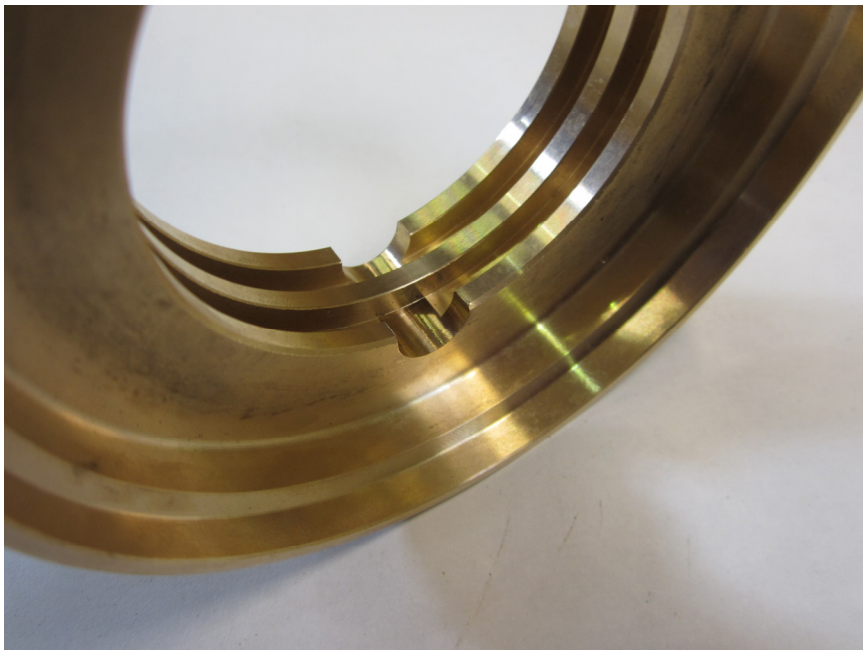
4.1 Vaihtoehto yksi

Tiivistysvaihtoehto yksi on suunniteltu AHLSTAR öljykylpyvoideltuun laakerointiin. Tämä tiivistys koostuu Sulzerin valmistamasta sokkelotiivisteestä ja laakeroinnin kannesta, sekä gammarenkaasta. Tämän mallisella tiivisteellä on raportoitu öljyvuotoja.



Kuva 17. Vaihtoehdon yksi tiivistysrakenne (Sulzer Pumps Finland intranet 2013)

Vaihtoehdossa yksi kytkimen puolen sokkelo on muotoiltu siten, että se peittää alleen akselimutterin. Itse sokkelossa on kaksi kammiota, joissa kummankin alaosassa on pyöristetty poistoalue (R5). Laakeroinnin kansi on muotoilultaan yksinkertainen. Öljytila on suuri ja kannen alaosassa on paluu-aukko, josta öljy pääsee valumaan laakereiden alla kulkevaan paluukanavaan.

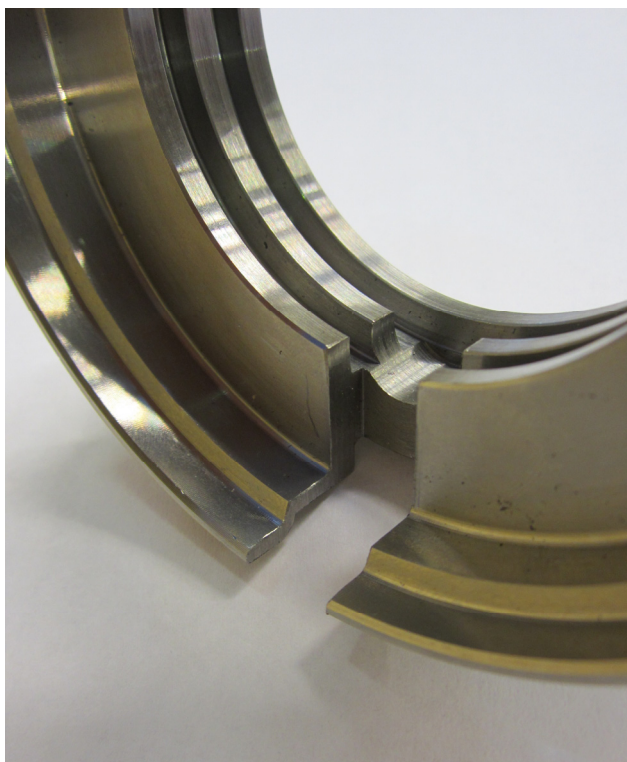


Kuva 18. Vaihtoehdon yksi kytkimen puolen sokkelorengas

4.2 Vaihtoehto kaksi

Vaihtoehdolla kaksi tarkoitetaan sokkelotiivistettä, joka on muokattu vaihtoehdon yksi sokkelotiivistestä. Tämä tiivistysratkaisu on kehitetty aiemmin havaittujen öljyvuotojen estämiseksi ja sen on raportoitu auttaneen ongelmaan. Sokkelorenkaaseen on tehty akselimutterin ylittävään osaan lovi, joka toimii poistoaukkona. Kuristuskohdat ovat mitoitukseltaan tiukempia kuin ensimmäisen vaihtoehdon sokkelorenkaassa. Myös keskimäinen sokkelon seinämä on avattu. Kytkimen puoleinen kuristus on sen sijaan jätetty täysin ehjäksi. Tämä ratkaisu antaa tiivisteelle enemmän toimintapinta-alaa, mutta voi olla huono tilanteissa, joissa epäpuhtaudet pääsevät tiivisteeseen uloimmalle uralle. Tällaisissa tilanteissa epäpuhtaudet pääsevät suoraan öljyn mukana laakerointiin.

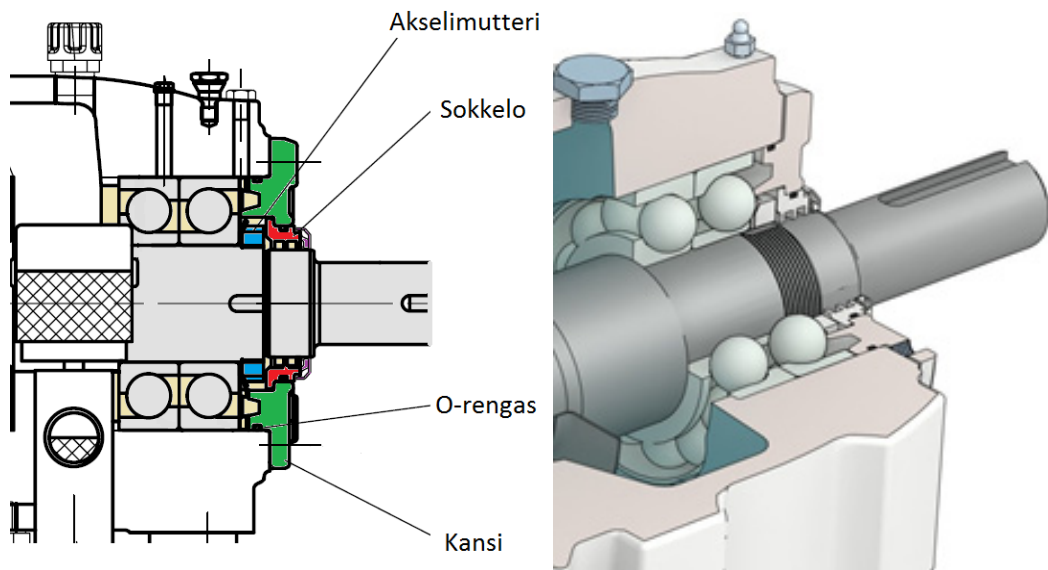
Tiivisteiden toiminta perustuu öljyn paluujuoksuuttamisen tehostamiseen. Öljylle on tehty suurempi paluuaukko, mistä johtuen öljyä ei painu niin paljon itse sokkelo-osaan. Laakeroinnin kantana käytetään vaihtoehdon yksi vakiokantta.



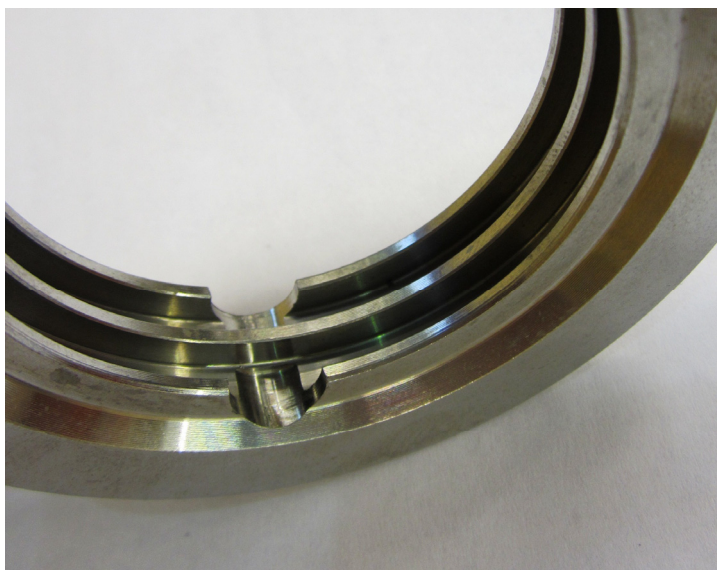
Kuva 19. Vaihtoehdon kaksi sokkelorengas

4.3 Vaihtoehto kolme

Kolmas vaihtoehto on suunniteltu AHLSTAR roiskeöljyvoidellun laakeroinnin tiivistykseen. Sokkelotiivistessä on tiukemmat ja lyhyemmät kuristukset kuin vaihtoehdon yksi sokkelorenkaassa. Kuten ensimmäisen ja toisen vaihtoehdon tiivistysrakenteissa, myös tässä vaihtoehdossa on akselimutteri peitetty rakenteella. Vaihtoehdossa kolme kannen muotoilu jättää akselimutterin alle. Kannen alareunaan on tehty lovet, joiden kautta öljy pääsee kulkeutumaan paluukanavaan.



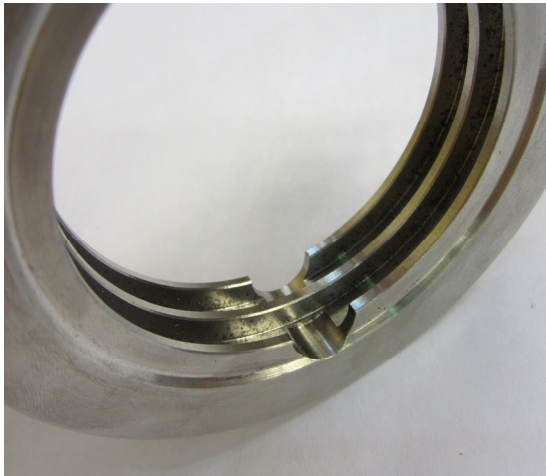
Kuva 20. Kolmannen vaihtoehdon tiivistysrakente roiskeöljyvoidellussa laakeroinnissa (Sulzer Pumps Finland intranet 2013)



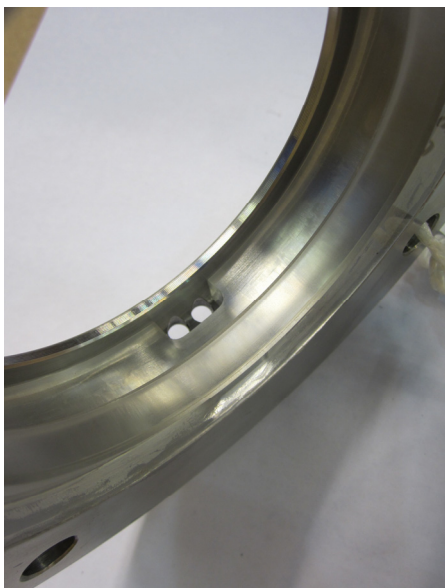
Kuva 21. Vaihtoehdon kolme sokkelorenkaat

4.4 Vaihtoehto neljä

Vaihtoehdolla neljä tarkoitetaan Sulzerin suunnittelemaa ja patentoimaa akselitiivistysratkaisua. Laakeroinnin kansi on muotoiltu siten, että se aiheuttaa laakeroinnilta tulevalle öljylle kapean kuristuskohdan. Kuristuskohdan tarkoituksena on rauhoittaa öljyä, jottei se roisku suoraan sokkelotiivisteelle. Kuristuksen jälkeen öljylle avautuu valumatila, josta öljy pääsee edelleen valumaan kanteen poratun valuma-aukon kautta paluukanavaan. Kanteen muotoilu on tiiviimpi kuin vakiokansien, joten konstruktiossa käytetään KMFE-akselimutteria, jossa ei ole lainkaan lukkolevyä. Tämän tiivistysratkaisun sokkelorengas on muokattu vaihtoehdon kolme sokkelosta. Koeajoja varten tiivistyksen kanteen on teetetty erillinen akryyliosa, josta nähdään öljyn liikkeitä.



Kuva 22. Sokkelorengas vaihtoehto neljä



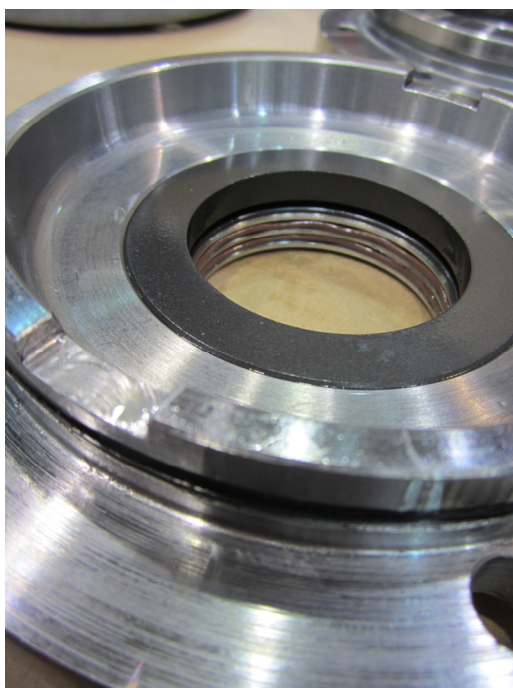
Kuva 23. Neljännen tiivistysvaihtoehdon kanteen valuma-aukko testikannessa

4.5 Vaihtoehto viisi

Vaihtoehdolla viisi tarkoitetaan Garlok GmbH:n patentoitua EnDuro-tiivistettä. Se koostuu akselin mukana pyörivästä roottoriosasta sekä kannessa kiinni olevasta staattoriosasta. Tämä kaksiosainen sokkelorakenne toimitetaan valmiina pakettina, joten sisällä olevaa rakennetta ei nähdä. Laakerointiin teetettiin ensimmäisen vaihtoehdon vakiokannesta oma Garlock EnDuro tiivisteelle soveltuva malli. Tässä tiivistyksessä öljytila jää suureksi. Tiivisteiden laakeroinnin puoleinen reuna on samassa tasossa kannen sisäreunan kanssa.



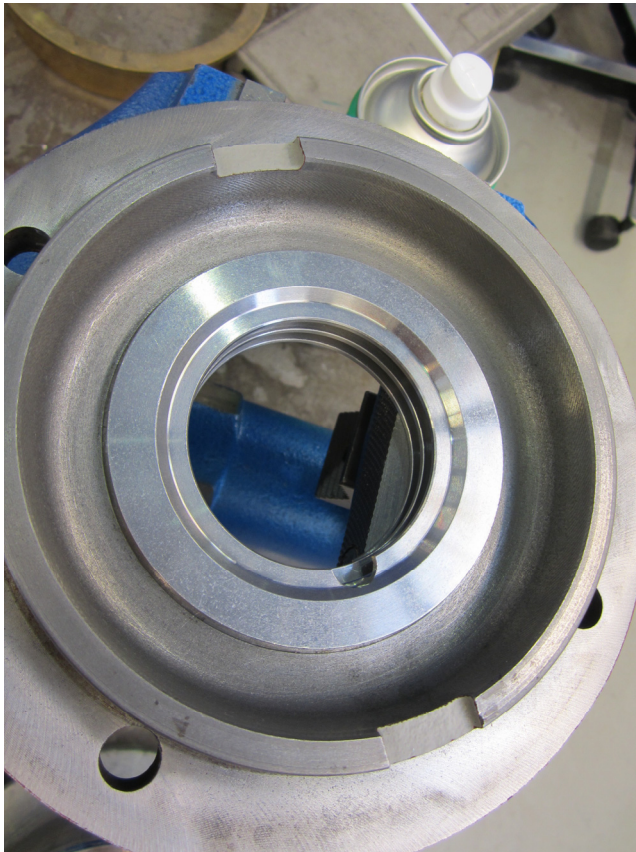
Kuva 24. EnDuro tiiviste (Garlock GmbH 2013)



Kuva 25. EnDuro tiiviste asennettuna laakeroinnin kanteen

4.6 Vaihtoehto kuusi

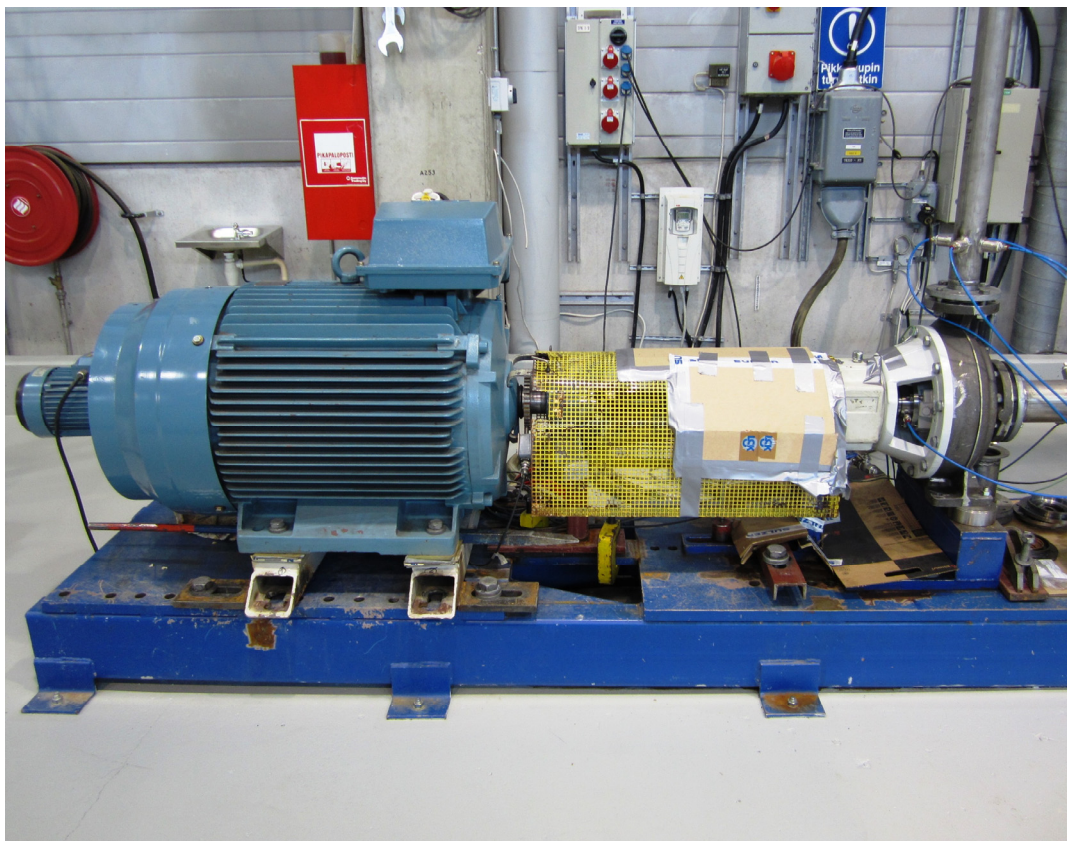
Vaihtoehdolla kuusi tarkoitetaan tiivistystä, joka koostuu kolmannen vaihtoehdon sokkelorenkaasta sekä ensimmäisen vaihtoehdon vakiokannesta. Tämä tiivistysmalli jättää akselimutterin vapaasti suureen öljytilaan. Tiivistys päätettiin testata jotta saataisiin parempi kuva öljytilan muotoilun merkityksestä akselitiivistyksessä. Myös akselimutterin vaikutusta öljyn liikkeisiin haluttiin selvittää.



Kuva 26. Vaihtoehto kuusi: kokoonpano

5 KOEAJOT

Koeajot suoritettiin Sulzer Pumps Finland Oy:n Karhulan tutkimuskeskuksessa. Testit ajettiin AHLSTAR A32-65 pumpulla, juoksupyöränä käytettiin Vortex-hydrauliikkaa minimihalkaisijalla. Moottorina toimi ABB 3000 rpm 132 kW:n kone ja taajuusmuuttajana ABB SAMI Star 132 kW.



Kuva 27. Koeajojärjestelyt

Ennen koeajoja tutkimuskeskukselle tehtiin erillinen koeajo-ohje (liite 1) ja -ohjelma (liite 2), joista selviää muun muassa ajettavan pumpun rakennetiedot, koeajomuuttujat sekä yksityiskohtainen koeajo-ohjeistus. Koeajo-ohjelmassa esitetään kaikki ajettavat koeajot sekä niiden aikataulut.

Koeajoista tehtiin muistiinpanoja ja niistä koottiin koeajoraportti. Raportista käy ilmi oleellimmat koeajohavainnot sekä johtopäätökset. Myös esiintyneet ongelmat kirjattiin raporttiin.

5.1 Koeajosuunnitelma

Koeajoissa tiivisteitä altistettiin eri kierrosnopeuksille, pysäytyksille ja häiriötilanteille. Koeajoissa testattiin myös öljyn paluujuoksutuskanavan tarpeellisuutta.

Testit suoritettiin kahden eri viskositeetin öljyillä ja koeajot jaettiin kahteen sarjaan. Ensimmäinen sarja ajettiin ISO VG 32 -öljyllä ja toinen ISO VG 68:lla. Öljyinä toimivat Mobil DTE 10 Excel 32 ja Mobil DTE Heavy Medium 68. Koeajoissa tiivistyk-

ajettiin normaali- ja ylitäyttötilanteissa (kolme pinnankorkeutta yli normaalin). Jokaisella pinnankorkeudella ajettiin käy - seis -ajoa. Kierrosnopeudet nousivat ohjelman edetessä. Ylitäyttöjä jatkettiin vuodon tapahduttua vielä seuraavalle pinnankorkeudelle.

Tiivisteiden vuodettua pumpputta pysäytettiin hetkeksi ja käynnistettiin heti uudelleen. Tällä pyrittiin selvittämään tiivisteiden palautumiskykyä. On mahdollista, että tiiviste alkaa kerran kastuttuaan pumpata öljyä ulos sokkelon kautta. Tämä testi suoritettiin jokaiselle tiivisteelle vähintään yhden kerran, jotta saatiin selville kunkin tiivisteiden palautumiskyky. Havainnon toistuttua sokkelo irrotettiin ja puhdistettiin öljystä. Puhdistettu ja kuivattu sokkelo asennettiin takaisin paikoilleen ja tiivistys alustettiin vuotoa edeltäneelle tilanteelle uudelleen. Näin pystyttiin selvittämään havainnon luotettavuutta.

5.2 Koeajojärjestelyt

Koeajoissa seurattiin laakeripesän sekä voiteluöljyn lämpötiloja. Laakeripesän lämpötilaa mitattiin pesään poratun syvennyksen kautta, jotta anturi altistuisi mahdollisimman vähän ulkopuolisille häiriöille. Voiteluöljyn lämpötilaa seurattiin laakeroinnin pohjatulppaan liitetyn T-haaran avulla. Lämpötilat otettiin talteen Fluken NetDAQ Logger -ohjelmalla, johon ohjelmoitiin hälytysraja 70 °C:een ja pysäytysraja 80 °C:een. Koeajotiedostoihin merkittiin myös kierrosnopeudet sekä kulunut aika.

Öljynkorkeutta seurattiin normaalitäytöllä näkölasista, johon normaalipinta merkittiin tarralapulla. Näin voitiin varmistua, että jokainen normaalitäyttö on toteutettu samalla pinnankorkeudella. Ylitäyttöjä seurattiin öljynkorkeusmittarilla, joka asennettiin laakeroinnin oiler-yhteeseen. Mittariin asennettiin millimetrimita-asteikko, jotta öljyn korkeutta laakeripesässä voitiin seurata mahdollisimman tarkasti.



Kuva 28. Öljysilmä ja öljynkorkeusmittari

Laakeroinnin normaalitäytöllä laakeroinnissa on öljyä noin 600 ml, jolloin öljynpinta on näkölasin puolessa välissä. Jokaisesta ylitäyttötilanteesta kirjattiin lisätyn öljyn määrä ja havaittiin, että ensimmäiseen korotukseen vaadittiin noin 100 ml öljyä. Myös toiseen korotukseen vaadittiin noin 90–100 ml öljyä. Viimeiseen pinnankorkeuteen vaadittiin noin 50 ml öljyä.

Kytkinsuojan sisään asennettiin kamera, joka lähetti reaaliaikaista kuvaa valvomoon. Kamera suunnattiin laakeroinnin kytkimen puoleisen akselitiivistykseen. Laakeroinnin akselitiivistyksen ympärille liimattiin paperitarroja, jotta vuodot olisi mahdollisimman helppo havaita. Laakeroinnin alle asetettiin pahvit vuotojen laajuuden havainnollistamiseksi. Kytkinsuojan päälle liimattiin pahveja, jotka vähensivät heijastuksia.

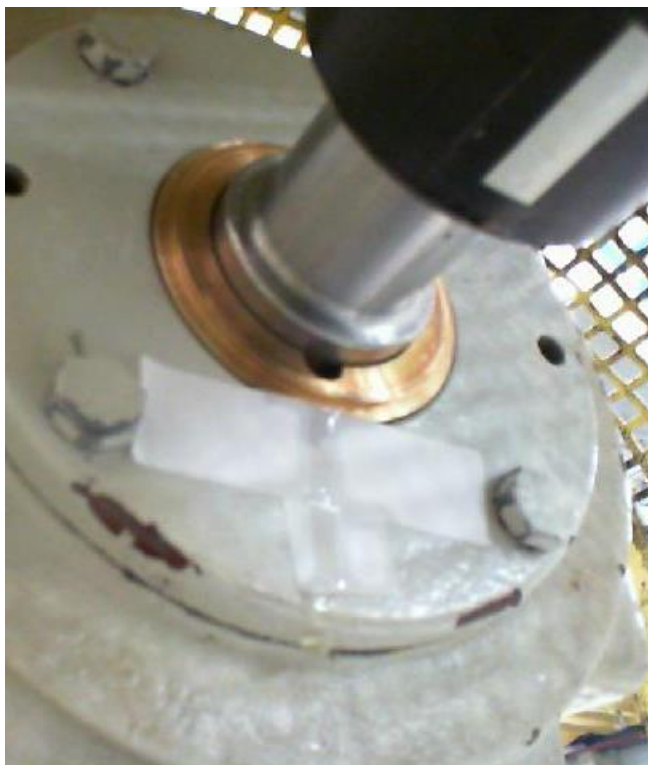


Kuva 29. Kytkinsuojan alle asennettu kamera, joka lähetti reaaliaikaista kuvaa valvomokoppiin

Gammarengas päätettiin jättää pois koeajoista, sillä sen havaittiin roiskuttavan öljyvuoto ympäristöön. Tällöin vuotojen vertailu hankaloitui huomattavasti. Vuotojen seuraaminen todettiin luotettavammaksi ilman gammarengasta.

5.2.1 Vaihtoehto yksi

ISO VG 32 -öljyllä tiivistyksessä havaittiin selkeitä vuotoja ensimmäisessä ja toisessa ylitäyttötilanteessa. Vuodot tapahtuivat ajo-ohjelman korkeimmilla kierrosnopeuksilla. Vuoto oli jatkuvaa ja melko runsasta. Vuodot toistuivat sokkelon puhdistuksen jälkeen, joten havainnot todettiin luotettaviksi.



Kuva 30. Vaihtoehdon yksi tiivistyksen öljyvuoto

ISO VG 68 -öljyllä tiivistyksessä havaittiin vuotoja toisessa ja kolmannessa ylitäyttötilanteessa. Nämä vuodot tapahtuivat ajo-ohjelman viimeisessä pysäytystilanteessa ja olivat pieniä. Ensimmäisessä ylitäyttötilanteessa sokkelorenkaan uloimmalle uralle kertyi öljyä, joka tippui pysäytystilanteessa ulos sokkelon reunalle. Toisessa ylitäyttötilanteessa sokkelosta purkautui ohut vana öljyä.

Vaihtoehdolla yksi havaittiin selkeä ero kahden eri viskositeetin öljyillä. Ohuemmalla öljyllä ajettaessa öljyvuotoja havaittiin jo pienellä öljynpinnan korotuksella ja havainto uusiutui selkeästi. Korkeamman viskositeetin öljyllä ajettaessa tiivistyskyky oli huomattavasti parempi. Vuotoja kuitenkin esiintyi myös ISO VG 68 -öljyllä ajettaessa.

5.2.2 Vaihtoehto kaksi

ISO VG 32 -öljyllä ajettaessa vaihtoehdolla kaksi sokkelorenkaan ja akselin väliin muodostui öljypatja toisessa ja kolmannessa ylitäytössä. Tämä purkautui tippana ulos sokkelosta ajo-ohjelman lopussa pysäytystilanteissa. Vuoto rajoittui yhteen tippaan, eikä aiheuttanut uudelleen käynnistettäessä vuotoa.

ISO VG 68 -öljyllä ajettaessa tiivistyksessä havaittiin vain yksi vuoto. Tämä vuoto tapahtui korkeimmassa ylitäyttötilanteessa. Vuoto oli runsasta, mutta loppui täysin 15 minuutin jälkeen. Vuodon jälkeen tiivisteiden toiminta palautui, eikä uusia vuotoja havaittu. On oletettavaa, että öljynpinta on tavoittanut akselin ja tästä johtuen öljy on päässyt akselia pitkin sokkelotiivisteelle. Vuodon loppuminen kertoo tiivisteiden hyvästä palautumiskyvystä.

Vaihtoehto kaksi todettiin koejaoissa toimivaksi ratkaisuksi. Rakenteensa vuoksi sokkelorengas voi kuitenkin olla huono tilanteissa, joissa ulkopuolisia epäpuhtauksia pyrkii laakerointiin päin. Esimerkiksi kulunut tai väärin asennettu gammarengas voi irrottaa kumin palasia. Jos epäpuhtaudet pääsevät uloimman kuristuksen ohi, öljy voi kuljettaa ne suoraan laakeripesään.

5.2.3 Vaihtoehto kolme

Vaihtoehdolla kolme ISO VG 32 -öljyllä ajettaessa toisessa ylitäyttötilanteessa havaittiin pieni vuoto. Öljytippa purkautui ulos sokkelotiivisteestä käynnistystilanteessa ajo-ohjelman loppupuolella. Tämä ei kuitenkaan aiheuttanut minkäänlaista lisävuotoa tai pumppaavuutta sokkelorakenteen läpi. Havainto ei toistunut korkeimmassa ylitäyttötilanteessa.

ISO VG 68 -öljyllä ajettaessa vaihtoehdolla kolme ei havaittu lainkaan vuotoja. Tämän vaihtoehdon tiivistyskyky todettiin hyväksi. Tiivistys vuoti vain kerran ja tällöinkin vuoto oli vain yhden tipan suuruinen.

5.2.4 Vaihtoehto neljä

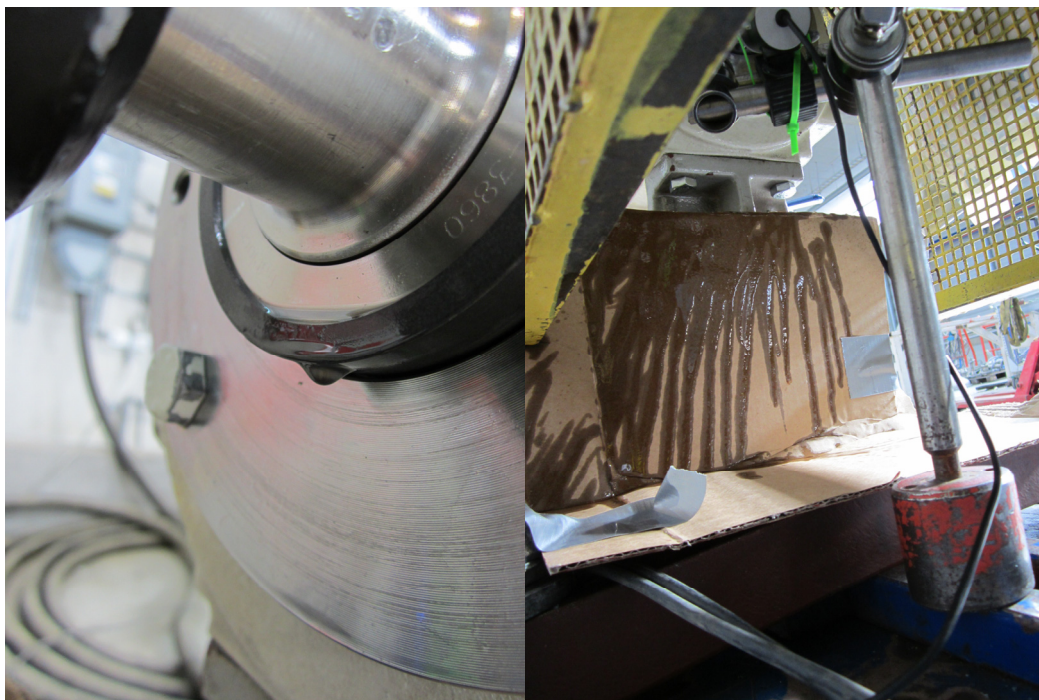
Alemman viskositeetin (ISO VG 32) öljyllä tiivistys toimi hyvin. Vain korkeimmalla ylitäytöllä havaittiin yhden tipan suuruinen vuoto pysäytystilanteessa. Tämä vuoto ei aiheuttanut lisävuotoa, eikä uusiutunut.

ISO VG 68 -öljyllä ajettaessa vaihtoehdon neljä tiivistyskyky oli hyvä. Vuoto tapahtui korkeimmalla ylitäytöllä. Vuoto tapahtui ajon aikana ja oli muutamien tippojen suuruinen. Vuoto ei jatkunut pintojen puhdistuksen jälkeen. Korkeamman viskositeetin öljyllä ajettaessa öljyn lämpötilat nousivat yli 70 °C:een.

Vaihtoehdon neljä tiivistyskyky todettiin hyväksi. Vuodot tapahtuivat vasta suurimmalla ylitäytöllä ja olivat tällöinkin pieniä. Tiivistysrakenteen ongelmaksi muodostuu öljyn lämpötilan nouseminen. ISO VG 68 -öljyllä ajettaessa toisessa ja kolmannessa ylitäyttötilanteissa öljyn lämpötilat nousivat ajo-ohjelman loppupuolella yli 70 °C:een. On mahdollista, että kannen muotoilu aiheuttaa liikaa vastusta laakeroinnista pois pyrkivälle öljylle ja öljyn lämpötila nousee tästä johtuen liian korkeaksi.

5.2.5 Vaihtoehto viisi

Kaupallinen tiiviste EnDuro todettiin testeissä epäsovivaksi vaihtoehdoksi. Tiiviste alkoi vuotaa jo normaalipinnankorkeudella lämmitysajossa korkeammilla kierrosnopeuksilla. Kerran kastuttuaan tiiviste alkoi pumpata öljyä ulos laakeroinnista voimakkaasti. Tiiviste irrotettiin ja kanteen asennettiin toinen EnDuro-tiiviste, jotta voitiin sulkea pois mahdollisuus rikkiinäisestä tiivisteestä. Toista tiivistettä alettiin ajaa matalalla kierrosnopeudella ja pyörimisnopeutta nostettiin hitaasti portaittain. Vuoto uusiutui jälleen samalla kierrosnopeudella kuin aiemmin. Jälleen vuoto oli erittäin voimakasta ja jatkuvaa. Kymmenen minuuttia vuodettuaan pumppu pysäytettiin ja todettiin tiivisteeseen vuotaneen huomattava määrä öljyä. Öljynpinta oli laskenut näkölasiin merkitystä rajasta noin millimetrin verran ja ympäristö oli sotkuinen roiskuneesta öljystä. EnDuro-tiivisteeseen koeajot päätettiin lopettaa, eikä kyseistä tiivistettä ajettu enää ISO VG 68 -öljyllä.



Kuva 31. EnDuro-vuodot

5.2.6 Vaihtoehto kuusi

ISO VG 32 -öljyllä ajettaessa tiivistys vuoti toisessa ylitäyttötilanteessa. Vuoto tapahtui, kun pumppu oli pyörinyt yhtäjaksoisesti 30 minuuttia. Vuoto oli melko pientä ja uusiutui myös ohjelman korkeimmalla kierrosnopeudella. Tiivistys alistettiin vielä korkeimmalle ylitäyttötilanteelle, jolloin tiivistyksessä havaittiin vuoto käynnistystilanteessa ohjelman lopussa.

ISO VG 68 -öljyllä ajettaessa vaihtoehdon kuusi tiivistys vuoti kerran normaalipinnan korkeudella. Vuoto esiintyi ohjelman korkeimmalle kierrosnopeudelle käynnistettäessä, jolloin sokkelosta purkautui ulos tippa. Vuoto jatkui ajossa ja oli intensiteetiltään melko voimakasta. Ylitäyttötilanteissa vuotoja ei esiintynyt ollenkaan, eikä sokkelon uloimmalle uralle ollut päässyt öljyä lainkaan.



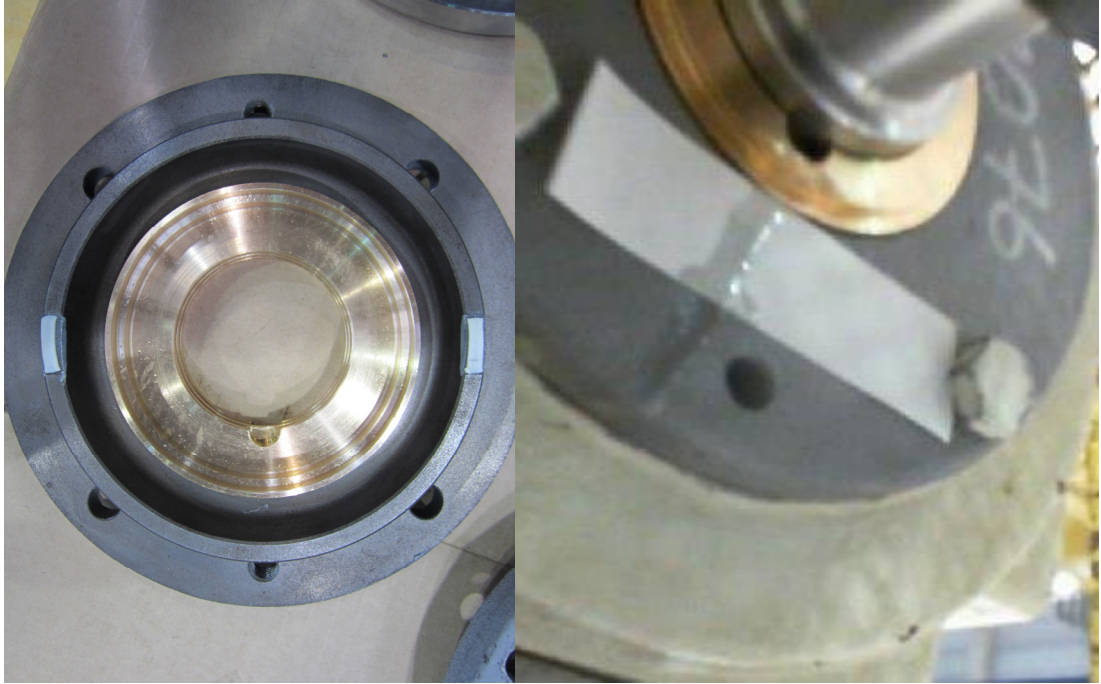
Kuva 32. Vaihtoehto kuusi: vuototilanne

Vaihtoehdon kuusi tuloksista havaitaan, että tiivistyksen toiminta on epävakaata. Öljynpinnan korottamisella näyttäisi olevan vain pieni merkitys tiivistyksen toimintaan. On mahdollista, että kanteen jäävä öljytila on liian suuri, jolloin öljyn pyörimisliike ei ole tarpeeksi hallittua. Tästä johtuen tiivistys toimii epävarmasti. Kaikki vuodot esiintyivät korkeammilla kierrosnopeuksilla.

5.2.7 Paluukanavan merkitys

Vaihtoehdolla yksi testattiin myös paluujuoksutuskanavan tarpeellisuutta laakeroinnin öljykierrossa ja sen osuutta tiivistysvuotoihin. Laakeroinnin kansi asennettiin 90° kulmaan normaaliasennukseen nähden, jolloin valuma-aukot jäivät sivuille. Valuma-aukot oli tukittu tiiveyden takaamiseksi.

Tulpatulla kannella ajettaessa vuodot esiintyivät normaalilla pinnankorkeudella sekä ensimmäisessä ylitäyttötilanteessa kierrosnopeuden ollessa 3000 rpm. Vuoto oli runsaampaa kuin normaalirakenteella. Tulpatun kannen koeajojen perusteella todettiin paluukanavan merkityksen olevan pienempi kuin oletettiin. Ainakaan lyhyemmissä ajoissa vuotoja ei esiintynyt matalilla kierrosnopeuksilla. Korkeillakaan kierrosnopeuksilla ajettaessa tiivistys ei vuoda välittömästi. Paluukanavan tarpeellisuutta tukee vuodon selkeä kasvaminen tavalliseen rakenteeseen verrattuna.



Kuva 33. Vaihtoehdon yksi paluukanavan sulkeminen: toteutus ja vuotohavainto

Paluukanavan merkitystä tutkittiin myös neljännen vaihtoehdon avulla. Kannen akryyli-ikkunasta nähtiin selvästi öljyn käyttäytyminen paluukanavassa. Käynnistettäessä korkeampia kierrosnopeuksia laakerointi hengittää paluukanavan kautta. Öljy vetäytyy paluukanavaan ja palaa kanteen laakereiden läpi. Ajon ollessa käynnissä öljy kiertää kannessa ja valuu paluukanavaan, kuten sokkelorakenteessa yleensäkin. Paluukanava todettiin tarpeelliseksi testeissä, mutta sen mitoittamiseen ei puututa tässä opinnäytetyössä tarkemmin.

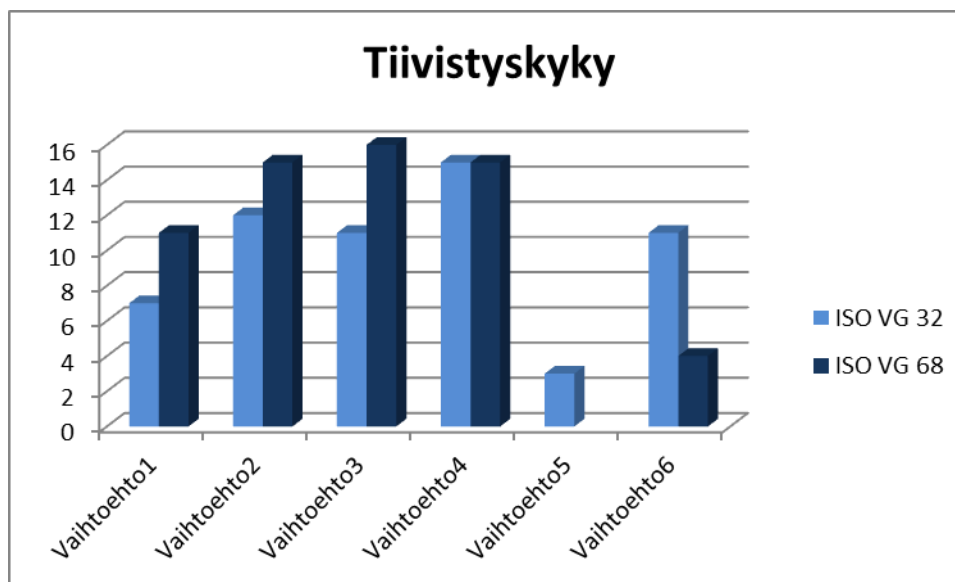


Kuva 34. Öljyn pyöriminen kannessa. Öljy näkyy vaaleana akryylikannen läpi.

5.3 Tulosten analysointi

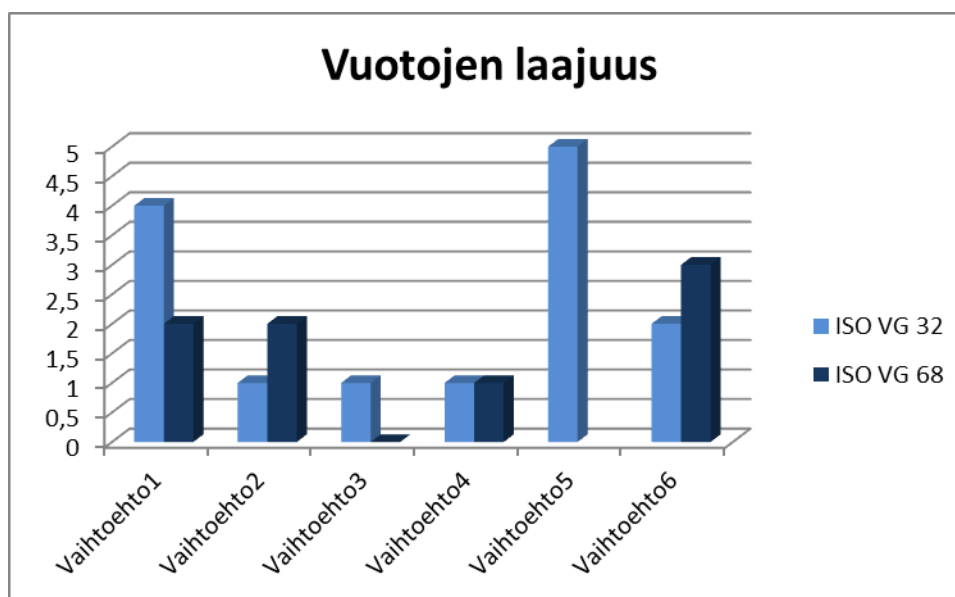
Taulukossa 1 esitetään koeajettujen tiivisteiden tiivistyskyky ensimmäisen esiintyneen vuodon perusteella. Ajo-ohjelman eteneminen on esitetty asteikolla 0 – 16 (neljä pinnan korkeutta, joilla kullakin ajettiin neljä eri kierrosnopeutta). Taulukosta saadaan hyvä yleiskäsitys kunkin tiivisteiden toimintavakaudesta, mutta on otettava huomioon myös vuotojen laajuus ja toistuvuus. Esimerkiksi ISO VG 32 -öljyllä ajettaessa vaihtoehto kolme vuoti ensimmäisen kerran toisella ylitäytöllä. Vuoto oli kuitenkin vain yhden tipan suuruinen, eikä uusiutunut edes korkeimmassa ylitäyttilanteessa.

Taulukko 1. Koeajettujen tiivisteiden tiivistyskyky



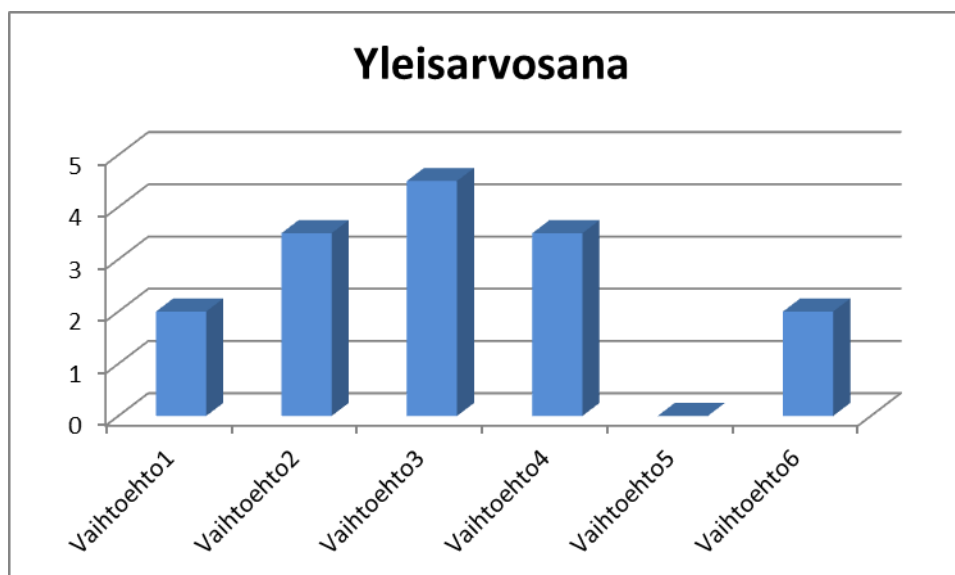
Taulukossa 2 esitetään vuotojen laajuus asteikolla 1 – 5. Vuotojen laajuutta on arvioitu visuaalisesti, joten taulukko on suuntaa antava. Taulukkoa tulkittaessa on otettava huomioon, että yksi suurempi vuoto voi saada muutoin erinomaisen tiivisteiden näyttämään huonommalta. Esimerkiksi ISO VG 68 -öljyllä ajettaessa vaihtoehdolla kaksi havaittiin yksi laajempi vuoto, joka kuitenkin suurella todennäköisyydellä johtui akseliin osuvasta öljyypinnasta (liiallinen ylitäyttö). Vuoto myös loppui täysin öljyypinnan laskettua.

Taulukko 2. Vuotojen laajuus



Taulukossa 3 on esitetty tiivisteiden yleisarvosanat. Nämä arviot perustuvat koeajoista saatuihin tietoihin tiivisteiden luotettavuudesta. Arviossa on otettu huomioon vuotoherkkyys, vuotojen laajuus sekä toistuvuus. Myös muut ratkaisevat tekijät, kuten öljyn lämpötilan kohoaminen huomattavan korkeaksi on otettu huomioon. Koeajojen perusteella ei voida nimetä selkeästi yhtä parasta tiivistettä, mutta tulokset antavat tietoa tiivisteiden muotoilun vaikutuksista öljyvuotoihin.

Taulukko 3. Yleisarvosanat tiivistyksille

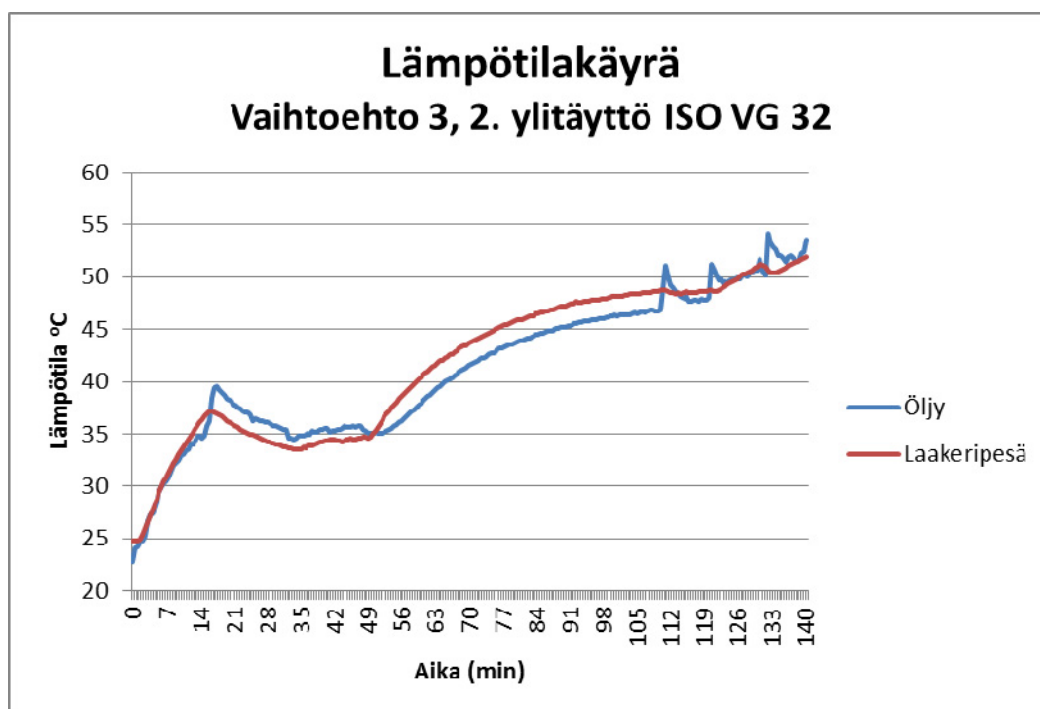


Parhaiten toimineet tiivistykset olivat vaihtoehdot kaksi, kolme ja neljä. Näillä tiivistyksillä havaittiin vuotoja vain äärimmäisissä ylitäyttötilanteissa ja silloinkin vuodot

olivat pieniä. Normaalipinnankorkeudella sekä ensimmäisessä ylitäyttötilanteessa näiden kolmen vaihtoehdon tiivistyskyky oli erittäin hyvä. Vaihtoehdon neljä yleisarvosanaa laski ISO VG 68 -öljyllä ajettaessa kohonnut öljyn lämpötila. Vaihtoehdon kaksi yleisarvosanaa laski rakenteen avoimuus laakerointiin päin, mikä voi heikentää tiivistyskykyä ulkopuolisia epäpuhtauksia vastaan. Vaihtoehdot yksi ja kuusi olivat vuotoherkempiä ja vaihtoehdoiksi viisi todettiin soveltumattomaksi ratkaisuksi.

Koeajotulosten ja -havaintojen perusteella saatiin kuva laakeroinnin akselitiivistyksen toiminnasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Havaittiin, että O-asentoon asennettu viistokuulalaakeripari siirtää öljyä pyörimissuunnan mukaisesti laakeroinnin kantta kohti. Akselimutteriin osuessaan öljy roiskuu ympäristöön. Etenkin korkeilla kierrosnopeuksilla akselimutteri, kuten myös akseli yleisesti, aiheuttaa pyörimisellään voimakkaan ilmavirran joka pakottaa öljyn pyörimisliikkeeseen. Eri rakentein toteutettuja tiivistyksiä vertailtaessa havaittiin, että öljyn paluujuoksutus tulisi olla mahdollisimman hyvin järjestetty. Jos akselimutteri on kokonaan peitetty, kuten vaihtoehdon yksi tiivistyksessä, öljy ei pääse vapaasti kulkemaan paluukanavaan ja alkaa tunkeutua sokkelotiivisteeseen uriin. Myös kuristusten muotoilulla on merkitystä. Liian leveät ja löysät rengasraot heikentävät tiivistyskykyä.

Lämpötilamittauksista luotiin kuvaajat, jotka havainnollistavat öljyn ja laakeripesän lämpötilojen nousua ajon aikana. Kuvassa 35 nähdään lämpötilojen kehittyminen ISO VG 32 -öljyllä. ISO VG 68 -öljyllä ajettaessa lämpötilat nousivat hieman korkeimmiksi, mutta noudattivat samaa kaavaa. Alemmilla kierrosnopeuksilla öljyn ja laakeripesän lämpötilat jäivät noin 35 °C:seen. Korkeammilla kierrosnopeuksilla lämpötila kohosi tasaisesti. Pysäytystilanteet aiheuttivat lämpötilaheittoja. Nämä lämpötilapiikit liittyvät todennäköisesti öljyn seisahtumisesta, jolloin pohjatulppaan liitetty lämpötilanturi kohtaa hetkellisesti kuumempaa öljyä.



Kuva 35. Tyypillinen lämpötilakäyrä koeajo-ohjelmasta

6 YHTEENVETO

Laakeroinnin akselitiivistyksen tehtävänä on suojella laakerointia ulkopuolisilta epäpuhtauksilta sekä öljyvuodoilta. Tiivistyksen pettäessä laakerointi on vaarassa vaurioitua. Öljyvuodot myös sotkevat ympäristöä aiheuttaen turvallisuusriskejä.

Laakeroinnin akselitiivistystä suunniteltaessa on tärkeää ottaa huomioon kaikki tiivistykseen vaikuttavat komponentit. Tiivistystä suunniteltaessa on erityisesti kiinnitettävä huomiota tiivistyksen toimivuuteen ja asennettavuuteen. Pumpputeollisuudessa käytetään yleisesti kosketuksettomia akselitiivisteitä eli sokkelotiivisteitä. Ne eivät kuluta akselia ja ovat helppoja hallita myös korkeilla kierrosnopeuksilla.

AHLSTAR-keskipakopumppujen laakeroinnin kytkimen puoleisen pään akselitiivistykseen vaikuttaa oleellisesti O-asentoon asennettu viistokuulalaakeripari, joka siirtää öljyä laakeroinnin kantta kohti. Myös akselimutterin liikkeet tulee ottaa huomioon tiivistystä suunniteltaessa. Korkeilla kierrosnopeuksilla ajettaessa öljy alkaa pyöriä tiivistyksessä akselin ja akselimutterin liikkeestä aiheutuvan ilmvirran vaikutuksesta. Öljylle on muodostettava selkeät paluukanavat sokkelotiivisteeseen sekä laakeroinnin kanteen. Laakereilta tuleva öljy tulisi ohjata tiivistyksellä siten, että se kulkeutuisi

mahdollisimman suoraan paluukanavaan, eikä rasittaisi sokkelotiivistettä kohtuuttoman paljoa.

Koeajotulosten perusteella on suositeltavaa harkita nykyisen laakeroinnin akselitiivistyksen korvaamista paremmin toimivalla ratkaisulla. Koeajoissa parhaaksi vaihtoehdoksi valikoitui vaihtoehto kolme.

LÄHTEET

Airila, M. - Miettinen, J. 1997. Tiivistimet. Teoksessa Koneenosien suunnittelu. Kirjoittaneet Airila, M., Ekman, K., Hautala, P., Kivioja, S., Kleimola, M., Martikka, H., Miettinen, J., Niemi, E., Ranta, A., Rinkinen, J., Salonen, P., Verho, A., Vilenius, M., Välimaa, V. 2. tarkistettu painos. Porvoo: WSOY.

Airila, M. 1987. Tiivistimet. Teoksessa Koneenosat. Kirjoittaneet Airila, M., Jantunen, E., Kivioja, S., Laihotie, E., Nurmi, L., Pora, M., Ranta, A.. Porvoo: WSOY.

Airila, M. 1985. Tiivistimet. Teoksessa Koneenosien suunnittelu 4. Kirjoittaneet Airila, M., Hovi, K., Nurmi, L., Piirilä, E., Pramila, A. Porvoo: WSOY.

Baniameri, A. 30.1.2013 Keskustelu. Kotka: Sulzer Pumps Finland Oy.

Baniameri, A. 18.2.2013. Sähköpostitiedoksianto. Mölndal, Ruotsi: Sulzer Pumps Sweden Ab.

EnDuro. Garlock GmbH. 2013. Saatavissa:

<http://www.garlock.com/product/enduro#prettyPhoto>. [Viitattu 1.3.2013].

Haas, W. - Henzler, M. - Pfluger, G 2007. Dichtung mit ewigem Leben. Konstruktion 7/8-2007. Saatavissa: <http://www.ima.uni-stuttgart.de/dichtungstechnik/veroeffentlichungen/Fanglabyrinth.pdf>. [Viitattu 4.2.2013].

Heiskanen, H. 11.1.2013. Suullinen tiedonanto. Kotka: Sulzer Pumps Finland Oy.

Inpro Companies Inc. s.a., INPRO Bearing Isolators. Esite.

Krogel, E. T., 1991. Investigating alternative bearing housing protection devices. Tappi Journal May 1991, s.l. TAPPI. s. 139.

Makkonen, H. 1/2013. Suullinen tiedonanto. Kotka: Sulzer Pumps Finland Oy.

Nyman, S. 30.1.2013. Suullinen tiedonanto. Kotka: Sulzer Pumps Finland Oy.

Oy SKF Ab. 1995 Tiivisteen valintaopas.

Oy SKF Ab. 1994 SKF Laakerien kunnossapito.

RB-gammarenkaat. Tiivistekeskus Oy Etola yhtiöt. Saatavissa:

<http://tuotteet.tiivistekeskus.fi/main.html?nodeUid=1154675&catalogUid=1154028&parents=|1154661|1154663&style=view0> [Viitattu 1.2.2013].

Salomaa, T. 29.1.2013. Sähköpostitiedoksianto. Mänttä: Javasko Oy.

Seki, T. 2011. Sähköpostitiedoksianto. Japani: Sulzer Daiichi K.K.

Sulzer Ltd. 2013. Sulzer-konsernin kotisivut. Saatavissa: <http://www.sulzer.com>. [Viitattu 15.2.2013].

Sulzer Pumps Global intranet. [Viitattu 25.1.2013].

Sulzer Pumps Finland intranet [Viitattu 15.2.2013].

Sulzer Pumps Finland Oy. 2012. AHLSTAR End Suction Single Stage Centrifugal Process Pumps. Esite.

Toikka, N. 25.2.2013. Sähköpostitiedoksianto. Kotka: Sulzer Pumps Finland Oy.

Tuomaala, J. 1999. Koneensuunnittelu opetusmateriaali. Oulu: Oulun yliopisto – Prof. Jorma Tuomaala. s. 346-369.

Valuuttamuunnin. RatesFX. Saatavissa: <http://www.ratesfx.com/rates/rate-converter.fi.html> [Viitattu 15.2.2013].

Warring, R.H.1981. Seals and sealing handbook. 1. painos. Surrey: Trade and Technical Press Ltd.

Wuori, P. 1971. Nesteiden sokkelotiivisteistä. Konepajamies N:o 5 / 197, s. 220.

KOEAJO-OHJE KE000527

Sulzer Pumps Finland Oy

Pvm 12.03.2013
Asiakirja KE000527.doc

Jakelu

Toimeksi Tiedoksi

Lähetäjä Merita Halkola

X

X

X

X

Puhelin 3354

PDFIN

1 Koeajon tarkoitus

- Tutkitaan kuutta erilaista sokkelotiivistysratkaisua Ahlstarin kylpyöljyvoideltuun laakerointiin.

2 Projektin tiedot

- Projektin tunniste:
- Projektin nimi:
- Kustannusnumero:

3 Koeajettavan pumpun rakennetiedot

- Pesä:
- Juoksupyörä:
- Sivulevy:
- Kansi:
- Tiiviste:
- Laakerointi:
- Moottori: ABB 3000 rpm, 132kW
- Taajuusmuuttaja: ABB SAMI Star, 132kW (3600 rpm)
- Öljynkorkeusmittari:

4 Koeajomuuttujat

- Sokkelot ja laakeroinnin kannet

Vaihtoehto1	360		Laakerin kansi	Vakiokansi1
	423		Sokkelorengas	Vakiosokkelo1, moottorin puoli
	423		Sokkelorengas	vakiosokkelo, pumpun puoli
Vaihtoehto2	360		Laakerin kansi	Vakiokansi2
	423		Sokkelorengas	Malli 2, moottorin puoli
	423		Sokkelorengas	vakiosokkelo, pumpun puoli
Vaihtoehto3	360		Laakerin kansi	Vakiokansi3
	423		Sokkelorengas	Vakiosokkelo3, moottorin puoli

Sivu 2 (3) / 12.03.2013 /
KOEAJO-OHJE KE000527

	423		Sokkelorengas	vakiosokkelo, pumpun puoli
Vaihtoehto4	360		Kansi	Malli 4
	-		Laakerikannen ikkuna	Malli 4
	423		Sokkelorengas	Malli 4, moottorin puoli
	923		Akselimutteri KMFE	
	423		Sokkelorengas	vakiosokkelo, pumpun puoli
Vaihtoehto5	360		Kansi	Malli 5
	-		EnDuro akselitiiviste	Malli 5, moottorin puoli
	423		Sokkelorengas	vakiosokkelo, pumpun puoli
Vaihtoehto6	360		Laakerin kansi	Vakiokansi1
	423		Sokkelorengas	Vakiosokkelo3, moottorin puoli
	423		Sokkelorengas	vakiosokkelo, pumpun puoli

- Voiteluöljy:
 - o Sarja 1 ISO VG 32
 - o Sarja 2 ISO VG 68

- Pyörimisnopeudet:

- Tilavuusvirta:

Pumppua ajetaan lähellä optimitilavuusvirtoja

- rpm = 33,6 m³/h
- rpm = 50,4 m³/h
- rpm = 100,8 m³/h
- rpm = 120,96 m³/h

5 Tarvittavat mittaukset

- Lämpötila [°C]
 - a) laakeripesä
 - b) öljy
- Aika [s, min, h]
- Kierrosluku [rpm]
- Öljynkorkeus [mm]

6 Koeajotiedostojen viitetiedot

- Projektiviite:
- Koeajoviite:
- Kommentit:

PDFIN

Koeajon numero, sarja, tiivistys, täyttö, tulppaus
Oleelliset kommentit koeajoista (vuodot)

7 Koeajojärjestelyt

KE000527on jaoteltu erillisiin koeajoihin ohjelman mukaisesti (KE00527_ohjelma).

Yksityiskohtaisempia ajo-ohjeita annetaan koeajojen aikana. Koeajot ajetaan

Sivu 3 (3) / 12.03.2013 /
KOEAJO-OHJE KE000527

Koeajot on jaettu kahteen sarjaan. Sarja 1:ssa käytetään ISO VG 32 öljyä. Sarja 2:ssa ISO VG 68 öljyä. Kaikki tiivistykset ajetaan ensin sarjalla 1.

Tiivistysten ajojärjestys esitetään kohdassa 4. "Koeajomuuttajat". Taulukossa esitetään myös kuhunkin tiivistykseen vaadittavat osat. Pumpun puolen tiivistys pysyy samana (vakiosokkelo).

Laakerointiin lisätyn öljyn määrä kirjataan ylös jokaisen täytön jälkeen. Kun laakerointiin lisätään öljyä, tulee pumpun olla ensin pysähtyneenä n. tunnin ajan, jotta öljyinpinta ehtii tasaantua.

Laakeroinnin ulkopinnat kuivataan ja puhdistetaan öljystä jokaisen koeajon välillä huolellisesti. Laakeroinnin alle laitetaan keräilyastia, ja puhdas paperi tms. mahdollisen öljyvuodon paikannukseen.

Jos sokkelotiivistyksessä havaitaan vuotoja, pumppu pysäytetään ja öljyinpinnan annetaan tasaantua. Pumppu käynnistetään ilman sokkelon puhdistusta, tarkastellaan pumppaako kerran vuotanut sokkelo öljyä.

Kun on tutkittu sokkelon pumppaavuus, sokkelo irrotetaan, puhdistetaan öljystä ja kuivataan. Vuodon aiheuttanut koeajo uusitaan ja tarkastellaan havainnon toistuvuutta.

8 Työturvallisuus

Sokkelon vuotoa tarkasteltaessa (■■■■■■■■■■ ikkunakansi), varottava pyörivää akselia. Akselisuojaus toteutettava siten, että tarkkailu on mahdollista. Järjestettävä valaistus ikkunakannelle, jotta tarkkailu onnistuu turvallisen etäisyyden päästä.

9 Koeajon jälkeen

- Pumppu varastoidaan tutkimuskeskuksen varastoon
- Vortex-osat palautetaan omille paikoilleen
- Tiivistysosat merkitään tunnisteella PDFIN■■■■■■■■■■

10 Koeajotulokset





KOEAJO-OHJELMA

KE000527

Ajat minuutteina

Sarja 1 - ISO VG 32





Ajo 1.1.1 Normaalityttö

Vaihtoehto1						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]					
						
	15					
Käy	10	10	60	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	





Pysäytys 1h

Ylitäyttö  välein,
toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.

Ajo 1.1.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto1						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]					
						
	15					
Käy	10	10	60	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Ajo 1.1.3 Tulpataan paluu-ura, normaalityttö

Vaihtoehto1						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]					
						
	15					
Käy	10	10	60	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

Paluu-ura edelleen tulpattuna
Ylitäyttö [] välein, kunnes vuotaa.
Ajo 1.1.4 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto1						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	[]	[]	[]	[]		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Sokkelon vaihto

Ajo 1.2.1 Normaalityttö

Vaihtoehto2						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	[]	[]	[]	[]		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

Ylitäyttö [] välein,
toistetaan kunnes vuotaa ilmenee.

Ajo 1.2.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto2						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	[]	[]	[]	[]		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Sokkelon vaihto

Ajo 1.3.1 Normaalityttö

Vaihtoehto3						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

Ylitäyttö välein,
toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.

Ajo 1.3.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto3						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Sokkelon vaihto

Ajo 1.4.1 Normaalityttö

Vaihtoehto4						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

Ylitäyttö välein,
toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.

Ajo 1.4.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto4						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]					
	●	●	●	●		
	15					
Käy	10	10	60	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Sokkelon vaihto

Ajo 1.5.1 Normaalitäyttö

Vaihtoehto5						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]					
	●	●	●	●		
	15					
Käy	10	10	60	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.						
Ajo 1.5.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.						
Enduro						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]					
	●	●	●	●		
	15					
Käy	10	10	60	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Sokkelon vaihto

Ajo 1.6.1 Normaalitäyttö

Vaihtoehto6						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]					
	●	●	●	●		
	15					
Käy	10	10	60	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

Ylitäyttövälein,
toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.

Ajo 1.6.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto6					
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				
	●	●	●	●	
	15				
Käy	10	10	60	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Käy	5	5	10	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Aika	16	16	86	21	139

Sarja 2 - ISO VG 68

Ajo 2.1.1 Normaalityttö

Vaihtoehto1						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

Ylitäyttö  välein,
toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.

Ajo 2.1.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto1						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Ajo 2.1.3 Tulpataan paluu-ura, normaalityttö

Vaihtoehto1						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

Pahu-ura edelleen tulpattuna
Ylitäyttö [] välein, kunnes vuotaa.
Ajo 2.1.4 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Pyörimisnopeus [rpm]					
Lämmitysajo					
Käy	10	10	60	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Käy	5	5	10	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Aika	16	16	86	21	139

Sokkelon vaihto

Ajo 2.2.1 Normaalityttö

Vaihtoehto2

Pyörimisnopeus [rpm]					
Lämmitysajo					
Käy	10	10	60	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Käy	5	5	10	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Aika	16	16	86	21	139

Pysäytys 1h

Ylitäyttö [] välein,
toistetaan kunnes vuotaa ilmenee.





Ajo 2.2.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto2

Pyörimisnopeus [rpm]					
Lämmitysajo					
Käy	10	10	60	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Käy	5	5	10	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Aika	16	16	86	21	139

Sokkelon vaihto





Ajo 2.3.1 Normaalityttö

Vaihtoehto3						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
						
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h





Ylitäyttö  välein,
toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.

Ajo 2.3.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto3						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
						
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Sokkelon vaihto

Ajo 2.4.1 Normaalityttö

Vaihtoehto4						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
						
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

Ylitäyttö välein,
toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.

Ajo 2.4.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto4						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Sokkelon vaihto

Ajo 2.5.1 Normaalitäyttö						
EnDuro						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.

Ajo 2.5.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.						
EnDuro						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Sokkelon vaihto

Ajo 2.6.1 Normaalitäyttö						
Vaihtoehto6						
Lämmitysajoa	Pyörimisnopeus [rpm]				15	
	●	●	●	●		
	Käy	10	10	60		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Käy	5	5	10	10		
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5		
Aika	16	16	86	21	139	

Pysäytys 1h

Ylitäyttövälein,
toistetaan kunnes vuotoa ilmenee.

Ajo 2.6.2 Jokaisen lisäyksen välissä pysäytys 1 h.

Vaihtoehto6					
Lämmitysajo	Pyörimisnopeus [rpm]				
	●	●	●	●	
	15				
Käy	10	10	60	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Käy	5	5	10	10	
Seis	0,5	0,5	0,5	0,5	
Aika	16	16	86	21	139