

Panu Stenman

ÖLJYSUMUN ILMAISIMET LAIVAKÄYTÖSSÄ

Opinnäytetyö
Merenkulun insinööri

Maaliskuu 2016



KYAMK
University of Applied Sciences

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Panu Stenman	Merenkulku, insinööri	Maaliskuu 2016
Opinnäytetyön nimi		42 sivua
ÖLJYSUMUN ILMAISIMET LAIVAKÄYTÖSSÄ		
Toimeksiantaja		
KYAMK / MERENKULUN TKI-PALVELUT		
Ohjaaja		
Lehtori Ari Helle		
Tiivistelmä		
<p>Opinnäytetyössä tutkittiin öljysumunvaroittimia, sen ympärille koottua tekniikkaa laivakäytössä ja syitä, jotka ovat johtaneet laitteen kehittämiseen. Tämän lisäksi käytiin läpi öljysumun syntymistä ja sen mahdollisesti aiheuttamaa räjähdystä. Tästä syntyvä vaara on ilmeinen konehuoneessa ja sattuessaan räjähdys voi aiheuttaa suuria taloudellisia menetyksiä, tulipalon ja pahimmassa tapauksessa ihmishenkien menetyksiä.</p> <p>Tavoitteena oli muodostaa mahdollisimman kattava järjestelmällinen suomenkielinen opas, koska aiheeseen liittyvää materiaalia on rajallisesti ja öljysumuun ilmiönä liittyvät asiat ja tekniset laitteet eivät aina esiinny samassa asiayhteydessä. Oppaasta on asiasta tietämättömällä mahdollista muodostaa hyvä kokonaiskuva asian vaarallisuudesta ja erinäisistä tekniikoista, joilla pyritään tarkkailemaan koneessa tapahtuvia muutoksia.</p> <p>Lähdemateriaalia työhön kerättiin tekniikan alan kirjallisuudesta, lehtiartikkeleista, järjestelmiä toimittavien yritysten esitteistä ja käyttöoppaista sekä SOLAS-sopimuksesta. Lähes kaikki käytetystä lähdemateriaalista oli englanninkielistä, joten käännöstyö oli suuressa osassa tämän oppaan tekemisessä.</p> <p>Tutkimusta tehdessä selvisi, että käytettävät tekniikat öljysumun havaitsemiseksi ja laakerivaurioiden ennaltaehkäisemiseksi kehittyvät kokoajan. Ongelmina uuden tekniikan käyttöönottoon muodostaa alusten pitkä käyttöikä sekä merenkulun vaatimat määräykset ja luokitukset uuden tekniikan osalta.</p>		
Asiasanat		
öljy, sumu, tekniikka, laiva		

Author (authors)	Degree	Time
Panu Stenman	Marine Technology	March 2016
Thesis Title		42 pages
OIL MIST DETECTORS USED ON SHIPS		
Commissioned by		
KYAMK / MARITIME RDI - SERVICES		
Supervisor		
Ari Helle, Senior Lecturer		
Abstract		
<p>This thesis examines oil mist detectors and technology related to them used on vessels. Also, the main issues that have led to the development of the device are examined. The formation of oil mist and possibility of an explosion in the engine room caused by oil mist were examined as well. The danger caused by oil mist is obvious in the engine room and if explosion occurs, it might cause great economic losses, a fire and in the worst case the loss of life.</p> <p>The objective of the thesis was to make a comprehensive Finnish-language guide because related material is limited, and the characteristics of and technical equipment related to the oil mist cannot be found in the same content. The guide gives an unaware person good overall understanding about the danger and presents a number of techniques which aim to observe the changes taking place in the engine.</p> <p>Source material was obtained from technological literature, journals, brochures and operational manuals of companies supplying systems in addition to the SOLAS convention. The largest part of the source material referenced was in English, therefore translation was a great part of this thesis.</p> <p>The study revealed that the techniques used for detecting oil mist and preventing bearing damage are evolving all the time. The problem with the introduction of new technology is caused by the long service life of ships in addition to the provisions required by the marine and classification societies.</p>		
Keywords		
oil, mist, technic, ship		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	ÖLJYSUMU	8
2.1	Historiaa	8
2.1.1	MV Reina del Pacifico	9
2.2	Tulevaisuus	10
2.3	Öljyn palaminen.....	11
2.3.1	Öljysumu kampikammiossa.....	11
2.3.2	Öljysumu konehuoneessa.....	13
2.4	Koneöljyn ominaisuudet.....	15
2.5	Syttyminen, räjähdys ja sen aiheuttamat vauriot.....	15
3	KAMPIKAMMION RÄJÄHDYS	17
3.1	Ensimmäinen räjähdys	17
3.2	Toinen räjähdys	18
3.3	Kuinka välttää öljysumuräjähdys.....	19
4	TEKNIikka.....	20
4.1	Öljysumuvaroitin	20
4.1.1	Toiminta	20
4.2	Räjähdysluukku	22
4.3	Koneen huohotusputki.....	24
5	TOIMINTA ÖLJYSUMUHÄLYTYKSEN SATTUESSA	25
5.1	Koneen pysäytys	25
5.2	Öljysumuvaroitimen tarkastaminen.....	25
5.3	Koneen tarkistus ja kuumien pisteiden paikannus	25
5.3.1	Infrapuna lämpömittaus.....	26
5.3.2	Lämpökamera	27
6	VIRANOMAISET.....	29
6.1	Luokituslaitos.....	29
6.1.1	Luokituslaitos ja öljysumuilmaisin.....	29
6.1.2	Luokituslaitos ja kampikammion luukut	30

6.2	SOLAS.....	30
6.2.1	Polttoaineputket	30
6.2.2	Konehuoneiden kuumien pintojen eristys.....	31
6.2.3	Vesipohjainen sammutus	31
7	VAIHTOEHTOINEN TEKNIikka	31
7.1	Inertti-kaasu	31
7.2	Vesiruiskutus kampikammioon	32
7.3	Veden ruiskutus voiteluöljyn sekaan.....	32
7.4	Laakerilämpötilojen tarkkailu	33
7.5	Schaller Bearomos	35
7.6	Amot XTS-W.....	35
8	YHTEENVETO	36
	LÄHTEET.....	37
	KUVALÄHTEET	40

LYHENTEET

BEAROMOS	Bearing Overheating Monitoring System
CIMAC	The International Council on Combustion Engines
DNV	Det Norske Veritas
IACS	International Association of Classification Societies Ltd
IMO	International Maritime Organization
LEL	Lower Explosion Limit
SAW	Surface Acoustic Wave
SOLAS	Safety of Life At Sea

1 JOHDANTO

Työssä käsitellään öljysumua ilmiönä ja sitä, kuinka sen muodostuminen saattaa aiheuttaa vaaraa käyttöhenkilökunnalle laivoolosuhteissa. Historia sekä ihmishenkien menetykset näyttelevät tässäkin pääosaa, kun kehitystä on ollut vietävä eteenpäin. Öljysumun syntyminen, olosuhteet, syttyminen ja palaminen määrittävät pitkälti, kuinka vaarallisesta asiasta on kyse. Lisäksi öljysumun aiheuttama räjähdys tai tulipalo saattaa aiheuttaa myös suuria taloudellisia menetyksiä.

Öljysumun havaitsemiseen liittyvän laitteiston läpikäyminen auttaa ymmärtämään kokonaisuutta. Työssä esitellään ilmiöön liittyvät varolaitteet koneen suojelemiseksi, niille asetetut vaatimukset sekä jokaisen yksilöllinen tehtävä. Laitteistoille itsessään löytyy useita valmistajia, mutta työssä on perehdytty yleisimpien valmistajien toimintaperiaatteisiin. Muita tekniikoita, joilla turvataan koneistoa ja niiden tulevaisuuden näkymiä, käydään tässä työssä läpi. Lähinnä anturiteknologia on mennyt eteenpäin ja tulevaisuudessa tullaan enemmän keskittymään lämpötilan mittauksiin, koska niillä pystytään havaitsemaan ja reagoimaan muutoksiin nopeammin ja siten välttämään vaaratilanteet.

Viranomaisten ja luokituslaitosten säännöksillä pyritään edistämään turvallisuutta aluksilla. Varolaitteille, mukaan lukien öljysumun havaitseminen, on määriteltä koneen ominaisuuksien mukaan erinäisiä asetuksia. Tulipalo on öljysumun aiheuttamassa räjähdyksessä hyvin todennäköinen, mutta työ ei varsinaisesti käsittele palonsammutusta, ainoastaan keinoja estää tulipalo. Luokituslaitos määrittelee rajoja ja sillä on rooli varolaitteiden ja laivan turvallisuuden operoinnin kannalta ja tämän vuoksi myös sen toimintaa näiden komponenttien osalta tullaan tarkastelemaan.

Pääasiallisena tarkoituksena on kuitenkin ollut koota useammasta lähteestä kattava suomenkielinen opas, koska olemassa olevaa tietoa on tällä hetkellä hajautetusti useammalta vuosikymmeneltä ja käytännössä kaikki materiaalit ovat vieraskielisiä.

2 ÖLJYSUMU

Öljysumun aiheuttamat räjähdykset ovat suhteellisen harvinaisia. Sattuessaan ne aiheuttavat pahimmillaan suurta tuhoa, ihmishenkien menetyksiä, tulipalon ja mahdollisesti koko laitoksen tuhoutumisen. Vaarallisimmillaan ne ovat isoissa kaksitahtikoneissa, mutta yhtälailla ne voivat aiheuttaa tuhoa pienemmissäkin moottoreissa. Laivojen lisäksi räjähdyksiä on sattunut myös vetureissa ja maalaitoksissa. Öljysumu itsessään ei rajoitu pelkästään öljyä polttoaineenaan käyttäviin koneisiin. Räjähdyksiä on sattunut myös kaasukompressoreissa, höyrykoneissa ja muissa suljetun kampikammion omaavissa koneissa. (Challen & Baranescu 1999, 451.)

2.1 Historiaa

Öljysumun vaarat ja ilmaisimen tarve todettiin ja kehityksen katsotaan saaneen alkunsa vuonna 1947. Tällöin Iso-Britannian lipun alla seilanneessa MV Reina del Pacificossa tapahtui kampikammionräjähdys, joka vaati 28 henkeä ja 23 loukkaantui vakavasti. (Woodyard 2009, 867.) Tästä valitettavasta tapahtumasta johtuen brittiläiset instituutiot alkoivat tutkia ilmiötä, josta julkaistiin päätelmät 50-luvun puolivälissä. Nämä tutkimukset muodostavat edelleen tärkeimmän tieteellisen faktan liittyen öljysumuräjähdyksiin suurissa dieselmoottoreissa. Myös IMO reagoi vaaraan ja SOLAS laati uusia säädöksiä palontorjuntaan. Nämä säädökset otettiin käyttöön 60-luvulla tarkoituksena turvallisuuden parantaminen sekä vaatimuksena kampikammion olosuhteiden tarkkailu öljysumun havaitsemiseksi. (MTZ 2001, 3.) Graviner Ltd Englannista esitteli ensimmäisen öljysumunilmaisimen 60-luvun alkupuolella. (QMI 2016; Schaller 2016).

Vuosina 1957 – 1961 Lloyd's register of shippingiin raportoitiin 20 öljysumun aiheuttamaan räjähdystä. 60 % räjähdyksistä tapahtui kaksitahtikoneissa. Näissä menehtyi 4 ja loukkaantui 9 ihmistä. Tämän lisäksi 10 muussa tapauksessa tiedetään ihmisiä menehtyneen ja loukkaantuneen. Pääasialliset syyt räjähdyksiin katsotaan olleen ylikuumentunut tai kiinnileikannut mäntä ja laakeri. (Challen & Baranescu 1999, 452.)

1960-luvulla SOLAS määritteli säädöksiä laivakoneiden turvallisuuteen ja öljysumun havaitsemiseen liittyen. 1990-luvun puoleen väliin ajoittuvan ajanjakson aikana raportoitujen öljysumun aiheuttamien räjähdysten takia ei ole menetetty suuria määriä ihmishenkiä. (Woodyard 2009, 867.)

1990 – 2001 välisenä aikana Lloyd'sin luokituslaitos on kirjannut 143 öljysumun aiheuttamaa räjähdystä. Sattuneista räjähdyksistä 122 kappaletta tapahtui nelitahtikoneissa ja 21 kaksitahtikoneissa. Kaksitahtikoneiden räjähdyksistä 43 % aiheutui laakereista, 38 % männistä ja 19 % muista syistä. Nelitahtikoneissa 39 % oli laakereiden, 47 % mäntien ja 14 % muiden syiden aiheuttamia. (Woodyard 2009, 867.)

2.1.1 MV Reina del Pacifico

Alus rakennettiin vuonna 1931 Harland & Wolffin telakalla Belfastissa, Pohjois-Irlannissa. Alus varustettiin telakan lisenssillä valmistamista neljästä Burmeister & Wainin suunnittelemaasta hidaskäyntisestä dieselmoottorista. Moottorit olivat 12-sylinterisiä, nelitahtisia ja turboahdettuja. Koneiden kierrosnopeus oli 130 rpm ja ne tuottivat 16 000 hevosvoimaa, jolla alus saavutti 19 solmun maksiminopeuden. Jokaisen moottorin sekä keula- ja peräpään kampikammion luukuissa oli räjähdysten varalta purkautumisaukot, joiden tarkoituksena on päästää ylimääräinen paine kampikammioista ulos.



Kuva 1. Reina del Pacifico (Liverpoolships 2016.)

Alukselle suoritettiin 2. syyskuuta 1947 ensimmäinen merikoeajo, joka keskeytettiin kolmen männän ja sylinterin ylikuumenemisen vuoksi. Huomioitavaa on, että tämän jälkeen kahteen sylinteriin vaihdettiin uusi mäntä ja sylinterivuori, mutta paapuurin uloimman koneen sylinteri no 2 vain puhdistettiin, ylikuumenemisestä huolimatta.

10. syyskuuta 1947 alus lähti telakalta toiselle merikoeajolle. Tätä ennen aluksen moottoreille oli tehty laajoja huoltotoimenpiteitä. 11. syyskuuta 1947, kun koeajoa oli kulunut noin 30 tuntia, joista 6 ½ tuntia koneita oli kuormitettu täydellä teholla, paapuurin uloimmaisen koneen 2. sylinterin sylinterivuoren huomattiin kuumenneen. Tämän jälkeen kyseisen sylinterin polttoaineventtiili ohi-tettiin ja kone pysäytettiin. Koneen annettiin seistä muutamia minuutteja, jonka jälkeen se käynnistettiin uudestaan ilman mitään toimenpiteitä ylikuumentuneiden osien viilentämiseksi. Nopeasti tämän jälkeen sattui ensimmäinen räjähdys. Räjähdyksen kulusta on olemassa kaksi erilaista teoriaa. Joka tapauksessa ensimmäisen räjähdysten jälkeen kaikissa muissa kolmessa koneessa tapahtui kampikammion räjähdykset.

Tapahtuman kulusta on tehty seuraavia päätelmiä. Paapuurin uloimman koneen, sylinteri no 2 männän keskilämpötilan katsotaan olleen vähintään 500 °F (noin 260 °C). Männän pintalämpötilojen katsotaan olleen tietyillä alueilla reilusti tämän yli, jopa 1500 °F (noin 816 °C) läheisyydessä. Käytetyn moottoriöljyn itsesyttymislämpötila oli noin 720 °F (noin 380 °C). (GB Board of Trade 1948.)

2.2 Tulevaisuus

Dieseltekniikan kehitys on mahdollistanut entistä taloudellisempia koneita. Tämä tarkoittaa, että ne polttavat polttoainetta entistä tehokkaammin. Tämän vuoksi varustamot etsivät kustannussäästöjä käyttökustannuksista ja turhista huolloista. Käyttötuntipohjaista ennakkohuolto-ohjelmaa pyritään korvaamaan huollolla, joka perustuu koneen todellisiin tarpeisiin. Tämän tyyppinen ajattelumalli vaatii kuitenkin tarkkaa koneen kunnonvalvontaa, joka ei perustu pelkästään hetkellisiin mitta-arvoihin. Pidempiaikaisella seurannalla pystytään havaitsemaan muutokset ja reagoimaan tarvittaessa alulla oleviin suurempiin vaurioihin. (Smith 2002, 4.)

2.3 Öljyn palaminen

Nestemäiset polttoaineet palavat ainoastaan höyrynä. Öljyn höyrystämiseen tarvitaan energiaa, joka voi olla puristus, kuuma pinta, liekki tai kipinä. Öljysumun syntyminen konehuoneessa voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen, kampikammiossa koneen sisällä syntyvään hienojakeiseen öljysumuun ja suoraan konehuoneen ilmaan pääsevään öljysuihkuun. Öljysumun ja suihkun erottaa ainoastaan niiden partikkelikoko. Sumun muodostamiseen tarvitaan enemmän energiaa ja syttymiseen tarvittava energia on pieni.

(Specsvision 2008, 8 - 9.) Öljysumun väri kertoo myös sen partikkelikoosta ja mahdollisesta synnystä.

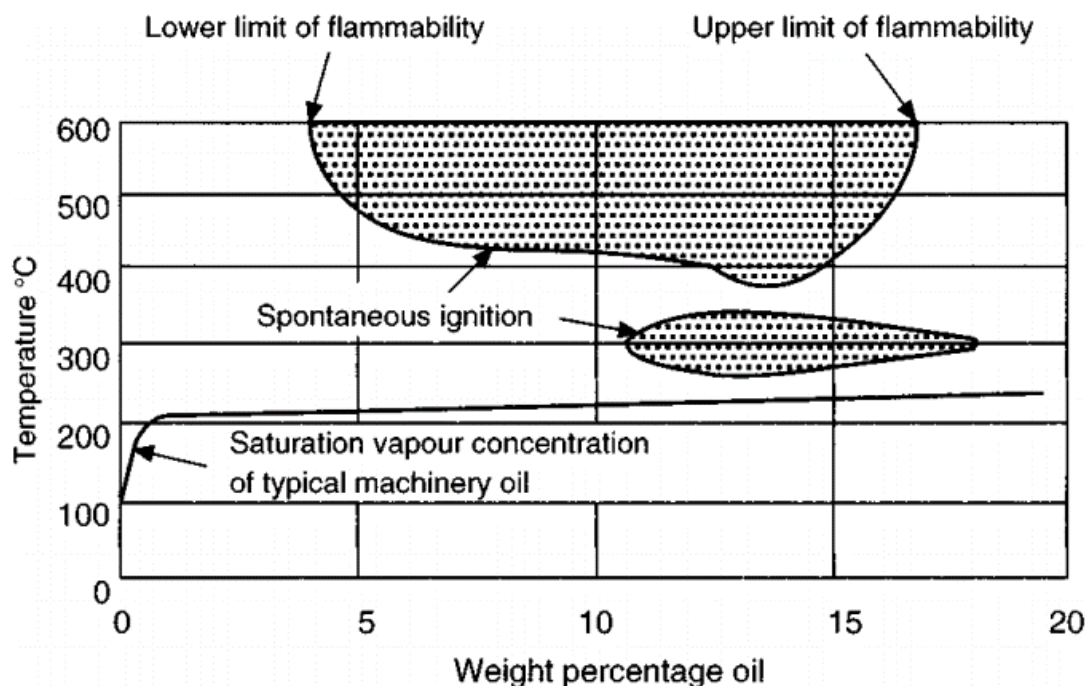
Valkoista savua muodostuu alhaisissa lämpötiloissa ja sen partikkelikoko on 3 – 10 mikronin välissä. Jos seossuhde ylittää LEL:n 50 mg / l seos voi syttyä 200 °C lämpötilassa. (Holness & Smith 2002, 6.)

Sinistä savua muodostuu, kun öljyn lämpötila kohoaa yli 800 asteen. Tällöin sumun partikkelikoko on 1 mikronin luokkaa. Sininen savu on vaarallista ja sitä esiintyy usein suuressa palossa. (Holness & Smith 2002, 5.)

2.3.1 Öljysumu kampikammiossa

Normaalitilanteessa koneen käydessä kampikammiossa on suuria öljypisaraita, joiden partikkelikoko on 200 mikronia. Pisaroiden pinta-alan suhde tilavuuteen on pieni ja tällöin syttyminen on epätodennäköistä. (Marine engineering 2016.) Öljysumu kampikammiossa syntyy öljykalvon rikkoonnuttua voideltavilla liukupinnoilla. Tästä aiheutuu kahden metallipinnan välille kitkaa, joka aiheuttaa lämpötilan nousun. (MTZ 2001, 3.)

Kun laakerin pintalämpötila nousee yli 200 °C, siihen osuva öljy alkaa höyrystyä ja osa hajoaa palaviksi kaasuiksi kuten typeksi ja asetyleeniksi. Kuuma öljyhöyry siirtyy kampikammion sisällä viileämpään kohtaan, jossa se kondensoituu muodostaen erittäin hienojakeisen, partikkelikooltaan 0,5 – 5 mikronia olevan öljysumun. Räjähdyssaltis seos syntyy kun pisaroiden suhde tilavuuteen on suuri ja partikkelin tiheys saavuttaa öljystä riippuen arvon 30 – 50 mg / litra. (Kidde Fire Protection 2012, 2.)



Kuva 2. Mineraaliöljysumun itsesyttymislämpötilat ja sekoitussuhde ilman kanssa (Challen & Baranescu 1999, 451.)

Öljysumun syttyminen tarvitsee oikeanlaisen seoksen, joka muodostuu hyvin kapealla alueella. Liian rikas tai laiha seos ei syty. (NSD 1996, 0350-1/A1.) Usein kampikammion räjähdysen aiheuttajana on komponentin heikko mekaaninen kunto. Tämä aiheuttaa esimerkiksi männän kiinni leikkautumisen tai muun metallin metallia vastaan -kontaktin, josta muodostuu lämpöä. (Bureau of ships 2015.) Useimmiten öljysumun aiheuttama räjähdys tapahtuu moottorin kampikammiossa, mutta niitä on tapahtunut myös muun muassa alennusvaihteissa. (MAN B&W A/S 2003, 2.) Riittävän ajoissa havaittuna öljysumu muodostaa kuitenkin hyvän indikaattorin ja suuremmat vauriot koneessa on mahdollista estää. (MTZ 2001, 4.)

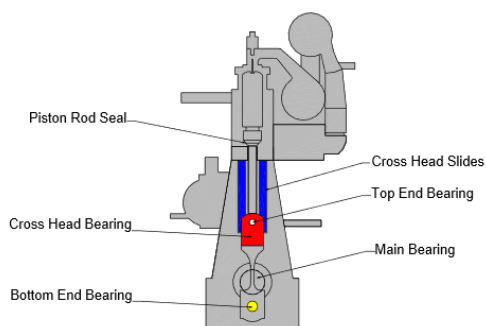


Figure 1 Areas of Failure – 2 Stroke Engine

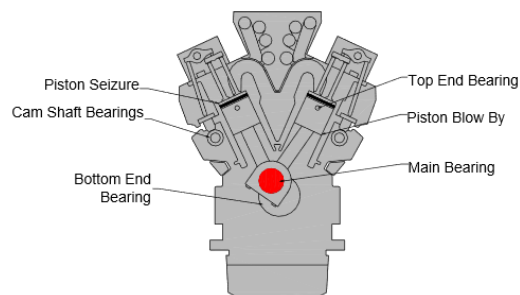


Figure 2 Areas of Failure – 4 Stroke Engine

Kuva 3. Mahdollisia öljysumun aiheuttajia koneessa (Kidde Fire Protection 2012.)

Mahdollisia aiheuttajia koneessa ovat:

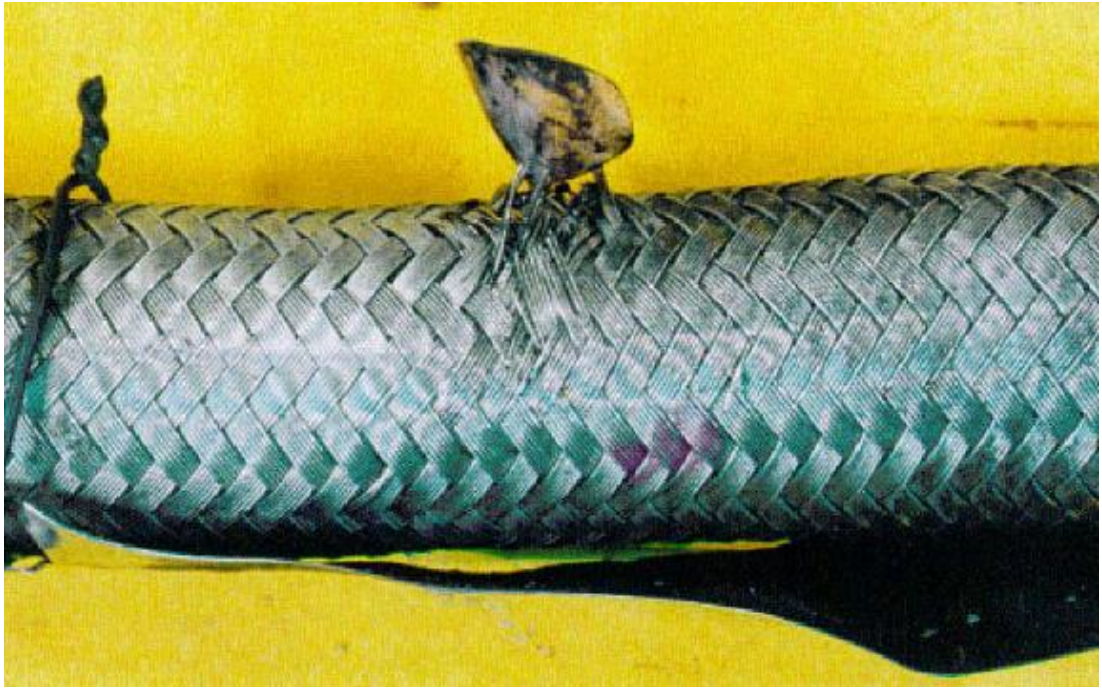
- Sylinterivuori ja mäntä
- Kampiakselin runko- ja päittäislaakerit
- Kiertokangen laakerit
- Nokka-akselin laakerit ja keinuvipujen laakerointi
- Vaihteiston laakerit ja mahdolliset pumpput
- Ristikappaleen laakerit
- Ristikappaleen ohjurit
- Jakopään laakerit



Kuva 4. Runkolaakerivaurio (MAIB 2013.)

2.3.2 Öljysumu konehuoneessa

Öljysumulla konehuoneessa tarkoitetaan esimerkiksi polttoaineputken viallista asennuksesta tai pienestä vauriosta putken ulkokuoressa ilmaan purkautuvaa öljyä. Merkittäviä tekijöitä tämän syttymiselle on öljyn lämpötila, ilman ja polttoaineen suhde sekä pisarakoko. Korkea paine putkistossa ja pieni ulostuloreikä saa aikaan öljyn pienen pisarakoon ja on samalla kaikkein vaarallisin. (IMO 2009, 10.)



Kuva 5. Öljysumun aiheuttanut vaurio letkussa (Smith 2009.)

Suuri osa polttoaineista syttyy yli 250 °C lämpötiloissa. Luokituslaitoksen säädökset edellyttävät, että kaikki pinnat, joiden lämpötila ylittää 220 °C, tulee suojata tai eristää. (Woodyard 2009, 874.)

Öljysumu konehuoneessa voi myös muodostua kuumista pinnoista. Tällöin kuumaan pintaan osuva öljy höyrystyy partikkelikokoon 3 – 10 mikronia ja tällöin muodostuu ns. sinistä savua. Lämpötila ja kuuman pinnan pinta-ala määrittävät öljysumun kehittymisen ja syttymislämpötila saattaa olla alimmillaan jopa 150 °C. (Smith 1996, 2.)

Mahdollisia ilmaan pääsevän öljysumun aiheuttajia: (QMI 2016.)

- Vaurioituneet letkut
- Väärin asennetut letkut tai putket
- Putkilaipat
- Revenneet hitsaussaumamat
- Vuotavat suodattimet
- Putkistojen tai koneistojen laiminlyöty huolto
- Pumppujen tiivisteet
- Vuotavat suuttimet

2.4 Koneöljyn ominaisuudet

Laivoissa käytettäville koneöljyille on useita valmistajia. Tässä on esimerkkinä laivakoneisiin tarkoitettun koneöljyn, Shell Gardinia 30 ominaisuuksia: (Shell 2003, 1, 3 - 4.)

Shell Gardinia 30

Mineraaliöljy	> 90 %
Kalsium pitkäkestoinen alkyylisylisylaatti	3 – 6 %
Sinkki C1-C14-alkyliditiofosfaatti	< 1 %
Kiehumispiste / kiehumisalue	> 280 °C
Leimahduspiste	> 200 °C
Alempi räjähdysraja	1 til-%
Ylempi räjähdysraja	10 til-%
Suhteellinen tiheys	894 kg/m ³ (15 °C)
Vesiliukoisuus	Liukenematon
Viskositeetti	11,8 cSt (100 °C)
Jähmepiste	-18 °C
Kalsium	< 0,5 p - %
Sinkki	< 0,1 p - %

2.5 Syttyminen, räjähdys ja sen aiheuttamat vauriot

Öljysumun syttyminen on vaarallinen ketjureaktio. Sen syntymiseksi tarvitaan polttoaine (öljysumu), happea ja riittävän korkea lämpötila sytyttämään seos. Mikäli jokin näistä osatekijöistä puuttuu, ei räjähdystä voi tapahtua. (Kidde Fire Protection 2012, 2.) Polttoaineena on tässä tapauksessa voiteluöljy. Ks. 2.2.1, 2.2.2 & 2.3

Germanischer Lloyd on tutkinut hapen määrää ja todennut, että hapen pitoisuus kampikammiossa on hyvin samankaltainen kuin sen ulkopuolella. Tähän vaikuttaa se, että männänrenkaiden kautta kampikammioon tapahtuvassa ohi-puhalluksessa hapen määrä on noin 20 prosenttia. Koneöljyllä voideltujen turboahtimien voitelulinjan paluupuolelta saattaa öljyn mukana tulla labyrinttitivisteestä vuotanutta ilmaa. Vaikuttavin tekijä on kuitenkin huohotusjärjestelmän toiminta ja suunnittelu. (CIMAC 2013, 4.)

Kampikammion öljysumun aiheuttaja ja sytyttäjä on usein sama kohta. Tätä kohtaa kutsutaan (engl. hot spot) kuumapisteeeksi. Muita mahdollisia sytyttäjiä voi olla vioittuneen männän läpi tai sylinterivuoren sivusta kampikammioon pääsevä liekki. (Challen & Baranescu 1999, 451.)

Mahdollisia sytyttäviä kohteita koneen ulkopuolella:

- Väärät sähkökytkennät
- Staattinen sähkö
- Turboahtimet
- Pakosarjat
- Palosuojaamattomat sähkömoottorit ja laitteet
- Lämmönvaihtimet

Öljysumun aiheuttama räjähdys aiheuttaa usein vaurioita koneeseen. Näitä voivat olla mm. vääntyneet kiertokanget, vääntynyt tai rikkoutunut kampiakseli, rikkoutuneet sylinterivuoret ja männät. (Bureau of ships 2015.) Vuonna 2006 suoritettujen tutkimusten mukaan suurin osa räjähdysten sytyttävistä kuumapisteeistä kehittyi koneen muissa osastoissa kuten: ketjukotelo, nokka-akselin kotelo ja Common Railin syöttöyksikkö. (CIMAC 2013, 7.)



Kuva 6. Sulzer ZA40 sylinterivuori männän kiinnileikkautumisen ja öljysumuräjähdyksen jälkeen. (Marinediesels 2016.)

DNV:n suorittamassa tutkimuksessa 2 / 3 165:stä laivoilla sattuneista tulipaloista oli syttynyt konehuoneessa. Näistä 56 prosenttia oli saanut alkunsa öljyn kosketuksesta kuumaan pintaan. (Woodyard 2009, 865.)

3 KAMPIKAMMION RÄJÄHDYS

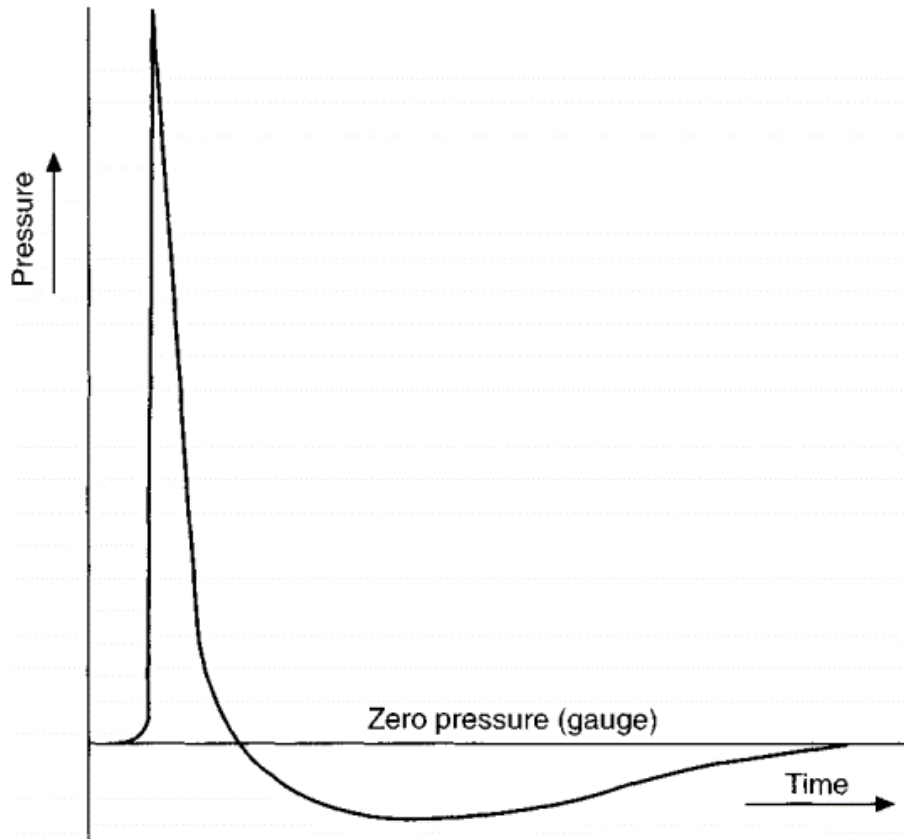
Kampikammion räjähdys voidaan jakaa kahteen eri tapahtumaan. Alla käydään läpi molemmat tapahtumat ja niihin vaikuttavat syyt.

3.1 Ensimmäinen räjähdys

Ensimmäisen räjähdysten tapahtuessa liekki kulkee kampikammion alareunassa ja paineaalto sen edessä. Koneen sisäisten liikkuvien osien aiheuttama turbulenssi sekoittaa höyryjä ja lisää liekin kulkunopeutta, joka lisää kampikammion sisäistä painetta. Räjähdysluukkujen kautta vapautuva paine voi myös vaikuttaa räjähdykseen. Kampikammion tilavuus taas vaikuttaa räjähdysten voimaan ja erityisesti on huolestuttu yli 500 m³ tilavuudeltaan olevista isoista kaksitahtikoneista. (Marinediesels 2016.) Pienissä koneissa kampikammio on mahdollista suunnitella kestävämmän räjähdysten aiheuttamat voimat. (Challen & Baranescu 1999, 452.) Vaarallisimmillaan räjähdys on, mikäli kampikammion räjähdysluukussa oleva liekinsammutin ei toimi oikein, jolloin liekki purkautuu suoraan konehuoneeseen. (MAN B&W A/S 2003, 4.)

Ensimmäisen räjähdysten voima voi vaihdella pienestä hieman valkoista savua tuottavasta suureen räjähdykseen. (Challen & Baranescu 1999, 451.) Räjähdysten sattuessa suuri määrä palamatonta öljysumua vapautuu kampikammioista räjähdysluukkujen kautta konehuoneeseen, jossa se levittyy ympäriinsä. Tämän vuoksi kuumien kohtien eristykset ovat suuressa osassa, jottei syttymistä tapahtuisi. (MAN B&W A/S 2003, 3.)

Suuri räjähdys aiheuttaa vahinkoja ja saattaa sytyttää tulipalon konehuoneessa. Räjähdysten suuruus riippuu öljysumun määrästä ja rakenteesta. Ilmanpaineessa tapahtuvan hiilivetyjen ja ilman aiheuttaman räjähdysten on tutkittu nostavan kampikammiossa maksimissaan 7 bar paineen. (Challen & Baranescu 1999, 451.)



Kuva 7. Paine / aika diagrammi, jossa myös alipaineinen vaihe ensimmäisen räjähdysen jälkeen. (Challen & Baranescu 1999, 452.)

Räjähdyksen purkautuminen aiheuttaa paineen laskun kampikammiossa ja alipaineen. Mikäli kampikammioon pääsee koneen ulkopuolelta ilmaa, joka sekoittuu olemassa olevaan öljysumuun voi aiheutua toinen huomattavasti vaarallisempi räjähdys. (Challen & Baranescu 1999, 451 - 452.)

3.2 Toinen räjähdys

Toinen räjähdys on sattuessaan huomattavasti voimakkaampi ja vaarallisempi. Se saattaa sytyttää tulipaloja ja aiheuttaa vahinkoja konehuoneessa oleville ihmisille.

Kampikammion toinen räjähdys tapahtuu, jos ensimmäisen räjähdysen jälkeen kampikammioon pääsee ilmaa. Kampikammiossa se sekoittuu höyrystyneen ja palavan öljyn kanssa aiheuttaen merkittävän räjähdysen. (Wharton 1991, 117.) Tällöin koneen kampikammion luukut saattavat räjähtää irti ja aiheuttaa tulipaloja konehuoneessa. (Marinediesels 2016.)

Luultavasti kampikammion pienemmästä tilavuudesta johtuen toisia räjähdysisiä ei ole havaittu nelitahtisissa koneissa. (CIMAC 2013, 7.)

German Institute für Sicherheitstechnik / Schiffssicherheit e.V. on tutkinut kampikammion räjähdyksiä ja epäilee, että öljysumu olisi ainut räjähdysen aiheuttaja. Heidän tutkimuksensa mukaan paras tapa estää kampikammion räjähdyksiä on mitata kampikammion räjähtävien kaasujen pitoisuuksia, koska hiilivetyjen lämpöhajoaminen kuumassa öljyssä aiheuttaa räjähtäviä kaasuja. Ensimmäisen räjähdysen aiheuttajaksi onkin todettu hiilivety ja/tai vetykaasu. Tämä synnyttää ketjureaktion ja sytyttää muita palavia aineita, kuten roiskeöljypisaroihin ja kampikammion seinämissä olevan öljykalvon. (CIMAC 2013, 7.)

3.3 Kuinka välttää öljysumuräjähdys

Kampikammion olosuhteiden tarkkailu osana koneenvalvontaa on tärkeää. Hyväksytyt, oikein huollettu ja hälytysjärjestelmään kytketty öljysumunvaroitin pystyy aistimaan muutoksen kampikammion öljysumun määrässä, sammuttamaan tai hidastamaan koneen ja varoittamaan käyttöhenkilökuntaa. Toimivalla ja oikein säädetyllä laakerilämpötilojen mittauksella pystytään nopeasti toteamaan epänormaalit olosuhteet kampikammiossa.

Suurin vaikutus on koneen huollolla. Laakerit ovat tässä tapauksessa avainasemassa ja niiden ajoittaiset tarkastukset. Kampikammion silmämääräisellä tarkastuksella voidaan havaita laakerista irronnut valkometalli ja estää laakerivaurio ennen kuin se johtaa kampikammion räjähdykseen. Huollossa tulee noudattaa valmistajan antamia ohjeita, kiristysmomentteja ja laakerivällyksiä. Koneen varaosien hankinnassa tulee käyttää ainoastaan alkuperäisiä hyväksytyjä varaosia. Tällöin voidaan olla varmoja, että kaikki toleranssit ja mitat ovat oikeita. Turvajärjestelmien ja turvallisuuden liittyvien komponenttien tarkastuksella on suuri merkitys öljysumuräjähdysen välttämiseksi. (MAN B&W A/S 2003, 5.)

Valmistajan suositusten mukaisella voiteluöljyn käytöllä, säännöllisillä öljyanalyseillä, konehuoneen siisteydellä ja välttämällä koneen ylikuormitusta voidaan ehkäistä vaaratilanteita. Tärkeitä ovat myös vahdissa olevan henkilökunnan havainnot koneen epäsäännöllisestä käynnistä, poikkeavista äänistä, kohonneista lämpötiloista, hajuista tai valkoisesta öljysumusta. (Wharton 1991, 117.)

4 TEKNIikka

4.1 Öljysumuvaroitin

Öljysumunvaroitin on turvalaite, jonka tarkoituksena on suojata konetta. (Schaller 2015, 8.) Varoittimien toiminta riippuu valmistajasta, mutta yhteisiä ominaisuuksia on. Öljysumuvaroitin tulee olla luokituslaitosten hyväksymä ja testattu IACS:n M67 säädöksen mukaan. (CIMAC 2013, 5.)

4.1.1 Toiminta

Kampikammiossa jokaisen sylinterin kohdalla on näytteenotto johde. Kaksitahtisissa ristipääkoneissa näytteenottojohde tulee asentaa sylinterikohtaisen lohkon yläreunaan, koska höyrystyessään öljysumu nousee ylöspäin ja samalla sylinterikohtainen erottelu on tehokkainta. Nelitahtisissa koneissa näytteenottojohde tulee asentaa sylinterivuoren ja raamilaakereiden puoliväliin, mahdollisimman ylös. Laitteissa, jossa käytetään näytteenottoputkia, tulee niiden olla mahdollisimman lyhyet ja sisältää vain vähän mutkia. Putkien tulee olla öljysumuvaroitimelta kampikammioon laskevassa kulmassa. Tällä vältetään öljyn kerääntyminen putkistoon. (Schaller A/S 2016.) Gravinerin valmistamissa järjestelmissä käytetään putkijärjestelmän sijaan sylinterikohtaisia antureita. (Kidde Fire Protection 2012, 3.)

Näytteen ottamiseen käytetään puhallinta tai vastaavasti paineilmalla toimivaa ejektoria, joka muodostaa alipaineen mittauslaitteeseen ja imuputkeen. Ilmanäyte kulkee putkea pitkin mittausyksikköön, jossa sen tiheys mitataan. Öljysumun tiheys mitataan johtamalla valo näytteen läpi. Valonlähde riippuu valmistajasta, mutta alkuaikoina se on ollut hehkulamppu ja nykyään infrapuna tai valodiodi. Toisella puolella on valokenno, jonka vastaanottama arvo on suoraan verrannollinen valon läpäisyyn, eli öljysumun tiheyteen. (Kidde Fire Protection 2012, 2 - 3.) Schallerin öljysumuilmallisessa mittausoptiikan likaantumisen estämiseksi sen eteen syötetään puhdasta ilmaa, joko konehuoneesta (VN87) tai paineilmajärjestelmästä (VN93). (Schaller 2015, 9.)



Kuva 8. Schaller VN 215 / 93 öljysumuvaroitin. (Stenman 2014.)

Normaalitilanteessa Schallerin järjestelmä mittaa kaikista näytteenottoputkista tulevaa ilmaa. Vanhemmissa versioissa (VN 115) laitteen havaitessa kohonneen öljysumun määrän, se antaa hälytyksen, muttei kerro tarkemmin mikä sylinteri tai kampikammion osa on aiheuttanut hälytyksen. VN 116 kertoo, kummalta puolelta öljysumuvaroitinta hälytyksen antanut öljysumu on peräisin. Uudemmissa versioissa (VN 215) laitteen havaitessa öljysumun kohonneen arvon, se sulkee eri näytteenottoputkia ja selvittää, mikä sylinteri aiheutti hälytyksen. Tämän jälkeen se pysähtyy ja indikoi käyttäjälle hälytyksen aiheuttaneen sylinterin. (Schaller 2015, 9.) Gravinerin järjestelmässä jokainen anturi on itsenäinen ja se kertoo suoraan, mikä sylinteri aiheutti hälytyksen. (Kidde Fire Protection 2012, 3.)



Kuva 9. Graviner öljysumuvaroitin (TC automation 2016.)

Hälytyksen sattuessa konetyypistä riippuen tapahtuu joko kierrosluvun hidastus (slowdown) tai koneen pysäytys (shutdown). Ks. 6.1.1

Tyypilliset ongelmat öljysumuvaroittimen toiminnassa ovat virheellinen asennus, huollon puute ja imuputken väärä kohta kampikammiossa. (CIMAC 2013, 5.)

4.2 Räjähdyssluukku

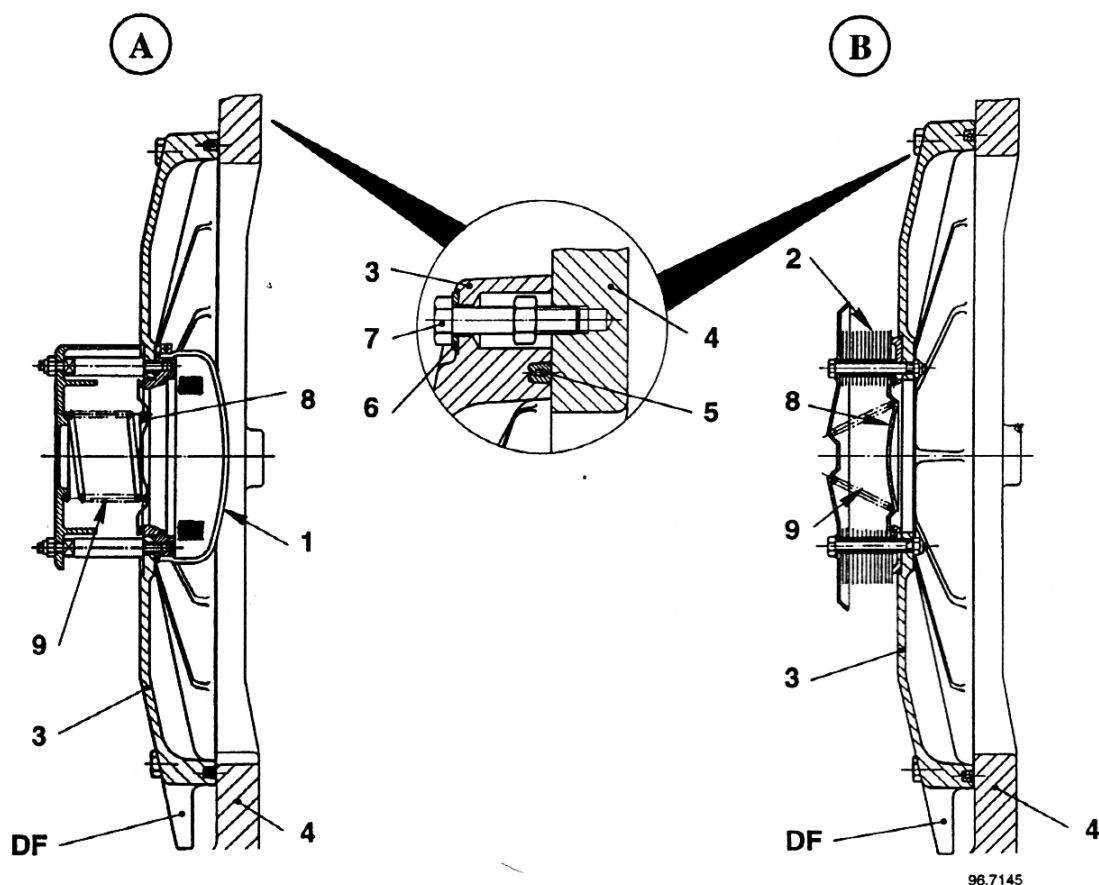
Räjähdyssluukku on takaiskuventtiili, joka on kiinnitetty koneen kampikammion luukun yhteyteen. Se koostuu rungosta, liekin estävästä verkosta ja venttiilinä toimivasta lautasesta, joka painautuu jousen voimalla tiivistävää pintaa vasten. (Woodyard 2009, 872.)

Kampikammion räjähdyssluukun tehtävänä on suojata konetta. Se vapauttaa kampikammion räjähdysten sattuessa ylimääräisen paineen kampikammion osta. Sen tehtävänä on myös estää avoimen liekin pääsy kampikammion osta konehuoneeseen ja paineen vapauduttua estää ilman pääsyn takaisin kampikammioon, joka voisi aiheuttaa toisen räjähdysten. (Woodyard 2009, 872, 874.) Luukun avautumispaine on 0,05 - 0,2 baarin välillä (sisäpuolen ja ulkopuolen paine-ero). (NSD 1996, 1603-1/A1; Wharton 1991, 120; Pyropress 2010, 4).



Kuva 10. Kampikammion räjähdysluukut (Stenman 2014.)

Räjähdysluukuilla on useita valmistajia. Jokaisella on omat patenttinsa, mutta periaatteet ovat käytännössä hyvin samankaltaisia. Bicerin valmistamissa luukuissa on kampikammion sisällä oleva liekinestin. Ne ovat valmistettu alumiini-seoksesta ja niissä on öljyä sekä kuumuutta kestävä tiivisteet. Kuumien kaasujen poistumiskulma on 120 astetta ja se voidaan suunnata turvallisimmaksi katsottuun kohtaan. Hoerbigerin valmistamissa luukuissa on kampikammion ulkoinen liekinestin, joka mahdollistaa nopeamman reaktion. Luukkua saa eri materiaaleilla ja se voidaan varustaa liikkeen tunnistimella. Kuumakaasut poistuvat 360 asteen kulmassa. (Challen & Baranescu 1999, 453; Pyropress 2010, 1,4; Hoerbiger 2009, 2 - 4). Räjähdysluukut ovat käytännössä huoltovapaia, mutta ajoittain jousen kunto ja venttiilin avautuminen on syytä kokeilla käsin. (Wharton 1991, 120.)



Key to Illustrations: 'A' Safety valve Make BICERI (explosion flap valve)
 'B' Safety valve Make HOERBIGER

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1 Flame arrestor to 'A' | 6 Washer |
| 2 Flame arrestor to 'B' | 7 Screw |
| 3 Cover | 8 Spring carrier (flap) |
| 4 Engine housing | 9 Compression spring |
| 5 Hose joint | DF Cover feet |

Kuva 11. Räjähdyssluukku (NSD 1996, 1603-1/A1.)

4.3 Koneen huohotusputki

Kampikammion huohotusputkella on myös suuri osuus mahdollisen öljysumuräjähdyksen sattuessa. Kampikammion huohotusputki tulee varustaa takaiskuventtiilillä tai vastaavalla laitteella, jottei ensimmäisen räjähdysten sattuessa kampikammioon pääse ilmaa, joka mahdollistaisi toisen räjähdysten. Huohotusputken pinta-alan tulee olla suhteessa pieni verrattuna räjähdysluukkujen pinta-alaan. (Crawford 2013, 47.) Huohotusputket eivät saa olla yhteydessä toisten koneiden kampikammioihin. (CIMAC 2013, 6.)

5 TOIMINTA ÖLJYSUMUHÄLYTYKSEN SATTUESSA

Öljysumuhälytyksen sattuessa ei ole yksinomaan yhtä tapaa toimia. Jokainen tilanne ja niiden synty on omanlaisensa.

5.1 Koneen pysäytys

Mikäli kuumapiste tai olosuhteet räjähdykselle havaitaan, tulee koneen kuormaa tai nopeutta rajoittaa. Tämän jälkeen kone tulee mahdollisimman nopeasti pysäyttää osien viilentämiseksi. Räjähdysluukkujen läheisyydessä oloa tulee välttää. (Wharton 1991, 118.) Mikäli öljysumuvaroitin reagoi hälytyksellä, se antaa hälytyksen ja hidastaa tai pysäyttää koneen konetyypistä riippuen ks. 6.1.1.

Voi olla suositeltavaa pyörittää konetta paaksilla indikointihanojen ollessa auki, kuumien osien kiinnileikkautumisen estämiseksi. (Wharton 1991, 118.)

Heti koneen pysähtyttyä mitään siihen liittyviä luukkuja ei saa avata eikä kenenkään tule olla räjähdysluukkujen välittömässä läheisyydessä. Mikäli luukkuja avataan heti pysäyttämisen jälkeen, kampikammioon pääsee ilmaa, joka saattaa aiheuttaa räjähdyskseen. Koneen osien tulee jäähtyä ainakin 20 minuuttia ennen tarkastuksia. Luukkuja avatessa palontorjuntavälineistö tulee olla valmiina koneen välittömässä läheisyydessä. (NSD 1996, 0350-1/A1.)

5.2 Öljysumuvaroittimen tarkastaminen

Öljysumuvaroittimesta ja sen ominaisuuksista riippuen se saattaa kertoa lohkon, josta hälytys on peräisin. Öljysumuvaroittimen vioittuminen kannattaa myöskin tarkastaa. Lisää öljysumuvaroittimen toiminnasta ks. 4.1.1.

5.3 Koneen tarkistus ja kuumien pisteiden paikannus

Koneen tarkastukset, huollot ja korjaukset voidaan suorittaa koneen viilenemisen jälkeen. (Wharton 1991, 118.) Kuumapisteiden paikannukseen voidaan käyttää useampaa eri metodia. DNV suosittelee käytettävän lämpökameraa, laser-lämpömittaria tai pinta/kosketuslämpömittaria. (Woodyard 2009, 865.) Öljysumun mahdolliset aiheuttajat ks. 2.2.1

5.3.1 Infrapuna lämpömittaus

Infrapunalämpömittari on helppokäyttöinen, nopea ja turvallinen tapa mitata jopa 3000 °C pintalämpötiloja. Mitattavaan kohteeseen ei tarvitse olla kosketuksessa, joka mahdollistaa sen käyttämisen pyöriviin, kuumiin tai vaikeassa paikassa oleviin kohteisiin. Laitteet usein varustetaan yhdellä tai useammalla laserosoittimella mittauksen helpottamiseksi. (Raytek 2012, 4, 12.)



Kuva 12. Infrapunalämpömittari (Fluke 2016.)

Kaikki aineet joiden lämpötila ylittää absoluuttisen nollapisteen (-273,15 °C / -459.8 °F) lähettävät infrapunasäteilyä lämpötilansa mukaisesti. (Raytek 2012, 4.)

Laitteen toiminta perustuu anturiin, joka vastaanottaa ja muuttaa lämmöstä aiheutuvan infrapunasäteilyn sähköviestiksi, jonka laite kääntää taas lämpötilarvoksi. (Raytek 2012, 4.)

Mittausta suoritettaessa kannattaa huomioida, että pöly, lika, kosteus tai huurre voivat vääristää mittaustulosta. Tämän lisäksi eri materiaaleilla on erilaiset emissioarvot. Huomioi, että mittalaitteen emissiokertoimeksi voi olla asetettu 0.95, joka ei sovellu metallimateriaaleille. (Testo 2013, 11.) Metallit usein heijastavat, joten niiden emissiivisyys on matala. Tämän takia ne voivat aiheuttaa vääristyneitä ja epäluotettavia tuloksia. Metallien emissiivisyys on riip-

puvainen aallonpituudesta ja lämpötilasta. Mittausvirheen minimoimiseksi metallille mitattaessa tulisi käyttää mahdollisimman lyhyttä aallonpituutta. (Raytek 2012, 7.)

Taulukko 1. Aineiden emissiivisyyksiä (Fluke 2007.)

Materiaali	ε	Materiaali	ε
Alumiini, kiillotettu	0.05	Rauta, kiiltävä, kaiverrettu	0.16
Alumiini, karkea pinta	0.07	Rauta, koristeltu, kiillotettu	0.28
Alumiini, oksidoitu	0.25	Rauta, kuumavalssattu	0.77
Elohopea, puhdas	0.1	Rauta, oksidoitu	0.74
Jää	0.97	Rautalevy, galvanoitu, oksidoitu	0.28
Kromi, kiillotettu	0.1	Rautalevy, galvanoitu, kiillotettu	0.23
Kulta, kiillotettu	0.02	Sinkki, levy	0.2
Kumi	0.93	Sähköteippi, musta	0.95
Kupari, kiillotettu	0.01	Tiili, yleinen	0.85
Kupari, oksidoitu	0.65	Tina, kiillotettu	0.05
Lumi	0.8	Teräs, galvanoitu	0.28
Lyijy, harmaa	0.28	Teräs, karkea pinta	0.96
Maali, hopea (25 °C)	0.31	Teräs, ruosteen punainen	0.69
Maali, yleinen	0.94	Teräs, vahvasti oksidoitu	0.88
Messinki, kiillotettu	0.03	Teräs, valssattu tuoreeltaan	0.24
Messinki, tummunut	0.22	Teräslevy, niklattu	0.11
Nikkeli, valuraudassa	0.05	Teräslevy, valssattu	0.56
Nikkeli, puhdas kiillotettu	0.05	Valurauta, karkea	0.81
Paperi	0.9	Valurauta, kiillotettu	0.21
Pronssi, karkea	0.55	Vesi	0.98
Pronssi, kiillotettu	0.1		

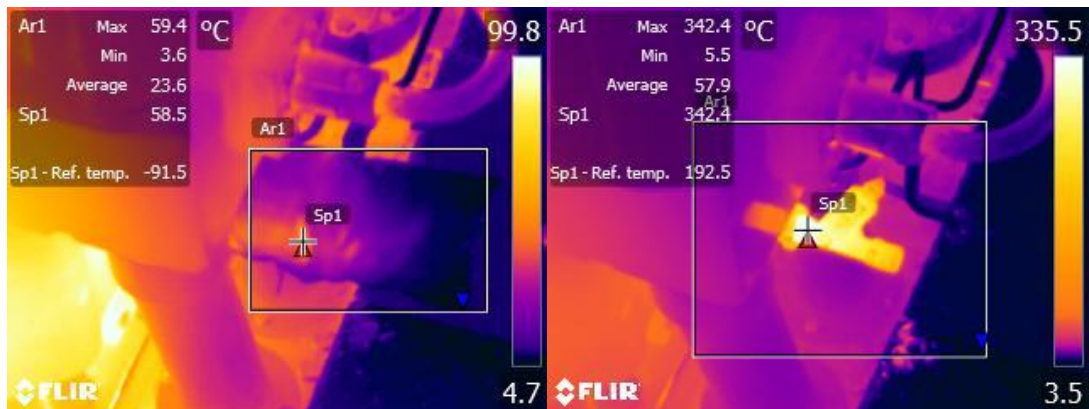
5.3.2 Lämpökamera

Lämpökamera toimii samalla periaatteella kuin infrapunalämpömittari. Molemmat vastaanottavat kappaleiden ominaisesti lähettämää infrapunasäteilyä. Se missä nämä kaksi laitetta eroavat on, että lämpökamera mittaa ja muodostaa vastaanottamastaan lämpösäteilystä kuvan. (Opetushallitus 2016.) Kuvasta on havaittavissa kohteen pintalämpötilajakauma. Lämpökameralla voidaan kuvata lämpötila-alueella -40 - +1500 °C ja erotuskyky voi olla jopa 0,02 °C. Kuvatut kohteet voidaan tallentaa jälkianalysointia ja arkistointia varten. (Infradex 2016.)



Kuva 13. Lämpökamera (Therapy products 2016.)

Lämpökameraa voidaan käyttää teollisuudessa moniin eri kohteisiin. Siitä erinomaista tekee se, ettei kohdetta tarvitse purkaa tutkimusten ajaksi ja se on nopea ja helppokäyttöinen. Lämpökameralla voidaan todeta esimerkiksi huonot sähköliitokset, vuodot, huonosti eristetyt kohteet, laakerivauriot, kuumapistteet ja tukokset. (Flir 2013.)



Kuva 14. Lämpökameralla otettu kuva indikointihanasta. Vasemmalla eristys-huppu, oikealla puolella ilman eristyshuppua. (Stenman 2016.)

6 VIRANOMAISET

6.1 Luokituslaitos

Luokituslaitos on ulkopuolinen instanssi, joka tarkastaa, että aluksen rakenne, koneisto ja varustus vastaavat sille asetetut säännökset, määräykset ja standardit. Se suorittaa laivalle määräaikaistarkastuksia, jotta voidaan varmistaa laivan merikelpoisuus ja turvallinen operointi. Luokituslaitos nimensä mukaisesti luokittaa koneistoja ja komponentteja laivasta. Komponenteille on määritetty luokituslaitoksen toimesta katsastusintervallit. (Bureau Veritas 2016.)

6.1.1 Luokituslaitos ja öljysumuilmaisin

Luokituslaitos määrittää öljysumuilmaisimesta:

Kampikammion suojaamiseksi kone tulee varustaa öljysumuilmaisimella, laakerien lämpötilan mittauksella tai jollain vaihtoehtoisella tavalla mikäli koneen automaattinen hidastus tai sammuminen matalan öljynpaineen seurauksena pystytään ohittamaan, sen sylinterihalkaisija ylittää 300mm tai sen teho ylittää 2250 kW. Propulsioon kytkettyjen koneiden tulee sisältää korkean öljysumuipitoisuuden tai laakerilämpötilan hälytyspiste.

Hidaskäyntisten koneiden tulee hälytyksen sattuessa suorittaa automaattinen kierrosluvun hidastus. Keski- ja nopeakäyntisissä koneissa tulee tapahtua automaattinen sammuminen.

Jos korkeasta öljysumun pitoisuudesta tai laakerilämpötiloista johtuva kierrosluvun hidastus tai koneen sammuminen on ohitettavissa, sen tulee olla itsenäinen ja erillään muista ohituksista.

Jos valitaan laakerilämpöjen tarkkailu kampikammion suojaamiseksi, sen tulee kattaa kaikki laakerit kampikammiossa. Näitä ovat mm. runko, sekä männäntäpin ja ristipään laakerit.

Välttämättömät pää- ja apukoneistot tulee varustaa öljynpaineen mittauksella. Tämän lisäksi teholtaan yli 37kW (50 hv) koneiden tulee varoittaa alhaisesta öljynpaineesta hälytyksellä. Hälytyksen tulee sisältää sekä ääni- ja valoindikointi. Hälytyksen aktivoivan anturin tulee sijaita öljyn paluupuolella, jossa ei ole mitään rajoittavia tekijöitä kuten suodattimia tai jäähdytintä. (LLOYD'S 2013.)

6.1.2 Luokituslaitos ja kampikammion luukut

IACS määrittää, että sylinterihalkaisijaltaan 200 mm ja sen ylittävien tai yli 0,6 m³ kampikammion tilavuudeltaan oleviin koneisiin tulee asentaa räjähdysluukut. Räjähdysluukun vapaan pinta-alan tulee olla vähintään 45 cm² ja vähintään 115 cm² jokaista kampikammion bruttotilavuuskuutiometriä kohden. Räjähdysluukkujen tulee toimia nopeasti ja olla täysin avoinna paineen ollessa 0.2 baaria. (IACS 2015, 15 – 16.)

- Alle 250mm sylinterihalkaisijaltaan olevissa koneissa tulee olla yksi venttiili lähellä koneen molempia päitä ja jos koneessa on yli 8 sylinteriä, yksi venttiili tulee sijoittaa koneen keskivaiheille.
- 251 – 300mm sylinterihalkaisijaltaan olevissa koneissa tulee olla joka toisen sylinterin kohdalla räjähdysluukku ja vähintään kaksi kappaletta.
- Yli 300mm sylinterihalkaisijaltaan oleviin koneisiin tulee asentaa jokaisella sylinterillä oma venttiili. (IACS 2015, 15.)

Kampikammion luukkujen tulee kestää kampikammion räjähdyksestä odotettavissa oleva paine ottaen huomioon räjähdysluukkujen asennus. Luukut tulee kiinnittää niin, etteivät ne pääse helposti siirtymään räjähdysten sattuessa. (IACS 2015, 17.)

Koneessa tulee olla kiinnitettynä varoitus, jossa kerrotaan, mikäli ylikuumenemista epäillään, niin kampikammion luukkuja ei saa avata johonkin aikamääräeseen koneen pysäytyksen jälkeen. Ajan tulee olla riittävä koneen osien viilenemiseen. Varoitus tulee olla kiinnitettynä kontrollipisteeseen tai kampikammion luukkuun molemmin puolen konetta. (IACS 2015, 18.)

6.2 SOLAS

6.2.1 Polttoaineputket

Polttoaineputket tulee olla valmistettu teräksestä tai muusta hyväksytystä materiaalista. Joustavia letkuja saa käyttää vain järjestön hyväksymissä välttämättömissä paikoissa. Polttoainepumpun ja suuttimen välillä olevat korkeapaineputket tulee olla varustettu kaksoisvaipalla, joka kerää polttoaineen vuototilanteessa. Järjestelmässä tulee olla myös polttoainevuodosta hälyttävä anturi. Polttoainelinjat eivät saa sijoittua kuumien pintojen kuten kattilan, höyrylinjan,

pakosarjan tai muun kohdassa 2.2.6 mainitun eristetyn kohteen läheisyydessä. Polttoainelinjat tulee sijoittaa, mikäli mahdollista erilleen kuumista pinoista, sähköasennuksista tai muista sytytyslähteistä ja suojata öljysuihkulta tai vuodolta syttymisen lähteeseen. (SOLAS Chapter II – 2 Part B Regulation 4 2.25 2014.)

6.2.2 Konehuoneiden kuumien pintojen eristys

Alla olevat asetukset ovat voimassa 1. heinäkuuta 2012 ja sen jälkeen rakennettuihin aluksiin. Vanhemmissa aluksissa noudatetaan uusia ohjeita soveltaen.

Pinnat joiden lämpötila ylittää 220 °C ja joihin polttoainejärjestelmän toimintahäiriön sattuessa saattaa osua polttoainetta tulee olla asianmukaisesti eristetty. Paineenalaista öljyä pumpusta, suodattimesta tai lämmittimestä on estettävä joutumasta kosketuksiin kuumien pintojen kanssa. (SOLAS Chapter II – 2 Part B Regulation 4 2.6 2014.)

Tiloihin, joihin saattaa päästä öljyä, kuumia pintoja eristävän pinnan tulee olla läpäisemätön öljylle tai öljysumulle. (SOLAS Chapter II – 2 Part B Regulation 4 4.3 2014.)

6.2.3 Vesipohjainen sammutus

Vesipohjaiset sammutusjärjestelmät konehuoneeseen ovat tulleet pakollisiksi kaikkiin uusiin matkustaja- ja rahtialuksiin 1. kesäkuuta 2002 eteenpäin ja vanhempiin aluksiin 1. lokakuuta 2005 eteenpäin. (Woodyard 2009, 865.)

7 VAIHTOEHTOINEN TEKNIikka

7.1 Inerti-kaasu

Inerti-kaasua voidaan myös käyttää öljysumuräjähdyksen estämiseksi. Tällöin tulee varmistaa riittävä tuuletus ja happipitoisuus ennen kuin henkilökunta voi mennä konehuoneeseen tai kampikammioon. (Wharton 1991, 118.)

Koneen käydessä inertti-kaasulla pystytään estämään kampikammioon muodostuvan räjähdysalttiin ilman ja öljysumun seos, mikäli seoksen happipitoisuus asetetaan alle 10 prosenttiin. Järjestelmä tarvitsisi toimiakseen ilman pi-

toisuuden valvonnan, inertti-kaasun syötön sekä tiiviin kampikammion. Järjestelmää ei kuitenkaan ole otettu käyttöön käytännöllisyyden, taloudellisuuden ja muiden kampikammion olosuhteisiin liittyvien turva- ja valvontajärjestelmien kehittämisen vuoksi. (Challen & Baranescu 1999, 452.)

7.2 Vesiruisutus kampikammioon

Yksi kehitetty tekniikka on ruiskuttaa paineistettua vettä kampikammioon. Järjestelmä toimii inerttikaasun tavoin, mutta öljysumuhälytyksen sattuessa ruiskutetaan kaasun sijasta paineistettua esilämmitettyä vettä (180 °C 15 baaria) kampikammioon. Vesi kulkee ensin höyrynä teräväkärkisten suuttimien läpi. Tämän jälkeen nousevan paineen ja ympäröivien viileämpien kaasujen vuoksi vesi muuttuu tiheäksi, alle 10 mikronia tiheydeltään olevaksi vesisumuksi. Järjestelmän etuna on, ettei se käytä happea syrjäyttävää kaasua ja aiheuta henkilökunnalle vaaraa. Voiteluöljyn sekaan joutuva vesi voidaan poistaa normaalin öljyn separoinnin yhteydessä. (MAN B&W A/S 2003, 7.)

Kampikammion vesiruisutuksella ei kuitenkaan pystytä välttämään kampikammion räjähdystä. Käytännön testit ilman ja metaanin sekoituksella kuitenkin osoittavat, että veden ruiskutuksella pystytään pitämään kampikammion sisälle aiheutuva paine huomattavasti pienempänä ja estämään paineaallon synnyttämät mekaaniset vauriot. (MAN B&W A/S 2003, 7.)

Järjestelmän heikkoutena on vesisumun ruiskutus riittävän nopeasti. Tämä vaatii putkistossa jatkuvan paineen ja lämpötilan ylläpidon. Vesisumua pitää myös pystyä ruiskuttamaan niin paljon, että se kattaa koko kampikammion tiilavuuden. (MAN B&W A/S 2003, 7 - 8.)

7.3 Veden ruiskutus voiteluöljyn sekaan

MAN on kehittänyt tekniikkaa, jossa tarkoituksena on luoda vesisumua samaan tapaan kuin öljysumu muodostuu. Järjestelmä koostuu ohjausjärjestelmästä, vesitankista ja öljylinjaan ennen voiteluöljynjäähdytintä rakennetusta johteesta, jossa on suutinlevy sekä solenoidi. Vesitankki pidetään jatkuvasti 2 – 10 baarin paineessa tai hälytyksen sattuessa paineistetaan paineilmaa käyttäen. Öljysumuhälytyksen sattuessa, mahdollisen tankin paineistamisen jälkeen solenoidi avaa venttiilin ja voiteluöljyn sekaan ruiskutetaan 1 – 5 % vettä. Tankki on mitoitettu voiteluöljyjärjestelmän öljymäärän mukaan ja ruiskutus

pysähtyy, kun tankki saavuttaa alarajahälytyksen. Veden ja öljyn sekoittuminen tapahtuu voiteluöljyjäähdyttimessä. (MAN B&W A/S 2003, 8 - 11.)

Järjestelmän etuna on, että öljyn seassa oleva vesi saavuttaa aina kuumapisteen riippumatta siitä, missä se sijaitsee. Veden höyrystymislämpötila on öljyä matalampi ja höyrystymiseen vaadittava energia suuri, joten kuumapiste jäähtyy ja öljysumun kehittyminen pienenee tai pysähtyy. Järjestelmän käytön jälkeen vesi poistetaan öljyn seasta normaalin separoinnin yhteydessä. (MAN B&W A/S 2003, 8 - 9.)

Laakerikohtainen veden ruiskutus ja jäähdytys on myöskin mahdollista koneissa, joissa on laakerilämpötilojen mittaus. Tosin järjestelmästä tulee huomattavasti monimutkikkaampi. (MAN B&W A/S 2003, 8.)

7.4 Laakerilämpötilojen tarkkailu

Koneen laakerit ovat kuumetessaan potentiaalisia kampikammion räjähdysten aiheuttajia. Ne aiheuttavat lämmitessään öljyn höyrystymistä ja öljysumun kertymistä kampikammioon sekä mahdollisesti räjähdysten laukaisevan kuumapisteen synnyn. (Russel ym 2012.) Laakerilämpöjen tarkkailulla pystytään ennaltaehkäisemään kampikammion räjähdykset ja kiinnileikkautumiset. Lämpötila-antureita voidaan sijoittaa ristipään-, kiertokangen alapään-, runko- ja painelaakereihin. (Kongsberg 2005, 1.)

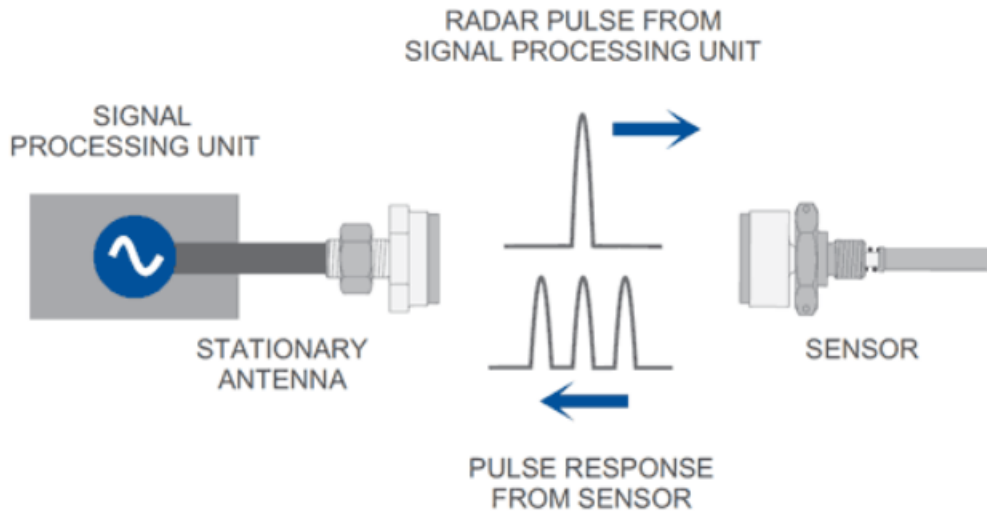
Runkolaakereiden lämpötilanmittaus voidaan suorittaa kiinteällä laakerin runkoon tai voiteluöljyn paluupuolelle sijoitetulla anturilla. (MAN 2009, 337.) Mittauksessa voidaan käyttää PT-100 tyyppistä lämpötila-anturia, joka soveltuu lämpötilamittaukseen 200 °C asti. (Danfoss 2016.)

Aiemmin ristipään- ja kiertokangen laakereiden lämpötilojen mittauksessa käytettiin epäsuoraa menetelmää. Tämä tarkoittaa niistä roiskuvan öljyn lämpötilan mittausta. Nykyään langaton lämpötila-anturi pystytään sijoittamaan suoraan kiertokankeeseen. Se sijoitetaan mahdollisimman lähelle, muutaman millimetrin etäisyydelle laakeripinnasta. (Russel ym. 2012.) Kongsbergin Sentry-järjestelmässä anturi toimii passiivisesti tarvitsematta ulkopuolista virtalähdettä ja langattomasti hyödyntäen akustisten pinta-aaltojen (SAW) tutkatekniikkaa. (Kongsberg 2012, 1.)



Kuva 15. Langaton kiertokangen laakerin lämpötilamittaus (Woodyard 2009.)

Järjestelmä toimii niin, että koneen ulkopuolella sijaitseva signaalin käsittely-yksikkö lähettää tutka-aaltopulssin, joka kulkee antennille. Antenni on sijoitettu kiinteästi koneen lohkoon, kampikammioon, kiertokangen välittömään läheisyyteen. Antenni lähettää pulssin kiertokankeen sijoitettuun passiiviseen anturiin niiden kohdatessa. Matalan energian ja korkean taajuuden omaava akustinen aalto kulkee anturissa olevan SAW-sirun pintaa, josta se heijastaa pulssi-jonon välittömästi takaisin kiinteälle antennille. Kiinteältä antennilta tieto menee takaisin käsittely-yksikköön, jonka algoritmi laskee lämpötilalle arvon ja lähettää sen koneenvalvontajärjestelmään. Antennille heijastuneen pulssin muoto ja ominaisuudet ovat verrannollisia lämpötilaan. (Kongsberg 2012, 2.) Mittaus tapahtuu jokaisella kampiakselin kierroksella, kiinteän antennin ja kiertokankeen sijoitetun anturin kohdatessa. (Russel ym 2012.) Antennin ja anturin väli voi olla 5 - 35 millimetriä. Anturille ja antennille sallitaan 20 asteen kulmapoikkeama ja 5 millimetrin sivuttaissuuntainen ero. (Kongsberg 2012, 4.)



Kuva 16. Sentry toimintaperiaate (Kongsberg 2016.)

7.5 Schaller Bearomos

Schaller Automation on kehittänyt liukupintojen ja liukulaakereiden suojelemiseksi tarkkailevan järjestelmän. Sen toiminta perustuu lämpösähköiseen ilmiöön, jossa kahden metallin koskettaessa toisiaan niiden välille muodostuu termopari. Järjestelmä hälyttää, mikäli anturi havaitsee kampiakselin ja runkolaakerin välillä olevan öljykalvon rikkoutumisen. Tämän voi aiheuttaa esimerkiksi alhainen öljynpaine, ylikuumentunut öljy, lika tai metalli laakerivälilyksessä. Anturilta saatava hälytys voidaan kytkeä varoittamaan tai muihin mahdollisiin toimenpiteisiin koneen suojelemiseksi. (Woodyard 2009, 871.)

7.6 Amot XTS-W

Amotin kehittämä XTS-W on laakerin kulumista valvova järjestelmä. Se on suunniteltu kaksitahtikoneisiin ja väitetään osoittavan laakerin kulumisen lämpötilanmittausta tai öljysumuvaroitinta nopeammin. Sen toiminta perustuu mittaamalla ristipään ohjaimen pystysuuntaista etäisyyttä alakuolonkohdassa. Mittaamisella voidaan todeta runko-, kiertokangen alapään ja ristipään laakereiden kulumisen. Mikäli em. laakereissa tapahtuu kulumista, ohjaimen etäisyys laskee. Järjestelmä käsittelee anturilta saamansa tiedon ja kertoo käyttäjälle tilanteen graafisessa muodossa. (Woodyard 2009, 871.) *Tämän lisäksi järjestelmällä voidaan valvoa myös runkolaakerin lämpötiloja, vettä öljyn seassa sekä potkuriakselin ja rungon välistä sähköpotentiaalia, joilla kaikilla voi olla haitallinen vaikutus laakerin käyttöikänsä.* (Amot 2011, 6.)

8 YHTEENVETO

Insinööriyön tavoitteena oli käsitellä öljysumun ilmaisimia laivakäytössä. Aihe itsessään kasvoi kokonaisuudeksi, joka loogisesti käsitteli historiaa ja tilastotietoa ennen varsinaiseen asiaan menemistä. Pääaihe työssä oli öljysumun muodostuminen, havaitseminen ja sen mahdollisesti aiheuttamat vauriot. Opas käsittää myös aiheeseen liittyviä asetuksia sekä ongelman ratkaisua.

Tutkimuksessa selvisi, että tekniikka mahdollistaa asennuksesta riippuen tehokkaita työkaluja koneen toiminnan valvontaan ja muutoksien havaitsemiseen ennen varsinaisen onnettomuuden tapahtumista. Myös erinäisten mittalaitteiden käytöllä pystytään rajaamaan sekä selvittämään ongelmia. Polttomoottoritekniikan ja hyötysuhteiden kehittyessä sekä uusien polttoaineiden käyttöönotossa törmäämme auttamatta uusiin ongelmiin. Yhtäläillä tulevaisuudessa tulemme varmasti näkemään uusia menetelmiä ja tekniikoita ongelmien havaitsemiseen.

Työn tarkoituksena lukijalle ei ole antaa yksittäistä ohjeistoa, vaan ideoita joiden pohjalta muodostaa näkemys asiasta. Todellisen tilanteen uhatessa on syytä tiedostaa sen vaarallisuus ja kuinka asiaa voisi lähteä ratkaisemaan.

Lopputyön koostamisella on aina rajallinen aika ja siihen nähden lopputulos on mielestäni riittävä. Asiaan liittyvän luotettavan ja laaja-alaisesti käsittelevän materiaalin löytäminen oli haastavaa.

LÄHTEET

Amot. 2011. Amot XTS-W Bearing Condition Monitor -esite. Amot. Saatavissa: http://www.amot.com/tenants/amot/documents/xts-w_brochure_low_res.pdf [9.2.2016]

Bureau of ships. 2015. Diesel Engine Maintenance Training Manual. Bremen: Maritime press.

Bureau Veritas. 2016. Laivojen ja meriteknisten rakenteiden luokitus. Saatavissa: Bureau Veritas. www.bureauveritas.fi/services+sheet/laivojen_ja_meriteknisten_rakenteiden_luokitus [14.1.2016]

Challen, B. & Baranescu, R. 1999. Diesel Engine Reference Book. 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

CIMAC - The International Council on Combustion Engines. 2013. Guideline on the relevance of lubricant flashpoint in connection with crankcase explosions. The International Council on Combustion Engines. Saatavissa: http://www.cimac.com/cms/upload/workinggroups/WG8/WG8_Guideline_Investigation_Relevance_of_Lubricant_Flash_Point_in_Connection_with_Crankcase_Explosions.pdf [3.2.2016]

Crawford J. 2013. Marine and Offshore Pumping and Piping Systems. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

Danfoss. 2016. Pressure and temperature sensors and transmitters. Danfoss. Saatavissa: <http://sensors.danfoss.com/temperature-sensors/mbt5310/> [17.2.2016]

Flir. 2013. Thermal imaging for electrical / mechanical diagnostics -esite. Flir. Saatavissa: www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820483/T820483_EN.pdf [9.2.2016]

GB Board of Trade. 1948. Board of Trade wreck report for 'Reina del Pacifico', 1947. GB Board of Trade. Saatavissa: www.plimsoll.org/images/14197_tcm4-55899.pdf [13.1.2016]

Hoerbiger. 2009. Crankcase explosion relief valve -esite. Hoerbiger. Saatavissa: https://www.hoerbiger.com/upload/file/ev_dust_en.pdf [11.2.2016]

Holness M.H. & Smith B.J. 2002. Oil Mist and Machinery Space Fires. MARINE TECHNOLOGY Vol. 39, No. 1, January 2002

IACS. 2015. Requirements concerning machinery installations. International Association of Classification Societies. Saatavissa: http://www.iacs.org.uk/document/public/Publications/Unified_requirements/PDF/UR_M_pdf2793.pdf [28.3.2016]

IMO. 2009. MSC 1./Circ 1321 Guidelines for measures to prevent fire in the engine-rooms and cargo pump rooms. International Maritime Organization. Saatavissa: <http://www.mardep.gov.hk/en/msnote/pdf/msin0913anx1.pdf> [13.1.2016]

IMO. 2014. SOLAS Consolidated edition 2014. International Maritime Organization. London.

Infradex. 2016. Lämpökameran toiminta. Infradex Oy. Saatavissa: www.infradex.fi/yleistietoa/kuinka-lampokamera-toimii/ [9.2.2016]

Kidde Fire Protection. 2012. Graviner Mk7 Oil Mist Detection System -esite. Kidde Fire Protection. Saatavissa: www.tmh-eastmed.com/omd7_brochure.pdf [4.2.2016]

Kongsberg. 2005. Bearing Master -esite. Kongsberg. Saatavissa: [http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/DD04F6990A310A9EC125712400408692/\\$file/bmaster_ce.pdf](http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/DD04F6990A310A9EC125712400408692/$file/bmaster_ce.pdf) [5.2.2016]

Kongsberg. 2012. Sentry GB-200 Wireless Temperature Monitoring -esite. Kongsberg. Saatavissa: [http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/163EC92063150540C12577CB00279D78/\\$file/P-GB200_CE_D.pdf](http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/163EC92063150540C12577CB00279D78/$file/P-GB200_CE_D.pdf) [15.2.2016]

LLOYD'S. 2013. Lloyd's Register Rulefinder 2013 Version 9.20

MAN. 2009. MAN B&W S50MC-C7 Project Guide 6th edition. MAN SE. Saatavissa: http://www.mandieselturbo.com/download/project_guides_tier1/printed/s50mcc7.pdf [9.2.2016]

MAN B&W Diesel A/S. 2003. Crankcase Explosions in Two-stroke Diesel Engines. MAN SE. Saatavissa: www.mandieselturbo.com/files/news/files/3077/techarticle09-12-03.pdf [13.1.2016]

Marinediesels. 2016. Crankcase Explosions. Saatavissa: http://www.marinediesels.info/2_stroke_engine_parts/Other_info/Crankcase_Explosions.htm [4.2.2016]

Marine Engineering. 2016. Diesel Engine General, Crankcase explosions. Saatavissa: <http://www.marineengineering.org.uk/page29.html> [14.1.2016]

NSD. 1996. Sulzer ZA40S Manual. New Sulzer Diesel.

MTZ - Motortechnische Zeitschrift 62. Vol. 7/8 & 12. 2001 Measures to Limit the Latent Operational Danger of Large Marine Diesel Engines (above 2.25MW). Saatavissa: <http://www.schaller.de/nc/press.html?cid=180&did=185&sechash=608025ef> [28.1.2016]

Opetushallitus. 2016. Kunnossapito – menestystekijä, 5. Lämpökamera. Saatavissa: www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k5_lampokamera.html [9.2.2016]

Pyropress. 2010. Crankcase explosion relief valve -esite. The Pyropress Engineering Company Ltd. Saatavissa: <http://www.pyropress.com/files/Product/42/499-Data%20sheet.pdf> [11.2.2016]

QMI – Quality Monitoring Instruments Ltd. 2016. Saatavissa: www.oilmist.com/oil-mist/ [13.1.2016]

Raytek. 2012. The Principles of Noncontact Temperature Measurement. Raytek – Fluke process instruments. Saatavissa: support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/9250315_ENG_D_W.PDF [10.2.2016]

Russell P.A., Jackson L., Morton T.D. & Prince A. 2012. Motor Engineering Knowledge for Marine Engineers. London: Adlard Coles Nautical

Schaller. 2015. Schaller Visatron Operation Manual. Schaller Automation. Saatavissa: <http://www.schaller.de/nc/products/oil-mist-detector-visatron/product-range-vn93/manuals.html?cid=236&did=483&sechash=8f2c3b7a> [14.2.2016]

Schaller. 2016. Oil mist detector by Schaller Automation. Saatavissa: <http://www.schaller.de/products/oil-mist-detector-visatron.html> [12.2.2016]

Schaller A/S. 2016. 8.0 Guideline for the choose of oil mist sampling points in the crankcase compartment. Saatavissa: <http://www.schaller.de/products/oil-mist-detector-visatron/basics/basics/80-guideline-for-the-choose-of-oil-mist-sampling-points-in-the-crankcase-compartment.html> [4.2.2016]

Shell. 2003. Shell Gadinia Oil 30 Käyttöturvallisuustiedote. Shell. Saatavissa: www.motoral.fi/files/documents/kt/747436-20.pdf [14.1.2016]

Smith B.J. 1996. Oil mist detection in the atmosphere of the engine room. Saatavissa: <http://www.oilmist.com/wp-content/uploads/2015/08/OIL-MIST-DETECTION.pdf> [8.1.2016]

Smith B.J. 2002. Oil mist detection as an aid to monitor an engine's condition. Publication 524. Saatavissa: <http://www.oilmist.com/wp-content/uploads/2015/08/OIL-MIST-DETECTION-AS-AN-AID-TO-MONITORING.pdf> [28.3.2016]

Specsvision. 2008. Oil mist detector Vision 3A &3C -esite. Specs. Saatavissa: http://www.specs.co.kr/eng/skin/downloadfile/2008_OMD_Catalog_HP_Rev.2.pdf [9.2.2016]

Testo. 2013. Testo 835 Infrapunalämpömittari käyttöohje. Testo. Saatavissa: www.humitec.fi/wp-content/uploads/2015/01/testo-835_Käyttöohje.pdf [10.2.2016]

Wharton, A.J. 1991. Diesel Engines. 3rd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

Woodyard, D. 2009. Pounder's Marine Diesels and Gas Turbines. 9th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

Kuvalähteet

Kuva 1. Reina del Pacifico. Liverpoolships. 2016. (kuvaaja tuntematon) Saatavissa: <http://www.liverpoolships.org/media/images/user-images/18957/p1030234-1.jpg> [8.2.2016]

Kuva 2. Mineraaliöljysumun itsesyttymislämpötilat ja sekoitussuhde ilman kanssa. B. & Baranescu, R. 1999. Diesel Engine Reference Book. 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Kuva 3. Mahdollisia öljysumun aiheuttajia koneessa. Kidde Fire Protection. 2012. Graviner Mk7 Oil Mist Detection System. Kuvan kaappaus esityksestä. Saatavissa: www.tmh-eastmed.com/omd7_brochure.pdf [4.2.2016]

Kuva 4. Runkolaakerivaurio. MAIB. 2013. Safety Digest, Lessons From Marine Accident Reports 2/2013, Case 5, Mist-er Oil Filter. Kuvan kaappaus esityksestä. Saatavissa: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/373784/Safety_Digest_2-2013.pdf [8.2.2016]

Kuva 5. Öljysumun aiheuttanut vaurio letkussa. Smith B.J. 2009 QMI – Quality Monitoring Instruments. Kuvan kaappaus esityksestä. Saatavissa: www.ps.ic.ac.uk/44BS.pdf [10.2.2016]

Kuva 6. Sulzer ZA40 sylinterivuori männän kiinnileikkautumisen ja öljysumuräjähdyksen jälkeen. Marinediesels. 2016. Saatavissa: http://www.marinediesels.info/Horror%20Stories/CC_exp_ZA40_1.jpg [4.2.2016]

Kuva 7. Paine / aika diagrammi, jossa myös alipaineinen vaihe ensimmäisen räjähdysten jälkeen. Challen, B. & Baranescu, R. 1999. Diesel Engine Reference Book. 2nd edition. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Kuva 8. Schaller VN 215 / 93 öljysumuvaroitin. Stenman P. 2014.

Kuva 9. Graviner öljysumuvaroitin. 2016. TC Automation. Saatavissa: <http://www.tcautomation.gr/userfiles/image/%CE%A7%CF%89%CF%81%CE%AF%CF%82%20%CF%84%CE%AF%CF%84%CE%BB%CE%BF.png> [27.3.2016]

Kuva 10. Kampikammion räjähdysluukut. Stenman P. 2014.

Kuva 11. Räjähdysluukku. NSD - New Sulzer Diesel. 1996. Sulzer ZAL40S Manual.

Kuva 12. Infrapuna lämpömittari. Fluke. 2016. Saatavissa: <http://static.transcat.com/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/f/l/fluke-572-2-1000x1000.jpg> [9.2.2016]

Kuva 13. Lämpökamera. Therapy products. 2016. Saatavissa: <https://therapy-products.net/prodimages/Flir-E8.gif> [27.3.2016]

Kuva 14. Lämpökameralla otettu kuva indikointihanasta. Vasemmalla eristyshuppu, oikealla puolella ilman eristyshuppua. Stenman P. 2016.

Kuva 15. Langaton kiertokangen laakerin lämpötilamittaus. Woodyard, D. 2009. Pounder's Marine Diesels and Gas Turbines. 9th edition. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

Kuva 16. Sentry toimintaperiaate. Kongsberg. 2016. Saatavissa: [http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0239.nsf/obj/sentry-500x257.gif/\\$File/sentry-500x257.gif](http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0239.nsf/obj/sentry-500x257.gif/$File/sentry-500x257.gif) [10.2.2016]

Taulukko 1. Aineiden emissiivisyyksiä. Kooste taulukosta. Fluke. 2007. Emissivity values of common materials. Saatavissa: support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/30383318_6251_ENG_A_W.PDF [2.2.2016]