

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Meritekniikka

2017

Mike Wink

DIESELMOOTTORIN KIERTOKANGEN LAAKERIN VAIHTOTYÖ

–Tehokkaamman menetelmän kehittäminen

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka | Meritekniikka

2017 | 44

Jari Lahtinen

Mike Wink

DIESELMOOTTORIN KIERTOKANGEN LAAKERIN VAIHTOTYÖ -TEHOKKAAMAAN MENETELMÄN KEHITTÄMINEN

Opinnäytetyö on tehty dieselmoottorivalmistajan kenttähuolto-organisaatiolle. Työssä tutkittiin kiertokangen laakereiden huoltotyötä ja suoritettiin laakerityö kenttähuollon toimintatavan mukaisesti. Työssä on perehdytty kehittämään ohjekirjan mukaista huoltotapaa asennusystävällisemmäksi sekä tehokkaammaksi.

Työssä suoritettiin määräaikainen kiertokangen laakereiden vaihto Wärtsilän W46V16-moottorille FinnTrader-laivassa. Kehitetyn menetelmän testauksella saatiin selkeä kuva työn onnistumisesta sekä tarvittavaa tietoa jatkokehitystä varten. Tuloksien avulla voitiin vertailla työhön kulutettua aikaa sekä varaosien merkitystä työn kustannuksiin. Vertailun ohessa etsittiin mahdolliset kehityskohteet, joihin pyrittiin löytämään niihin sopivat kehitysehdotukset.

Opinnäytetyön tuomat tiedot olivat onnistuneita sekä selkeitä. Kehittämällä huoltomenetelmiä on mahdollista saada taloudellista ja ajallista etua joustamatta turvallisuudesta. Työtavan muutoksella säästetään työhön käytettävässä ajassa yli 70 % sekä varaosakustannuksissa 30 %. Työtavan muutos vähentää kokonaiskustannuksia arvioidusti yli 14 000 euroa, jossa työn arvioitu hinta perustuu huoltoinsinöörin kuukausituloihin. Työssä esitetyt kehitysehdotukset voidaan toteuttaa edullisesti, ja ne toisivat työtä suorittavalle asentajalle paremmat lähtökohdat tehokkaaseen työskentelyyn. Laskennalliset tutkimustulokset olisi hyvä ottaa huomioon jatkossa tehdessä mahdollisia päivityksiä huolto-ohjekirjaan kiertokangen laakerin vaihtotyön osalta.

ASIASANAT:

Huolto, Kehitys, Kiertokanki, Laakeri

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme | Marine engineering

2017 | 44

Jari Lahtinen

Mike Wink

BIG-END BEARING EXCHANGE OF A DIESEL ENGINE -DEVELOPING A MORE EFFICIENT METHOD

This thesis was made for the field services of a diesel engine manufacturer. The thesis studies the maintenance of big-end bearings. As a part of the study, bearings were serviced following the field service procedure. The thesis focuses on developing the manual-based maintenance procedure and making it more installation-friendly and more efficient.

As a part of the study, a scheduled change of big-end bearings was performed on a Wärtsilä W46V16 engine on M/S FinnTrader. The practical work provided a clear picture of whether the change was successfully executed as well as useful information for future development. The results were utilised in comparing the time consumed in the work and the importance of spare parts to the costs of the work. In addition to this comparison, also potential targets for improvement were identified and suitable development proposals were presented.

The information provided by the study was clear and successful. By developing the maintenance methods, it is possible to gain financial and temporal benefits without compromising safety. Changing the procedure saves over 70 per cent of time consumed in the work as well as 31 per cent of costs on spare parts. The expected savings in total costs are over 14000 Euros, estimating the price of work based on the monthly salary of a service engineer. The suggested improvements can be carried out with little cost, and they would give the mechanical fitter better opportunities for working efficiently. The calculated results should be taken into consideration in the future if the manual for changing big-end bearings is updated.

KEYWORDS:

Service, develop, connecting rod, big-end bearing

SISÄLLYS

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
1.1 Työn tavoite	8
1.2 Työn lähtökohdat	9
1.3 Laivadieselmoottorin huolto	9
1.4 Huoltotyön haasteet	11
2 KIERTOKANGEN LAAKERIT	12
2.1 W46V16-moottorin rakenne	12
2.2 Laakerit moottorissa	14
2.3 Laakereiden kunnonvalvonta	16
3 DIESELMOOTTORIN LAAKEREIDEN MÄÄRÄAIKAISHUOLTO	19
3.1 Käyttöohjekirjan mukainen huoltotapa	19
3.2 Toteutus ja käytännön haasteet	24
3.3 Käyttöohjekirjan mukaiset työkalut työn suorittamiseen	25
4 HUOLTOTYÖN KEHITTÄMINEN	27
4.1 Huollon kehittämisen tavoitteet	27
4.2 Yksinkertaistettu huoltotapamalli	27
4.3 Työtavan kehittyminen	33
4.4 Työkalujen kehittyminen	33
5 HUOLTOMENETELMIEN VERTAILU	35
5.1 Mahdollisuudet ja arviointi	35
5.2 Käytännöllisyys vertailtavissa työtavoissa	35
5.3 Taloudellisten kustannuksien vertailu ja arviointi	36
5.4 Kehittämismahdollisuudet	41
6 YHTEENVETO	42

KUVAT

Kuva 1. Kokoneiden asentajien määrä ja huoltotyöhön kuluva aika. Työhön kuuluu vain purku ja asennus. (Häkkinen 2002, 60.).....	10
Kuva 2. Wärtsilä 16 sylinterinen 46DF-moottori (Wärtsilä 2017).	12
Kuva 3. Moottorin pyörimissuunta (Wärtsilä 2016).....	13
Kuva 4. Laakerin rakenne (Wärtsilä manual 2004, 11-24).....	15
Kuva 5. Moottorin sylinteririvit (Wärtsilä Kaasumoottorikoulutus 2016).	15
Kuva 6. Kavitaation aiheuttama jälki liukulaakerissa (FinnCarrier 2016).	17
Kuva 7. Ylemmän laakeripuolikkaan kuluma jäljet.....	18
Kuva 8. Marine-tyyppin kiertokanki (Wärtsilä Kaasumoottorikoulutus 2016).....	19
Kuva 9. Kiertokangen kankiosan irrottaminen (Wärtsilä 46 Manual 2004, 11-20).....	21
Kuva 10. Alapuoliskon tukeminen oikeaan asentoon (Wärtsilä 46 Manual 2004, 11-22).	21
Kuva 11. Hydraulitunkkien asennus alapuoliskoiden irrottamista varten ja hydrauliiikan kierto (Wärtsilä 46 Manual 2004, 11-23).	22
Kuva 12. Hydraulitunkkien asettelemiseen tarkoitettu tukivarsityökalu.	23
Kuva 13. Ulosvetokiskot asennettuna moottoriin (Wärtsilä manual 2004, 11-24).	24
Kuva 14. Käyttöohjekirjan mukaiset työkalut (Wärtsilä Kaasumoottorikoulutus 2016).	25
Kuva 15. Kampikammion luukkujen avaus.....	28
Kuva 16. Kellotaljan asennus kiertokangen alaosaan.	29
Kuva 17. Korkeapainetunkki.	30
Kuva 18. Paineilmakäyttöinen korkeapaine hydraulipumppu ja avauspaineet.....	31
Kuva 19. Alapuoliskon lasku öljypohjaan.	32

KUVIOT

Kuvio 1. Vertailtaviin työtapoihin käytetty aika tunneissa laakerinvaihtotyössä.....	36
Kuvio 2. Prosentuaalinen säästö ajassa.	37
Kuvio 3. Vertailtaviin työtapoihin kuluvat varaosat Euroissa laakerinvaihtotyössä.	38
Kuvio 4. Varaosakustannuksista saadut hyödyt työtavan muutoksella.	39
Kuvio 5. Kokonaiskustannukset.	40

TAULUKOT

Taulukko 1. Marine-typin kiertokangen osat.....	20
Taulukko 2. Käyttöohjekirjan mukaiset työkalut painoineen.	26

KAAVAT

Kaava 1. Suoran ympyrälieriön tilavuus.	12
----------------------------------------------	----

LIITTEET

Liite 1. W46-Moottorin huoltoaikataulu HFO-polttoaineelle.

Liite 2. W46-moottorin perustiedot.

Liite 3. Suoritettun työn hyväksytyt asiakirja.

KÄYTETYT LYHENTEET JA SANASTO

W46	Wärtsilän valmistama moottorimalli, jonka sylinterinhalkaisija on 46 senttimetriä.
V-moottori	Moottorin tyyppi, jossa sylinteririvit ovat V-kulmassa toisiinsa.
L-moottori	Moottorin tyyppi, jossa on yksi sylinteririvi.
Kiertokanki	Moottorin olennainen osa, joka muuttaa moottorissa syntyvän lineaarisen liike-energian pyöriväksi liike-energiaksi.
bar	Paineen yksikkö. 100 kPa.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoite

Tässä opinnäytetyössä perehdytään meri- ja voimalaitoskäyttöön tarkoitettujen suurten dieselmoottoreiden huoltoon sekä huollon menetelmien kehittämiseen. Työ on rajattu tarkastelemaan ainoastaan kiertokangen vaihtotyötä, joka on yksi osa tämän kokoluokan moottorin säännöllisistä huoltotoimenpiteistä. Opinnäytetyössä keskitytään Wärtsilän W46V16-moottoriin suoritettuun kiertokangen laakerin vaihtotyöhön, joka suoritettiin Kotkassa 5.–7.10.2015. Työssä on käytetty sekä kirjallista että käytännön tietoa. Kehitetyt huoltotavat ovat käytettävissä myös muissa moottorin malleissa, joissa kiertokanki on kolmiosainen. Työssä ei perehdytä kuin yhden moottorimallin huoltotoimenpiteisiin.

Moottoreiden ja sen komponenttien suuruuden johdosta töiden suoritus vaatii omat järjestelynsä sekä työkaluissa että työtiloissa. Kyseinen moottori on mahdollista asentaa laivoihin tai voimalaitoksiin käyttötavasta riippuen. Laivoissa moottorit sijoitetaan konehuoneeseen, joka on tuottamatonta tilaa. Konehuoneista pyritään suunnittelemaan mahdollisimman kompakteja, jolloin se tuo haastetta moottorin huoltotyön suorittamiseen. Näitä ongelmia on työssä pyritty ratkaisemaan kehittämällä asennustöiden työtapoja sekä vertailemalla kahta erilaista tapaa keskenään. Suurimpiin ongelmiin kuuluvat myös tilojen ahtaus sekä raskaat komponentit, jotka osaltaan tuovat toiminnallisia haasteita.

Opinnäytetyössä perustellaan työtavan kehittämisen kannattavuus huoltotoiminnassa. Työssä esitetyt ratkaisut perustuvat jo olemassa oleviin asiakirjoihin sekä omakohtaiseen kokemukseen ja käytäntöön.

1.2 Työn lähtökohdat

Wärtsilä on yksi suurimpia suurten dieselmoottojen valmistajia, joka on sitoutunut tarjoamaan asiakkailleen tehokasta ja nopeaa huoltopalvelua maailmanlaajuisesti. Merenkulun markkinoilla Wärtsilän keskinopeiden dieselmoottojen osuus oli 50 % vuonna 2006. (Wärtsilä 2017.)

Opinnäytetyö perustuu Wärtsilä Oy:n saamaan huoltotilaukseen, jossa Finlines-laivayhtiön Trader-laiva tilasi kiertokangen alalaakereiden vaihdon Wärtsilän W46V16-moottoriin huoltotuntien täytyttyä. Tämä antoi mahdollisuuden suorittaa huoltotyö käytännössä ja tarkastella työhön liittyviä parannusehdotuksia. Työn suorittaminen käytännössä tuo työhön paremmat lähtökohdat kehitysehdotuksien toimivuuden arviointiin sekä antaa mahdollisesti uusia näkemyksiä.

Työtapa, jota tarkasteltiin, on tullut käyttöön kenttähuollon taholta, ja se on huoltomiesten mukaan toimivampi ratkaisu. Omakohtaista kokemusta kyseisestä moottorista oli vähän, mutta käytin opinnäytetyössä myös kokemuksen tuomia tietoja suurista dieselmoottoista työskennellessäni Wärtsilällä kesätöissä 2008 sekä vakituisessa työsuhteessa Marine Diesel Finland Oy:ssä vuodesta 2012 lähtien.

1.3 Laivadieselmoottorin huolto

Dieselmoottoja on käytössä monia erilaisia eri käyttötarkoituksiin. Luotettavan toiminnan varmistamiseksi ne tarvitsevat säännöllistä kunnossapitoa ja huoltoa. Näihin vaikuttaa moottorin koko, teho, käyntinopeus sekä rakenne. Jokaiselle moottorille tai konetyypille on olemassa valmistajan laatimat huolto-ohjeet. Moottorien erilaisuuden takia ei ole olemassa yhtä kaikkia moottoreita koskevaa oikeaa huolto- ja kunnossapitotallia. (Närre & Riuttamäki 1963, 164.)

Laivoissa koneistojärjestelmien luotettavuus on tärkeää. Se on otettu huomioon koneistoja suunnitellessa, jolloin käyttövarmuus pyritään pitämään hyvänä. Moottorin rakenteessa on pyritty löytämään ratkaisuja, joilla huoltotöitä voidaan nopeuttaa sekä voidaan vähentää työvirheitä. Kehitystä on tapahtunut myös työkaluissa, joista on tullut kalliimpia sekä ylläpitoa vaativia. Moottorin osissa valmistuskustannukset ovat lisääntyneet, mutta samalla osien sekä liitosten määrä on vähentynyt. (Häkkinen 1997, 87.)

Laivoissa tehtävät huoltotyöt suoritetaan usein ylitöinä laivan omalla miehistöllä, tai yhä useammin turvaudutaan ulkopuolisiin huoltopalveluihin. Miehistön vähyydestä johtuen laivat sopivat useasti myös huoltosopimuksia moottorivalmistajan kanssa. Huoltokustannukset voidaan laskea raskaspolttoöljyä käytettäessä 3–4 €/ kW/a. Kustannuksiin ei ole laskettu päivittäisiä tarkastuksia eikä vähittäisiä moottorin avauksia. (Häkkinen, 2002, 59.)

Työn suorittamiseen käytettävä aika on tärkeää käyttäjälle, ja siitä on maininta entistä harvemmin valmistajien ohjekirjoissa. Kehitys rakenteissa sekä työkaluissa on nopeuttanut huoltoa sekä parantanut yhden asentajan/koneenkäyttäjän mahdollisuuksia suorittaa huoltotehtävät yksin. (Häkkinen 1997, 89.)

Engine type	Sulzer ZA40S		Wärtsilä 46	
Component	Persons	Time/min	Persons	Time/min
Injection valve	1	20	1	30
Injection pump	1	40	1	90
Exhaust valve	2	90	1	45
Cylinder cover	2	90	2	150
Piston (cover removed)	2	50	2	75
Liner (piston removed)	2	45	2	60
Connecting rod lower bearing	2	50	2	120
Main bearing	2	70	2	75

Kuva 1. Kokoneiden asentajien määrä ja huoltotyöhön kuluva aika. Työhön kuuluu vain purku ja asennus. (Häkkinen 2002, 60.)

1.4 Huoltotyön haasteet

Työssä tarkastellaan laivalla suoritettavaa kiertokangen laakereiden vaihtoa, joka tuo laivayhtiölle sekä työn suorittajalle erilaisia haasteita. Näitä haasteita ovat laivojen aikataulut sekä moottorin suuret lämpötilat yleensä töiden alkaessa. Raskaat sekä suuret työkalut ja moottoreiden komponentit tuovat omat haasteensa ahtaissa tiloissa työskentelyyn.

Laivoissa huoltotoimenpiteissä tulee ottaa huomioon laivan liikennöinti- sekä satama-aika. Yleisesti laivoissa moottorihuollot suoritetaan aina satamassa, jolloin pääkone on mahdollista huoltaa. Jos aluksessa on useampia pääkoneita, voidaan huoltoa vaativa moottori korvata huoltotyön ajaksi. Useassa laivassa on turvallisuussyistä kielletty suorittamasta huoltotoimenpiteitä pääkoneeseen laivan liikennöidessä. Tutkimuksen kohdelaivassa huoltotyö suoritettiin satamassa.

Aikataulut ovat aina haastavat, koska laiva ei huoltotilanteessa pysty kuljettamaan lastia, jolloin huoltoaika pyritään pitämään mahdollisimman lyhyenä. Tämä saattaa aiheuttaa huolimattomuutta, sekä henkilö ja materiaalivahinkoja. Työssä suoritettun tutkimuksen avulla kyseiset ongelmat pyritään minimoimaan harkituilla ratkaisuilla.

Työtä tilattaessa koulutetulta huollolta oletuksena on, että asiakas saa juuri oikeaa palvelua oikein tehtynä. Huoltotavan poiketessa käyttöohjekirjan tavasta tulee asiakkaalta pyytää lupa työn suorittamiseen normaalista poikkeavalla tavalla. Vaikka huoltotapojen muutos ei vaikuttaisi työn laatuun, on asiakkaan suostumus ehdoton. Opinnäytetyössä on pyritty perustelemaan kehitystyön kannattavuus, ja tässä analysoitava huoltotyö on suoritettu asiakkaan suostumuksella.

2 KIERTOKANGEN LAAKERIT

2.1 W46V16-moottorin rakenne

Opinnäytetyössä moottori, jonka huoltotoimintaa tarkastellaan, on Wärtsilän W16V46-mallin moottori, joka on yksi Wärtsilän suurimpia moottorimalleja. Numero 46 tulee sylinterin halkaisijasta senttimetreissä ja numero 16 sylintereiden määrästä moottoreissa. Kyseessä on v-mallin moottori, jossa sylinteriputket ovat ristikkäin. Teknisinä tietoina sylinterin halkaisija on 460 mm ja iskunpituus, eli männän alakuolokohdasta yläkuolo-kohtaan on 380 mm. Sylinterikohtainen tilavuus on 96,4 L. Se on laskettavissa suoran ympyrälieriön tilavuuden laskukaavalla, kun tiedetään sylinterin halkaisija ja pituus.

Kaava 1. Suoran ympyrälieriön tilavuus (Seppänen 2005, 32).

$$V = \pi * r^2 * h$$

r = sylinterin säde

h = iskunpituus

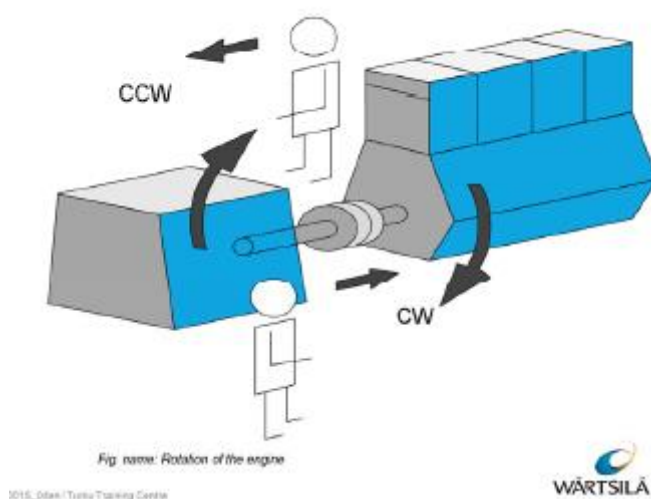


Kuva 2. Wärtsilä 16 sylinterinen 46DF-moottori (Wärtsilä 2017).

Wärtsilän vuonna 1988 julkaisema W46-moottori toi mukanaan monia uusia innovatiivisia ratkaisuja. Moottori on siitä asti ollut suosiossa monipuolisuutensa ansiosta matkustaja- ja rahtialuksilla. Suunnittelijoiden pääsaavutus oli luotettavuuden lisääminen, kun he loivat suurella halkaisijalla varustettua keskinopeaa dieselmoottoria kilpailemaan hidaskäyntisiä ristikkappale moottoreita vastaan. Suunnittelussa panostettiin merkittävästi laakeriteknologiaan hyödyntämällä suuria laakereita ja ohutta öljykerrosta sekä männänhelmojen painevoitelua. (Woodyard 1998, 526.)

Tarkasteltava moottorimalli on Wärtsilän valmistuksesta jo lopetettu vuonna 2004 mutta on käytössä vanhemmissa laivoissa edelleen toimintavarmuutensa ansiosta. Wärtsilä 46 -malli sai seuraajan samana vuonna, jolloin markkinoille tuli 46F-malli, joka on edeltäjänsä tehokkaampi pienine muutoksineen, mutta käytännössä tässä opinnäytetyössä kerrottu huoltotapa on käytettävissä myös 46F-mallissa.

Moottoreiden pyörintäsuunta on valmistajakohtainen, mutta Wärtsilän moottorit pyörivät pääsääntöisesti vauhtipyörästä katsoen myötäpäivään (Kuva 3.). Jos moottori on kytketty toisen moottorin kanssa samaan vaihdelaatikkoon, tulee toisen moottorin pyöriä vastapäivään. W46V16-moottorin pyöriessä myötäpäivään sytytysjärjestys muuttuu. Tärkeimmät tekniset tiedot moottorista ovat liitteessä 2.



Kuva 3. Moottorin pyörimissuunta (Wärtsilä 2016).

Huollon tarkastuksessa on tärkeää tietää moottorikohtainen huoltoaikataulu, joka kertoo konekohtaisen kunnossapitotarpeen. Toisin kuin esimerkiksi moottorin, joka pyörittää pyöriä, huoltovälit on annettu valmistajasta riippuen kilometreissä tai vuosissa. Merikäytössä tai voimalaitospäriäätteellä toimivien moottoreiden kunnossapitotaulukko on jaoteltu käyttötunteihin ja vuosiin tai polttoaineenkulutuksen määrään, kuinka monta grammaa polttoainetta moottori vaatii tuottaessaan yhden kilowatin sähköä. Laivoissa kunnossapitotaulukkoa tarkastellaan intervallijärjestelmällä, joka antaa säännölliset huoltoajankohdat määräaikaishuolloille. Kyseisen koneen kunnossapitotaulukko on liitteessä 1.

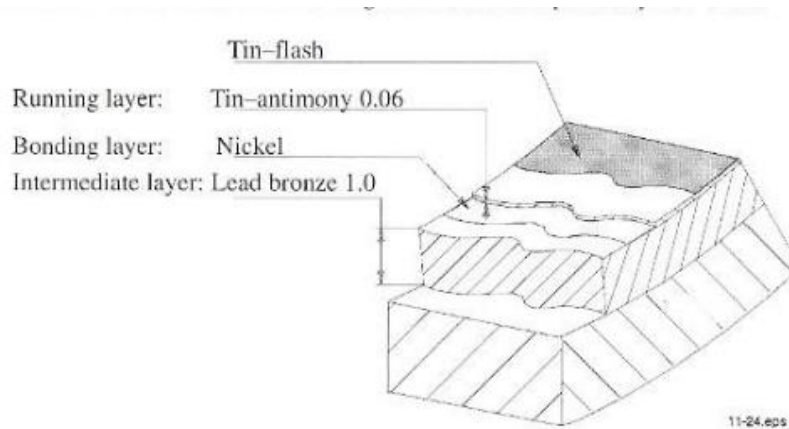
Aluksen omistaja on etusijalla vaikuttamaan moottoriin annettuun huoltoaikatauluun. Vaadittavat huollot voidaan jakaa aluksen liikennöinnistä riippuen jaksoihin. Aloittamalla huoltokierroksen suorittamalla vaadittava kunnossapito ennakkoon osissa, kuten avaamalla yksi tai kaksi sylinterilinjaa kerralla, vältetään suuremmilta käyttökatoilta ja pysytään valmistajan vaatimassa huoltoaikataulussa. Tämä mahdollistaa moottorin turvallisen käytön. (Wilbur & Wright 1984, 453.)

2.2 Laakerit moottorissa

Keskinopeiden dieselmoottoreiden kiertokangen laakerit kuuluvat säännöllisesti tarkasteltaviin kunnossapidon toimenpiteisiin ja määräaikaishuoltoon. Wärtsilä käyttää kaksiosaisia liukulaakereita. Laakereiden vaihtoväli on Wärtsilän puolesta ilmoitettu käyttötuntien mukaan, jolloin suoritetaan laakereiden vaihdot. Laakerit ovat kulutustavaraa, jolloin moottoria suunniteltaessa on otettu huomioon myös niiden kunnossapito. Laakereiden vaihtoväli on riippuvainen käytettävästä polttoaineesta, joita Wärtsilällä on kyseiselle moottorille raskaspolttoöljy sekä meridieselöljy. Työssä on keskitytty laivan käyttämään raskaspolttoöljyn antamiin suosituksiin. Kyseisen moottorin kiertokangen laakereiden vaihtoväli käytettäessä raskaspolttoöljyä on 36000 käyttötuntia. Raskaspolttoöljyn käytön vaatimukset on esitetty liitteessä 1.

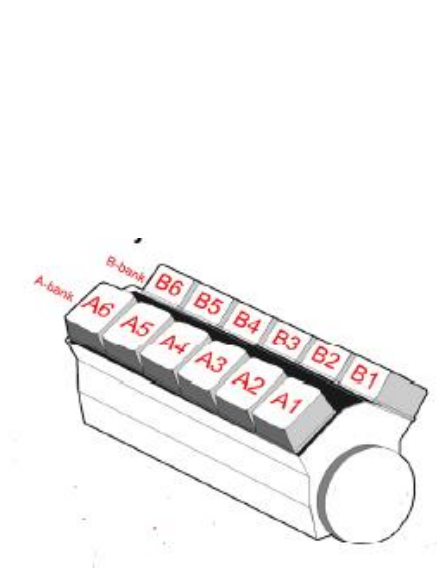
Laakereille tuodaan voiteluöljyä moottorin öljynkierrosta, jossa öljy muodostaa kampiakselin sekä kiertokangen väliin ohuen öljykerroksen. Kerros suojaa kampiakselin pintaa ja vähentää liukukitkaa. Laakereiden materiaali on trimetalliseosta, jonka kulumuspinta koostuu tinapinnoitteesta. Kulutuspinnan alla on liimapintana nikkeli-kerros ja

sen alla lyijypronssi kerros. Kulutuspinta kuluu ajan ja epäpuhtauksien myötä. Kulutuspintaa seurataan säännöllisillä tarkastuksilla. Kuluessaan liikaa tai epäpuhtauksien päästessä laakeriin, aiheutuu lämpötilan nousua, joka voi johtaa suureen moottorivaurioon.



Kuva 4. Laakerin rakenne (Wärtsilä manual 2004, 11-24).

Wärtsilä käyttää moottoreissaan numerointitapaa, jossa moottoria tarkastellaan vauhti-
pyörästä katsoen. Tämä perussääntö toimii lähes jokaisessa valmistajan moottoreissa,
joka helpottaa kunnossapitoa sekä selkeyttää asiakasta ongelmatilanteissa. V-
moottorissa sylinteririvit ovat nimetty A- ja B-sylinteririveiksi. (Kuva 5.)



Kuva 5. Moottorin sylinteririvit (Wärtsilä Kaasumoottorikoulutus 2016).

Laakereiden numerointi perustuu sylinteririvin numeroon tai kirjaimeseen, sekä järjestysnumeroon vauhtipyörän puolelta laskettuna. Laakeripuoliskot ovat samanlaisia jokaisessa kiertokangessa, jolloin laakereihin tulee asentajan itse merkitä linjanumero sekä yläpään ja alapään laakerin paikka raportointia varten.

2.3 Laakereiden kunnonvalvonta

Suurissa suora-ajo moottoreissa tulisi tarkastaa kiertokangen laakereiden ylä- sekä alaosien välykset joka kuudes kuukausi. Pitkien merimatkojen jälkeen tulisi mutterien kireys myös tarkastaa. Keskinopeiden moottoreiden valmistajat eivät tosin vaadi edellä mainittuja laakeritarkastuksia moottorin kahden ensimmäisen käyttövuoden aikana. (Wilbur & Wright 1984, 461.)

Laakereiden lämpötilaa seurataan jatkuvasti antureilla, jotta mahdollisissa ongelmatilanteissa vika voidaan todeta. Laakereiden suuri lämpötilan nousu voi aiheuttaa moottorille laajoja vaurioita. Valmistaja on antanut suositusvaihtovälit laakereille, jolloin suoritetaan myös tarkastus. Laakereita vaihdettaessa on hyvä suorittaa vanhoille laakereille visuaalinen tarkastelu, joka on yksi kenttähuollon raportointi aiheita. Visuaalinen tarkastelu kertoo laakerin kuluman laadun ja määrän. Yleisimpiä kulumisjälkiä ovat kavi-taation aiheuttamat jäljet (kuva 6.), sekä kiertokangen alalaakerin yläpuoliskon suurempi kulumisaste. (Kuva 7.) Laakerin yläpuoliskon suurempi kuluma on yleistä, johtuen männän työtahdistista, jolloin laakeriin tapahtuu suurta vertikaalista voimaa. Työssä ei olla perehdytty laakerin kulumisen aiheuttajiin.



Kuva 6. Kavitaation aiheuttama jälki liukulaakerissa (FinnCarrier 2016).



Kuva 7. Ylemmän laakeripuolikkaan kuluma jäljet.

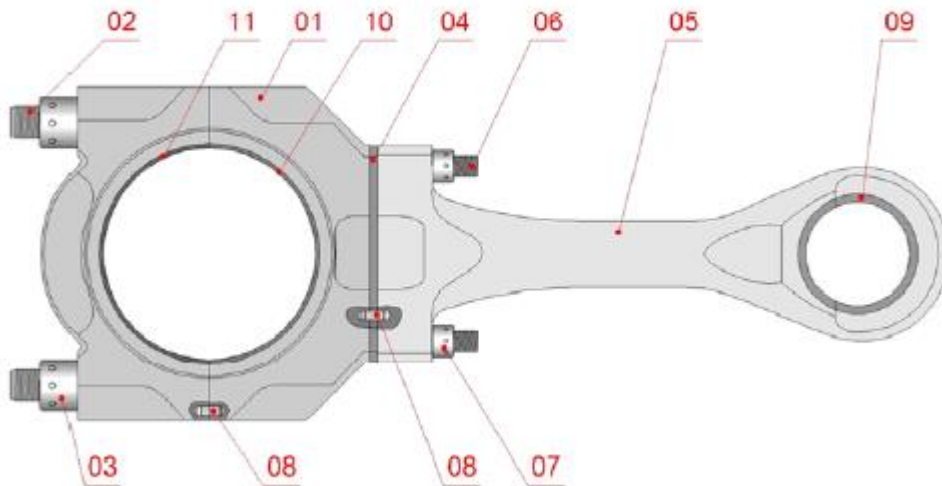
Suorittamalla määräaikaishuollon mukainen tarkastus kiertokangen alalaakereille voidaan mahdollistaa moottorin huoleton käyttö sekä pidentää moottorin elinkaarta. Kaikissa tapauksissa, joissa huollon vaatima tuntimäärä täyttyy, kiertokangen laakereiden vaihto ei ole laakereiden kunnon perusteella välttämätöntä. Tämä saattaa johtua esimerkiksi moottorin käyttämästä parempilaatuisesta öljystä, jolloin voitelu on toiminut oletettua paremmin. Tämänlaisten tapauksen tiedot ovat arvokkaita kehitystä varten. Valmistajan suosituksiin kuuluu kuitenkin suorittaa käyttötuntien määrän vaatimat huoltoimenpiteet.

3 DIESELMOOTTORIN LAAKEREIDEN MÄÄRÄAIKAISHUOLTO

3.1 Käyttöohjekirjan mukainen huoltotapa

Tarkastelulähtökohdaksi huollon kehittämiseksi on käytetty valmistajan ohjekirjaa, joka on huollon käytössä ympäri maailmaa. Kirjassa on kohdittain annettu ohje suorittaa moottoriin liittyvät huoltotyöt. Kiertokangien laakereille on olemassa hyvin tarkka työohje, jossa on annettu myös Wärtsilän käyttämät työkalut, jotka moottorin ostaja voi hankkia tukemaan moottorin kunnossapitoa.

Käytössä oleva työtapa on suunniteltu moottoreille, joissa on käytössä marine-tyyppinen kiertokangin. Tämä tarkoittaa, että kiertokangin kolmiosa on halkaista vaakaan. (Kuva 8.) Tämän tyyppisessä kiertokangessa kanginosa on mahdollista irrottaa erikseen sekä mahdollisuus liittää kangin puristuslevy. Levyn paksuudella voidaan säädellä sylinteripuristuksia.



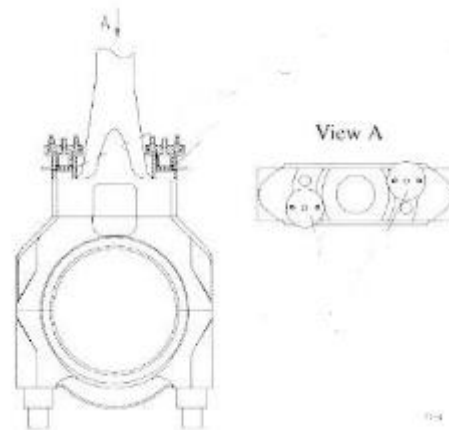
Kuva 8. Marine-tyypin kiertokangin (Wärtsilä Kaasumoottorikoulutus 2016).

Taulukko 1. Marine-tyypin kiertokangen osat.

Osanumero	Nimike
01	Kiertokangen alaosa
02	Pinnapultti (alaosa)
03	Mutteri (alaosa)
04	puristuslevy
05	Kiertokangen yläosa
06	Pinnapultti (Kankiosa)
07	Mutteri (Kankiosa)
08	Ohjaustappi
09	Laakeriholkki
10	Laakeripuolikas (ylä)
11	Laakeripuolikas (ala)

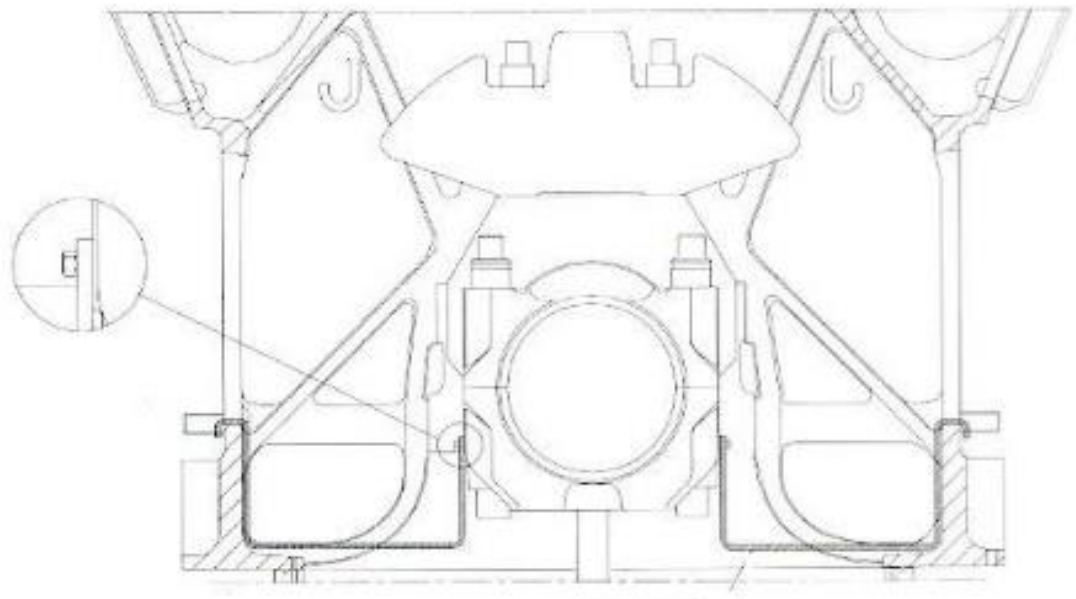
Kolmiosainen marine-kiertokanki on suunniteltu jakamaan palamistahdin tuottama voima tasaisemmin mahdollisimman suurelle laakerialueelle suhteellisen pienellä vastinpintakosketuksella. Rakenteella on helpottava vaikutus männän ja kiertokangen alapään huoltoon ja tarkastamiseen. (Woodyard 1998, 530)

Kiertokangen laakereiden vaihtoa ei ohjekirjan mukaan voida suoraan aloittaa, koska irrottaessa kiertokankea kiertokangen päässä olevaa mäntää tulee tukea. Ohjekirja antaa lähtökohdaksi purkaa moottorista sylinterikannet irti lohkosta, jolloin kyseisessä moottorissa on mahdollisuus tukea mäntää ylhäältä käsin männänkruunussa olevien silmäpultin paikkojen avulla. Kiertokangen kankiosaa kiinni pitävät kontramutterit M72x6 on tällöin mahdollista irrottaa hydraulisin tunkein. (Kuva 9.)



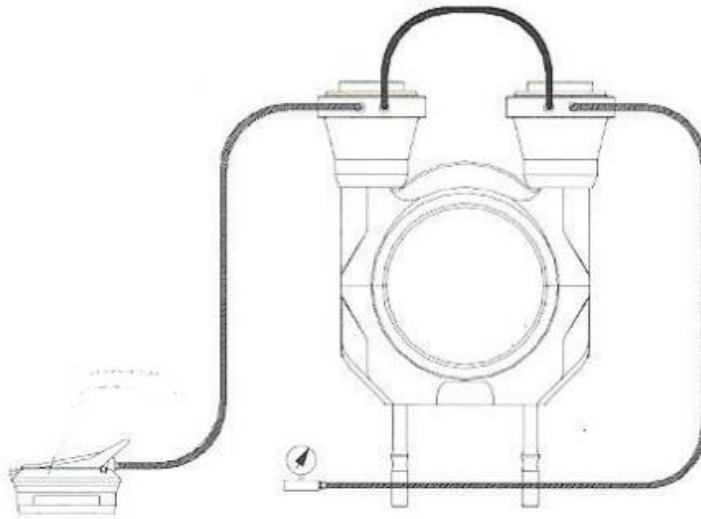
Kuva 9. Kiertokangen kankiosan irrottaminen (Wärtsilä 46 Manual 2004, 11-20).

Kiertokangen alaosa tulee myös tukea sille tarkoitetuilla menetelmillä (kuva 10.) sekä kääntää alapuoliskoja kiinnittävät mutterit ylöspäin. Kiertokangen alaosa, joissa vaihdettavat laakeriliuskat on nyt mahdollista irrottaa turvallisesti.



Kuva 10. Alapuoliskon tukeminen oikeaan asentoon (Wärtsilä 46 Manual 2004, 11-22).

Puoliskot ovat kiinni hydraulisesti avattavilla kontramuttereilla M72x6, joihin on omat tunkit. (Kuva11.) Tunkeille tuodaan paineilmakäyttöisellä hydraulipumpulla tarvittava avauspaine tarvittaessa kahdessa jaksossa, riippuen tunkkien iskunpituudesta.



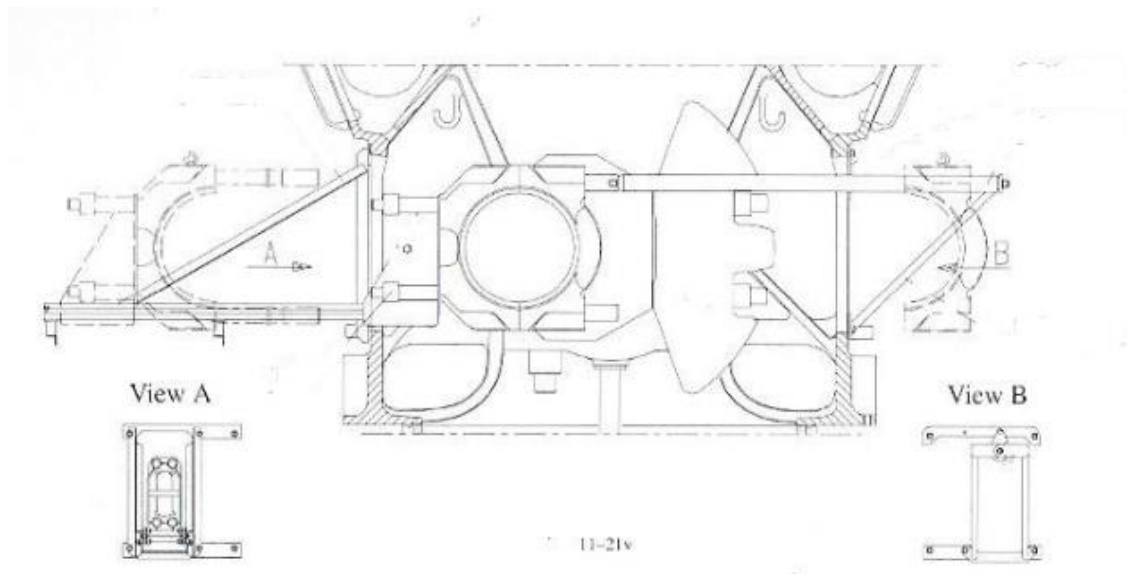
Kuva 11. Hydraulitunkkien asennus alapuoliskoiden irrottamista varten ja hydrauliiikan kierto (Wärtsilä 46 Manual 2004, 11-23).

Tunkkeja asentaessa tulee tunkit pyörittää pohjaan, jolloin saadaan pisin isku. Irrottaessa tulee tunkkeja pyörittää vastapäivään myös 270 astetta, jolloin venytettävän kierteen venyessä mutterilla on varaa aueta ja tunkki ei jää kiinni. Puoliskot tulisi olla kiinni 600 Bar paineella. Paine kertoo kuinka suurella paineella hydraulitunkki venyttää kierrevarnaa, jotta mutteri irtoaa käsivoimin. Tunkkien painon takia ne on helpompi asentaa nostamalla paikalleen, mutta käytössä on raamilaakereille suunniteltu tukivarsityökalu (kuva 12.), jolloin tunkkien asennus voidaan suorittaa myös kiertokangen alaosan ollessa samassa asennossa kuin varren ja männän ollessa kiinni.



Kuva 12. Hydraulitunkkien asettelemiseen tarkoitettu tukivarsityökalu.

Puoliskojen irrotusta toisistaan ei suoriteta muttereiden irrotusasennossa, jossa tarkoituksena on saada ainoastaan mutterit avautumaan. Puoliskoille asennetaan ulosvetokiskot, joilla irrotetut puoliskot voidaan tuoda ulos lohkost ja suorittaa laakeripesien puhdistus ja tarkastus sekä laakereiden vaihto.



Kuva 13. Ulosvetokiskot asennettuna moottoriin (Wärtsilä manual 2004, 11-24).

Laakerin puoliskot irtoavat kevyesti muovivasaralla naputtamalla ja uusien asennus painamalla laakerit niitä ohjaaviin kielekeuriin. Uusien laakereiden asennus tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä puhtaisiin ja öljytyihin pintoihin. (Wärtsilä 46 manual, 2004)

3.2 Toteutus ja käytännön haasteet

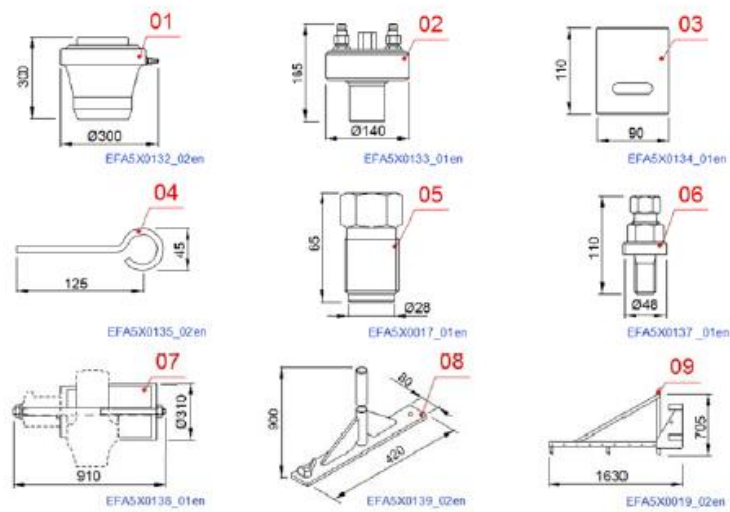
Käyttöohjekirjan mukaisen työtavan toteutus on huoltotapaa tarkastellen hyvin selkeä sekä johdonmukainen. Työssä on otettu huomioon raskaiden työkalujen ja komponenttien liikutus ja käyttö, sekä pyritty suorittamaan työ ergonomisesti ja tarkasti. Käyttöohjekirjan mukainen huolto edellyttää kuitenkin vaadittavat työkalut ja niiden käyttöön tarkoitetut apuvälineet. Myös työkohteessa tulee olla vaadittava tila käyttää niitä, joka koituu ongelmaksi ahtaissa konehuoneissa. Tällöin on mahdollista, että joudutaan tekemään ratkaisuja, jolloin ohjeen antamat hyödyt eivät toteudu.

Esimerkkinä voidaan todeta kiertokangen alapuoliskoiden ulosvientiin tarkoitettujen liikutankojen pituus. Konehuoneen ollessa ahdas tulee puoliskot kuljettaa ulos lohkos- nostotaljojen avulla, joka on hidasta sekä työturvallisesti haastava ratkaisu. Työtavassa on myös paljon komponentteja, joita tulee irrottaa ennen vaihdettavaan osaan käsiksi pääsyä, joka tekee työlle lisää tunteja. Lisätunnit eivät ole suositeltavaa laivan liikennöinti- ja huoltokustannusten kannalta.

3.3 Käyttöohjekirjan mukaiset työkalut työn suorittamiseen

Wärtsilä tarjoaa asiakkailleen mahdollisuuden hankkia huoltotoimiin tarvittavat työkalut sekä kouluttaa asiakkaitaan niiden käytössä. Kiertokangen laakereiden vaihtoon käytettävät työkalut näkyvät kuvissa. (Kuva 14.)

Maintenance tools for connecting rod 1/2



Kuva 14. Käyttöohjekirjan mukaiset työkalut (Wärtsilä Kaasumoottorikoulutus 2016).

Taulukko 2. Käyttöohjekirjan mukaiset työkalut painoineen.

Osanumero	Nimike	Paino (Kg)
01	Hydraulitunkki (M72*6)	66
02	Hydraulitunkki (M42)	6,6
03	Välikappale	2
04	Muttereiden pyräytystappi	0,1
05	Pinnapultin kiris- tys/avaamis työkalu (M42)	1,5
06	Pinnapultin kiris- tys/avaamis työkalu (M72*6, M90*6)	0,8
07	Laakerihokin irroitustyökalu	46
08	Kiertokangen alaosan oh- jaustyökalu	4,8
09	Asennuskiskot kiertokan- gen alaosalle	150

Ohjekirjan mukaisista työkaluista huomataan kolme raskaampaa työkalua. Ensimmäinen on useasti liikuteltava hydraulitunkki (01) kiertokangen alalaakerin pinnapulteille. Toinen on kiertokangen yläpään laakeriholkin irrotustyökalu (07) ja kolmantena asennuskiskot kiertokangen alaosalle (09). Näistä kolmesta yläpään laakeriholkin irrotustyökalu ei ole välttämätön, jos moottorille ei vaihdeta kuin alapään laakerit. Monisyinteriselle moottorille laakerihuoltoa tehdessä tulee asennuskiskoja (09) sekä Hydraulitunkeja (01) liikuttaa useasti, jolloin raskaasta painosta on haittaa.

4 HUOLTOTYÖN KEHITTÄMINEN

4.1 Huollon kehittämisen tavoitteet

Moottorihuollon merkitys laivan kulkemiseen on tärkeää, jotta alus voisi pysyä liikenteessä mahdollisimman jatkuvasti. Huollon aiheuttamat seisakit ovat laivoille kalliita menetetyt liikennöinnin kannalta. Huollon kehittämällä pyritään löytämään parhaat ratkaisut työn suorittamiseen, jolla saadaan suoritettava työ tehtyä mahdollisimman nopeasti, turvallisesti ja kustannustehokkaasti.

Kehittämällä huoltotapoja pyritään välttämään aiheutuvat seisakit meriliikenteessä ja pidemmät käyttökätkot sähköntuotannossa. Ratkaisemalla ajalliset ongelmat voidaan mahdollistaa huoltopalveluiden tarjoaminen vaikuttamatta suuresti laivan liikennöintiin sekä asentajien työmatkan pituuteen. Toteutuessaan ratkaisut toisivat taloudellista hyötyä sekä palvelun ostajalle että palvelun tarjoajalle.

4.2 Yksinkertaistettu huoltotapamalli

Kenttähuollon helpottamiseen asentajat ovat löytäneet parannettuja ratkaisuja työssä aikaisemmin mainittuihin ongelmiin. Ratkaisuja käytetään, jos moottorille ei tarvitse suorittaa muuta määräaikaishuoltoa kuin kiertokangen laakereiden vaihto. Työtavassa keskitytään osien käsiksi pääsyyn tavalla, jossa ei tarvitse irrottaa sylinterikansia eikä kankea. Työ suoritetaan kampikammioista käsin seuraavalla tavalla.

Kampikammion luukut avataan ilman kiertämistä varten, koska huoltoa suorittaessa koneessa on oltava esilämmitys sylinterilinjojen vuotamisen estämiseksi. Vuodot voivat esiintyä sylinteriputken materiaalin lämpötilan muutoksesta, jolloin materiaali kutistuu tai putken ulkokehää tiivistävät o-renkaat ovat vanhat. Luukkujen avaaminen tuo mukavuutta työskentelyyn kampikammiossa. (Kuva 15.)



Kuva 15. Kampikammion luukkujen avaus.

Työn suorittamista varten jokaisesta sylinteristä tulee avata indikointihana. Indikointihanan toiminta perustuu sylinterissä syntyvien paineiden vapauttamiseen sekä epäpuhtauksien huuhteluun palotilasta. Paineen vapauttaminen estää moottoria pyörittäessä paineen kasvun ja kampiakselilla on mahdollisuus pyöriä moottorin pyörimistyökalun avulla vaivatta. Pyöritystyökalua kutsutaan paaksiksi.

Laakerinvaihtokohteena oleva sylinterilinja voidaan seuraavaksi asettaa paaksityökalun avulla alakuolokohtaan. Tällöin kampikammioon valettuun telineeseen voidaan asettaa putket molemmille puolille, josta saadaan kellotaljoille nostoliinon avulla tukeva paikka. Kellotaljojen koukku asennetaan kiertokangen alaosaan sivuun asennettuun nostosakkeliin. Kiertokangen alaosa on tällöin tuettu ja kiertokangen alaosa yläosassa kiinni pitävät mutterit voidaan avata. (Kuva 16.)



Kuva 16. Kellotaljan asennus kiertokangen alaosaan.

Ohjekirjan mukaisesta mallista eroten mutterit avataan alhaalta käsin. Avaamiseen käytetään korkeapainetunkkeja (Kuva 17.), jotka ovat käytännöllisemmät kevyen painonsa ansiosta. Tunkkien asennus tapahtuu käytännössä samalla tavalla kuin ohjekirjanmukaisten tunkeilla. Korkeapainetunkeilla saadaan käyttöön suuret paineet, jolla

kiertokangen alapään muttereiden avauspaineet olivat 2100-2260 bar. Paineet eroavat ohjekirjan tunkkien paineista korkeapainetunkkien öljytilavuuden takia. Korkeapainetunkkien öljytilavuus on pienempi, jolloin ne tarvitsevat suuremman paineen saman venymän saavuttamiseksi. Paineen luomiseksi tunkit vaativat paineilmakäyttöisen korkeapainehydraulpumpun. (Kuva 18.).



Kuva 17. Korkeapainetunkki.



Kuva 18. Paineilmakäyttöinen korkeapaine hydraulipumppu ja avauspaineet.

Muttereiden ollessa avattuna kierteillään voidaan mutterit pyörittää vapaasti auki. Muttereiden avaus mahdollistaa Kiertokangen alapuoliskon laskun kellotaljojen avulla öljypohjaan, jossa alapuoliskon laakeri on mahdollista irrottaa ja suorittaa visuaalinen tarkastus laakerille että laakeripesälle. Laakerin irrotus ja merkkäus ei eroa ohjekirjan tavasta. (Kuva 19.)



Kuva 19. Alapuoliskon lasku öljypohjaan.

Alapuoliskon levätessä öljypohjassa on kellotaljojen irrottaminen mahdollista, jolloin kellotaljat voidaan asettaa yläpuoliskossa kiinni olevien vaarujen päihin, joissa on nostosakkelit. Tämä mahdollistaa männän noston irti kiertokangesta, jolloin kiertokangen yläpäähän liukulaakeri voidaan pyöräyttää pois ja vaihtaa. Liukulaakeri merkataan ja sille suoritetaan visuaalinen tarkastus. Liukulaakerin vaihto tapahtuu laakeripesän puhdistuksen ja tarkastuksen jälkeen painamalla uusi laakeri pesään voideltuna. Kiertokangen tulee olla kellotaljojen kannatuksessa koko toimenpiteen ajan. Laakerin ollessa paikallaan oikein asennettuna, voidaan kiertokanki laskea varovasti takaisin öljytylle kampiakselille.

Kokoaminen tapahtuu päinvastaisessa järjestyksessä ja uusien liukulaakereiden asennus laakeripesiin on hyvä suorittaa mahdollisimman lähellä tilannetta, jossa liukulaakeri on suojassa kolhuilta ja epäpuhtauksilta. Kokoamisvaiheessa puhtaiden voiteluaineiden käyttö parantaa laakerin kulutus-suojaa.

4.3 Työtavan kehittyminen

Kehitystä työtavassa on tapahtunut asentajien kokemuksen kautta, kun on huomattu ongelmia tilan- tai ajankäytön kanssa. Kiertokangen laakereiden vaihtotyön suorittamiseen kuluvaa aikaa on pyritty lyhentämään ratkaisuilla, jotka eivät vaikuta työn laatuun negatiivisesti. Työstä on pyritty tekemään myös asentajaystävällisempää turvallisuudesta tinkimättä. Esimerkkinä voidaan käyttää tilannetta, jossa vaihdettavat komponentit ovat työtä suorittaessa aina tuettuna turvallisesti, jolloin laakereiden poisto sekä asennus voidaan suorittaa huoletta.

Käsitelty kenttähuollon suosima työtapo ei poikkea ohjekirjan teoreettisesta huoltotavasta huomattavasti, mutta käytännöllisesti sillä saadaan huomattavia etuja.

4.4 Työkalujen kehittyminen

Suurin eroavaisuus kenttähuollon suosimassa työtavassa ja ohjekirjan mukaisessa työtavassa on työkalut. Työkalujen merkitys työn suorittamisen onnistumisessa on merkittävää. Laivoissa työskentely vaatii työkaluilta käytännöllisyyttä sekä keveyttä. Asentajan tulisi pystyä kuljettamaan työkalut ongelmitta laivaan ja käyttämään niitä vaivatta.

Ohjekirjan mukaan kyseisessä laakerinvaihdossa käytettäisiin kiskoja ja ohjaustankoja, joilla kiertokangen alalaakerin puoliskot vedettäisiin ulos kampikammioista. Tämä vaatii mahdollisten moottoreiden väliin melko suuren tilan, jota ei yleensä ole. Kyseinen ratkaisu estää kulkemisen moottorin vierestä työn suorittamisen aikana. Työkalut vievät paljon tilaa myös kuljetuksessa kentälle. Kiertokangen alapään muttereiden avaamiseen käytettävät tunkit on koettu myös ongelmallisiksi. Tunkkien omapaino vaatii tietun vipuvarren, jolla tunkit voidaan asentaa paikoilleen. Vipuvarren käyttö vaatii tilaa moottorin vierestä sekä toisen asentajan apua moottorin sisällä.

Kehitystä työkalujen käytössä on tapahtunut edellä mainituissa työkaluissa. Kiskojen ja ohjaustankojen sijaan kenttähuollolla on käytössä kellotaljat sekä nostotarvikkeita, jolla puoliskoja ei tarvitse ottaa ulos lohkoista. Yksinkertaisuudessaan tämä työtapo nopeuttaa laakereiden vaihtoaikaa. Samalla kevennetään asentajien mukanaan tuomien työkalujen kuormaa. Ohjekirjan mukaiset hydrauliikkatunkit on korvattu keveämmillä korkeapainetunkeilla, jotka asentajan on helppo asentaa paikalleen yksin ja turvallisesti. Tällä

parannuksella on samat vaikutukset työn suorittamiseen kuin edellä mainituilla kellotaljoilla.

5 HUOLTOMENETELMIEN VERTAILU

5.1 Mahdollisuudet ja arviointi

Vähentämällä työhön kuluvaan aikaan ja työkalujen kuljetusmahdollisuuksien parantamisella saadaan taloudellisia etuja. Asentajien kuljettamat työkalut tulee pitää mahdollisimman kevyenä, jolloin voidaan välttyä esimerkiksi lentokoneella matkustaessa matkatavaroiden ylipainomaksuista.

Korkeapainetunkkeja käytettäessä tulee ottaa huomioon korkeiden paineiden tuomat riskit. Korkeapainepumpusta liitetyt hydrauliletkut ja niiden liittimet tulee olla asianomaisia ja kestävä tarvittavat paineet vahinkojen välttämiseksi. Hydraulitunkkien rakenne ja materiaali on ohuempaa ja kevyempää kuin ohjekirjan mukaiset tunkit, jolloin käyttö on asentajaystävällisempää, mutta myös vaatii perehdytyksen ja huolellisuutta tunkkeja käytettäessä työkohteessa. Työkalujen kunto olisi hyvä tarkastaa ennen lähettämistä työkohteelle. Säännöllisellä tarkastamisella saadaan luotettavuutta sekä sujuvuutta työlle.

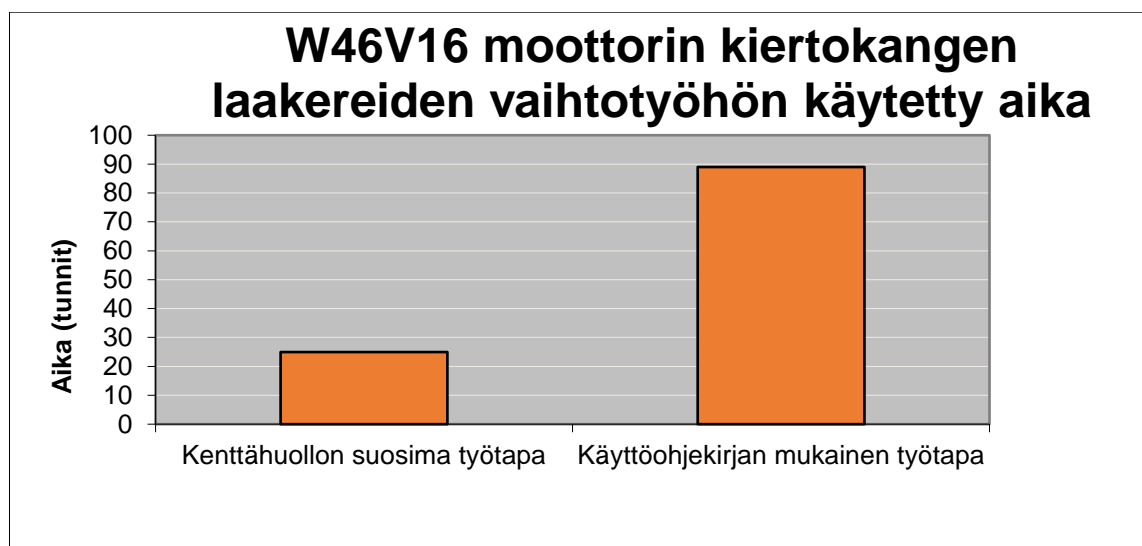
5.2 Käytännöllisyys vertailtavissa työtavoissa

Vertailtaessa huoltomenetelmiä keskenään saatiin ratkaisusta poimittua onnistuneet sekä ei niin onnistuneet asiat. Molemmista työtavoissa on huomioitu työn suorittamisen aiheuttamat turvallisuusriskit sekä pyritty vähentämään asentajalle ongelmaisia työasentoja ja nostoja. Ratkaisuina molemmat tuovat saman lopputuloksen, joka on onnistunut huolto, mutta suurimmat erot tulevat esiin rahallisesti sekä ajallisesti.

Käyttöohjekirjan mukainen työtapa on todettu toimivaksi sekä turvalliseksi, joka vaikuttaa työn suorittamiseen varmuudella, mutta myös tarkkuutensa ansiosta hidastavasti. Kenttähuollon kehittämässä työtavassa on onnistuttu ratkaisemaan aikaisemmin mainitut ongelmat työhön kuluvaan ajassa, sekä työkalujen käytön käytännöllisyyttä. Työkalujen ollessa kevyitä mahdollistetaan mukavampi työskentely sekä mainittu lentomatkustaminen edullisemmin. Pyrkimällä myös työskentelemään mahdollisimman paikallaan välttyään liikkumisen aiheuttamilta työtaturmilta.

5.3 Taloudellisten kustannuksien vertailu ja arviointi

Huoltotapoja tarkastellessa olennaiseksi osaksi huoltotavan valintaa nousee työn suorittamiseen käytettävä aika sekä kustannukset. Vertailtavista työtavoista laaditussa kaaviossa on tarkasteltu kahta edellä mainittua muuttujaa. Taulukossa käytettävät arvot ovat alustavia ja perustuvat Wärtsilän varaosamyntiin sekä omaan kokemukseen ja tietoihin. Työn lopussa on myös liitteenä työtunnit kenttähuollon suosiman huoltotavan käytännön työstä hyväksyttynä kohdelaivan konepäälliköllä.

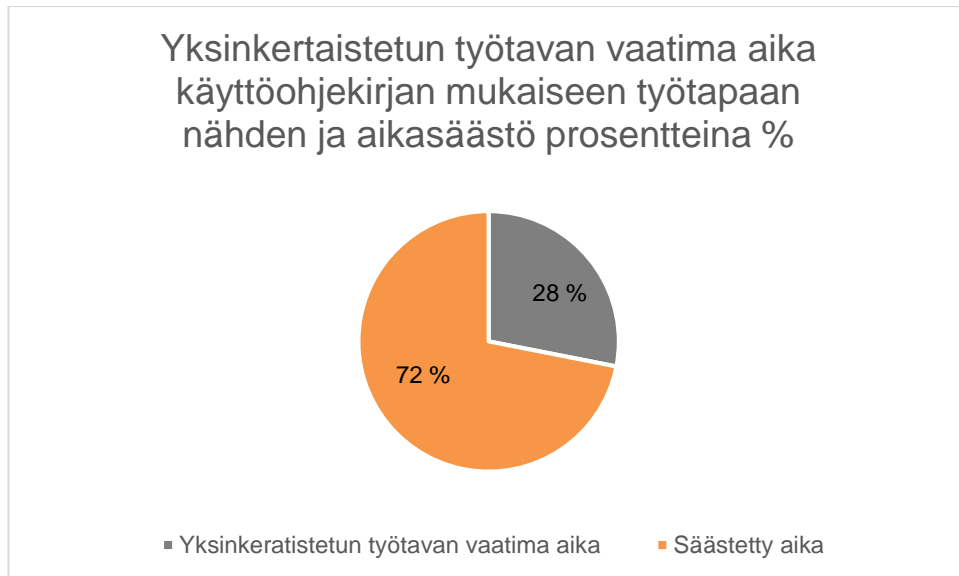


Kuvio 1. Vertailtaviin työtapoihin käytetty aika tunneissa laakerinvaihtotyössä.

Työn suorittamiseen käytettävä aika on muuttuvaa, riippuen työhön osallistuvien määrästä sekä kokemuksesta. Kyseisessä taulukossa kenttähuollon suosimassa työtavassa työtä suorittamassa oli kaksi ammattilaista sekä kaksi harjoittelijaa. Kyseisen työn pystyy suorittamaan kaksi asentajaa. Työhön käytettävä aika on yleensä hinnoiteltu tunneittain, jolloin voidaan todeta vähemmän aikaa vievän työtavan olevan taloudellisempi asiakkaalle. Kyseisessä tapauksessa työn suorittamiseen kokonaisuudessaan voidaan todeta käyttöohjekirjan mukaisella huoltotavalla menevän noin 90 tuntia, kun taas kenttähuollon yksinkertaisella tavalla suoritettu työ vaatii noin 25 tuntia.

Laskettaessa prosentuaalista hyötyä kenttähuollon työtapa vaatii vain noin 28 % ohjekirjan mukaisen työtavan käyttämästä ajasta. Asentajista syntyvät kulut työkohteessa yritykselle voidaan vähentää työtavan muutoksella jopa 72 %. Tämä vaikuttaa myös

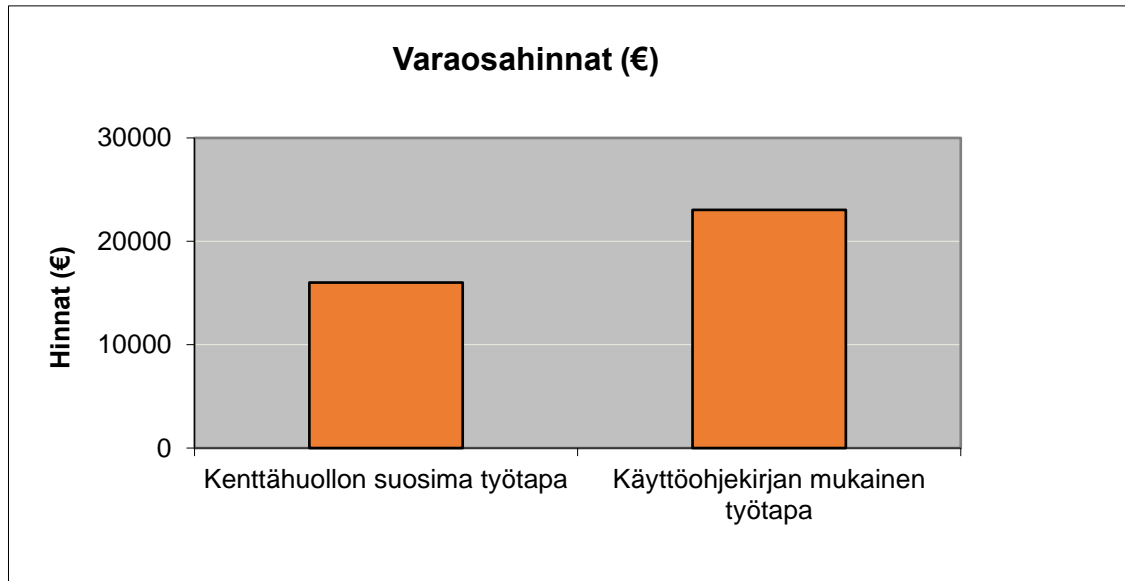
siihen, että asentajat ovat käytettävissä nopeammin, jolloin työtilauksia on mahdollista ottaa vastaan enemmän.



Kuvio 2. Prosentuaalinen säästö ajassa.

Toinen ratkaiseva tekijä kunnossapitoon käytettävään aikaan on satamamaksut. Satamamaksut ovat kalliita ja juoksevat jatkuvasti aluksen ollessa satamassa. Pitämällä satama-ajat lyhempinä säästetään rahaa ja mahdollistetaan sataman käyttö muille sitä tarvitseville. Satamamaksun suuruus riippuu satamasta ja niiden ehdoista. Myös satamamaksun oikeuttava laiturissa olo aika vaihtelee sataman käytön perusteella.

Kotkan satamassa suoritettava huoltokäynti veloitetaan aluksen nettovetoisuuden mukaan, josta alukselle tulee maksettavaksi 40 % siitä. Huoltokäynti on edullisempi, koska sataman palveluja ei käytetä. Satamamaksu oikeuttaa sataman yhtäjaksoisen käytön 14 päivää. (Haminakotka 2017.)



Kuvio 3. Vertailtaviin työtapoihin kuluvat varaosat euroissa laakerinvaihtotyössä.

Varaosahinnat ovat Wärtsilän tarjoamia, ja hinnat ovat jälleenmyynti hintoja. Laskennassa ei ole otettu huomioon puhdistamiseen käytettyjä pesunesteitä tai voiteluun käytettävää voiteluöljyä. Nämä eivät tuo tuloksiin vaikuttavaa muutosta.

Hintaa tarkastellessa tuloksista voidaan huomata ero vertailtaviin työtapojen kesken. Ero syntyy lähes kokonaan tarvittavien varaosien määrästä, jossa käyttöohjekirjan työtapavassa vaihdettavia osia tulee enemmän, johtuen moottorin muiden osien irrotuksesta, jotka on mainittu aikaisemmin. Käytettävässä vertailussa on käyttöohjekirjan huoltotavan kustannuksiin lisätty sylinterikohtainen kannentiivistesarja. Tiivisteiden vaihto ei ole välttämättömyys, mutta asennustöissä on otettava huomioon mahdollisuudet, joilla voidaan estää niin kutsutut turhat korjaukset jälkeenpäin. Näitä voivat olla esimerkiksi tiivisteiden vaihto, kun todetaan asennettujen vanhojen tiivisteiden vuotavan. Tiivisteiden vaihto on myös järkevämpää suorittaa silloin kun se on mahdollista tehtävän työn ohessa.

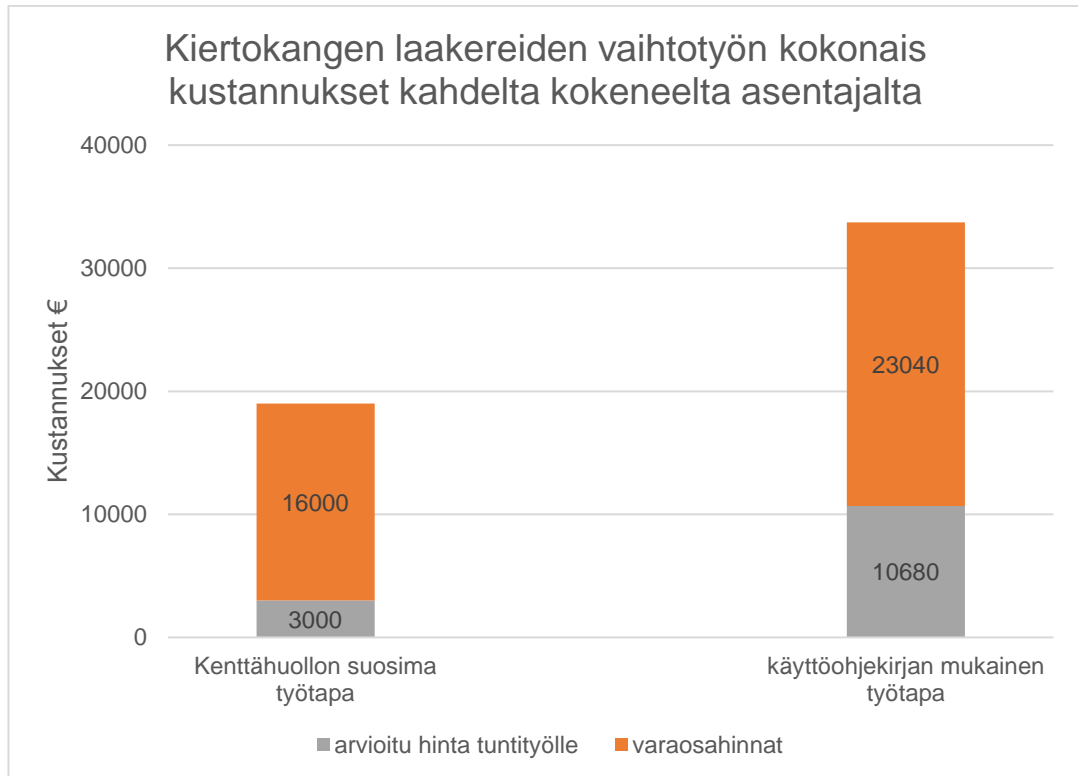
Rahallista säästöä varaosakustannuksissa syntyy kenttähuollon suosimalla huoltotavalla 7000 euroa, kun mukaan ei lasketa sylinterikohtaisia kannentiivistesarjoja. Kyseisellä tavalla tehtynä varaosissa säästetään noin 31 % ohjekirjan mukaisen huoltotavan varaosakustannuksista.



Kuvio 4. Varaosakustannuksista saadut hyödyt työtavan muutoksella.

Kokonaiskustannusten laskemiseksi tulee ottaa huomioon asentajan kustannukset yritykselle sekä asiakkaalle. Yritys maksaa työntekijästä palkan lisäksi useita muita maksuja, jolloin yrityksen tulee saada kuitattua työntekijän kulut. Arvioitu laskukaava on, että työntekijän kuukausipalkka kerrotaan noin 1,3 kertoimella, jolloin yrityksen tulee saada asiakkaalta korkeampi tuntihinta asentajasta. Yritysten työn hinta on salaista tietoa, joten työssä on käytetty arvioitua hintaa työlle ja huoltoinsinöörin keskipalkkaa. (Linja-Aho 2010.)

Keskimääräiseksi huoltoinsinöörin kuukausipalkaksi on todettu 4000 euroa, joka kerrotaan kertoimella 1,3. Tällöin yrityksen tulee saada asentajasta 32 euroa tunnilta, korvatakseen asentajasta syntyvät kulut. Työssä arvioitu laskutus asiakkaalle on asentajaa kohden 60 euroa. (Palkkavertailu 2017.)



Kuvio 5. Kokonaiskustannukset.

Työtavan muutoksella voidaan arvioitujen tulosten mukaan vähentää huoltotyön kokonaiskustannuksia 14720 eurolla. Vähentämällä työhön käytettyä aikaa, voidaan työn tuntikustannuksia vähentää yli 7000 euroa.

5.4 Kehittämismahdollisuudet

Kehitysehdotuksena tulisi kenttähuollon suosimassa työtavassa keskittyä kiertokangen alalaakerin alapuoliskon tukemiseen sen ollessa öljypohjassa laakerinvaihdon ajan. Ongelmaksi ilmaantui alapuoliskon epästabiilin asento, kun kellotaljat irrotettiin alapuoliskon laskun jälkeen. Alapuoliskolla on mahdollisuus tippua öljypohjassa olevan keskipalkin päältä öljypohjan reunoille. Tämä saattaa aiheuttaa öljypohjassa olevalle asentajalle vammoja. Ratkaisuksi tähän ongelmaan kehittäisin alumiinisen tasanteen öljypohjaan, jolloin öljypohjaan syntyy tasainen pinta eikä alapuolisko pääsisi putoamaan asentajan jaloille. Materiaaliksi suosittelisin alumiinia sen keveyden takia, joka taas luo paremmat kuljetusmahdollisuudet. Wärtsilän 46 -moottorissa tällainen ratkaisu ei vie työskentelytilaa moottorin sisältä.

Uuden työtavan kirjallista liittämistä valmistajan käyttöohjekirjaan on suositeltavaa työtavan tuomien hyötyjen perusteella. Tällöin huoltotapa voitaisiin ottaa käyttöön tutkitusti toimivana ratkaisuna, jolloin asiakkaalle olisi helppo tarjota huoltotyötä taloudellisesti edullisempänä ratkaisuna.

6 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tekeminen osoittautui mielenkiintoiseksi sekä hyödylliseksi. Lähtökohdat työn suorittamiselle olivat hyvät, vaikka kirjallisen materiaalin käyttäminen työssä vaikutti aluksi haastavalta aihealueeseen liittyvän materiaalin vähäisyydestä ja julkaisukelpoisuudesta johtuen.

Käytännössä suoritettu huoltotyö vaati huolellista raportointia asentajilta saaduista tiedoista sekä käytännön asioista. Tämä antoi työlle hyvät lähtökohdat vertailuun, jonka tulokset olivat odotuksen mukaiset. Vertailun tuloksista todettiin huollon kehityksen vähentävän työhön käytettävää aikaa 75 % sekä varaosakustannuksia 30 %. Kokonaiskustannuksissa tämä näkyi suurena erona. Työtavan kehittämällä mahdollistetaan kokonaiskustannusten väheneminen 14 720 eurolla. Arvioidusta säästöstä suurin osa mahdollistetaan pienemmillä työaikakustannuksilla. Huoltotyöhön käytettävä vähempi aika mahdollistaa asentajien käytettävyyden nopeammin uusissa huoltotyötilauksissa, jolloin yritys pystyy tarjoamaan enemmän huoltopalveluita. Tällä on positiivinen vaikutus yrityksen kilpailukykyyn laivojen huoltopalveluiden tarjoajana.

Kehittämistä voisi kuitenkin vielä jatkaa pienillä muutoksilla, jotka koskisivat lähinnä asentajien työturvallisuuden parantamista. Kehitysehdotukset-osiossa mainituilla parannusehdotuksilla ei olisi kyseiseen huoltoon suurta rahallista vaikutusta ja niillä pyritäisiin luomaan asentajille paremmat mahdollisuudet työn suorittamiseen sekä työturvallisuuden parantamiseen. Parantamalla asentajien työturvallisuutta mahdollistetaan työn suorittamisen sujuvuutta sekä välttään työtapaturmien aiheuttamilta sairauksilomilta.

Tuloksista saadun tiedon mukaan olisi suositeltavaa päivittää nykyistä käyttöohjekirjaa tutkitun kiertokangen laakerin vaihdon osalta. Päivittämisessä voitaisiin ottaa huomioon ohjekirjassa hyväksi todettu tapa kertoa askeleittain työn eteneminen, mutta yksinkertaisemmalla huoltomenetelmällä käyttäen hahmoteltuja kuvia. Käyttöohjekirjaan tulisi myös päivittää huoltotyöhön käytettävät työkalut ja lisätä ne valmistajan suosittelemiin työkaluihin. Tämä vaatii myös valmistajan investointia kasvattaessaan omaa työkaluväystä. Yksinkertaistetussa huoltotavassa käytetyistä työkaluista suurin osa on Wärtsilän työkaluihin entuudestaan kuuluvia, lukuun ottamatta korkeapainetunkkeja, jotka on hankittu kenttähuollon käyttöön asentajien toivomusten perusteella. Yksinkertaisemman huoltomenetelmän ollessa kirjallisessa muodossa on sitä mahdollisuus käyttää

myös Wärtsilän tarjoamissa koulutuspalveluissa. Kun koulutetaan valmistajan moottoreiden parissa työskenteleviä, voidaan koulutettaville tarjota kehittyneempää ja nopeampaa menetelmää suorittaa kiertokangen laakerin vaihto osana moottorin huoltokoulutusta.

Tutkimusta voitaisiin jatkaa tarkastelemalla kyseistä menetelmää myös muissa moottorimalleissa, jolloin voidaan löytää lisää kehitysmahdollisuuksia. Kun mahdolliset löydettyt kehitysmahdollisuudet ovat käytettävissä monessa moottorimallissa huoltoa suorittaessa, on muutoksia kannattavaa lähteä toteuttamaan. Kehitysehdotuksien toteuttamisen kustannukset vaativat myös arvioinnin, jotta pystytään toteamaan, että jo mainitut parannusehdotukset eivät vaadi suurta investointia.

LÄHTEET

FinnCarrier työraportti 2015. Big-end bearing exchange. Wärtsilä field service. Viitattu 21.2.2017

Haminakotka 2017. Satamamaksu aluksesta. Viitattu 23.1.2017. www.haminakotka.fi

Häkkinen, P. 1993. Laivakoneistot. Espoo: Teknillinen korkeakoulu

Häkkinen, P. 1997. Laivan kuljetuskoneistot. Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu

Linja-Aho, V. 2010. Mitä työntekijän palkkaaminen maksaa Suomessa? Viitattu 17.3.2017. www.hopeapankki.wordpress.com/2010/08/09/mita-tyontekijan-palkkaaminen-maksaa-suomessa

Palkkavertailu. 2017. Huoltoinsinöörin palkka. Viitattu 17.3.2017. www.tyopaikat.oikotie.fi/palkkavertailu/huoltoinsinööri

Seppänen, R. 2005. Maol taulukot. Helsinki: Otava

Wilbur, C & Wright, D 1984 Pounder's Marine Diesel Engines 6ixth Edition

Woodyard, D 1998 Pounder's Marine Diesel Engines, 7th. Edition

Wärtsilä 46 Manual 2004. Big-end Bearing and connecting rod

Wärtsilä, 2016. Moottorin rakenne, Kaasumoottorikoulutusmateriaali 2016-11-07, Turku, Viitattu 11.11.2016.

Wärtsilä 2017. Service. Viitattu 14.02.2017. www.wartsila.com/services

W46-moottorin huoltoaikataulu HFO-polttoaineelle.

Interval: 36000 operating hours		
Main bearings	Change main bearing shells, flywheel bearing shells and thrust bearing halves.	10.
Crankshaft	Change crankshaft seal.	11.
Vibration damper in crankshaft free end (spring type) (optional)	Dismantle the damper, check condition (only to be opened by authorized personnel, contact the engine manufacturer)	7., 11.
Cylinder liners	Clean cylinder liner cooling water spaces and change liner o-rings.	10.
Connecting rods	Change big end and small end bearing shells.	11.
Valve mechanism	Check bearing clearances in the tappets and rocker arms. Dismantle one rocker arm assembly for inspection, proceed with other rocker arm bearings if defects are found. Change valve tappet roller bearing bushes.	14. 12. 6.
Valve seats	Change inlet- and exhaust valve seats.	12.4.
Camshaft	Inspect camshaft bearing bush, one / bank. If defects are found, inspect all including driving end and thrust bearing. Replace if necessary. Measurement record 4610V003.	10.4. 6.
Vibration damper in camshaft free end (spring type) (optional)	Dismantle the damper, check condition (only to be opened by authorized personnel, contact the engine manufacturer)	7., 14.
Elastic coupling in camshaft driving end (optional)	General overhaul of the elastic coupling (Opening is strongly recommended to be done by authorized personnel only, contact the engine manufacturer)	7., 14.
Turbocharger with plain bearings	Change bearings. See manufacturer's instructions.	
Air cooler	Change charge air cooler(s).	15.
Fuel injection pump	Change: Fuel pump tappet roller pins, control sleeve and control rack.	16.
Exhaust manifold	Change exhaust pipe support plates.	
Starting air distributor	General overhaul of starting air distributor. Replace worn parts.	21.3.

W46-moottorin perustiedot

1. Main data, operating data and general design

1.1. Main data for WÄRTSILÄ® 46

Cylinder bore	460 mm
Stroke	580 mm
Piston displacement per cylinder	96.4 l

Firing order		
Engine type	Clockwise rotation	Counter-clockwise rotation
4L46	1-3-4-2	1-2-4-3
6L46	1-5-3-6-2-4	1-4-2-6-3-5
8L46	1-3-2-5-8-6-7-4	1-4-7-6-8-5-2-3
9L46	1-2-4-6-8-9-7-5-3	1-3-5-7-9-8-6-4-2
12V46	A1-B1-A5-B5-A3-B3-A6-B6-A2-B2-A4-B4	A1-B4-A4-B2-A2-B6-A6-B3-A3-B5-A5-B1
16V46	A1-B1-A3-B3-A2-B2-A5-B5-A8-B8-A6-B6-A7-B7-A4-B4	A1-B4-A4-B7-A7-B6-A6-B8-A8-B5-A5-B2-A2-B3-A3-B1
18V46	A1-B8-A7-B6-A4-B3-A2-B9-A8-B5-A6-B1-A3-B7-A9-B4-A5-B2	A1-B2-A5-B4-A9-B7-A3-B1-A6-B5-A8-B9-A2-B3-A4-B6-A7-B8

Suoritetun työn hyväksytty asiakirja

DAILY REPORT, WORKS PERFORMED DESCRIBED IN THE WORK REPORT													
Date	Time		Work item	*	Work N	Over-time work A	Over-time work B	Travel	Stand by	Stand by phone	Total	Work item	Work description
	from	to											
5.10	18.00	22.00						4			4	01	TRAVEL
6.10	07.00	17.30	02		8	2	2				12	02	EXCHANGE OF BIG END BEARING 16V46
	-												
7.10	07.00	20.30	02		8	2	3						
	-												
	-												OPINNAYTYTYS
	-												TURUN AMMATTIKORKEA
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
	-												
TOTAL HOURS:													
Work order number	1												
Work order number	2												
Work order number	3												
Work order number	4												

1. WORK IN ORDER Travelling hours for return trip will be added according to actual travelling time.
2. ADDITIONAL WORK N = Weekdays (Monday-Friday) up to 8 hours
A = Overtime, Monday to Friday (9th and 10th working hour) and Saturday, up to 8 hours/day
3. PROJECT WORK
B = Overtime, Monday to Friday (as of 11th working hour), Saturdays (as of 9th working hour), Sunday and public holidays.
4. WARRANTY WORK

Wärtsilä's representative (Person providing a service)
Date: 07.10.2015 Place: KOTKA Sign: Mika Wink

Customers certifying that the above information is correct and the work is done satisfactory
Date: 7/10/2015 Place: Kotka Sign: [Signature]