



Tutkintaselostus

D14/2008M

Kahden henkilön tajunnan menetys lastitankissa 4.11.2008 säiliöaluksella

Tämä tutkintaselostus on tehty turvallisuuden parantamiseksi ja uusien onnettomuuksien ennalta ehkäisemiseksi. Tässä ei käsitellä onnettomuudesta mahdollisesti johtuvaa vastuuta tai vahingonkorvausvelvollisuutta. Tutkintaselostuksen käyttämistä muuhun tarkoitukseen kuin turvallisuuden parantamiseen on vältettävä.

Onnettomuustutkintakeskus
Centralen för undersökning av olyckor
Accident Investigation Board

Osoite / Address: Sörnäisten rantatie 33 C **Address:** Sörnäs strandväg 33 C
FIN-00500 HELSINKI 00500 HELSINGFORS

Puhelin / Telefon: (09) 1606 7643
Telephone: +358 9 1606 7643

Fax: (09) 1606 7811
Fax: +358 9 1606 7811

Sähköposti: onnettomuustutkinta@om.fi tai etunimi.sukunimi@om.fi
E-post: onnettomuustutkinta@om.fi eller förnamn.släktnamn@om.fi
Email: onnettomuustutkinta@om.fi or first name.last name@om.fi

Internet: www.onnettomuustutkinta.fi

Henkilöstö / Personal / Personnel:

Johtaja / Direktör / Director Tuomo Karppinen

Hallintopäällikkö / Förvaltningsdirektör / Administrative Director Pirjo Valkama-Joutsen
Osastosihteeri / Avdelningssekreterare / Assistant Sini Järvi
Toimistosihteeri / Byråsekreterare / Assistant Leena Leskelä

Ilmailuonnettomuudet / Flygolyckor / Aviation accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Air Accident Investigator Hannu Melaranta (vv)
sij. Markus Bergman

Erikoistutkija / Utredare / Air Accident Investigator Tii-Maria Siitonen

Raideliikenneonnettomuudet / Spårtrafikolyckor / Rail accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Rail Accident Investigator Esko Värttiö
Erikoistutkija / Utredare / Rail Accident Investigator Reijo Mynttinen

Vesiliikenneonnettomuudet / Sjöfartsolyckor / Marine accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Marine Accident Investigator Martti Heikkilä
Erikoistutkija / Utredare / Marine Accident Investigator Risto Repo

Muut onnettomuudet / Övriga olyckor / Other accidents

Johtava tutkija / Ledande utredare / Chief Accident Investigator Kai Valonen

TIIVISTELMÄ

Säiliöaluksella suoritettiin 4.11.2008 tankkien pesun jälkeistä viimeistelyä lastitankeille. Kaksi kansihenkilökuntaan kuuluvaa henkilöä meni lastitankkiin kuivaamaan lastalla lastitankin pohjaa sekä tyhjentämään lastipumpun kaivoa. Noin klo 10.10 toinen heistä hälytti ns. luukkuvahdin radiopuhelimella ja ilmoitti toisen henkilön menettäneen tajunnan lastitankin pohjalla. Hyvin nopeasti tämän jälkeen menetti hän itsekin tajunnan. Kummatkin saatiin pelastettua tankista klo 10.38 ja klo 10.47 aluksen henkilökunnan ripeän toiminnan avulla.

Johtopäätöksenä on todettava, että tapaukselle ei ole löydettävissä yksiselitteistä ja selkeää syytä tai syy-yhteyttä. Lastiin kuljetuksen aikana lisätyn aineen ominaisuuksista ei ollut riittävästi tietoa. Tutkinta osoitti, että miehistön toiminta oli senhetkisten tietojen ja ohjeiden mukaista. Varustamon tutkinta toi esiin puutteita menettelytavoissa joiden perusteella annettiin sisäisiä suosituksia. Ne ovat luetteloitu tämän selostuksen suositus osiossa. Riittämätöntä pesua ja tuuletusta voidaan pitää myötävaikuttaneina tekijöinä. Tutkijan mielestä tulisi tuuletuksen varmistamiseen kiinnittää enemmän huomiota.

SUMMARY

After tank cleaning on a tanker 4.11.2008 the crew was finalising the tanks for the next cargo. Two deckhands went into a cargo tank in order to sweep the bottom and drain the cargo pumpwell. At about 10.10 the one alerted the watchman at the hatch by walkie-talkie and reported that the other had lost unconsciousness in the tank bottom. Shortly after this also he lost unconsciousness. Both of the crewmembers were rescued from the tank by efficient crew action.

As a conclusion it can be mentioned that there no definite and clear reason or causal connection was found. The MSDS of the 2-Ethylhexyl nitrate did not contain enough information. The investigation did prove that the actions of the crew were in accordance with their present knowledge and instructions. The company investigation brought up some deficiencies in the procedures, thus some internal recommendations were issued by the investigators. Insufficient ventilation and wash could some the contributing factors. According to the investigator, more focus attention should be paid on the ventilation.



KÄYTETYT LYHENTEET

EEBD	Emergency escape breathing device, hätäpoistumishengityslaite
IMO	International Maritime Organisation
ISGOTT	International Safety Guide for OIL Tankers and Terminals (ohje on laadittu Oil Companies International Marine Forum'in, OCIMF, toimesta)
LEL	Lower explosion limit
MAIIF	Marine Accident Investigation International Forum
MSDS	Material safety data sheet
PPM	Parts per million
O ₂	Happi
HC	hiilivety
CO	hiilimonoksidi
H ₂ S	rikkivety

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	I
SUMMARY	I
KÄYTETYT LYHENTEET	II
ALKUSANAT	V
1 TAPAHTUMAT JA TUTKIMUKSET	1
1.1 Kemikaali / tuotesäiliöalus	1
1.1.1 Yleistiedot	1
1.1.2 Miehitys	1
1.1.3 Muut järjestelmät	2
1.1.4 Lasti	2
1.1.5 Lisäaineen lisääminen matkan varrella	2
1.1.6 Lastin purkaminen	3
1.2 Onnettomuustapahtuma	3
1.2.1 Lastitankkien pesu ja tuuletus	3
1.2.2 Työkohteet tapahtumapäivänä	5
1.2.3 Työnjakotilaisuus	5
1.2.4 Tankkiin menon valmistelu	5
1.2.5 Tankissa työskentely	6
1.2.6 Tapahtuma	7
1.2.7 Tapahtumapaikka	7
1.2.8 Sääolosuhteet	7
1.2.9 Henkilövahingot	7
1.2.10 Rekisteröintilaitteet	8
1.3 Pelastustoiminta	8
1.3.1 Hälytystoiminta	8
1.3.2 Pelastustoiminnan käynnistyminen ja toiminnan arviointi	8
1.3.3 Ensiapu	12
1.3.4 Tiedonkulku	12
1.4 Tehdyt erillisselvitykset	13
1.4.1 Tutkimukset onnettomuusaluksessa ja tapahtumapaikalla	13
1.4.2 Varustamon asiantuntijoiden käyttämät tutkintalinjat	13
1.5 Toimintaa ohjaavat säädökset ja määräykset	15



1.5.1	Kansallinen lainsäädäntö	15
1.5.2	Operaattorin määräykset.....	15
1.5.3	Kansainväliset sopimukset ja suositukset	15
2	ANALYYSI.....	17
2.1	Välittömät syyt	17
2.1.1	Lisäaine sedimenttiin sitoutuneena	17
2.1.2	Hengityssuojaimen suojauskyky mitätöityi vuodon takia	17
2.1.3	Tuuletus vain suojakaasulaitteen tuulettimella	17
2.2	Piilevät syyt.....	19
2.2.1	Lisäaine sedimenttiin sitoutuneena	19
2.2.2	Hengityssuojaimen suojauskyky mitätöityi vuodon takia	19
2.2.3	Tuuletus vain suojakaasulaitteen tuulettimella	20
3	JOHTOPÄÄTÖKSET	23
4	TURVALLISUUSSUOSITUKSET	25

LÄHDELUETTELO

LIITTEET

- Liite 1. IMO Resolution A 864(20) Recommendations for entering enclosed spaces aboard ship was adopted at twentieth Assembly on 27 November 1997.
- Liite 2. DSC 14/INF.9 17 July 2009 Revision of the recommendations for entering enclosed spaces aboard ships. (MAIIF information paper)
- Liite 3. Varustamon tekemä tutkielma tankin tuuletuksesta AI9000

ALKUSANAT

Onnettomuustutkintakeskus sai tiedon tästä suljetussa tilassa sattuneesta työtapaturmasta keväällä 2009 ja Onnettomuustutkintakeskuksen erikoistutkija oli yhteydessä varustamoon saaden alustavaa suullista tietoa tapahtumasta. Varustamo ilmoitti tutkivansa tapauksen turvallisuusjohtamisjärjestelmän edellyttämällä tavalla. Onnettomuustutkintakeskus sai varustamon kattavan tutkintaraportin.

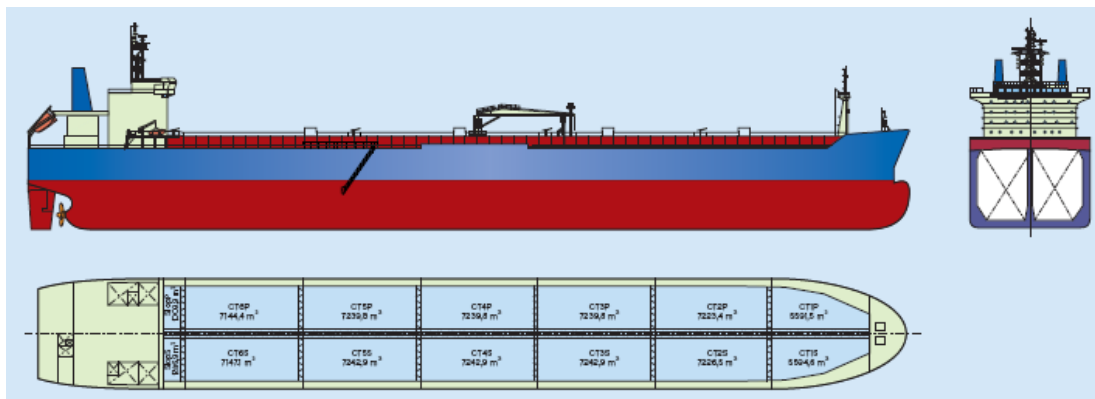
Suljetussa tilassa työskentely edellyttää ennalta suunniteltuja varotoimia sekä riittävää suljetun tilan tuuletusta. Suljetussa tilassa työskentelyä tapahtuu yleisesti lähes kaiken tyyppisillä aluksilla joten Onnettomuustutkintakeskus katsoo että tämän tapauksen julkistamisella on yleiseen turvallisuuden vaikuttavia seikkoja.

Loppukesästä 2009 Onnettomuustutkintakeskus sai varustamolta luvan hyödyntää heidän raporttiaan laatiessaan tapauksesta OTKES:in kaavan mukaisen tutkintaselostuksen. Tutkintaselostus perustuu pääosin varustamon tutkijoiden sisäiseen raporttiin. Edellä mainitun lisäksi varustamo toimitti tutkijoille teettämänsä tankkituuletus tutkielman. liite 3.

Kansainvälinen merionnettomuustutkijoiden yhteistyöorganisaatio, MAIIF, on tehnyt selvityksen 101:stä suljetun tilan onnettomuudesta jotka ovat aiheuttaneet 93 kuolemaa ja 96 loukkaantumista vuodesta 1997 lähtien. Näistä onnettomuuksista 25 sattui säiliöaluksilla. Tämä selvitys on annettu kv. merenkulkujärjestö IMO:n DSC alakomitealle (Dangerous goods, Solid cargoes and Containers), liite 2.

1 TAPAHTUMAT JA TUTKIMUKSET

1.1 Kemikaali / tuotesäiliöalus



Kuva 1. Aluksen tankkikaavio.

1.1.1 Yleistiedot

Valmistusvuosi	2007
Suurin pituus	228,50 m
Leveys	32,24 m
Syväys	14,70 m
Kuollut paino	74999 t
Korkeus kölistä mastoon	53,48 m
Brutto	42810
Netto	21999

1.1.2 Miehitys

Suoraan osallisena olleiden työkokemus yhtiössä, ko. alustyyppissä ja toimessa selviää alla olevasta taulukosta.

Taulukko 1. Henkilöstön työkokemus (31.10.2008).

Toimi	Syntymävuosi	Kokemus yhtiössä (vuotta)	Kokemus aluksella (vrk)	Kokemus toimessa (vrk)
Päällikkö	1968	20,7	655	1355
Yliperämies	1952	3,8	310	310
Kansimies MM	1972	3,2	93	1133
Kansimies LL	1970	8,7	13	2203

Kaikilla osallisilla oli kirjanpidon mukaan lähes normaalisti lepoa edellisen vuorokauden aikana. Edellisinä päivinä henkilöt olivat olleet tankkien pesutöissä, jolloin heidän työajat olivat normaalia pitempiä. Haastatteluissa tai kirjanpidon perusteella ei tullut ilmi kenenkään terveystilanteesta tai vireystilassa mitään poikkeavaa.

1.1.3 Muut järjestelmät

Suojakaasulaitoksen, jota käytetään myös lastitilojen tuuletukseen, puhaltimen teho on 7500 m³/h.

1.1.4 Lasti

Alus lastasi 27.9.–6.10.2008 vähärikkistä dieselöljyä ja kaasuöljyä kahdessa eri sata-massa.

27-30.9	Low Sulphur Diesel		
	Ultra Low Sulphur Diesel	yhteensä	n 27850 m ³
3-5.10	Gas Oil		n 48100 m ³

Matkaohjeiden mukaan lastit sekoitettiin tasaisesti kaikkiin lastitankkeihin (1-6 P&S) ja jälkimmäisessä satamassa lastauksen aikana lastia kierrätettiin eli lastit sekoitettiin keskenään. Haastattelujen perusteella lastaukset sujuivat normaalisti. Toisessa lastaus-satamassa pumpattiin 2–3 maatankista ns ”pohjia” eli maatankit tulivat tyhjiksi. Tämä ilmoitettiin myös maista alukselle. Lastista otettiin näytteet normaalisti.

1.1.5 Lisäaineen lisääminen matkan varrella.

Alus ankkuroi matkan varrella 21.10.2008 ja alukselle tuli kaksi henkilöä maista, jotka suorittivat lisäaineen lisäämisen tankkeihin. Lisäainetta käytetään yleisesti dieselöljyn setaaniluvun¹ parantamiseen.

Lisäaine RV-100

Määrä yhteensä 45 000 ltr

Lisäaine tuotiin alukselle proomulla 1000 litran säiliöissä. Lisäaine lisättiin näytteenotto-aukon kautta. Lisäaineen lisääminen lastitankkeihin aloitettiin keulasta (1 P&S) ja lopetettiin perän tankkeihin (6 P&S). Lisäaineen tankkeihin lisäämisen jälkeen lastia kierrätettiin jokaisessa tankissa noin 4 tuntia lisäaineen sekoittumisen varmistamiseksi. Kierrätys tehdään pumppaamalla lastia tankista putkistoon ja takaisin. Sekä imu että paluu ovat tankin pohjalla. Haastattelujen perusteella toiminta oli ammattimaista. Aluksen henkilökunta ei osallistunut lisäaineen lisäämiseen. Lisäainetta lisättiin lastiin noin 600 ppm:ää vastaava määrä.

Aluksella ei ollut aikaisemmin tehty vastaavanlaisia lisäaineen lisäämisiä.

¹ Dieselöljyn syttymisherkkyyttä ilmaiseva luku.

1.1.6 Lastin purkaminen

Lasti purettiin kahteen satamaan.

28–29.10.2008: purettu lasti noin 37969 m³.

31.10–1.11.2008: purettu lasti noin 37122 m³

Haastattelujen perusteella lastia oli kierrätetty lisääneen lisäämisen jälkeen. Samoin lastia kierrätettiin rahtaajan matkaohjeiden mukaan 5 tuntia ennen saapumista ensimmäiseen purkaussatamaan.

Lastin purkaminen sujui haastattelujen mukaan normaalisti. Suojakaasun.(inert kaasu) tuottamissa ilmeni ongelmia jotka eivät kuitenkaan vaikuttaneet tähän työtapaturmaan.

1.2 Onnettomuustapahtuma

1.2.1 Lastitankkien pesu ja tuuletus

Purkauksien jälkeen alus alkoi valmistella lastitankkeja (1 P&S, 3 P&S, 6 P&S) seuraaville lasteille. Rahtaajan pesuohjeet tankeille:

Taulukko 2. Pesuohjelma

Tankit	Seuraava lasti	Pesu
1 P, 1 S	Mogas (Motor Gasoline)	2 h pesu (pesuohjelma 110° - 0° ja 40° - 0°) 50°C merivesi, linjojen tyhjennys, tankkien lastoitus (moppaus)
3 P, 3 S	Jet A-1 (Lentopetroli)	2 h pesu (pesuohjelma 110° - 0° ja 40° - 0°) 50°C merivesi, linjojen tyhjennys, tankkien lastoitus (moppaus) 30 min makeavesihuuhtelu
6 P, 6 S	Jet A-1 (Lentopetroli)	2 h pesu (pesuohjelma 110° - 0° ja 40° - 0°) 50°C merivesi, linjojen tyhjennys, tankkien lastoitus (moppaus) 30 min makeavesihuuhtelu

Tankit pestiin suunnitelman mukaisesti. Pesuvettä ei kierrätetty eli koko ajan pestiin puhtaalla vedellä.

Pesuun käytetty vesimäärä (merivesi) 200 m³ (~33 m³/tankki)

Pesuun käytetty vesimäärä (makeavesi) 90 m³ (~22,5 m³/tankki)

Lastitankki 6 S tilavuus (100 %) 7147 m³



Tankkien tuuletukseen käytettiin vesituulettimia (painevedellä toimiva tuuletus) vain tankeissa 1 P&S, 3 S sekä suojakaasulaitteiston tuuletinta tankeissa 3 P, 6 P, **6 S**. Suojakaasulaitteistolla tuuletetut tankit tuuletettiin lastilinjan kautta, jolloin raitisilma menee tankkiin syöksyventtiin kautta tankin pohjalle. Suojakaasulinja yhdistettiin kannella ns. "spool piece" putkella lastilinjaan. Vesituulettimia ei käytetty kolmeen viimeiseen tankkiin (3 P, 6 P, **6 S**), koska alus oli rantavaltion läheisyydessä, eikä alukselta haluttu veden virtaavan näkyvästi kannelta mereen.

Taulukko 3. Tankkien tuuletusajat.

Tankki	Tuuletus alkoi	Tuuletus loppui
3 P	2.11 klo 1810	4.11 klo 0755
6 P	2.11 klo 2400	4.11 klo 0905
6 S	2.11 klo 2400	5.11 klo 1205

Tankin ollessa valmis, kyseisen tankin syöksyventtiili suljettiin eli esimerkiksi 3 P tankin tuuletus lopetettiin 4.11 klo 07.55 ja tuuletus jatkui tankkeihin 6 P ja 6 S jne.

Tuuletus oli pysäytettynä ainoastaan mittauksien aikana.

Suojakaasulaitteiston kapasiteetti oli **7500** m³ / h.

Lastitankit 1 P&S sekä 3 S saatiin valmiiksi (pesu, tuuletus, viimeistely) 3.11 ja jäljelle jääneiden tankkien (3 P, 6 P, **6 S**) viimeistelyä päätettiin jatkaa myöhemmin.

Haastattelujen perusteella toinen kansimiehistä muisti että 3 S tankkiin mentäessä 3.11 oli silmiä hiukan kirvellyt. Hän oli myös kysynyt toiselta kansimieheltä "mitä mittari näyttää?", jolloin toinen oli vastannut että "LEL 15"². Lukuarvo oli liian korkea ja kansimiehet poistuivat välittömästi tankista. Lukuarvon pitäisi olla alle 1%.

Lastitankkia **6 S** tuuletettiin suojakaasulaitteiston tuulettimella. Tankkiin ohjattiin tuuletus ilmaa samanaikaisesti kahden muun tankin kanssa. Tuuletusilma ohjattiin ainoastaan tankkiin **6 S** vain 50 minuutin ajan ennen tankkiin menoa.

² LEL = Lower Explosion Limit, alempi syttymisraja.

1.2.2 Työkohteet tapahtumapäivänä

Alus jäi ankkuriin 4.11 aamulla klo 05:15 ja tankkien 3S, 6P ja **6S** viimeistelytöitä päätettiin jatkaa samana aamuna.

Taulukko 4. Tankkiin menoloki 4.11.2008

Tankki	Suljettu tila lupa myönnetty	Työt aloitettu tankissa	Tankkiin meno	Tankista ulos
3P	07:00	07:10	07:10 (kansimies MM) 07:14 (kansimies LL)	07:50 07:45
6P	08:10	08:15	08:15 (kansimies MM) 08:35 (kansimies LL) 08:35 (kansimies MM)	08:25 09:00 08:55
6S	09:10	09:55	09:55 (kansimies MM) 09:55 (kansimies LL)	10:38 10:47

1.2.3 Työnjakotilaisuus

Yliperämies piti normaalin työnjakotilaisuuden ennen töiden aloittamista. Kokoukseen osallistuivat koko kansimiehistö lukuun ottamatta 12-4 kansivahtia. Huomioitavaa on, että kannella apumiehenä työhön osallistunut moottorimies ei osallistunut työnjakotilaisuuteen.

Työnjakotilaisuus vietiin läpi laivan omien käytäntöjen mukaisesti.

1.2.4 Tankkiin menon valmistelu

Suljetun tilan työhön valmistauduttiin pääsääntöisesti yhtiön ohjeistuksen mukaisesti. Aluksella oli käytössä laivalla tehty ”Tankkityösuunnitelma” -asiakirjamalli, johon työ oli suunniteltu. Suljetun tilan lupakaavake oli täytetty asianmukaisesti.

Varustamon riskienarviointikaavaketta ei käytetty tehtävään valmistauduttaessa, koska kahden edellä mainitun kaavakkeen katsottiin täyttävän tarpeen. Vaatimus riskien arvioinnista perustuu työturvallisuuslainsäädäntöön³ ja kansainväliseen säädöstöön (IMO Resolution 864(20) Parag. 3 Assessment of risk) sekä säiliöalusvarustamoiden omiin ohjeisiin (ISGOTT 9.2.1 Assessment of risk; International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals).

³ Työturvallisuuslaki 738/2002 10§ Työn vaarojen selvittäminen ja arviointi:

Työnantajan on työn ja toiminnan luonne huomioon ottaen riittävän järjestelmällisesti selvítettävä ja tunnistettava työstä, työtilasta, muusta työympäristöstä ja työolosuhteista aiheutuvat haitta- ja vaaratekijät sekä, milloin niitä ei voida poistaa, arvioitava niiden merkitys työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle...

Valmistautumista johti yliperämies. Päällikkö oli tietoinen ja hyväksynyt kaikki tähän tapaukseen liittyvät suljetun tilan työt.

Tankkien tuuletus onnettomuustankkiin **6S** oli yhtäjaksoisesti päällä 34 tuntia 10 minuuttia, lukuun ottamatta tankkien mittauksia (ks. Tankkien pesu ja tuuletus). Tankkia **6S** tuuletettiin suojakaasulaitteiston tuulettimella. Tankkiin ohjattiin tuuletusilmaa samanaikaisesti kahden muun tankin kanssa. Tuuletusilma ohjattiin ainoastaan tankkiin **6S** vain 50 minuutin ajan ennen tankkiin menoa.

Molemmilla henkilöillä oli käytössä työtehtävään sopivat suojarusteet:

- kypärä
- haalarit
- suojajalkineet (kumisaappaat)
- suojakäsineet (kemikaalisuojakäsineet)
- puolinaamari varustettuna hiilivetysuodattimella (aktiivihiihi)
- putoamissuojainvaljaat

Molemmilla oli mukana vyöllään myös hätäpoistumishengityslaite, "pakopullo", (Ocenco M-20.2 EEBD).

Silmäsuojainten käytöstä ei tapaukseen liittyen ole tietoa.

Luukkuvahdina toimi puolimatuusi, 8-12 kansivahtimies. Hänelle oli annettu tehtäväksi toimia luukkumiehenä ja pitää yllä yhteyttä tankissa työskenteleviin.

Tankin ulkopuolella oli lisäksi avustamassa työilman virtauksen säädössä ja paineilma-käyttöisen kalvopumpun poistoletkun ohjaajana moottorimies. Hän ei ollut osallistunut kansiosaston työnavauskokoukseen eli hänelle ei ollut kuvattu mitään tähän tankkien pesuun ja suljettuun tilaan liittyviä toimia.

1.2.5 Tankissa työskentely

Kansimiehet MM ja LL menivät tapahtumapäivänä tankkeihin (3P, 6P, **6S**) tarkoituksenaan lastoittaa (mopata) kuivaksi lastitankin pohjalta mahdolliset pesuveden jäämät sekä tyhjentää lastipumpun kaivo. Kaikkien tankkien ilmatilat oli mitattu⁴ ennen niihin menoa ja näiden perusteella ei estettä tankkeihin menoon ollut.

Lastitankin 3P yhteydessä ei havaittu mitään poikkeavaa.

Lastitankin 6P työt sujuivat muuten normaalisti, mutta kansimies MM ja luukkuvahdin haastattelujen perusteella kansimies MM:llä oli jonkin verran ärsytystä kurkussa ja silmiä oli kirvellyt vähän. Miesten poistuttua tankista 6P jälkeen tuuletusilmaa johdettiin 50 minuutin ajan ainoastaan tankkiin **6S** suojakaasulaitteiston puhaltimella.

⁴ ISGOTT 8.2.2.2 Enclosed space monitoring. IMO Resolution A 864(20) parag.6. Testing the atmosphere. Liite 1.

1.2.6 Tapahtuma

Molemmat kansimiehet siirtyivät tauon jälkeen jatkamaan töitä seuraavaan eli viimeiseen lastitankkiin (**6S**). Kansimies MM tyhjensi lastipumpun kaivoa paineilmatoimivaan pumppuun kytketyllä letkulla. Hänellä oli monikaasumittari toisessa ranteessa. Kansimies LL hoiti lastoituksen (moppaus).

Haastattelujen perusteella pesujäämiä (sedimentti) oli noin 3-5 metrin säteellä lastipumpun kaivosta ja jäämäkerroksen paksuus noin 1 mm. Lastipumpun kaivoon oli luonnollisesti kerääntynyt enemmän sedimenttiä. Jäämäkerrosta kuvailtiin "liejumaiseksi". Sedimentistä onnettomuuden jälkeen otetusta näytteestä mitattiin 2EHN lisäaineen (2-etyyliheksyyliinitraatti) pitoisuudeksi 70 ppm. (Lastiin sekoitetun lisäaineen pitoisuus oli 600 ppm.)

Yhteydenpito luukkuvahdin kanssa oli lähes jatkuvaa radiopuhelimen välityksellä.

Noin 15 minuutin tankissa olon jälkeen kansimies LL oli "tuupannut" toista kansimiestä ja todennut että "nyt pitää lähteä". Hän ehti ottaa kaiteista kiinni ja samalla hän menetti tajuntansa lastitankin pohjalla. Kansimies MM hälytti välittömästi luukkuvahdina toimineen 8-12 kansivahdin ja ilmoitti että "kansimies LL kaatui, tarvitaan apua". Hän otti kansimies LL:n pakopullon tarkoituksenaan antaa happea hänelle. Hän sai aukaistua pakopullon, jonka jälkeen yritti vielä lukea englanninkielisiä ohjeita. Hän ei oman kertomuksen mukaan ymmärtänyt ohjeita. Tämän jälkeen hänen seuraavat muistikuvansa ovat kannelta.

Kummankin kansimiehen haastattelujen perusteella tajunnan menetykset tapahtuivat erittäin nopeasti. Haastattelujen perusteella mittarit eivät hälyttäneet.

1.2.7 Tapahtumapaikka

Alus oli ankkuroituna 4.11.2008 klo 05.15–16.10.

1.2.8 Sääolosuhteet

4.11 2008 klo 06.00:

Selkeä
Heikkoa tuulta, vaihteleva suunta (Var 2 m/s)
Lämpötila +18 °C
Ilmanpaine 1016 mbar

1.2.9 Henkilövahingot

Kansimies MM lähetettiin 4.11 sairaalaan tarkkailtavaksi. Hän lensi kotimaahan 5.11 ja takaisin alukselle yhdessä varustamon tutkintaryhmän kanssa 9.11.2008.

Kansimies LL jäi alukselle ja jatkoi seuraavana päivänä omasta halustaan kevyellä työllä.

1.2.10 Rekisteröintilaitteet

Tankin ilmatilan mittaukseen käytettiin seuraavia laitteita:

- Henkilökohtainen mittari RIKEN GX-2001A
 - mittaa seuraavia pitoisuuksia: O₂, HC, CO, H₂S
 - mittari kalibroitu 1.8.2008
- kannella RIKEN RX-517
 - mittaa HC, O₂, H₂S
 - 30 m letku (letku mahdollistaa mittauksen tankin pohjalta)
 - mittari kalibroitu 1.8.2008

Henkilökohtaiset mittarit mittaavat jatkuvasti. Kannella olleella mittarilla mitattiin pitoisuudet ennen tankkiin menoa ja tankissa työskentelyn aikana. Mittauksista pidettiin pöytäkirjaa.

1.3 Pelastustoiminta

1.3.1 Hälytystoiminta

Luukkuvahtina toiminut 8-12 kansivahti hälytti noin klo 10.10 lastivalvomossa työtä valvoneen yliperämiehen radiopuhelimella, joka hälytyksen saatuaan ilmoitti välittömästi komentosillalle. Yliperämies siirtyi tämän jälkeen tapahtumapaikalle.

1.3.2 Pelastustoiminnan käynnistyminen ja toiminnan arviointi

Apumiehenä toiminut moottorimies kuuli ensimmäisen hälytyksen luukkuvahdin radiopuhelimesta ja tämän kuultuaan hän puki välittömästi ilman eri käskyä ylleen paineilmalaitteet ja meni lastitankkiin. Oman kertomuksensa mukaan hän on ollut alhaalla tankissa noin 1½ minuutissa. Kyseinen moottorimies oli kokenut paineilmalaitteiden käyttäjä. Huomioitavaa on kuitenkin se, että tämä oli hänen ensimmäinen kertansa lastitankissa sekä se ettei häntä ollut nimetty pelastajaksi mahdollisessa tapahtumassa. Huolimatta edellä mainituista seikoista, tankkiin meno sujui erittäin ripeästi ja määrätietoisesti.

Aluksen päällikkö hälytettiin puhelimella ja hän siirtyi välittömästi komentosillan kautta tapahtumapaikalle. Paineilmalaitteilla varustautunut moottorimies oli tuolloin jo tankissa.

Välittömästi päällikön hälyttämisen jälkeen aluksen lääkintäperämies herätettiin ja hän siirtyi tapahtumapaikalle ensiapuvälineiden kanssa. Tapahtumapaikalla sovittiin että hän varustautuu paineilmalaitteilla ja siirtyy moottorimiehen avuksi lastitankkiin. Hän meni lastitankkiin klo 10.15.

Aluksen henkilökunta hälytettiin yleiskuulutuksella.

Lähes koko aluksen henkilökunta siirtyi kuulutuksen (hälytyksen) jälkeen tapahtumapaikalle. He alkoivat valmistella kansimiesten nostoa tankista ja ensiapua.

Haastattelujen perusteella yliperämies johti toimintaa kannella.

Päällikkö siirtyi takaisin komentosillalle ja otti yhteyden paikalliseen agenttiin (klo 10:20) ja varustamoon (klo 10:30).

Moottorimies oli yrittänyt laittaa tankissa hätäpoistumishengityslaitteet, "pakopulot", (EEBD) kummallekin kansimiehelle siinä kuitenkaan onnistumatta. Pakopullon suukappale on "snorkkeli mallinen" joka pitää laittoa suuhun ja puristaa hampailla yhteen eli tajuuttomina olleet kansimiehet eivät voineet tehdä tätä. Hän sai kuitenkin pullo auki ja oman kertomuksen mukaan kansimiehet saivat "ainakin jonkin verran ilmaa" pakopulloista.



Kuva 2. Pakopullo (EEBD) Ocenco M-20.2 puettuna (kuva on valmistajan www-sivuilta)

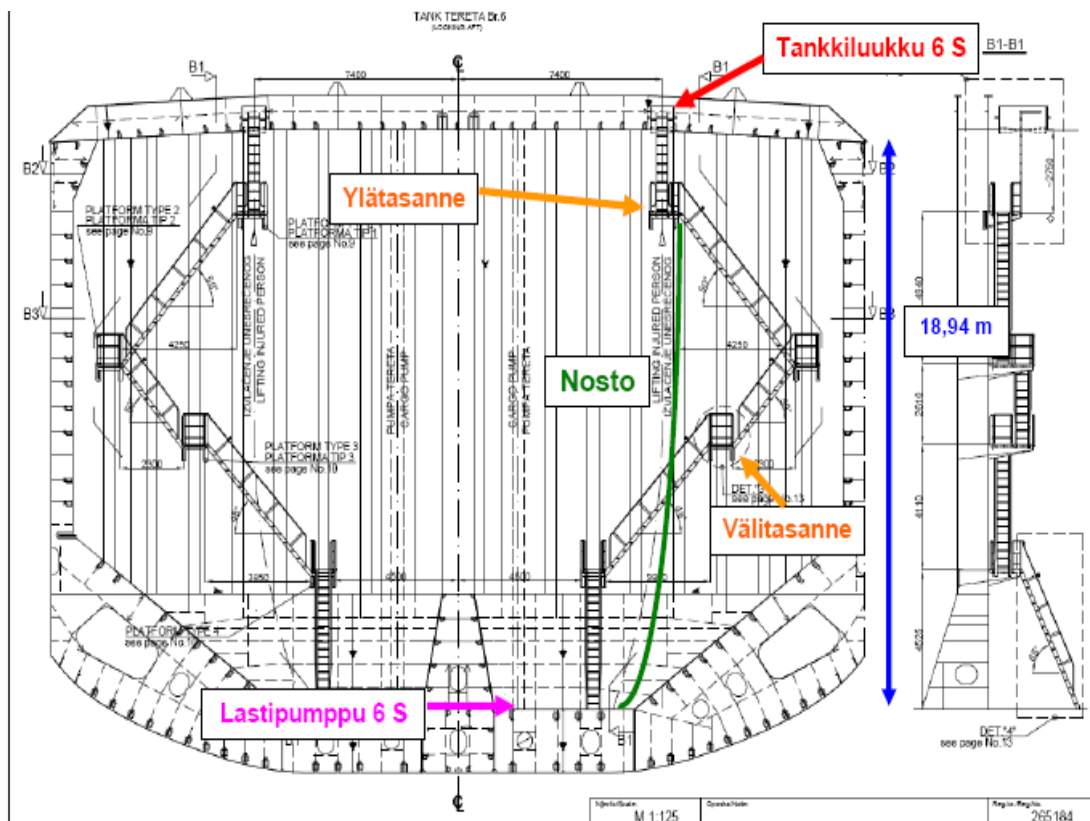
Kansimies MM putoamissuojainvaljaat kiinnitettiin ensin putoamisen estämiseen tarkoitettuun turvatarrainen vaijeriin (jojo). Tämä kuitenkin huomattiin nopeasti ja vaihdettiin varsinaiseen nostoon tarkoitettuun vaijeriin. Haastattelujen perusteella tässä meni ylimääräistä aikaa "jokunen minuutti". Moottorimiehen paineilmalaitte hälytti ja hän poistui tankista. Moottorimies antoi paineilmalaitteen korjausmiehelle, joka pullojen vaihdon jälkeen siirtyi välitasanteelle auttamaan nostossa. Kansimies MM saatiin kannelle klo 10:38. Varsinainen nosto alhaalta ylös kesti noin 5 minuuttia.

Nostovaijeri laskettiin alas uudestaan ja kiinnitettiin kansimies LL putoamissuojainvaljaisiin ja hän oli kannella klo 10:47. Toisessa nostossa korjausmies auttoi kansimies LL:n kiinnittämisessä tankin pohjalla ja konepäällikkö oli auttamassa nostoa vaijerista vetäen välitasanteella.

Viimeinen henkilö poistui tankista klo 10.48.

Kokonaisaika hälytyksestä molempien potilaiden kannelle nostoon kului aikaa noin 37 minuuttia.

Haastattelujen mukaan tankissa ollut pelastushenkilöstö ei kuullut tankissa ollessaan mittarien hälytysääniä. Erään kannella olleen haastattelun mukaan ”sieltä mahdollisesti kuului hälytysääni”. Olemassa olevien tietojen perusteella ei ole mahdollista päätellä hälyttikö käytössä ollut kaasumittari.



Kuva 3. Tankista nostaminen.



Kuva 4. Kolmijalka ja vinssi lastitankki 6 S tankkiluukulla



Kuva 5. Nostossa käytetty vinssi

1.3.3 Ensiapu

Ensiapu aloitettiin välittömästi ensimmäisen kansimiehen noston jälkeen. Potilaat siirrettiin noston jälkeen välittömästi varjoon ja heille annettiin happea. Lääkehappi loppui alukselta klo 10.50, 12 minuuttia ensimmäisen potilaan kannelle noston jälkeen.

Alus yritti pyytää lääkäriapua rannikkoaseman kautta. Rannikkoasema ei vastannut. Apuun saatiin paikallisten venemiesten esimies, joka lopulta sai yhteyden rannikkoasemaan klo 10.50.

- Klo 10.50 varustamon sopimuslääkäri on ensimmäisen kerran yhteydessä laivaan ja antaa ohjeita potilaiden hoitoon ja tilan seurantaan. Potilaiden tilaa seurataan jatkuvasti ja lääkäriä konsultoidaan.
- Klo 11.03 maista saadaan ilmoitus että paikallinen lääkäri on tulossa alukselle.
- Klo 11.52 potilaiden tila vaihtelee ja sopimuslääkäri kehottaa antamaan ”hengitysteitä avaavaa lääkettä esim. Abrovent Comp nimistä liuosta höyrystysmaskin avulla”.
- Klo 11.57 lääkehappea yritetään saada muista aluksista.
- Klo 12.11 alus ilmoittaa, ettei hengitysteitä avaavaa lääkettä löydy alukselta.
- Klo 13.55 paikallinen lääkäri aluksella.
- Klo 14.42 päätetään että kansimies MM lähtee maihin sairaalaan tarkkailtavaksi.

1.3.4 Tiedonkulku

Taulukko 5. Tiedonkulku onnettomuustapauksessa.

Kello	Tapahtuma
10.28	Varustamon päivystäjä sai ilmoituksen tapahtuneesta
10.44	Päivystäjä otti yhteyden valmiusryhmän koordinaattorin sijaisena toimineeseen varustamon Nimettyyn Henkilöön ⁵ .
10.47	Yhtiön turvallisuuspäällikkö mukana keskustelussa aluksen kanssa.
10.50	Tilanteen vakavuuden selvittyä otettiin yhteys varustamon sopimuslääkäriin, jolloin ensimmäinen yhteys alukseen.
12.06	Päivystäjän tekstiviesti tapahtuneesta varustamon johdolle ja Nimetylle Henkilölle,
12.27	Varustamon valmiusryhmä kokoontuu
12.37	Päätetään pitää tiedotustilaisuus tapahtuneesta klo 14:30
14.30	Tiedotustilaisuus
17.34	Valmiusryhmän toiminnan lopettaminen

Tiedonvälitys tilanteen osalta toimi ohjeistuksen mukaisesti, kaikki vastuuhenkilöt saivat tiedon tapahtuneesta ja valmiusryhmän toiminta käynnistyi.

⁵ Nimetty Henkilö on turvallisuusjohtamisjärjestelmän (ISM-säännöstö) mukaan nimetty alusten maissa oleva turvallisuuteen liittyvien asioiden yhteyshenkilö. Hänellä on suora yhteys myös varustamon ylimpään johtoon.

1.4 Tehdyt erillisselvitykset

1.4.1 Tutkimukset onnettomuusaluksessa ja tapahtumapaikalla

Nimetty Henkilö päätti laajemman tutkinnan suorittamisesta yhtiön ohjeistuksen mukaisesti. Tutkintamääräys annettiin 5.11.2008. Tutkijoiksi määrättiin kaksi varustamon asiantuntijaa. Tutkintaan liittyvä laivakäynti määrättiin suoritettavaksi viikolla 45-46. Tutkintaryhmä suoritti haastattelut ja materiaalin keräämisen aluksella 11-12.11.2008.

1.4.2 Varustamon asiantuntijoiden käyttämät tutkintalinjat

Taulukko 6. Käytetyt tutkintalinjat 1/2.

Mahdollinen syytekijä	Mahdollista (perusteet)	Pois suljettu (perusteet)	Tiedon alkuperä
Suljetun tilan toimintaohjeistuksen laiminlyöminen		Aluksella on seurattu pääsääntöisesti yhtiön ohjeistusta.	Dokumentaatio, haastattelut
Puutteellinen tuuletus	Onko suojakaasukaasulaitteen (inert kaasua) puhaltimen kapasiteetti riittävä n.7500 m ³ /h kolmeen tankkiin, joiden kapasiteetti on n. 7200 m ³ /tankki. Tankkeja tuuletettiin vain ko. tuulettimella Suezissa.		Suojakaasukaasulaitteen manuaali (Inert Gas Generator Manual), aluksen tekniset tiedot. Asiantuntijan lausunto.
Suoja kaasun virtaaminen tankkiin		Suojakaasua ei tehty ko. ajan kohtana. Suojakaasua SLOP tankkien ilmatilassa, suojakaasulinjat sokeoitu.	Haastattelut laivalla
O ₂ (happi) puute tankissa		Ilmaa mitattu kahdella itsenäisellä mittarilla, kumpikaan ei osoittanut O ₂ pitoisuuden olleen alle 20,9%. Henkilöiden ihon väri ei osoittanut hapenpuutteen oireita.	Haastattelut laivalla
LEL-pitoisuus (hiilivety)	Edellisenä päivänä oli tankista mitattu 15 % pitoisuus. Toisessa 6 lastitankissa mittarissa "FAILURE" teksti.	Onnettomuustankissa 6 S ei mitattu LEL pitoisuuksia.	Haastattelut laivalla

Taulukko 7. Käytetyt tutkintalinjat 2/2.

Mahdollinen syytekijä	Mahdollista (perusteet)	Pois suljettu (perusteet)	Tiedon alkuperä
CO -pitoisuus (hiili-monoksidi, häkä)	Tankista mitattu CO pitoisuuksia onnettomuuden jälkeen	CO pitoisuudet, joita mitattiin, eivät ole riittäviä aiheuttamaan tajuttomuutta. Henkilöiden ihon väri ei osoittanut hapenpuutteen oireita.	Tiedot laivalta ja Työterveyslääkäriltä.
2EHN pitoisuus (2-etyyliheksyylinitraatti) Lastiin lisätty kemikaali – setaaniluvun lisääjä	Työhygieniayksiköstä ja toiselta öljy-yhtiöltä saadun tiedon mukaan 2EHN saattaa näkyä LEL näytöllä.		MSDS tiedot kahdelta eri öljy yhtiöltä Työhygieniayksiköstä saatu tietoa Toiselta varustamolta saatu tietoa.
Dehydraatio (elimistön kuivumistila, joka syntyy elimistön liian vähäisen nestemäärän seurauksena)		Työssä pidetty taukoja ja nautittu pullovetä ja urheilujuomaa.	Haastattelut laivalla
Henkilöiden terveydentila		Molemmilla voimasaoleva merimieslääkärintodistus. Henkilöiden terveydentilat normaalit. Epätodennäköistä, että molemmat henkilöt saisivat samanaikaisesti sairauskohtauksen. Fyysisesti hyväkuntoisia.	Dokumentaatio, haastattelut
Henkilöiden vireystila	Useita päiviä kestävä tankkienpesu operaation saattaa johtaa lepoaikojen lyhentymiseen.	Lepoaikojen ylityksiä ei havaittu. Edellisenä päivänä työt lopetettu ajoissa.	Lepoajan seuranta, haastattelut laivalla
Malarialääkitys		Ei lääkitystä kummallakaan tuupertuneella. Asiantuntija ei pidä mahdollisena, vaikka olisi lääkitys	Tiedot laivalta ja Työterveyslääkäriltä.

Varustamo teetti 2009 tutkimuksen laivojen tankkituuletusten mallintamisesta, jossa esimerkkinä nyt kyseessä olleen laivan lastitankki 6S ja jossa oli tankkiluukku A auki (katso liite 3).

1.5 Toimintaa ohjaavat säädökset ja määräykset

1.5.1 Kansallinen lainsäädäntö

Työturvallisuuslaki 23.8.2002/738 (709/2008)

Valtioneuvoston päätös laivatyössä noudatettavista järjestysohjeista 11.6.1981/418 Luku 7 ja 8.

Valtioneuvoston asetus aluksessa käytettävistä suojavälineistä ja mittauslaitteista 27.9.2001/825

1.5.2 Operaattorin määräykset

Varustamolla on selkeä turvallisuusjohtamisjärjestelmä jossa on kuvattu ohjeet suljettuun tilaan menemisestä ja siihen liittyvistä varotoimenpiteistä.

1.5.3 Kansainväliset sopimukset ja suositukset

IMO resolution A 864(20) Recommendations for entering enclosed spaces aboard ship was adopted at twentieth Assembly on 27 November 1997. Liite 1

Kansainvälisesti suurin osa säiliöalusvarustamoista on sitoutunut noudattamaan ISGOTT-ohjeistusta (International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals, 5th edition). Kyseinen varustamo kuuluu tähän ryhmään.

ISGOTT Chapter 10 sisältää selkeät ohjeet suljettuun tilaan menemisestä ja siihen liittyvistä varotoimenpiteistä. Tuuletusta koskevat ohjeet eivät sisällä numeerisia määritelmiä korvausilman määrästä.

2 ANALYYSI

Alla olevissa kappaleissa analysoidaan tapaturmaan johtaneita syitä ns. Reasonin mallin mukaisesti. Tarkastelu alkaa tapaturmasta ja sen välittömistä syistä päätyen tapaturman piileviin taustatekijöihin. Luvun lopussa on kuvana syyanalyysikaavio.

2.1 Välittömät syyt

Tapaturman arvioidaan johtuvan seuraavien osatekijöiden yhteisvaikutuksesta.

2.1.1 Lisäaine sedimenttiin sitoutuneena

Lastiin lisätty setaaniluvun parantaja 2EHN (2-etyyliheksyyliinitraatti) on peruslastia tiheämpää, veteen liukenematonta ja sen höyrynpaine on matala ja näin ollen on mahdollista, että ainetta on sitoutunut paikallisesti tankin pohjalla olleeseen sedimenttiin.

Sedimentistä ainetta on päässyt haihtumaan, kun sedimenttiä on siirretty lastalla. Tankin pohjalla oli sedimenttiä noin 3 – 5 metrin säteellä lastipumpun imukaivosta, sedimenttikerroksen paksuus oli reilu 1mm kerros. Haihtunut lisäaine ja muut sedimentistä haihtuvat kaasut nousevat tankissa työskentelevien hengitysalueelle.

Sedimenttiä ja siitä haihtuvia kaasuja on tankissa vain paikallisesti.

2.1.2 Hengityssuojaimen suojauskyky mitätöityi vuodon takia

Käytetyt hengityssuojaimet istuivat huonosti käyttäjien kasvoilla. Vuoto hengityssuojaimessa mitätöi sen suodattavan vaikutuksen, koska hengitysilma valtaosa kulkeutuu pienimmän hengitysvastuksen (vuoto kohta) reittiä hengitykseen. Käytetyt suodattimet eivät olleet menettäneet suodatuskykyään merkittävästi.

Tankissa työskennelleet kertoivat aistineensa tankissa hajua, joka kertoo suojaimen merkittävästä vuodosta.

2.1.3 Tuuletus vain suojakaasulaitteen tuulettimella

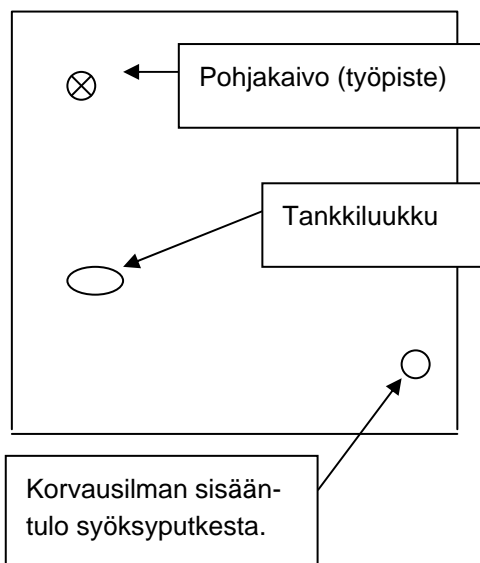
Suljetun tilan työsuunnitelmassa oli suunniteltu käytettäväksi vesipainekäyttöisiä siirrettäviä tankkituulettimia ja suojakaasulaitoksen tuuletinta. Suljetun tilan työt keskeytettiin edellisenä päivänä kolmen tankin jälkeen. Työtä oli tarkoitus jatkaa suunnitelman mukaisesti seuraavana päivänä.

Työtä jatkettiin suunnitelmasta poiketen, siten että vesipainekäyttöisiä tuulettimia ei käytetty, koska alukselta ei haluttu päästää vettä valumaan kannelta mereen rantavaltion läheisyydessä. Tämän tuulettimen teho 12 barin paineella olisi ollut noin 12500 m³/h.

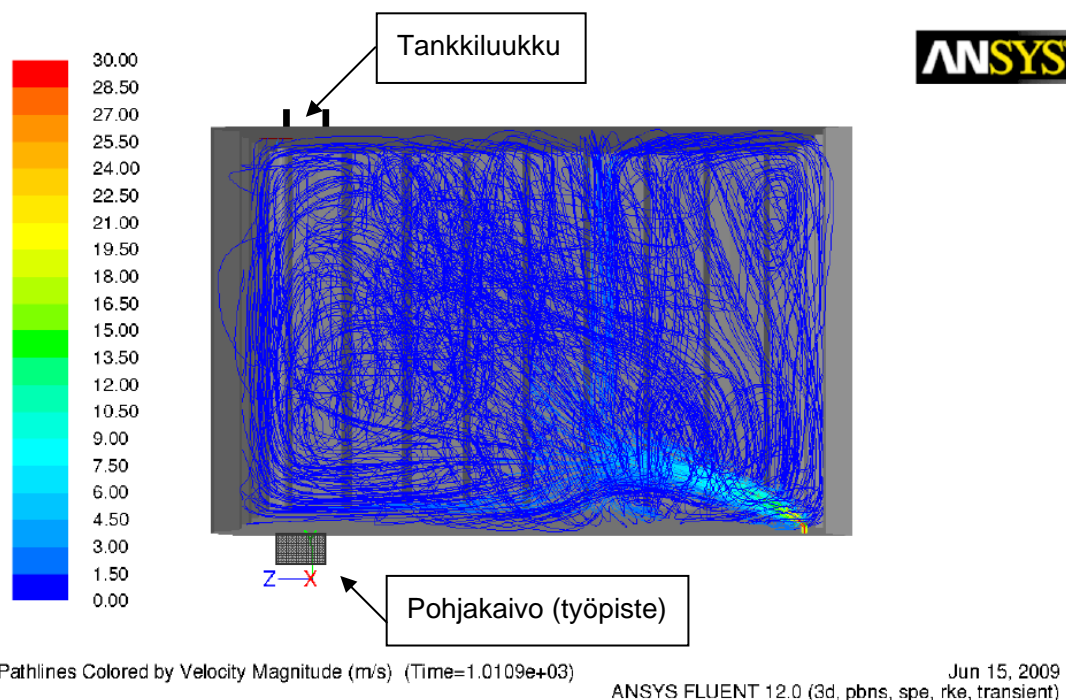
Suljettua tilaa tuuletettiin vain suojakaasulaitoksen tuulettimella, jonka kapasiteetti oli $7500 \text{ m}^3/\text{h}$, tankin tilavuus on 7147 m^3 (1,049 ilmatilan vaihtoa tunnissa, kolmelle viimeiselle tankille tasaisesti jaettuna 0,35 kertaa tunnissa). Turmatankkia tuuletettiin tuulettimen koko kapasiteetilla vain 50 minuuttia ennen tankkiin menoa (kts. taulukko 3 Tankkien tuuletusajat). Turmatankin ilma vaihtui teoreettisesti viimeisen 35 tunnin aikana 13,2 kertaa (laskennassa ei ole huomioitu ilman virtaavan tankkiin, jonka virtausvastus on pieni) ilma vaihtui siis noin 0,38 kertaa tunnissa. Tankki luukku sijaitsee ilmavirtauksen reitillä syöksyputkelta työkohteelle, joten jopa merkittävä osa tuuletusilmasta on purkautunut tätä kautta saavuttamatta työkohdetta (ks. kuva 6). Tankkiluukun lisäksi tankissa on myös kaksi manusluukkua, mutta laivalta saadun tiedon perustella nämä eivät olleet auki.

Ilmanvaihto turmatankissa oli alhainen tuuletuksen aikana, etenkin, kun muita tankkeja tuuletettiin samaan aikaan samalla tuulettimella. Asiantuntijan mukaan ilman likaisessa ko. tankin kokoisessa tilassa tulee vaihtua vähintään $3960 \text{ m}^3/\text{h}$. Esimerkkinä voidaan mainita myös pumppuruuman tuuletus vaatimus 20 ilmatilan vaihtoa tunnissa.

Riittämätön tuuletus mahdollistaa paikallisten kaasutaskujen muodostumisen tankkiin, ko. tankissa työntekijät olivat mahdollisesti tuuletuksen katvealueella, koska työskentelivät syöksytorvesta katsottuna tankkiluukun toisella puolella.



Kuva 6. Tankki ylhäältä päin katsottuna.



Kuva 7. Kuva varustamon tekemästä tutkielmasta tankin tuuleuksesta. Se kuvaa tilannetta aluksella kun tankkiluukku on auki. Näin tuuletettaessa pelkästään suojavaasupuhaltimella on ohjeellinen tuuletusaika noin 6 tuntia.

2.2 Piilevät syyt

2.2.1 Lisäaine sedimenttiin sitoutuneena

Riskiä lisäaineen sekoittumisesta sedimenttiin ei tunnistettu, koska tankinpuhdistukseen valmistauduttiin, kuin kyseessä olisi normaali valmiiksi jalostamolla lisäaineistettu diesel. Todennäköisesti tankinpohjalla oli sedimenttiä, koska dieselin lastauksen yhteydessä maasäiliöt oli pumpattu tyhjiksi ja säiliöiden pohjakerrostumissa on irtoainesta. Lisäksi kyseessä oli ensimmäinen kerta, kun uudehkon aluksen tankit pestiin. Aluksen henkilöstöllä ei ollut kokemusta lastin lisäaineistamisesta ja tankkien pesusta lisäaineistamisen jälkeen ko. aluksella.

Lisäaineistamisesta laivan tankkiin ja sen vaikutuksista tankkien puhdistukseen ei ole selkeää ohjeistusta varustamon turvallisuusjohtamisjärjestelmässä eikä operatiivisissa ohjeissa. Lisäaineistamista tapahtuu aluksilla verrattain harvoin, eikä tarkempaa ohjeistusta ole koettu tarpeelliseksi. Referenssi materiaalissa (esim ISGOTT) ei ole kuvattuna ko. riskiä.

2.2.2 Hengityssuojaimen suojauskyky mitätöityi vuodon takia

Käytetty hengityssuojain on puolinaamari tyyppinen, jolloin nenän ympäristö on vuotoaltis. Kyseiset naamarit saattoivat olla väärän kokoisia käyttäjilleen. Naamarien kiristysmekanismi koettiin hankalaksi, eikä naamareita saanut istumaan tiiviisti kasvoille.

Käytössä ollut hengityssuojain on listattu standardi suojavälineisiin.

Kyseisen mallin valinnassa kiinnitettiin enemmän huomiota käyttäjä palautteeseen puolinaamarin puolesta kuin vuotoherkkyyteen, kun se valittiin standardi suojainten listalle.

2.2.3 Tuuletus vain suojakaasulaitteen tuulettimella

Tankkeja tuuletettiin vain suojakaasulaitoksen tuulettimella, koska poikettiin tehdystä työsuunnitelmasta. Poikkeama tehtiin, koska alus ankkuroitui useaksi tunniksi matkan aikana ja aika haluttiin käyttää hyödyksi.

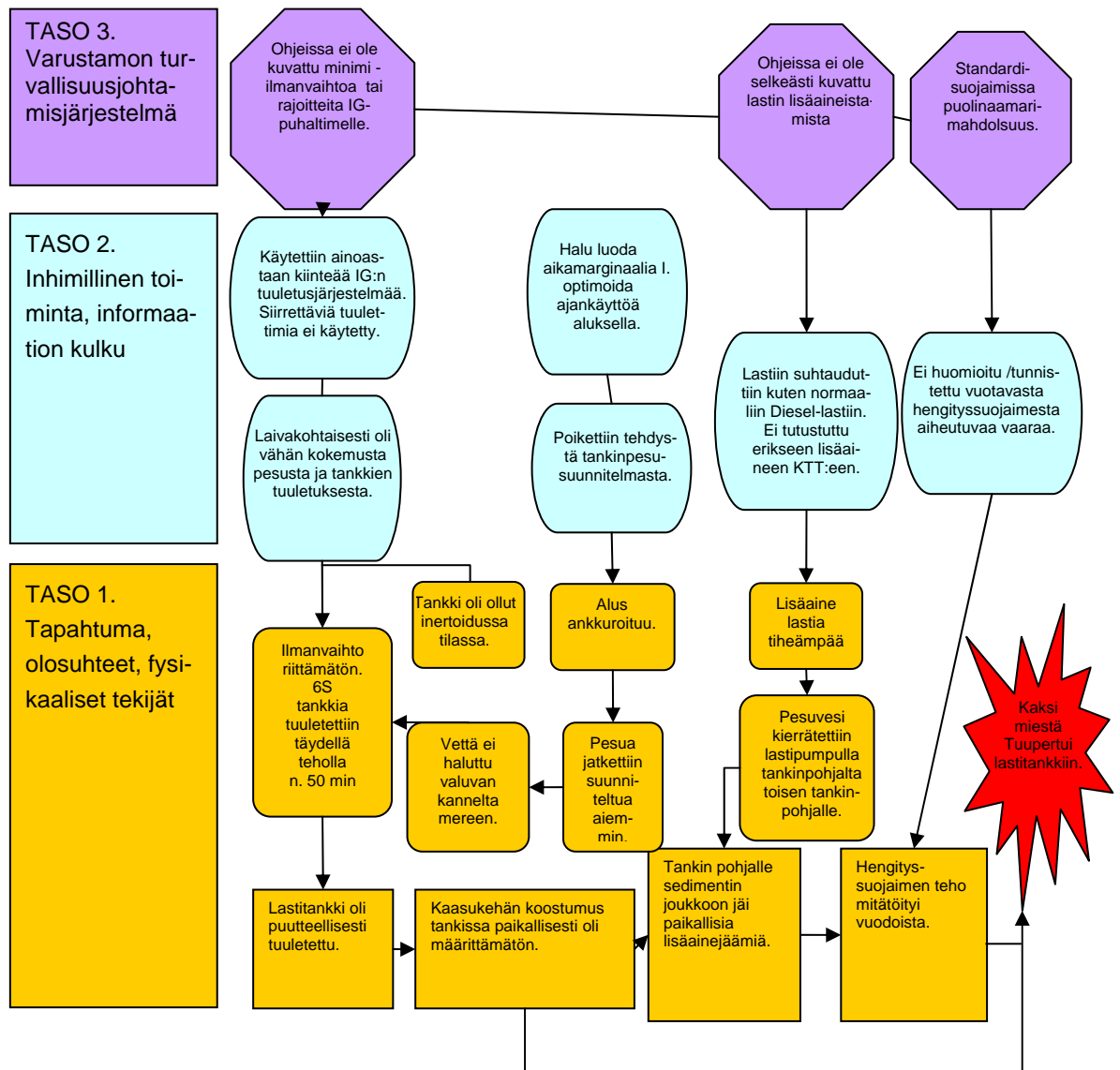
Vesipainetoimisia tuulettimia ei haluttu käyttää, koska vettä ei haluttu laskea aluksen kannelta mereen, jotta vältetään joutumasta epämiellyttävän huomion kohteeksi.

Suojakaasulaitoksen tuulettimen oletettiin olevan kapasiteetiltaan riittävä tankkien tuuletukseen, riittävän ja tasaisen ilmanvaihdon aikaan saamiseksi työkohteella.

Suljetun tilan tuulettamisesta ei ole olemassa ohjeistusta, josta selviää yksiselitteisesti vaadittava ilmanvaihtomäärä per aikayksikkö. Tuuletussuunnitelmaa valmisteltaessa yli-perämiehen on ollut vaikea tukeutua referenssimateriaaliin löytääkseen tämän tiedon. Tietoa ei ole saatavilla turvallisuusjohtamisjärjestelmästä eikä ISGOTT:sta.

Tankkityöhön vaadittavasta ilmamäärästä ei ole ollut tietoa ohjeiden valmisteluvaiheessa.

Varustamon tekemän tutkielman tankin tuuletuksesta (Liite 3) laskelmien lähtökohtana on ollut että lastitankin lastina on ollut dieseliä ja tankin pesuohjelman sekä inertoinnin jäljeltä palavia kaasuja on jäänyt lastitankkiin, siten että LEL-rajaa alle 2 %. Lastitankin happipitoisuus ennen tuuletuksen aloittamista on 8 tilavuusprosenttia ja lastitankissa on 50 ppm dieselin lisäaineesta peräisin olevaa 2EHN (2 ethylhexylnitrate). Case 2. Kuva 9 kuvaa ilmankiertoa tankissa kun tankkiluukku on auki ja suojakaasupuhallin puhalttaa syöksyputken kautta 7000 m³/h. Riittäväksi tuuletusajaksi pelkästään tällä puhaltimella on arvioitu noin 6 tuntia. Onnettomuuspäivänä puhallinta käytettiin pelkästään 6S tankkiin noin 50 minuuttia.



Kuva 7. Syyanalyysikaavio

3 JOHTOPÄÄTÖKSET

Lastin purkauksen jälkeen henkilökunnan oli määrä valmistella aluksen lastitankit valmiiksi seuraava lastia varten. Valmisteluun kuului tankkien pesu lämpimällä merivedellä, huuhtelu makealla vedellä, tuuletus ja tankin pohjan kuivaaminen lastoilla. Kuivaamisen yhteydessä kaksi henkilöä laskeutui tankkeihin ja kuivasi tankkien pohjat lastalla ja pumppasi lastipumpun kaivon tyhjäksi ilmanpainetoimisella kalvopumpulla. Tämän työn yhteydessä nämä kaksi henkilöä menettivät tajuntansa lastitankissa numero 6S. Kyseinen tankki oli viimeinen tankki, jossa työtä oli suunniteltu tehtävän.

Tankkien puhdistus oli suunniteltu tehtäväksi matkalla seuraavaan lastaussatamaan. Tällä matkalla tankit oli pesty. Alus kuitenkin ankkuroitui ennakkotietoa pidemmäksi aikaa rannikon läheisyyteen, jossa tankkien kuivausta päätettiin jatkaa. Edellisenä päivänä oli kuivattu kolme tankkia. Päivän päätteeksi kuivausta suorittaneet henkilöt kokivat lieviä ärsytysoireita kurkussa ja silmissä. Lisäksi päivän aikana henkilöiden mukana ollut monikaasumittari oli osoittanut 15 % LEL pitoisuutta (lisäaineena olevan 2EHN:n tiedetään antavan LEL indikaatioita). LEL työskentelyarvon pitäisi olla alle 1%.

Tapahtuma päivänä oli suunniteltu kuivattavan kolme tankkia. Tankkeja tuuletettiin suunnitelmasta poiketen vain suojakaasulaitoksen puhaltimella. Puhaltimen tuottama ilma oli jaettu kolmelle tankille. Suunnitelman mukaisia vesipainekäyttöisiä tuulettimia ei käytetty, koska vettä ei haluttu laskea yli laidan. Kuivausta suorittaneet henkilöt kokivat jälleen lieviä ärsytysoireita työskennellessään kahdessa ensimmäisessä tankissa. Jo tässä vaiheessa voidaan todeta että pesun ja/tai tuuletuksen olleen riittämätöntä, mutta kansimiehet eivät ilmeisesti tuoneet oireitaan esimiestensä tietoon. Kolmannessa tankissa (6S) henkilöt aloittivat työskentelyn samoin kuin olivat aiemmissa viidessä tankissa tehneet. Hetken kuluttua tankin pohjaa lastalla kuivannut henkilö ilmoitti pumppua käyttävälle työtoverilleen, että kaikki ei ole kunnossa ja, että tankista on poistuttava. Ennen portaille pääsyä henkilö menetti tajuntansa ja toinen henkilö hälytti apua ja yritti pukea päälleen pakopulloa siinä onnistumatta. Hetkeä myöhemmin myös hän menetti tajuntansa tankin pohjalle. Henkilöt makasivat tankin pohjalla olevassa sedimentissä ja näin ollen saattoivat edelleen altistua aineelle, joka aiheutti heidän tajunnan menetyksen.

Lastiin lisätty setaaniluvun korottaja 2EHN (2-etyyliheksyylinitraatti) saattaa aiheuttaa liimakalvojen ärsytystä ja jopa tajuttomuuden käyttöturvatiedotteen mukaan.

Tajunnan menettäneet henkilöt olivat pukeutuneet ennen työn aloittamista putoamissuojaliiveihin, joita voitiin käyttää evakuoinnissa henkilöiden nostamiseen tankista. Tankkiluukulle oli ennen työn aloittamista valmisteltu nostolaite, jolla tajunnan menettäneet nostettiin tankista. Putoamissuojaliivin osalta voidaan todeta sen auttaneen nostooperaatiossa todella merkittävästi, ja tämä toimintatapa on syytä saattaa turvallisuusjohtamisjärjestelmän avulla käyttöön kaikille aluksille. Liivien käytöstä on syytä antaa erityismaininta aluksen henkilöstölle, joka käytti liiviä vapaaehtoisesti (suositus Yhtiön turvallisuusjohtamisjärjestelmässä tapauksen aikaan). Nostolaitteen osalta voidaan todeta että sen valmistelu ei ollut ehkä loppuun saakka mietitty, vaan nostotalja roikkui keskellä kolmijalkaa liinan varassa päästään taljan heilumaan ja kiertymään liinan ympäri. Lisäksi

väkipyörän käyttöä noston keventämisessä ei ollut huomioitu. Käytetty malli ei ole tämän hetkisen yhtiön standardin mukainen.

Henkilöt pelastettiin tankista aluksen henkilökunnan toimesta ja heille järjestettiin ensiapu. Henkilöiden pelastamiseen tankista kului aikaa hälytyksestä 37 minuuttia. Ensiapuun alus sai tukea lippuvaltion yksityiseltä lääkäriltä, joka konsultoi aluksen henkilökuntaa puhelimen välityksellä. Aluksen henkilökunta koki työkielellä saamansa konsultaatio avun erittäin tärkeäksi ensiapu työssä.

Johtopäätöksenä on todettava, että tajunnanmenetyksille ei ole löydettävissä yksiselitteistä ja selkeää syytä tai syy-yhteyttä. Varustamon tutkintaryhmän näkemys tapahtumien kulusta on seuraava:

Tankkiin lisättiin lisääainetta, jonka tiheys oli suurempi kuin lastin. Lisääminen tapahtui pumpulla näytteenottoluukusta tankin yläosassa. On mahdollista, että lisääainetta on valunut lastin läpi tankin pohjalle ”kuplana”. Lastatessa oli ilmoitettu, että maasäiliö tulee tyhjäksi laivan tankkiin. Tällaisessa tilanteessa tankin pohjalle yleensä päätyy esim. ruostetta. Lisääainetta on voinut tarttua tähän sedimenttiin paikallisesti. Lastia kierrätettiin lisääineen lisäyksen yhteydessä sekä ennen purkausta lastipumpulla. Kierrätyksessä imetään tankin pohjalta lastia ja se palautetaan tankkiin vinosti vastapäätä olevaan nurkkaan tankin pohjalle. Kierrätys ei näin ollen ole täydellistä, vaan mahdollistaa kuoloiden alueiden jäämisen tankkiin.

Kun tankki pestiin, niin pohjalle on saattanut jäädä lisääainetta sisältävää sedimenttiä. Tankkia kuivaava henkilö on liikuttanut tuota sedimenttiä ja mahdollisesti vapauttanut siinä olevaa 2EHN:ää hengitysilmaansa. Tankin riittämätön tuuletus ei ole laimentanut ilmaseosta riittävän nopeasti vaan henkilö on hengittänyt lisääaineesta rikastunutta ilmaa. Käytössä olleet puolinaamarimalliset hengityssuojaimet vuotivat mahdollistaen tuon lisääainepitoisen ilman pääsyn hengityselimiin. Hengitetty seos on ollut riittävän rikasta aiheuttaakseen henkilöiden tajunnan menetyksen.

Tai

Tankkiin on jäänyt jäämiä suojakaasusta ja/tai sen sisältämää hiilimonoksidia. Suojakaasun hiilimonoksidin pitoisuus on saattanut olla normaalia korkeampi suojakaasulaitteistossa olleen vian takia. Tankin riittämätön tuuletus ei ole laimentanut ilmaseosta riittävästi vaan henkilöt ovat hengittäneet vähähappista hiilimonoksidipitoista ilmaa. Käytössä olleet puolinaamarit eivät suojaa hapen puutteelta. Hapenpuute verenkierrassa on johtanut henkilöiden tajunnan menetykseen. (Henkilöiden ihonväri ei kuitenkaan osoittanut hapenpuutteen oireita, taulukko 7.)

Tai

Edellä mainittujen yhteisvaikutus.

4 TURVALLISUUSSUOSITUKSET

Varustamon tutkintaryhmä suosittelee varustamolle seuraavia toimenpiteitä käyttöön otettavaksi tämän tapahtumatutkinnan perusteella:

1. Puolinaamari mallisista hengityssuojaimista luovutaan. Nämä korvataan kokonaamareilla tai raitisilmahengityssuojaimilla, joissa vuoto nenän ympäristöstä ja silmien altistuminen vaarallisille aineille poistuvat.
2. Turvallisuusjohtamisjärjestelmään selvennetään ohjeistusta, joka käsittelee lastin lisääineistamista laivan tankkiin.

Suljetun tilan ohjeeseen tehdään tarvittavat muutokset koskien lisääineistämisen aiheuttamia riskejä.
3. Aluksilla on suoritettava suljetun tilan pelastautumiskoulutukset ohjeistuksen mukaisesti. Koulutuksissa huomioita henkilöstön siirtyminen aluksilta toisille, koulutus on laivaryhmäkohtaista. Mikäli uusi työntekijä tulee eri laivaryhmästä tulee hänen osallistua ko. koulutukseen ennen suljetun tilan työhön osallistumista. Kaikkien työhön osallistuvien tulee olla koulutettu tehtävänsä. Koulutuksen painopiste on opetella käyttämään aluksella olevia pelastusvälineitä ja havaita ja korjata niissä olevat puutteellisuudet ennen kuin niitä joudutaan käyttämään oikeassa tilanteessa. Aluksella olevien tulee harjoitella pakopullojen (EEBD) käyttöä harjoituslaitteella.
4. Turvallisuusjohtamisjärjestelmään lisätään kieltö, jossa aluksen päällikköä ja konepäällikköä kielletään menemästä tunnetusti vaaralliseen olosuhteeseen ilman varustamon lupaa. Näin varmistetaan, että tilanteen riskit tulee kartoitettua riittävästi ja mikäli tästä huolimatta tapahtuu onnettomuus, yksikkö ei jää ilman tehokasta johtoa kesken erikoistilanteen.

Varustamon sisäisistä suosituksista on toteutunut suositus No.3 ja muut ovat työn alla.

Lisäksi varustamo suunnittelee laivakohtaisten tuuletussuosituksen tekoa käyttäen siinä apuna myös varustamon tekemiä, liitteessä 3 esitettyjä laskelmia.

Onnettomuustutkintakeskuksen tutkijoiden mielestä numeeristen ohjearvojen antaminen tuuletukselle tulee tehdä harkiten. Riittävään tuuletukseen vaikuttavat monet tekijät kuten pesua edeltävän lastin laatu, pesutulos ja siihen käytetty vesimäärä ja sen lämpötila, tuuletukseen käytetyt tuulettimet, tuuletukseen käytetty aika sekä auki olevien luukkujen lukumäärä. Jos ohjearvoja käytetään, tulisi niitä määritettäessä pyrkiä huomiomaan em. tekijät ja **riittävät turvamarginaalit**.

Tutkijat haluavat korostaa seuraavia turvallisuusnäkökohtia liittyen työskentelyyn tankki-tiloissa:

1) Kaikista käsiteltävistä aineista pitäisi olla tarkat käyttöturvallisuustiedot, jotta tankkien pesu ja tuuletus voidaan suunnitella turvallisesti. Jos kuitenkin joudutaan toimimaan puutteellisen tiedon varassa, pitää mahdollisten fyysisten **oireiden ilmaannuttua keskeyttää työ suljetussa tilassa**. Ennen työn jatkamista tulee tehdä lisäpesu ja -tuuletus.

2) Yhden ohjearvon eli puhallustehon lisäksi pitäisi olla käytössä vaatimus pesuun käytettävästä vesimäärästä ja tuuletettavan tilan **ilmanvaihtokertojen lukumäärästä (tuuletukseen käytettävästä ajasta)**.

3) Mikäli tankin pesun, huolellisen tuuletuksen ja ilmatilamittauksien jälkeen joudutaan tankkiin menemään pohjakaivon tyhjentämistä varten, tulisi tuuletus kohdistaa tähän työpisteeseen niin sanotun "tuuletussukan" avulla. Tämä siksi, että pohjakaivossa mahdollisesti olevasta lastijäänteestä saattaa sitä liikutellessa erittyä terveydelle haitallisia kaasuja.

Helsingissä 11.2.2010

Juha Sjölund

Risto Repo

LÄHDELUETTELO

1. Varustamon raportti 30.1.2009
2. Työturvallisuuslaki 738/2002
3. Valtioneuvoston päätös 1981/418 laivatyössä noudatettavista järjestysohjeista
4. Valtioneuvoston asetus 2001/825 aluksessa käytettävistä suojavälineistä ja mittauslaitteista.
5. IMO Resolution A 864(20) Recommendations for entering enclosed spaces aboard ship was adopted at twentieth Assembly on 27 November 1997.
6. ISGOTT International Safety Guide Of Tankers and Terminals 5th edition

LIITTEET

1. IMO Resolution A 864(20) Recommendations for entering enclosed spaces aboard ship was adopted at twentieth Assembly on 27 November 1997.
2. DSC 14/INF.9 17 July 2009 Revision of the recommendations for entering enclosed spaces aboard ships
3. Varustamon tekemä tutkielma tankin tuuletuksesta AI9000

Liite 1. IMO Resolution A 864(20) Recommendations for entering enclosed spaces aboard ship was adopted at twentieth Assembly on 27 November 1997.



ASSEMBLY
20th session
Agenda item 9

RESOLUTION A.864(20)
adopted on 27 November 1997

**RECOMMENDATIONS FOR ENTERING ENCLOSED
SPACES ABOARD SHIPS**

THE ASSEMBLY,

RECALLING Article 15(j) of the Convention on the International Maritime Organization concerning the functions of the Assembly in relation to regulations and guidelines concerning maritime safety,

BEING CONCERNED at the continued loss of life resulting from personnel entering shipboard spaces in which the atmosphere is oxygen-depleted, toxic or flammable,

BEING AWARE of the work undertaken in this regard by the International Labour Organization, Governments and segments of the private sector,

NOTING that the Maritime Safety Committee, at its fifty-ninth session, approved appendix F to the Code of Safe Practice for Solid Bulk Cargoes concerning recommendations for entering cargo spaces, tanks, pump-rooms, fuel tanks, cofferdams, duct keels, ballast tanks and similar enclosed spaces,

NOTING FURTHER the decision of the Maritime Safety Committee at its sixty-sixth session to replace appendix F referred to above with the recommendations annexed to this resolution,

HAVING CONSIDERED the recommendation made by the Maritime Safety Committee at its sixty-sixth session,

1. ADOPTS the Recommendations for Entering Enclosed Spaces Aboard Ships set out in the Annex to the present resolution;
2. INVITES Governments to bring the annexed Recommendations to the attention of shipowners, ship operators and seafarers, urging them to apply the Recommendations, as appropriate, to all ships;
3. REQUESTS the Maritime Safety Committee to keep the Recommendations under review and amend them, as necessary.

ANNEX

RECOMMENDATIONS FOR ENTERING ENCLOSED SPACES ABOARD SHIPS**PREAMBLE**

The object of these recommendations is to encourage the adoption of safety procedures aimed at preventing casualties to ships personnel entering enclosed spaces where there may be an oxygen deficient, flammable and/or toxic atmosphere.

Investigations into the circumstances of casualties that have occurred have shown that accidents on board ships are in most cases caused by an insufficient knowledge of, or disregard for, the need to take precautions rather than a lack of guidance.

The following practical recommendations apply to all types of ships and provide guidance to seafarers. It should be noted that on ships where entry into enclosed spaces may be infrequent, for example, on certain passenger ships or small general cargo ships, the dangers may be less apparent, and accordingly there may be a need for increased vigilance.

The recommendations are intended to complement national laws or regulations, accepted standards or particular procedures which may exist for specific trades, ships or types of shipping operations.

It may be impracticable to apply some recommendations to particular situations. In such cases, every endeavour should be made to observe the intent of the recommendations, and attention should be paid to the risks that may be involved.

1 INTRODUCTION

The atmosphere in any enclosed space may be deficient in oxygen and/or contain flammable and/or toxic gases or vapours. Such an unsafe atmosphere could also subsequently occur in a space previously found to be safe. Unsafe atmosphere may also be present in spaces adjacent to those spaces where a hazard is known to be present.

2 DEFINITIONS

2.1 *Enclosed space* means a space which has any of the following characteristics:

- .1 limited openings for entry and exit;
- .2 unfavourable natural ventilation; and
- .3 is not designed for continuous worker occupancy,

and includes, but is not limited to, cargo spaces, double bottoms, fuel tanks, ballast tanks, pump-rooms, compressor rooms, cofferdams, void spaces, duct keels, inter-barrier spaces, engine crankcases and sewage tanks.

2.2 *Competent person* means a person with sufficient theoretical knowledge and practical experience to make an informed assessment of the likelihood of a dangerous atmosphere being present or subsequently arising in the space.

2.3 *Responsible person* means a person authorised to permit entry into an enclosed space and having sufficient knowledge of the procedures to be followed.

3 ASSESSMENT OF RISK

3.1 In order to ensure safety, a competent person should always make a preliminary assessment of any potential hazards in the space to be entered, taking into account previous cargo carried, ventilation of the space, coating of the space and other relevant factors. The competent person's preliminary assessment should determine the potential for the presence of an oxygen-deficient, flammable or toxic atmosphere.

3.2 The procedures to be followed for testing the atmosphere in the space and for entry should be decided on the basis of the preliminary assessment. These will depend on whether the preliminary assessment shows that:

- .1 there is minimal risk to the health or life of personnel entering the space;
- .2 there is no immediate risk to health or life but a risk could arise during the course of work in the space; and
- .3 a risk to health or life is identified.

3.3 Where the preliminary assessment indicates minimal risk to health or life or potential for a risk to arise during the course of work in the space, the precautions described in 4, 5, 6 and 7 should be followed as appropriate.

3.4 Where the preliminary assessment identifies risk to life or health, if entry is to be made, the additional precautions specified in section 8 should also be followed.

4 AUTHORIZATION OF ENTRY

4.1 No person should open or enter an enclosed space unless authorised by the master or nominated responsible person and unless the appropriate safety procedures laid down for the particular ship have been followed.

4.2 Entry into enclosed spaces should be planned and the use of an entry permit system, which may include the use of a checklist, is recommended. An Enclosed Space Entry Permit should be issued by the master or nominated responsible person, and completed by a person who enters the space prior to entry. An example of the Enclosed Space Entry Permit is provided in the appendix.

5 GENERAL PRECAUTIONS

5.1 The master or responsible person should determine that it is safe to enter an enclosed space by ensuring:

- .1 that potential hazards have been identified in the assessment and as far as possible isolated or made safe;
- .2 that the space has been thoroughly ventilated by natural or mechanical means to remove any toxic or flammable gases, and to ensure an adequate level of oxygen throughout the space;
- .3 that the atmosphere of the space has been tested as appropriate with properly calibrated instruments to ascertain acceptable levels of oxygen and acceptable levels of flammable or toxic vapours;
- .4 that the space has been secured for entry and properly illuminated;
- .5 that a suitable system of communication between all parties for use during entry has been agreed and tested;
- .6 that an attendant has been instructed to remain at the entrance to the space whilst it is occupied;
- .7 that rescue and resuscitation equipment has been positioned ready for use at the entrance to the space, and that rescue arrangements have been agreed;
- .8 that personnel are properly clothed and equipped for the entry and subsequent tasks; and
- .9 that a permit has been issued authorizing entry.

The precautions in .6 and .7 may not apply to every situation described in this section. The person authorizing entry should determine whether an attendant and the positioning of rescue equipment at the entrance to the space is necessary.

5.2 Only trained personnel should be assigned the duties of entering, functioning as attendants, or functioning as members of rescue teams. Ships' crews should be drilled periodically in rescue and first aid.

5.3 All equipment used in connection with entry should be in good working condition and inspected prior to use.

6 TESTING THE ATMOSPHERE

6.1 Appropriate testing of the atmosphere of a space should be carried out with properly calibrated equipment by persons trained in the use of the equipment. The manufacturers' instructions should be strictly followed. Testing should be carried out before any person enters the space, and at regular intervals thereafter until all work is completed. Where appropriate, the testing of the space should be carried out at as many different levels as is necessary to obtain a representative sample of the atmosphere in the space.

6.2 For entry purposes, steady readings of the following should be obtained:

- .1 21% oxygen by volume by oxygen content meter; and
- .2 not more than 1% of lower flammable limit (LFL) on a suitably sensitive combustible gas indicator, where the preliminary assessment has determined that there is potential for flammable gases or vapours.

If these conditions cannot be met, additional ventilation should be applied to the space and re-testing should be conducted after a suitable interval. Any gas testing should be carried out with ventilation to the enclosed space stopped, in order to obtain accurate readings.

6.3 Where the preliminary assessment has determined that there is potential for the presence of toxic gases and vapours, appropriate testing should be carried out using fixed or portable gas or vapour detection equipment. The readings obtained by this equipment should be below the occupational exposure limits for the toxic gases or vapours given in accepted national or international standards. It should be noted that testing for flammability does not provide a suitable means of measuring for toxicity, nor vice versa.

6.4 It should be emphasized that pockets of gas or oxygen-deficient areas can exist, and should always be suspected, even when an enclosed space has been satisfactorily tested as being suitable for entry.

7 PRECAUTIONS DURING ENTRY

7.1 The atmosphere should be tested frequently whilst the space is occupied, and persons should be instructed to leave the space should there be a deterioration in the conditions.

7.2 Ventilation should continue during the period that the space is occupied and during temporary breaks. Before re-entry after a break, the atmosphere should be re-tested. In the event of failure of the ventilation system, any persons in the space should leave immediately.

7.3 In the event of an emergency, under no circumstances should the attending crew member enter the space before help has arrived and the situation has been evaluated to ensure the safety of those entering the space to undertake rescue operations.

8 ADDITIONAL PRECAUTIONS FOR ENTRY INTO A SPACE WHERE THE ATMOSPHERE IS KNOWN OR SUSPECTED TO BE UNSAFE

8.1 If the atmosphere in an enclosed space is suspected or known to be unsafe, the space should only be entered when no practical alternative exists. Entry should only be made for further testing, essential operation, safety of life or safety of a ship. The number of persons entering the space should be the minimum compatible with the work to be performed.

8.2 Suitable breathing apparatus, e.g. of the air-line or self-contained type, should always be worn, and only personnel trained in its use should be allowed to enter the space. Air-purifying respirators should not be used as they do not provide a supply of clean air from a source independent of the atmosphere within the space.

8.3 The precautions specified in 5 should also be followed, as appropriate.

8.4 Rescue harnesses should be worn and, unless impractical, lifelines should be used.

8.5 Appropriate protective clothing should be worn particularly where there is any risk of toxic substances or chemicals coming into contact with the skin or eyes of those entering the space.

8.6 The advice in 7.3 concerning emergency rescue operations is particularly relevant in this context.

9 HAZARDS RELATED TO SPECIFIC TYPES OF CARGO

9.1 Dangerous goods in packaged form

9.1.1 The atmosphere of any space containing dangerous goods may put at risk the health or life of any person entering it. Dangers may include flammable, toxic or corrosive gases or vapours that displace oxygen, residues on packages and spilled material. The same hazards may be present in spaces adjacent to the cargo spaces. Information on the hazards of specific substances is contained in the IMDG Code, the Emergency Procedures for Ships Carrying Dangerous Goods (EMS) and Materials Safety Data Sheets (MSDS). If there is evidence or suspicion that leakage of dangerous substances has occurred, the precautions specified in 8 should be followed.

9.1.2 Personnel required to deal with spillages or to remove defective or damaged packages should be appropriately trained and wear suitable breathing apparatus and appropriate protective clothing.

9.2 Bulk liquid

The tanker industry has produced extensive advice to operators and crews of ships engaged in the bulk carriage of oil, chemicals and liquefied gases, in the form of specialist international safety guides. Information in the guides on enclosed space entry amplifies these recommendations and should be used as the basis for preparing entry plans.

9.3 Solid bulk

On ships carrying solid bulk cargoes, dangerous atmospheres may develop in cargo spaces and adjacent spaces. The dangers may include flammability, toxicity, oxygen depletion or self-heating, which should be identified in shipping documentation. For additional information, reference should be made to the Code of Safe Practice for Solid Bulk Cargoes.

9.4 Oxygen-depleting cargoes and materials

A prominent risk with such cargoes is oxygen depletion due to the inherent form of the cargo, for example, self-heating, oxidation of metals and ores or decomposition of vegetable oils, animal fats, grain and other organic materials or their residues. The materials listed below are known to be capable of causing oxygen depletion. However, the list is not exhaustive. Oxygen depletion may also be caused by other materials of vegetable or animal origin, by flammable or spontaneously combustible materials, and by materials with a high metal content:

- .1 grain, grain products and residues from grain processing (such as bran, crushed grain, crushed malt or meal), hops, malt husks and spent malt;
- .2 oilseeds as well as products and residues from oilseeds (such as seed expellers, seed cake, oil cake and meal);
- .3 copra;
- .4 wood in such forms as packaged timber, roundwood, logs, pulpwood, props (pit props and other propwood), woodchips, woodshavings, woodpulp pellets and sawdust;
- .5 jute, hemp, flax, sisal, kapok, cotton and other vegetable fibres (such as esparto grass/Spanish

grass, hay, straw, bhusa), empty bags, cotton waste, animal fibres, animal and vegetable fabric, wool waste and rags;

- .6 fishmeal and fishscrap;
- .7 guano;
- .8 sulphidic ores and ore concentrates;
- .9 charcoal, coal and coal products;
- .10 direct reduced iron (DRI)
- .11 dry ice;
- .12 metal wastes and chips, iron swarf, steel and other turnings, borings, drillings, shavings, filings and cuttings; and
- .13 scrap metal.

9.5 Fumigation

When a ship is fumigated, the detailed recommendations contained in the Recommendations on the Safe Use of Pesticides in Ships* should be followed. Spaces adjacent to fumigated spaces should be treated as if fumigated.

10 CONCLUSION

Failure to observe simple procedures can lead to people being unexpectedly overcome when entering enclosed spaces. Observance of the principles outlined above will form a reliable basis for assessing risks in such spaces and for taking necessary precautions.

*Refer to the Recommendations on Safe Use of Pesticides in Ships, approved by the Maritime Safety Committee of the Organization by circular MSC/Circ.612, as amended by MSC/Circ.689 and MSC/Circ.746.

APPENDIX

EXAMPLE OF AN ENCLOSED SPACE ENTRY PERMIT

This permit relates to entry into any enclosed space and should be completed by the master or responsible officer and by the person entering the space or authorized team leader.

General		
Location/name of enclosed space.....		
Reason for entry.....		
This permit is valid	from:.....hrs	Date.....
	to :.....hrs	Date.....
		(See note 1)

Section 1 - Pre-entry preparation		
(To be checked by the master or nominated responsible person)		
	Yes	No
● Has the space been thoroughly ventilated ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Has the space been segregated by blanking off or isolating all connecting pipelines or valves and electrical power/equipment ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Has the space been cleaned where necessary ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Has the space been tested and found safe for entry ? (See note 2)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Pre-entry atmosphere test readings:		By:.....
- oxygen.....% vol (21%)		Time:.....
- hydrocarbon.....% LFL (less than 1%)		
- toxic gases.....ppm (specific gas and PEL)		
	(See note 3)	
● Have arrangements been made for frequent atmosphere checks to be made while the space is occupied and after work breaks ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Have arrangements been made for the space to be continuously ventilated throughout the period of occupation and during work breaks ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Are access and illumination adequate ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Yes	No
● Is rescue and resuscitation equipment available for immediate use by the entrance to the space ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Has a responsible person been designated to be in constant attendance at the entrance to the space?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Has the officer of the watch (bridge, engine room, cargo control room) been advised of the planned entry ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Has a system of communication between all parties been tested and emergency signals agreed ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Are emergency and evacuation procedures established and understood by all personnel involved with the enclosed space entry ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Is all equipment used in good working condition and inspected prior to entry ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Are personnel properly clothed and equipped ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Section 2 - Pre-entry checks (To be checked by the person entering the space or authorized team leader)	Yes	No
● I have received instructions or permission from the master or nominated responsible person to enter the enclosed space	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Section 1 of this permit has been satisfactorily completed by the master or nominated responsible person	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● I have agreed and understand the communication procedures	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● I have agreed upon a reporting interval of.....minutes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Emergency and evacuation procedures have been agreed and are understood	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● I am aware that the space must be vacated immediately in the event of ventilation failure or if atmosphere tests show a change from agreed safe criteria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Section 3 - Breathing apparatus and other equipment		
(To be checked jointly by the master or nominated responsible person and the person who is to enter the space)		
	Yes	No
● Those entering the space are familiar with the breathing apparatus to be used	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● The breathing apparatus has been tested as follows:		
- gauge and capacity of air supply	
- low pressure audible alarm	
- face mask - under positive pressure and not leaking	
● The means of communication has been tested and emergency signals agreed	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● All personnel entering the space have been provided with rescue harnesses and, where practicable, lifelines	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Signed upon completion of sections 1,2 and 3 by:

Master or nominated responsible person..... Date..... Time.....

Responsible person supervising entry Date..... Time.....

Person entering the space or authorized team leader Date..... Time.....

Section 4 - Personnel entry		
(To be completed by the responsible person supervising entry)		
Names	Time in	Time out
.....
.....
.....
.....

Section 5 - Completion of job		
(To be completed by the responsible person supervising entry)		
● Job completed	Date.....	Time.....

● Space secured against entry	Date.....	Time.....
● The officer of the watch has been duly informed	Date.....	
Time.....		

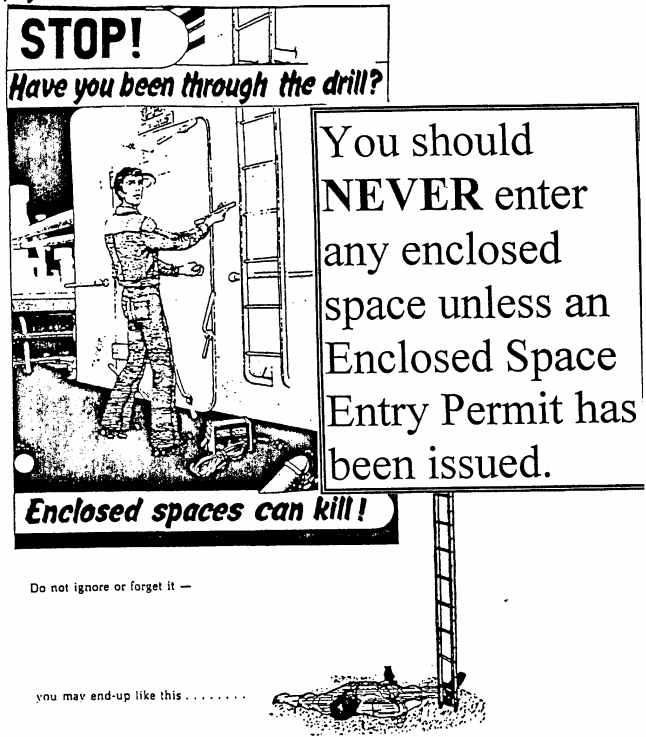
Signed upon completion of sections 4 and 5 by:

Responsible person supervising entry Date..... Time.....

THIS PERMIT IS RENDERED INVALID SHOULD VENTILATION OF THE SPACE STOP OR IF ANY OF THE CONDITIONS NOTED IN THE CHECKLIST CHANGE

Notes:

- 1 The permit should contain a clear indication as to its maximum period of validity.
- 2 In order to obtain a representative cross-section of the space's atmosphere, samples should be taken from several levels and through as many openings as possible. Ventilation should be stopped for about 10 minutes before the pre-entry atmosphere tests are taken.
- 3 Tests for specific toxic contaminants, such as benzene or hydrogen sulphide, should be undertaken depending on the nature of the previous contents of the space.



Liite 2. DSC 14/INF.9 17 July 2009 Revision of the recommendations for entering enclosed spaces aboard ships. (MAIIF information paper)



IMO

E

SUB-COMMITTEE ON DANGEROUS
GOODS, SOLID CARGOES AND
CONTAINERS
14th session
Agenda item 16

DSC 14/INF.9
17 July 2009
ENGLISH ONLY

REVISION OF THE RECOMMENDATIONS FOR ENTERING ENCLOSED SPACES ABOARD SHIPS

Enclosed space entry issues

Submitted by the Marine Accident Investigators' International Forum (MAIIF)

SUMMARY

Executive summary:	This document provides information on enclosed space entry incidents that have occurred since 1998, and which have given MAIIF serious cause for concern and discussion at recent meetings
Strategic direction:	5.2
High-level action:	5.2.1
Planned output:	-
Action to be taken:	Paragraph 8
Related documents:	IMO resolution A.864(20); DSC 13/20, annex 4; MSC 85/26, paragraph 23.7; FSI 17/20, paragraphs 6.6 and 6.7 and MSC 86/26, paragraphs 10.18 and 13.22

Background

1 IMO resolution A.864(20) on Recommendations for entering enclosed spaces aboard ship was adopted at the twentieth Assembly on 27 November 1997. It invites Governments to bring the recommendations to the attention of shipowners, ship operators and seafarers, urging them to apply the recommendations, as appropriate, to all ships.

2 The object of the Recommendations is to encourage the adoption of safety procedures aimed at preventing casualties to ships personnel entering enclosed spaces where there may be an oxygen deficient, flammable and/or toxic atmosphere. They are practical recommendations that apply to all types of ships and provide guidance to seafarers, which are intended to complement national laws or regulations, accepted standards or particular procedures which may exist for specific trades, ships or types of shipping operations.

For reasons of economy, this document is printed in a limited number. Delegates are kindly asked to bring their copies to meetings and not to request additional copies.



3 A preliminary survey of MAIIF members (attached at annex) reveals that there have been at least 101 enclosed space incidents resulting in 93 deaths and 96 injuries, since the Recommendations were adopted in November 1997.

4 Areas of concern identified in the reports include, *inter alia*:

- .1 lack of knowledge, training and understanding of the dangers of entering enclosed spaces;
- .2 Personal Protective Equipment (PPE) or rescue equipment not being used, not available of inappropriate type, improperly used, or in disrepair;
- .3 inadequate or non-existent signage;
- .4 inadequate or non-existent identification of enclosed spaces on board;
- .5 inadequacies in Safety Management Systems; and
- .6 poor management commitment and oversight.

5 MAIIF believes that the investigations show that, from many of the casualties investigated, it is evident that training was inadequate, and that the necessary drills were not carried out in the procedures for safe entry and safe rescue from enclosed spaces. Training may remain ineffective if not backed up by a positive management level commitment to managing safety, assessing competence and training needs on board, and developing a safety culture from the company head-office to the master, the officers and the ratings.

6 MAIIF notes from the report of the MSC 85 the new work programme item to revise, as necessary, the specific provisions of the Recommendations for Entering Enclosed Spaces Aboard Ship, under the coordination of the DSC Sub-Committee.

7 At the eighty-sixth session of the Maritime Safety Committee, the Committee agreed to invite MAIIF to provide the Organization with the outcome of its work on deaths in enclosed spaces, as the findings thereof may be relevant to the consideration of the issue of explosions on small chemical tankers. However, it is clear from the work already done by MAIIF, that some of the provisions of the Recommendations for Entering Enclosed Spaces Aboard Ship are not being universally applied. MAIIF therefore considers that the information provided will assist the work of the Sub-Committee in coordinating the revision of the Recommendations for entering enclosed spaces aboard ship, and will provide any additional information as may become available.

Action requested of the Sub-Committee

8 The Sub-Committee is invited to note the contents of this document in the context of consideration of agenda item 16 and to take action as appropriate.

PRELIMINARY SURVEY REPORT ON ENCLOSED SPACE INCIDENTS

Incident	Approx. Date	Ship Type	Reporting Authority	Confined Space	Condition of Space	Deaths	Injuries	Comments	Notes on Investigation	Vessel Flag (if other than reporting authority)
1	01/03/1998	Cargo	Cyprus	Tunnel	Tunnel, below loaded cargo holds	3	0	The vessel carried wheat and the cargo had been fumigated with Aluminum phosphide - Phostoxin. Water was observed in Hold No.1 and in the duct keel. Three crew members entered tunnel for inspection, but they lost their lives due to the presence of phosphine gas. A Fumigation notice stated that the above product generates phosphine gas (PH ₃) and that the fumigated spaces must be completely sealed for ten days. The presence of water was due to minor hull damage.		
2	28/04/1998	RoRo Vehicle/ Passenger ferry	UK MAIB	Deck locker		0	1	Young female passenger, who was under the influence of alcohol, crossed security chains and entered restricted space on small ferry. She was located after vessel had shut down for the night in a small deck locker. She was suffering from smoke inhalation having inadvertently placed clothing on a heater.		
3	14/05/1998	Aggregates Dredger	UK MAIB	Engine Room	Unknown	0	1	Using a burning torch to cut a pipe ring in the engine room caused a vapor to be given off. Work stopped and both the personnel involved with the task moved away. One of them experienced breathing difficulty. It is thought that the burner vaporized sealant of some other substance trapped below the pipe ring. The work was completed using a grinder.		
4	02/10/1998	Fishing Vessel	U S C G	Pipe Tunnel Void	Low O ₂ and Toxic Environment, Access Procedures	1	4	Crewman was asphyxiated by lethal levels of hydrogen sulfide, carbon monoxide, and depleted oxygen when he entered a pipe tunnel void researching an odor and clam hold drain leak onboard moored clam dredge vessel. The following rescue personnel were also treated for hydrogen sulfide exposure: 1 crewman from the same vessel, 2 crewmen from an adjacently moored F/V, and 1 police officer.		
5	05/01/1999	Bulk/oil carrier	UK MAIB	Duct Keel	Unknown	0	1	Seaman overcome by fumes while working in duct keel of tanker. All proper precautions taken and other crew with him were not effected.		Bahamas
6	16/01/1999	Oil tanker	UK MAIB	Cargo Oil Tank	Gasoline	0	1	Crewman entered cargo oil tank. After placing eductor pump in suction well he collapsed. Atmosphere had been tested before entry. Tested immediately after incident and found gas free. Presumed cause was isolated pocket of gas in tank.		Gibraltar
7	03/02/1999	Tug/anchor handling vessel	UK MAIB	Store Space	Carbon monoxide	0	1	Use of petrol driven salvage pump in store space caused one crew member to suffer minor carbon monoxide poisoning.		
8	18/02/1999	General cargo multi-deck	UK MAIB	Hold	Oxygen depletion	1	0	Crew member entered partitioned area of hold during carriage of steel turnings. He died of asphyxiation.	Investigated by Bahamas Maritime Authority	Bahamas
9	23/04/1999	Chemical Tanker	IOM	Cargo Tank - previous cargo HMD and Nitrogen blanket	Nitrogen, Oxygen depletion	2	0	Very similar to Bow Wind comments. There was a practice on board of taking a deep breath and going to first platform to see if clean, cutting corners to save time. Pumpman died, cadet tried to rescue wearing a filter mask and also died. Subject of "Silent Assassin" video.		

10	19/07/1999	Barge	U S C G	Cargo Tank	Low O2 and Toxic Environment, Access Procedures	1	0	At a Barge Cleaning Facility, a shipyard worker entered the #1 cargo tank. He was later found by co-workers lying unconscious on the bottom of the hold and was extracted from the hold, and personnel conducted CPR until an ambulance arrived. He was transported to Hospital where he was pronounced dead. Apparent cause of death was asphyxiation due to exposure to an oxygen deficient environment. Investigation found that he had received the safety training Respirator fit test and training, Confined space entry, Workplace safety training (hazardous communications) and concluded that cleaning facility had inadequate enforcement of their confined space entry and securing procedures.		
11	26/08/1999	Naval support	UK MAIB	Unknown	Sodium metabisulphite	0	1	Accidental release of sodium metabisulphite vapor during cleaning of reverse osmosis plant. Injured crew member was not wearing sufficient personal protective equipment.		
12	25/09/1999	RoRo Vehicle/ Passenger ferry	UK MAIB		Ammonia	0	1	Crew member suffered injury due to accidentally inhaling ammonia gas while moving a faulty refrigerator. Ammonia refrigerators to be removed from vessel.		
13	03/02/2000	Tanker	Latvia	Cargo tank	Ventilated, cargo fumes	1	0	While climbing up the stairs after cargo tank cleaning sailor fell back to the tank bottom from five meter height and lost his life. The causes of the accident: 1) lack of the tank-working permit; 2) lack of the safety line while climbing up.		
14	01/04/2000	Dry Cargo -Reefer	Liberia	Cargo Hold	Oxygen Deficiency	1	0	Cocaine Smuggler found dead in Cargo Hold.		
15	05/04/2000	Ore carrier	UK MAIB	Hold	Bulk coal	2	1	Military intelligence decided to search vessel using combined naval, marine and specialized army search team. Holds to be searched if ventilated/time allowed. 2 army entered hatch, no pre-entry tests. Both men became unconscious, corporal entered space without pre-testing, became unconscious.	Investigated by MAIB http://www.maib.gov.uk/publications/investigation_reports/2001/mv_diamond_bulkier.cfm	Philippines
16	18/05/2000	Tank Ship	U S C G	Cargo Tank	Entering Toxic Environment without protective clothing, access procedures	1	0	Vessel enroute Houston, TX after discharging a cargo MTBE. Two days after departure the pumpman entered number #1 center cargo tank for cleaning with a respirator & EEBA. The pumpman retrieved from inside the tank by ships crew. CPR was administered but was unsuccessful. Autopsy concluded the pumpman died of "toxic fumes intoxication secondary to MTBE exposure."		
17	10/06/2000	Fish Catching	UK MAIB	Engine Room	Carbon Monoxide	1	0	Portable petrol-engined pump being used to pump bilges of fishing vessel. Pump and engine placed in engine room with no ventilation. Engineer was fatally affected by carbon monoxide fumes from engine's exhaust.	Investigated by MAIB http://www.maib.gov.uk/publications/investigation_reports/2001/fv_mariama_k_fr242.cfm	
18	10/09/2000	General cargo - single deck	UK MAIB	Cargo hold	Carbon monoxide	1	0	Seaman found lying at bottom of no.2 hold access shaft. Atmospheric tests on access shaft to hold showed very low levels of oxygen & high levels of carbon monoxide. Apart from distinctive smell, chemical reaction in shaft or in timber in hold. Tests on timber sample showed no evidence of preservatives or any apparent reason for low oxygen & high carbon monoxide atmosphere.	Investigated by MAIB http://www.maib.gov.uk/publications/investigation_reports/2001/baltyskiy.cfm	Russia
19	19/10/2000	Tanker/ combination carrier	UK MAIB	Cargo tank	Inert gas	0	1	Crew member entered a cargo tank after cleaning to retrieve a pair of gloves despite being aware of the dangers from inert gas. He collapsed, a rescue using "SCBA SEDS" was carried out and the man rescued.		
20	29/10/2000	General cargo single deck	UK MAIB	Cargo hold	Oxygen depletion, Carbon Monoxide	1	0	Master entered cargo hold on coaster, whilst at anchor sheltering and was overcome by fumes from coal cargo. Oxygen content found to be below 3.5% and carbon monoxide found present.		Holland

21	24/11/2000	General Dry Cargo Ship	NOR NMD	Cargo Hold	Probably low O2-level in cargo hold	2	1	OS painted access hatch for cargo hold. The hatch was open. Observed unconscious. Two persons entered the cargo hold without BA to rescue the OS. One of them survived due to resuscitation.		
22	01/12/2000	Chemical tanker (Inland)	Netherlands	Cargo tank	Low O2 environment, Access Procedures	1	0	After discharging a naphtha cargo, the cargo inspector declared the cargo tank unfit for the intake of different chemical load, remains of the naphtha still being present. The master decided to clean the tank himself. Although all the right equipment was available and the master was well informed and experienced, he nevertheless entered the tank relying on a full face mask with filter for naphtha vapors. He did not take a possible low oxygen level into account and died of oxygen deficiency.		
23	10/05/2001	Oil tanker	Latvia	Ballast tank	Insufficient ventilation during spray-painting	1	1	During spray painting with toxic paint in the ballast tank safe working regulations were violated – air respirators were used instead of breathing apparatus. As a result one worker lost his life and another got toxic poisoning. The accident was facilitated by prolonged evacuation of victims from the tank (almost 5 hours).		Liberia
24	04/09/2001	Chemical Tanker	IOM	Cargo tank-previous cargo Naphtha	30% LEL and no O2 checks	1	1	Educting tank residues all day, occasionally checking atmospheres, crew refusing to wear SCBA only filter masks, condoned by C/O - lucky they didn't all die! Cutting corners to save time and effort in port. Master died of a heart attack during rescue.		
25	05/10/2001	Oil Tanker	Liberia	Ballast tank	Oxygen Deficiency	1	1	One Ship yard Worker died due to asphyxiation while painting ballast tank and one Ship yard Worker injured due to intoxication by hydrocarbon gas.		
26	02/11/2001	Pelagic Fishing Vessel	SAMSA	Fishhold	Oxygen depletion	2	0	2 crew members entered the fishhold to clean, 2 days after a catch of pelagic fish had been discharged. Oxygen content too low to sustain life.		
27	30/11/2001	Tanker	Latvia	Double bottom fuel tank	Ventilated	1	0	Severance was performed in ships double bottom fuel tank (DB FT). Gas cylinders were located on the main deck and gas hoses were put through openings down into DB FT. In same time the electrical welding was performed in the pump room above the DB FT. After a short break, steel cutting works were being recommenced and fire in DB FT broke out. As a result the worker lost his life. The probable causes of accident were: gas hose damage after contact with hot metal surface inside DB FT or hose contact with drops of melted steel from the pump room.		

28	17/11/2001	Bulk Carrier	Australia ATSB	Ballast Tank	ventilated, non-intrinsic	8	0	With the ship waiting at anchor off Dampier to load, the crew were preparing and painting the interior of no.1 port topside ballast tank. At about 1430 on a hot Sunday afternoon, the eight-man deck crew started work painting the steelwork inside the tank. One man was spray painting inside the empty tank while the rest of the deck crew maintained the paint reservoir and tended a cargo light lowered into the tank through the after manhole. An open-ended compressed air hose was led from the forecandle, along the deck and down through this after manhole, while an electrically driven fan was positioned over the after manhole to ventilate the tank. The paint being used was a two-part epoxy mix, excessively thinned because of the hot day. At about 1640 a large explosion ripped through the tank. It is likely that the cargo light was inadvertently dropped into the tank which caused the incandescent bulb to break which then ignited the heavier-than-air paint fumes trapped in the frames spaces at the bottom of the tank. The tank was ruptured and three men were blown down the length of the main deck, killing them all instantly. The explosion also blew four other men over the ship's side. One man, who had been inside the tank, still alive although severely burned was assisted out of the tank, through the ruptured maindeck plating, and airlifted ashore. He died 18 days later in hospital.		Hong Kong
29	17/12/2001	Bulk Carrier	Liberia	Cargo Hold	Oxygen Deficiency	1	0	Chief Mate died due to lack of oxygen in the cargo hold		
30	04/01/2002	Oil/chemical tanker	UK MAIB	Cargo Tank	Gasoline fumes	0	1	AB developed problem with BA mask and removed/lost his face mask, became unconscious. Enclosed spaces checklist and company procedures were not followed.		Gibraltar
31	10/01/2002	Oil tanker	UK MAIB	Cargo or other tank space	Unknown	0	1	Bosun entered untested enclosed space and collapsed as a result		Gibraltar
32	08/02/2002	Prawn Freezer Trawler	SAMSA	Machinery space	Oxygen depletion	1	0	Chief Engineer found dead in machinery space after working on refrigeration system.		
33	31/03/2002	Ro-Ro Cargo Ship	U S C G	Engineroom	Low O2 Environment, Fire fighting and recovery procedures	2	0	The vessel had a fire in the engine room. At approx 0645, the vessel master released CO-2 to extinguish the fire. At approx 0745, a team led by the Chief Mate entered the engine room and reported that the fire was out. At approx 0815, the team made a second entry to further evaluate the extent of the damage and the ability of the ship to get underway. During this entry, the Chief Engineer fell unconscious down a stairwell near the start-air tanks to the lower engine room deck. He was assisted by the Chief Mate, 1st Asst Engineer and 3rd Asst Engineer. The 3rd Asst Engineer exited to get help. The Chief Engineer awoke alone at the bottom of the stairwell wearing an emergency air pack (ELSA). He departed the engine room through a nearby escape trunk. A rescue team, entering to assist, found the Chief Mate and 1st Asst Engineer aft of the MDE. It appears they were in the process of exiting the engine room when they ran out of air. After extracting them from the engine room, the crew initiated CPR efforts but were unable to revive them. The autopsies ruled that the crewmembers died of asphyxia due to oxygen deficiency combined with carbon dioxide inhalation.		

34	20/04/2002	Freezer Trawler	SAMSA	Machinery Space	Oxygen depletion/refrigeration gas	2	0	Greaser was instructed to clean the filter on a refrigeration system. Filter not isolated. R22 entered the compartment displacing the oxygen, being heavier than air. Chief Engineer went to check on progress noted the Greaser collapsed on the plates and entered the compartment. Both died.		
35	06/08/2002	Hopper Barge	MAI Hong Kong	Void Space adjacent to cargo hold	Oxygen depletion, Carbon Monoxide	2	0	Two local seamen died after entering the void space adjacent of a cargo hold. Carbon monoxide gas had accumulated in the space and depletion of oxygen took place inside the space due to rusting of vessel structure. The space had not been ventilated before they entered into it.	Investigated by MAI Hong Kong http://www.mardep.gov.hk/en/publication/pdf/mai020806.pdf	Locally licensed barge in Hong Kong
36	06/08/2002	Tanker	NOR NMD	Cargo tank	Low O2 Environment, Methane atmosphere	0	2	AB entered the Tank in connection with tank cleaning. The tank was not ventilated and the atmosphere was not tested. The AB lost consciousness due to Methane poisoning.		
37	29/08/2002	Offshore	U S C G	Leg of drilling rig, void spaces	Low O2 environment	2	0	2 shore staff were working on the rig. They were sent into a leg of the rig to install ventilation and lights. According to findings the leg was Oxygen deficient. The two personnel who entered the compartment died of "Asphyxiation".		
38	01/09/2002	General dry Cargo Ship	U S C G	Cargo Hold	Low O2 Environment, Access Procedures	0	1	While in a cargo hold collecting stacking cones, an AB fell approximately 10 feet to the level below. He was found by a shipmate several minutes later in a pool of blood. There were no witnesses to the actual fall, and the victim does not remember what happened. He sustained several injuries, including a fractured skull, a broken rib, a punctured lung, and a broken left wrist. Investigating officer theorized that oxygen deficiency in the space may have caused the mariner to pass out and fall.		
39	09/09/2002	Fishing Vessel	U S C G	Engineroom	Refrigerant leak	0	1	In the Pacific Ocean, 112 nm west of point St. George, a refrigeration leak occurred in the engine room. Crew member attempted to repair the leak but was overcome by freon gas in the enclosed space and lost consciousness for 20-25 seconds. The victim was medevaced and transported to hospital. Vessel ventilated the engine room and the leak was repaired.		

40	02/12/2002	Bulk Carrier	U S C G	Cargo Hold	Low O2 and Toxic Environment, Access Procedures	1	1	<p>At Dar Es Salaam, Tanzania hatches to #3, #5, #6 and #7 were opened for discharge of cargo. At about 0935 two Tanzanian Agricultural inspectors arrived to inspect holds #5 and #7 for quality of cargo. At about 1030 another inspector arrived aboard with 24 Agricultural trainees, requesting they be allowed to observe the inspection process. Although the master refused initially he eventually relented and referred the matter to the Chief Officer who instructed the students to view the cargo operations from the deck level only. At about 1125 the master was notified a man collapsed in cargo hold #3. A rescue team was formed. Deck crew responded with a first aid kit and noticed an individual lying about six feet below on top of the cargo inside the #3 cargo hold trunk hatch. The Chief Mate return with a gas mask, used for fumigant which had been used to fumigate the carge after loading, and an EEBD. The Chief Mate put on the gas mask and entered the space. The Chief Mate attempted to put the EEBD on the down person but collapsed. When the master arrived on scene he instructed AB to get an SCBA who then entered the space with a rescue line and block. At about 1135 the Chief Mate was recovered. The master checked the Chief Mate for vitals, found no pulse or respiration, and immediately started CPR. At about 1137 the Chief Mate responded to CPR, breathing on his own. At about the same time the original man down was brought up. The master checked for vitals, found no pulse or respiration. and immediately started CPR. He did not respond to CPR and the master then used the vessel's portable AED to defibulate the patient. He did not respond and CPR was continued until paramedics arrived at about 1215. At about 1230 the Chief Mate was removed to an awaiting ambulance and was taken to the hospital in critical condition. At about 1240 the original person found in the hold was removed to an awaiting ambulance but was pronounced dead. At 1330 atmospheric readings were taken from the #3 cargo hold trunk and found to be 3% Oxygen. The post-Mortem Examination stated that the primary cause of death was due to head injury. The deceased was not authorized entry into the #3 cargo hold. The Chief Mate did not follow proper procedures for confined space entry.</p>		
41	12/04/2003	Pair trawler	UK MAIB	Cargo – fishroom	Hydrogen sulphide fumes	0	2	<p>Two crew who were working in the fish hold ended up with very sore eyes and extremely bad head aches. A study following a similar accident suggested that hydrogen sulphide fumes were to blame. The problem was eventually solved by removing the concrete floor, and replacing it, sealing it correctly.</p>		
42	21/05/2003	Scallop/ queenie dredger	UK MAIB	Cargo - fishroom	R409A	0	1	<p>A shoreside engineer was overcome by gas R409A while working on the refrigeration system. In future the skipper intends to open all the fish room hatches when the refrigeration system is being worked on.</p>		

43	26/06/2003	Barge	U S C G	Cargo Tank	Low O2 and Toxic Environment, Access Procedures	0	2	2 collapsed while working in the barge. The first crew member entered the barge to pump out the water when he was overcome by the lack of oxygen in the space. He fell approximately 10 ft, injuring his head. The second crew member went in to provide assistance. He was also overcome by the lack of oxygen. A third person was lowered into the tank via rope and was also overcome but was able to be pulled out. The owner of the cleaning company notify Emergency Response and then placed a ventilator into the space. A Good Samaritan provided assistance, holding his breathe went down into the tank placing a rope around both individuals. Both crew members were pulled safely out of the barge and transferred to Hospital. Both men were breathing but unconscious when they arrived at the hospital. They since recovered.		
44	08/07/2003	Bulker	RMI	#6 Fwd Cargo Hold	Oxygen Deficiency	0	2	Fitter and Chief Officer fainted in the first platform of No.6 Fwd Cargo Hold entry due to lack of oxygen.		
45	10/09/2003	Surface craft	UK MAIB	Other internal deck/space	Hydrogen sulphide	0	1	Whilst conducting planned maintenance cleaning of a sewage treatment plant with two assistants the engineer officer was overcome by hydrogen sulphide after disturbing the sludge with a fire hose. The plant had been shut down previously for several days but the hose was required to break up the heavy sludge.		
46	13/10/2003	Liquid gas carrier	UK MAIB	Engine room	Hydrogen gases	1	1	2 shore workers chemically cleaning a main boiler, the steam drum door had been opened to allow for inspection of the clean. As the contractors approached the drum a non-intrinsically safe halogen lamp was passed into the drum. There immediately followed an explosion which caused fatal injuries to the UK worker and serious 30% burns to a Danish national. The chemical used to remove the boiler scale and corrosion was nitro's descalex. This inhibited Sulphamic acid cleaner also contained a coloring agent to indicate the acid strength. The inhibitor Provided a protective coating on the internal steel surfaces of the boiler so that it was protected From acid attack, which produces hydrogen gas.	Investigated by MAIB http://www.maib.gov.uk/publications/investigation_reports/2007/hilli.cfm	
47	24/10/2003	Container	Germany	Scavenge Air Receiver	The autopsy report revealed cardiovascular failure due to hyperthermia as cause of the death	1	0	Engineer entered scavenge air receiver again after work was completed, no safety watch was posted; he got locked inside due to construction of "dogs" used for locking the access hatch; inappropriate search measures were applied when it became known that the engineer was missing; time/commercial pressure and relationship between crew members might had contributed; even though the scavenge air receiver was known to be the last working place of the engineer it had not been opened before departure as the main engine had already been started and opening of the access hatch would had required to shut down the main engine again; the engineer was found dead two days later in the next port of call.	Investigated by BSU; http://www.bsu-bund.de/	
48	18/11/2003	Bulk Carrier (Carrying lumber)	MAI Hong Kong	Access passage to cargo hold	Oxygen depletion, Carbon Monoxide	1	0	A seaman died after entering the access passage. The space had not been ventilated before entry. The bio-deterioration characteristic of lumber absorbed the oxygen from the surrounding atmosphere and through the access door into the access passage.	Investigated by MAI Hong Kong	

49	24/11/2003	Tank Ship	U S C G	Forepeak Tank	Low O2 and Toxic Environment, Access Procedures	0	1	A shipyard worker was incapacitated by paint fumes when he entered the forepeak tank. The tank had been recently painted and everyone was told not to enter the tank, however when the job supervisor returned from locating an extension cord for the forced air blower, he found the worker lying at the bottom of the tank unconscious. He immediately notified the Master, who had the ship's emergency evacuation detail don SCBAs and remove the individual from the tank. EMS and ship's medical personnel administered oxygen to the victim until he was evacuated to a nearby hospital, treated and released.		
50	12/12/2003	Oil Tanker	Liberia	Cargo Tank	Oxygen Deficiency	1	0	Death of Ordinary Seaman by asphyxiation due to explosion inside the cargo tank during repair works at Lisnave shipyard.		
51	03/01/2004	Tanker/combinatio n carrier	UK MAIB	Engine Room	Carbon monoxide	0	2	While discharging gas oil, an engineer became unconscious. About 55 minutes later, a motorman who had been working him also lost consciousness. Engine room was vented. Higher levels of CO, were detected and the IG plant, which had been kept working to provide a positive pressure on the tanks, was immediately shut down. A high concentration of co was found aft of the funnel, where the plant's atmospheric outlet valve is sited. This was due to the low discharge rate. It was assessed that the co was carried into the engine room by a vent fan.		Germany
52	25/01/2004	General cargo	Finland	Cargo Hold casing	Low O2 Environment, Access Procedures	2	1	Young OS, new on board went look for brushes to clean hatchcovers after deck cargo (logs) discharge. Fell down to bottom of the casing. Chief officer went to help, fell down. Third man tried to go down to help, felt dozy...managed to climb back to deck.		
53	01/04/2004	Bulk Carrier	MAI Hong Kong	Bilge space enclosure beneath cargo hold	Oxygen depletion	2	0	A Chief Officer and a Cadet died inside a bilge space enclosure after entry. The space had not been opened for some time and was not ventilated before entry. The Chief Officer was likely to have consumed more alcohol than he was allowed under the prescribed limit.	Investigated by MAI Hong Kong http://www.mardep.gov.hk/en/publication/pdf/mai040104.pdf	
54	02/04/2004	Bulker	Vanuatu	Cargo hold	Oxygen deficiency	1	1	AB entered the hold to take cargo samples without standby personnel and without PPE. Cadet attempted to rescue him.		
55	27/05/2004	Oil tanker	CHILE	Cargo Tank	Gasoline	0	5	Crew members were manually cleaning the cargo tanks, which had been ventilated previously. Fuel leaks in the waste disposal hoses polluted the environment. Oil gases were detected by safety teams, however the crew did not notice this fact. There was no autonomous breathing system available.		
56	12/06/2004	Chemical Tanker	MAI Hong Kong	Cargo Tank	Nitrogen, Oxygen depletion	1	0	A pumpman died after taken a quick dash to the upper ladder platform of a cargo tank in an attempt to retrieve the helmet for the cargo surveyor. The tank had been purged with nitrogen.	Investigated by MAI Hong Kong http://www.mardep.gov.hk/en/publication/pdf/mai040612.pdf	
57	15/09/2004	Naval support	UK MAIB	Store space	Formaldehyde	0	1	Leaking cans of fluid for chemical toilets created noxious fumes, which were inhaled by this crew member. The data sheet on board was for the chemical toilet fluid that did not contain formaldehyde, however the fluid actually carried did contain formaldehyde.		
58	29/03/2005	General Dry Cargo Ship	U S C G	Cargo Hold	Low O2 Environment, Access Procedures	0	3	Vessel sailed from Oakland. A day later while approximately 150 miles West of LA, 3 crew members went into a hold (with wood pellets) to try to secure some cargo that had broken loose and were overcome by oxygen depravation. They were removed, treated and have recovered..		

59	29/04/2005	Stern trawler	UK MAIB	Machinery space	R22	0	1	Contractor inadvertently drilled into a R22 refrigerant liquid line, thinking it to be gas free. This immediately released liquid/gas into the machinery space. Four contractors were taken to hospital to be checked over and one remained in hospital for 2 Nights for observation and was then released.	Investigated by UK Health and Safety Executive	
60	21/05/2005	Tanker	RMI	Tank #-5- Port COT	Oxygen Deficiency	2	0	While removing the suction hose, one AB said to another he felt bad, then his eyes rolled up and he collapsed. . The Chief Mate exited the tank to put on a SCBA and returned the tank to find another AB was motionless. The two A.B.s were unable to be revived. The autopsy revealed the 2nd individual to collapse had abrasions on his head, which could have been consistent with hitting it as a result of a fall.		
61	01/06/2005	Fishing	Sweden	Hold entry.	Non vent.	2	1	Was going to clean the hold from rotting herring		Lithuania
62	01/08/2005	Gen.cargo	Sweden	Hold entry.	Non vent.	1	0	Entered without breathing app. when fetching tools for hold cleaning	Investigated by SMSI Sweden http://www.transportstyrelsen.se/Global/Sjofart/Dokument/Haverirapporter/E_2005/2005_08_19_to_rrlastfartyget_eken_sbjl_olycka_med_dodlig_utgang.pdf (In Swedish)	
63	24/10/2005	Oil Tanker	Liberia	Cargo Tank	Oxygen Deficiency	1	0	Ordinary Seaman asphyxiated while cleaning liquid residue from the cargo tank during vessel's passage from Mangalore, India to Dubai, UAE.		
64	10/12/2005	Fish catching	UK MAIB	Cargo – fishroom	Carbon monoxide	0	2	A portable engine driven pump was lowered into the fish room to relieve flooding. Two crewmen were overcome by the pump's exhaust fumes, one of them losing consciousness.		
65	30/01/2006	Fish catching (25gt)	UK MAIB	Cabin	Carbon monoxide	1	0	Crew member using vessel as temporary accommodation placed portable petrol driven generator in fish hold adjacent to cabin area to provide power to cabin area. The bulkhead between the spaces was not gas tight and the crewman died from inhaling exhaust fumes.	Preliminary examination carried out by MAIB http://www.maib.gov.uk/publications/completed_preliminary_examinations/completed_preliminary_examinations_2006/pamela_s.cfm	
66	04/03/2006	General cargo	CHILE	Ballast tank/ Cargo hold	Sulfuric Acid	1	1	Crew members entered a tank in which fish oil had been transported and which afterwards had been filled with ballast water. They worked inside for several hours without any problems. A pocket of sulphuric acid that was formed inside the tank intoxicated them. There was no autonomous breathing system available.		
67	26/04/2006	Bulker	RMI	#4 Cargo Hold Manifold	Oxygen Deficiency	1	1	While the vessel was discharging coal one A.B. died and another A.B. was injured due to lack of oxygen in #4 Cargo Hold Manhole.		
68	10/07/2006	Container	UK MAIB	Tank container	Hydrochloric acid	0	8	8 people, 6 dock workers and two crew, were slightly injured when a cargo of titanium tetrachloride, which was being carried in a tank container, was contaminated by water in the container's steam heating system. The subsequent reaction cause hydrochloric acid to escape in vapor form and it was breathing this that caused the injuries.	German investigation carried out http://emsa.europa.eu/Docs/accidents/10-212.pdf	Korea
69	27/08/2006	Container	RMI	Hold #4	Oxygen Deficiency	1	0	While the vessel was enroute to Istanbul, Turkey, the engine cadet was engaged in entry into hold #4 in order. He consequently lost consciousness due to oxygen deficient atmosphere due to leakage of tank container containing liquid argon IMO 2.2 U.N. 1951.		

70	25/09/2006	Bulker	RMI	Cargo Hold	Oxygen Deficiency	1	1	The O/S and Bosun went down into the cargo hold for taking cargo sample without specific instruction not received from Master nor Chief Officer. The crew members went down into cargo hold #5 in order to retrieve a cargo sample, and suffocated while in the cargo hold.		
71	12/10/2006	Chemical Tanker	NOR NMD	Cargo tank	Not ventilated. Nitrogen atmosphere, Low O2	1	0	Cleaning the tank. Chief officer entered tank without Breathing Equipment. The Tank had less than 2 % O2.		
72	16/11/2006	Bulk Carrier (Carrying wooden pellets)	MAI Hong Kong	Access passage to cargo hold	Oxygen depletion, Carbon Monoxide	1	4	A seaman died and a shore worker seriously injured after entering the access passage. The space had not been ventilated before entry. The bio-deterioration characteristic of lumber absorbed the oxygen from the surrounding atmosphere and transferred to the access passage. (According to Sweden 7 others were sent to hospital but were released.)	Investigated by MAI Hong Kong and SMSI Sweden http://www.mardep.gov.hk/en/publication/pdf/mai061116_f.pdf . http://www.transportstyrelsen.se/Global/Sjofart/Dokument/Haverirapporter/D_2006/2006_11_16_bulkartyget_saga_spray_vrww5_dodsfall.pdf (In Swedish)	Sweden
73	01/12/2006	Gen.cargo	Sweden	Hold entry.	Non vent.	1	0	Entered without breathing app.		
74	01/12/2006	Tanker	Sweden	Deck	Open air	0	2	Opened a pipe to take cargo sample	Investigated by SMSI Sweden http://www.transportstyrelsen.se/Global/Sjofart/Dokument/Haverirapporter/D_2006/2006_12-27_oljetankartyget_stoc_regina_sgox_peronskada.pdf (In Swedish)	
75	06/12/2006	Fish catching	CHILE	Fishhold	Sulfuric Acid	1	0	A crew member entered the fish cargo hold, without previously measuring the gas conditions, after which he fell down inside the hold as he lost consciousness because of the sulphuric acid released from decomposing fish. □		
76	13/12/2006	Chemical Tanker	NOR NMD	Cargo tank	Not ventilated. Cargo atmosphere (hexene-1)	0	2	Deck cadet entered tank on bosun's order without PE, lost consciousness. Bosun entered tank without PE to assist, lost consciousness. AB stationed at hatch raised alarm, AB and Chief Officer. entered tank with PE and rescued cadet and Bosun.		
77	01/01/2007	River launch (15 gt)	UK MAIB	Wheelhouse	Carbon monoxide	0	2	Over a period of up to two months several crew from a river launch were exposed to carbon monoxide in the wheelhouse. The air intake to the heater was located in the engine compartment. The possibility of exhaust leaks in the trunking or of engine exhaust re-entering through the engine vents considered the most likely source of co.		
78	07/02/2007	Fish catching liner	UK MAIB	Shark oil storage/ cargo tank	Unknown	1	3	Shore contractors at non UK port boarded the vessel to clean the shark oil storage/cargo tank. The atmosphere was not tested before entering; no breathing apparatus was being worn and no forced ventilation was provided. One worker succumbed to the fumes (& later died). Three other workers also suffered from the effects while rescuing their colleague.	Investigated by Spanish authorities (Capitnaeria Maritime) from Vigo.	

79	04/03/2007	Oil Tanker	Liberia	Slop Tank	Oxygen Deficiency	2	0	Death of OS and AB due to entry into VOID spaces and inhalation of toxic gases. OS and AB (to rescue the OS) entered into slop tank without carrying breathing apparatus and wearing only a portable dust mask which was not appropriate. The OS and the AB did not receive the Chief Officer's permission and they apparently ignored three other crew members' protests forbidding them to enter the slop tank.	
80	15/03/2007	Refrigerated Cargo Ship	U S C G	Cargo Hold	Low O2 Environment, Access Procedures	2	0	Investigation conducted jointly with Liberia. Vessel is constructed to carry fruit concentrate. Cargo tanks are clustered independently in segregated cargo holds with typical cargo and nitrogen gas supply piping. During cargo operations, 2 officers were found unconscious in the number cargo hold and were extracted by the crew. The first responders began CPR before EMS paramedics arrived but officers were pronounced dead at the scene. The deck officer entered the cargo hold for routine pre-departure checks. When he didn't return topside, the Chief Mate entered the cargo hold to look for him. It was determined that the rupture disk (safety device) installed on the cargo tanks, overfill tank, failed allowing nitrogen gas to be released into the cargo hold. The date and time of the breach of the rupture disc is unknown.	Liberia
81	Apr-07	Tanker	Cyprus	Cargo Tank	Empty, last cargo was naphtha, not inerted.	1	0	Pumpman carried out stripping of the tanks. Flow rate was slow, so he entered the tank without permission, without proper equipment and without notifying anybody. It was his first day as Pumpman.	
82	23/05/2007	General Cargo	IOM	Cargo hold - completed laden voyage with pulp logs	No Oxygen and carbon monoxide	2	1	Bosun entered hold via access hatch to collect equipment. Discovered missing and Master entered tank without SCBA during search. Crew aware of dangers of O2 depletion with timber cargo. Hold not treated as enclosed space and entry was quick attempt to save time.	Sweden
83	31/05/2007	Pelagic Fishing Vessel	SAMSA	Fishhold	Low O2 Access Procedures	1	3	Skipper died after entering fishhold to rescue 2 crew members who had been overcome while trying to rescue another crew member who had entered to clean the hold.	
84	20/09/2007	Bulker	RMI	Cargo Hold #5	Pet Coke Fumes	1	0	While retrieving samples of the Pet Coke cargo from Cargo Hold #5 through the forward manhole, the boatswain lost consciousness while equipped with an EEED.	
85	23/09/2007	Offshore supply	UK MAIB	Starboard chain locker	Oxygen depletion	3	0	2 persons entered chain locker to secure noisy anchor chain & collapsed, likely 2nd person entered in an attempt to recover 1st. 3rd person donned breathing apparatus & carried 10 minute Emergency Escape Breathing Device (EEED) to place on casualty. 3rd person of large build unable to fit down hatch wearing BA so donned EEED. EEED became removed.	
86	27/09/2007	Tug	RMI	Barge Tank	Oxygen Deficiency	2	1	Despite the Chief Officer instructing the Bosun to not enter the tank, the Bosun went inside and shortly thereafter fell unconscious. Immediately, the A.B. went to rescue the Bosun and also fell unconscious. After witnessing the two men descend into the tank, the Messboy rushed to enter the tank and also fell unconscious. The A.B. and Bosun died inside the tank. The only survivor was the Messboy, who was hospitalized and recovered from his injuries.	

87	14/10/2007	Workboat	UK MAIB	Other internal deck/space	Carbon monoxide	0	2	Vessel flooding, 2 crew members moved portable, petrol driven, pump into the confined space adjacent to accommodation space. The pump later lost suction and one of the crew members went into the space to investigate. His colleague then joined him in the space to assist. The first crewman to enter the space then reported feeling dizzy and collapsed and lost consciousness. The second man then stopped the pump and left the space to get a rope to pull his colleague out.	Preliminary examination carried out by MAIB http://www.maib.gov.uk/publications/completed_preliminary_examinations/completed_preliminary_examinations_2007/panurgic_II.cfm	
88	29/10/2007	General cargo - single deck	UK MAIB	Accommodation	Phosphine poisoning	1	0	Vessel carrying feed wheat into her two holds. Once loading was complete, the cargo was fumigated by applying aluminum phosphide pellets loose into the cargo. The fumigation process was intended to progress during the voyage, as the tablets decomposed and gave off phosphine gas. The following morning, crewman found dead in his cabin. No obvious leakage path for the fumigant gas was located, even after smoke testing the hold and stripping back the bulkhead linings. However, following de-scaling of the area, some pin holes were discovered in the underside of the cabin deck that overhung the cargo hold.	Preliminary examination carried out by MAIB http://www.maib.gov.uk/cms_resources/Fumigated_cargo_Flyer.pdf http://www.maib.gov.uk/publications/completed_preliminary_examinations/completed_preliminary_examinations_2008/monika.cfm	Antigua & Barbuda
89	13/01/2008	Chemical Tank Ship	U S C G	Cargo Tank	Low O2 Environment, Access Procedures	1	0	3rd Officer fell into one of the tanks, was exposed to nitrogen, was extracted and taken to hospital. Investigation found the 3rd Officer was taking oxygen content readings of nitrogen tank during purging operations at 15 to 30 minute intervals. The purging operation commenced at 0600. At approximately 0645-0650 3rd Officer went to take his second set of readings. After several minutes the Chief Officer tried to radio the 3rd Officer to get the readings but the 3rd Officer never responded. The Chief Officer sent an AB to check on the 3rd Officer. The AB discovered the oxygen monitoring equipment and hardhat on deck but the 3rd Officer was missing. He immediately looked into the cargo tank and saw the 3rd Officer lying on the deck. The alarm was sounded @ 0700 and the crew removed the 3rd Officer from the cargo tank. The 3rd Officer apparently dropped part of the air testing equipment into the tank and he went in to retrieve it wearing only an air purifying respirator. Once in the tank, the 3rd Officer was overcome with nitrogen. There were no signs that he fell into the tank. He remained on life-support but died 11 days later.		
90	17/01/2008	Fishing Vessel	UK MAIB	Fish Hold	Carbon Monoxide	0	1	Bilge system became blocked and pump put in fish hold to clear water. Crew member lay down to clear blockage and became unconscious. 3 other crew in hold had 12, 14 and 16% CO in their blood stream. In future pump will only be used on open deck.		UK
91	18/01/2008	Fish catching	UK MAIB	Fishhold	Carbon monoxide	0	1	Flooding. Bilge pump suction pipe blocked in fish hold. Purchased petrol driven pump which was eventually placed in hold with 4 crew standing in hold. 1 person injured. 3 others admitted to hospital for less than 24 hours, the carbon monoxide levels in their blood were 12%, 14% and 16%.		

92	18/01/2008	General Cargo	UK MAIB	Forward Store	IMDG Code Class 4.2 ferrous metal turnings had been in a nearby hold and depleted oxygen levels.	2	0	Prohibited cargo self-heated causing reduced levels of oxygen inside the forward store, resulting in the death of 2 crewmen.	http://www.maib.gov.uk/publications/investigation_reports/2008/sava_lake.cfm	Latvia
93	21/02/2008	Ro-Ro Passenger Ferry		Funnel	Carbon Monoxide	0	1	Crew member suffered carbon monoxide poisoning while cleaning inside of funnel. Fans to be left on in future, permit to work to be introduced, and gas alert micro clip to be worn.		
94	25/02/2008	Fishing Vessel	Vanuatu	Engine Room	Ammonia leak	1	0	During a blackout caused by an ammonia leak from the refrigeration plant which displaced all the oxygen in the engine room, the chief engineer attempted to enter the engine room without breathing apparatus and succumbed in the ammonia rich/oxygen poor atmosphere.		
95	24/03/2008	General Cargo	UK MAIB	Forepeak	Tested to approx 19.6% oxygen no CO or hydrocarbons	0	1	Hydrochloric acid had been released in area. Same crew member entered on two successive days. First day had minor eye and skin irritation. Second day became unconscious and stopped breathing. No harmful substances detected	Isle of Man believed to have conducted investigation	Isle of Man
96	10/04/2008	Bulk Carrier	Liberia	Cargo Hold	Oxygen Deficiency	1	0	Cargo receiver's surveyor lost consciousness, after entering into cargo hold No. 8 to conduct survey during discharge operation at Bilbao, Spain. Extensive emergency efforts to revive him failed.		
97	11/06/2008	Cruise Ship	UK MAIB	Ballast Tank	Insufficient oxygen due to corrosion of steel	1	1	Asphyxiation in ballast tank		Bahamas
98	25/07/2008	Tanker-Gas Carrier	Liberia	Cargo Tank	Oxygen Deficiency	2	0	Two men hired by subcontractor in the shipyard died after falling into a tank on board the vessel at St. Marine Shipyard.		
99	16/10/2008	Bulker	Norway AIBN	Cargo hold	Probable oxygen deficiency	0	2	Under investigation		
100	06/04/2009	Naval Support	UK MAIB	Deep Freeze	Ozone	0	5	Seven crewmen were loading frozen meat in to the deep freeze when they displayed symptoms of respiratory distress. They immediately evacuated the refrigeration compartment. The atmosphere was tested the presence of refrigeration gas and oxygen depletion. The results appeared to be normal and the work party returned to the space. The symptoms reappeared and work was stopped again. On investigation it was found that the compartment was fitted with an ozone generator which had been commissioned a week earlier, at the end of a refit period. The compartment had remained empty for the week and ozone had accumulated within the deep freeze and food handling spaces. □		

101	06/05/2009	Chemical Tanker	UK MAIB	cargo tank	Hydrogen Sulphide	0	2	AB overcome by release of hydrogen sulphide as he prepared to remove the water wash hose from the open hatch. The Ch Officer attempted a rescue and he too was overcome. Both were hospitalised in ICU. Ch Officer was released after one day and the AB after 6 days. To note that the fixed cleaning system was defective which required use of the portable cleaning system.	As at 17 June 2009 Investigation underway, vessel name is Jo Eik. Progress can be monitored at http://www.maib.gov.uk/latest_news/current_investigations.cfm	Norway
					TOTAL	93	96			

Liite 3. Varustamon tekemä tutkielma tankin tuuleuksesta AI9000

**LAIVOJEN TANKKITUULETUSTEN MALLINTAMINEN
LASTITANKIN MALLINTAMINEN**

1	YLEISTÄ	2
2	LASTITANKIN MALLINTAMINEN	2
3	CFD LASKENTA	4
3.1	LASKENTA CASET	4
4	LASKENNAN VERIFIOINTI.....	6
4.1	VERKKORIIPPUVUUSTESTI	6
4.2	LASKENTAMALLIEN VERIFIOINTI	7
5	TULOKSET	8
5.1	CASE 1.....	8
5.2	CASE 2.....	12
5.3	CASE 3.....	16
5.4	CASE 4.....	19
5.5	CASE 5.....	22
6	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	25
7	LIITE 1 OPENFOAM TULOKSET	26

1 YLEISTÄ

Laivojen lastitankit tuuletetaan ennen niiden tarkastus tai korjaustöiden vaatimaa sisään menoa. Tuuletuksen avulla pyritään varmistamaan mahdollisesti pesun jäljiltä jääneiden myrkyllisten yhdisteiden poistuminen tankin sisältä ulkoilmaan. Tuuletuksen toisena tarkoituksena on myös saattaa tankin sisällä olevan ilmaseoksen happipitoisuus säiliössä oleskelun kannalta turvalliselle rajalle.

Tankkien tuuletus toteutetaan normaalisti kiinteällä tai liikutettavalla tuuletusjärjestelmällä. Tuuletusilma johdetaan tankin sisälle, joko tankin ylä- tai alaosaan riippuen käytetystä tuuletusjärjestelmästä. Vastaavasti tuuletusilma poistetaan tankin äärimäisestä päästä ilman syöttöpisteestä katsoen.

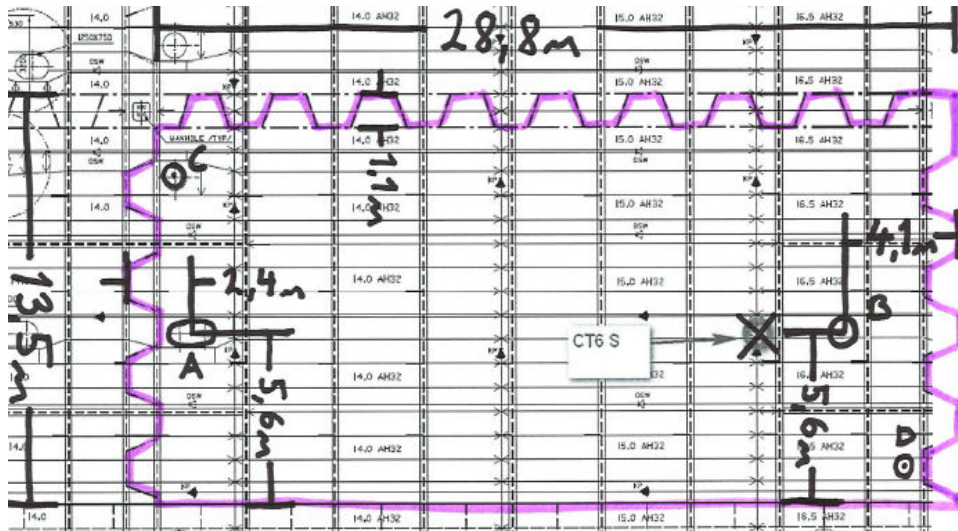
Laivojen lastitankkien tuuletus suoritetaan yleensä kokemukseen perustavan rutiinin perustella. Lastitankkeja tuuletetaan yleensä tietyn ajanjakson ajan, jonka jälkeen säiliön happi sekä hiilivetypitoisuutta mitataan analysaattoreilla ja tuuletukselta jatketaan tarpeen vaatiessa lisää.

Projektin tarkoituksena on selvittää varustamon laivojen lastitankkien tuuletusjärjestelmien ja käytetyn tuuletusajan vaikutusta ilmanvaihtumiseen, sekä myrkyllisten kaasujen poistumiseen laivojen lastitankeista. Mallinnuksen tulosten perusteella saadaan tarkempi kuva tarvittavista tuuletusajoista ja tuuletusilman käyttäytymisestä lastitankin sisällä.

Lastitankit mallinnettiin kaupallisella CFD (Computational Fluid Dynamics) virtauslaskentaohjelmalla. Mallin pohjaksi valittiin onnettomuusalus, jonka lastitankkien geometrioiden perusteella tehtiin CFD mallit.

2 LASTITANKIN MALLINTAMINEN

Lastitankin mallin pohjana käytettiin onnettomuusaluksen lastitankin geometriaa. Mallinnetun lastitankin pituus on 28.8 m, leveys 13.5 m, korkeus 19.0 m ja kokonaistilaavuus 7174 m³. Tankin molemmat päädyt sekä toinen sivu ovat "aalto" kuviollisia ja muut tankin osat oletettiin sileäpintaisiksi. Kuvassa 1 on esitetty piirros lastitankin geometriasta.

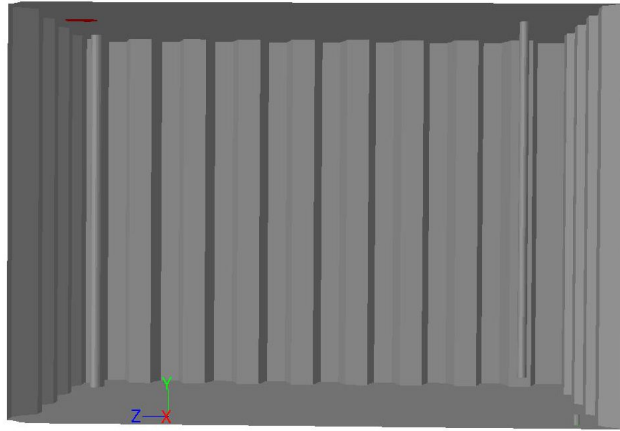


Kuva 1. Onnettomuusalueen lastitankin geometria.

Kuvaan 1 lastitankin sisäänmenoluukku (1800x700mm) on merkitty A kirjaimella. Sisäänmenoluukku toimii tuuletusprosessissa ilmanpoistoluukkuna, jonka kautta tuuletusilma poistuu lastitankista ulkoilmaan. Tuuletusluukku on merkitty kuvaan B kirjaimella, jonka kautta liikutettavan tuuletusjärjestelmän tuuletusputkisukka lasketetaan lastitankin sisälle. Tuuletusputkisukka lasketaan noin 1.5 m etäisyydelle lastitankin pohjasta. Lastitankin sisällä oleva lastiputki C on otettu myös malliin mukaan sen aiheuttaminen virtausvastusten selvittämiseksi. Lastitankin kiinteä tuuletusjärjestelmä on merkitty kuvaan D kirjaimella. Kohdassa D sijaitsee kiinteän tuuletusjärjestelmän syöksypuhallus, jonka kautta tuuletusilma johdetaan lastitankin pohjalle (0.5 m tankin pohjasta). Kiinteän tuuletusjärjestelmän avulla voidaan myös puhaltaa tuuletusilmaa lastitankin yläosaan. Tämä kohta sijaitsee aivan B tuuletusluukun vieressä.

Lastitankin muut pienet paikallisvastukset ja geometria muutokset jätettiin huomioimatta CFD mallinnuksessa, sillä niiden katsottiin aiheuttavan vain marginaalista muutosta tuloksiin.

Kuvan 1 pohjalta laadittiin CFD malli, jonka perusteella toteutettiin tuuletuslaskennat eri tuuletusolosuhteilla. Kuvassa 2 on esitetty lastitankin laskenta-geometria.



Kuva 2. Lastitankin geometriakuva Fluent CFD ohjelmasta.

3 CFD laskenta

Laskenta verkko on tehty Gambit 2.4.9 ohjelmalla ja CFD laskenta Ansys Fluent 12 ohjelmalla. Laskenta tehtiin ajastariippuvana ja käytetty turbulenssimalli oli realizable k-epsilon malli. Väliaine oletettiin kokoonpuristamattomaksi ideaalikaasuksi vakio-ominaisuuksilla. Lämpötilaeroja ei otettu huomioon. Laskennassa käytettiin 5 x 3.0 GHz:n prosessoreita rinnakkain jolloin yhteen tapaukseen kului noin kaksi päivää (yksinkertaistettuna, katso 4.1) laskentaaikaa.

3.1 Laskenta tapaukset

Jokaisen laskenta tapauksen pohjana on käytetty seuraavaa tilannetta. Lastitankin lastina on ollut dieseliä ja tankin pesuohjelman sekä inertoinnin jäljeltä palavia kaasuja on jäänyt lastitankkiin, siten että LEL (Lower Explosive Limit) rajaan alle 2 %. Lastitankin happipitoisuus ennen tuuletuksen aloittamista on 8 V-% ja lastitankissa on 50 ppm dieselin lisäaineesta peräisin olevaa 2EHN (2 ethylhexyl nitrate).

Laskenta toistettiin viidellä eri laskenta tapauksella, joissa vaihdeltiin käytettävissä olevaa tuuletuskapasiteettia sekä käytettävissä olevaa tuuletusjärjestel-

mää. Taulukossa I on esitetty eri laskentatapausten tuuletus kapasiteetit ja lähtötiedot.

Taulukko 1. Laskentatapausten tuuletus kapasiteetit.

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	
Lastitankin Tilavuus	7174	7174	7174	7174	7174	m ³
Tuuletus Kapasiteetti	7000	7000	17000	17000	10000	m ³ /h
O ₂ Pitoisuus	8	8	8	8	8	V-%
LEL	2	2	2	2	2	%
2EHN Pitoisuus	50	50	50	50	50	ppm

Case 1

Tuuletukseen käytetään lastitankin kiinteää tuuletusjärjestelmää D ja tuuletusilma syötetään lastitankin yläosaan B luukun vieressä sijaitsevasta tuuletus yhteestä. Tuuletuksen kapasiteetti on 7000 m³/h.

Case 2

Tuuletukseen käytetään myös kiinteää tuuletusjärjestelmää D, mutta tuuletusilma syötetään kiinteän tuuletusjärjestelmän syöksyputken kautta säiliön pohjalle. Tuuletuksen kapasiteetti on 7000 m³/h.

Case 3

Tuuletukseen käytetään 1 case:n mukaista tuuletusjärjestelmää sekä liikutettavaa tuuletusjärjestelmää B. Tuuletus ilmaa ohjataan lastitankin ylä- ja alaosaan. Tuuletuksen kapasiteetti on yhteensä 17000 m³/h.

Case 4

Tuuletukseen käytetään 2 case:n mukaista tuuletusjärjestelmää sekä liikutettavaa tuuletusjärjestelmää B. Tuuletus ilmaa ohjataan vain lastitankin alaosaan. Tuuletuksen kapasiteetti on yhteensä 17000 m³/h.

Case 5

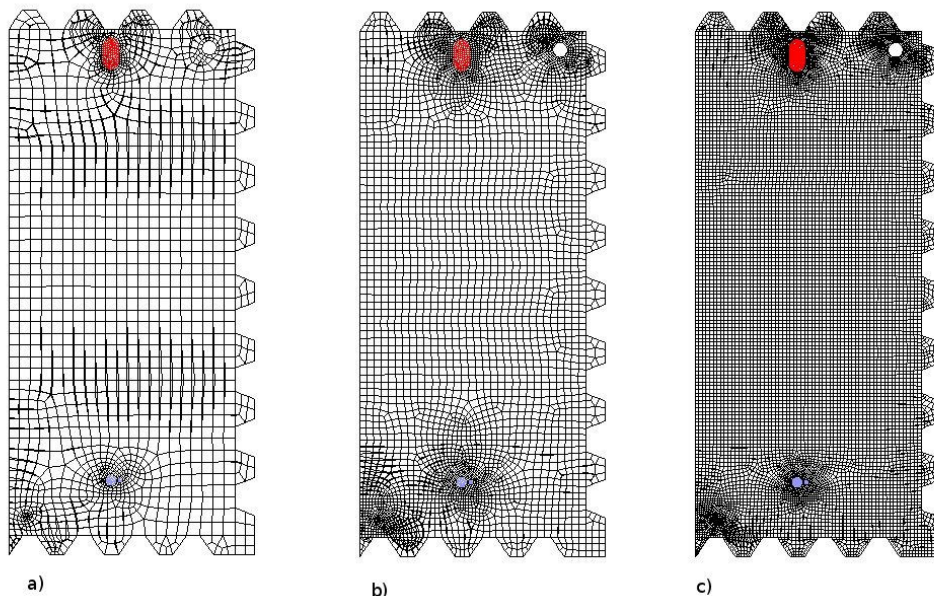
Tuuletukseen käytetään liikutettavaa tuuletusjärjestelmää B ja tuuletus ilma syötetään lastitankin alaosaan. Tuuletuksen kapasiteetti on 10000 m³/h.

4 Laskennan verifiointi

4.1 Verkkoriippuvuustesti

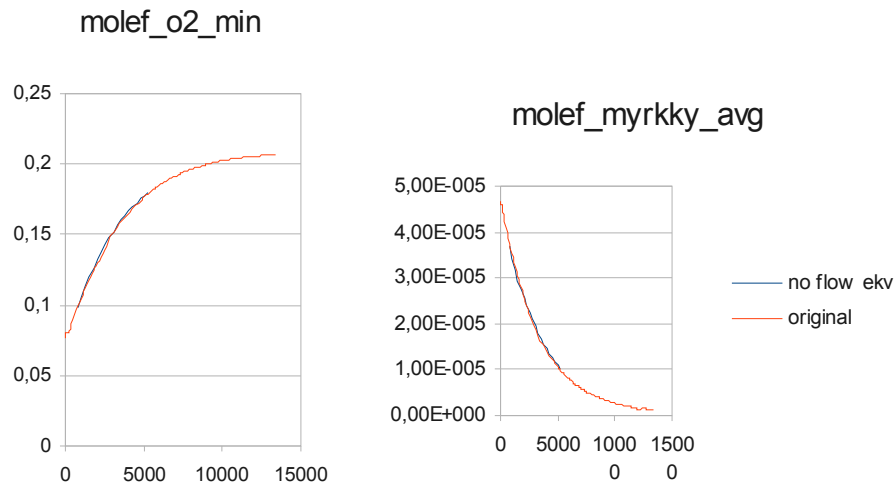
Laskentaverkon vaadittavaa tiheyttä testattiin laskemalla samaa tapausta kolmella eri verkolla. Pienin verkko koostui 63 000 laskentakopista, keskikokoinen verkko koostui 242 000 kopista ja suurimmassa tarkastetussa verkossa oli 685 000 kappaletta. Laskenta-aikaan nämä kokoerot vaikuttivat suhteessa noin 1:7. Suurimman ja keskikokoisen verkon simulointitestit olivat hyvin samanlaisia, mutta pienimmän verkon tulokset erosivat näistä eikä pienintä verkkoa siten voitu käyttää näissä laskennoissa. Suurin verkko taas pidentäisi laskenta-aikaa melkein kuukauteen per laskenta (ilman yksinkertaistusta) ja oli turhan tarkka.

Yksi ongelma näissä laskennoissa oli että tankissa esiintyi sekä suuria että hyvin pieniä nopeusalueita ja laskenta-aika on riippuvainen suurimmasta nopeudesta. Sisääntulon nopeus vaatii pientä aika-askelta jotta laskenta konvergoisi, mutta sillä ajalla tankin muissa osissa ei tapahdu juuri mitään muutoksia.



Kuva 3. Laskentaverkot: a) pieni (harva) b) keskikoko ja c) suuri (tiheä)

Laskennan nopeuskenttä osoittautui pysyvän hyvin tasaisena 500 sekunnin jälkeen. Laskenta-ajan säästämisen vuoksi tehtiin vielä tarkastelu virtausyhtälöiden ja turbulenssiyhtälöiden poisjättämisestä 500 sekunnin jälkeen. Laskennassa ratkaistaisiin siis vain pitoisuuksien diffuusioyhtälöt jäädytetyssä virtauskentässä. Tulokset menivät hyvin yhteen alkuperäisen ratkaisun kanssa ja tapaukset 2-5 ovat laskettu tällä tavalla noin 500 sekunnin jälkeen. Laskenta-aika tippui tällä yksinkertaistuksella viidesosaan.



Kuva 4. Yksinkertaistuksen vaikutukset.

4.2 Laskentamallien verifiointi

Varustamon CFD-tutkimusprojektin puitteissa tehtiin rinnakkaislaskentoja OpenFOAM nimisen open-source CFD-ohjelman kanssa, millä pystyttiin verifioidaan tuloksia. Eri ratkaisija sekä eri turbulenssimallit antoivat hyvin samantyyppisiä tuloksia joten voi todeta että käytetyt mallit sopivat näihin tapauksiin hyvin. Kuvia OpenFOAM-simulointituloksista Liite 1:ssä.

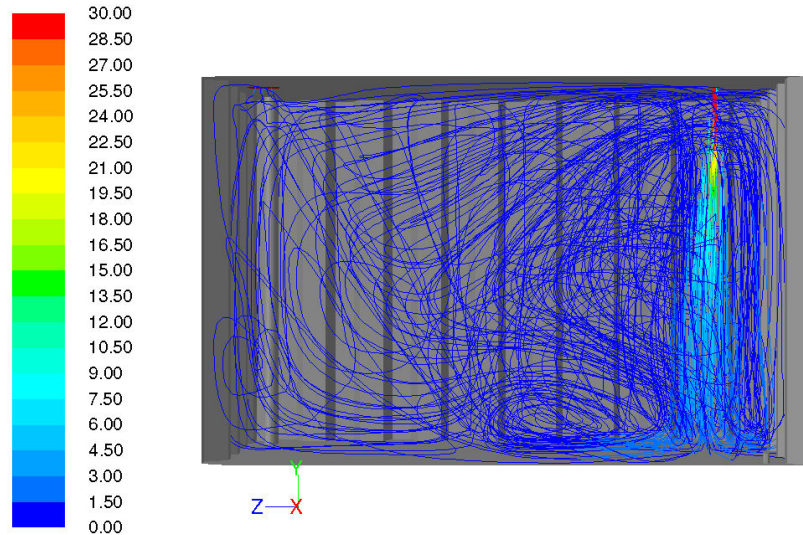
5 Tulokset

Tuloksista on selvinnyt että tankkiin syntyy tuuletuksen aikana voimakas ilmakierre, joka sekoittaa uuden ilman ja muut kaasut hyvin. Suurin vaikutus ilma-laatuun on siis käytetyllä ilmamäärällä sekä tuuletusajalla. Pienet virtausvas-tukset kuten nousuputki tankissa ei vaikuta oleellisesti tuuletusaikaan. Tuule-tussukka on tässä tapauksessa mallinnettu kiinteäksi. Todellisuudessa sukan heiluminen tankissa todennäköisesti parantaisi sekoittumista vähän.

Tulosten arvioinnissa on huomioitava että 2EHN-kaasun pitoisuus on ppm-tasolla ja laskentavirheet näkyvät tuloksissa. Silloin kun pitoisuudet menevät 1 ppm:n alle niin laskennan resoluutio ei enää riitä. Keskiarvokäyrissä nämä pienet virheet kumoavat toisensa paremmin eivätkä näy samalla tavalla. 2EHN-pitoisuuden maksimiarvon suuruusluokka on kuitenkin oikein ja siitä voi jo tehdä tarpeelliset johtopäätökset.

5.1 Case 1

Tässä tapauksessa inertgas tuuletin puhaltaa katon kautta. Tässä tapaukses-sa tehtiin tarkastelu voidaanko virtausyhtälöt jättää pois nopeuttaakseen las-kentaa ja kuvat ovat tehty siitä ajosta missä kaikki yhtälöt olivat mukana. Tä-män takia esitetyt käyrät ovat hieman epätasaisempia kuin seuraavissa tapa-uksissa.

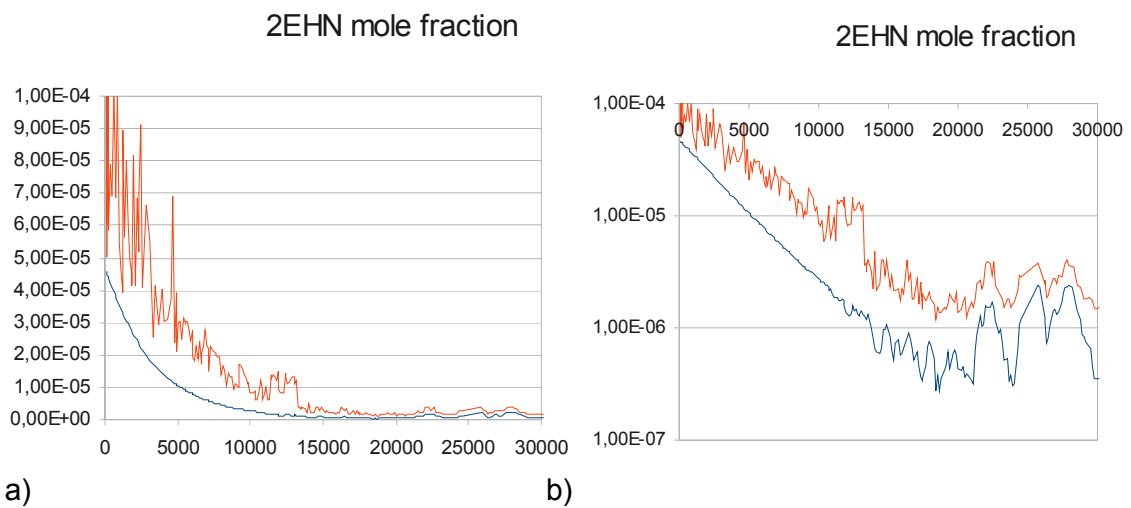


Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s) (Time=5.8870e+02)

Jun 15, 2009
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, spe, rke, transient)

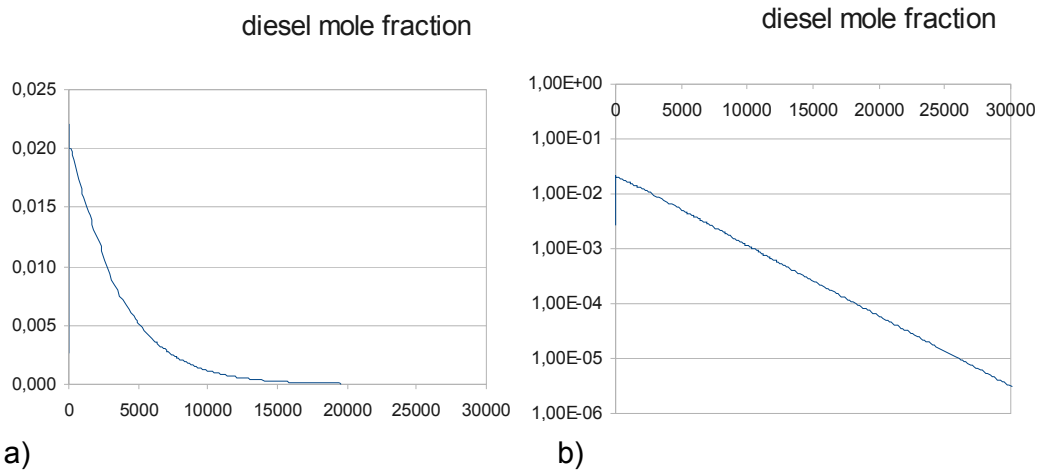
Kuva 5. Case 1:n virtauskenttä väritettynä virtausnopeuden mukaan (m/s).

Kuvan 5 mukaan ilma sekoittuu hyvin tankissa vaikkakin suurimmat virtausnopeudet pysyvät lähellä sisääntuloa. Miesluukun lähellä virtaus on hidasta, mutta pitkällä tuuletusajalla ilma sekoittuu melko hyvin.



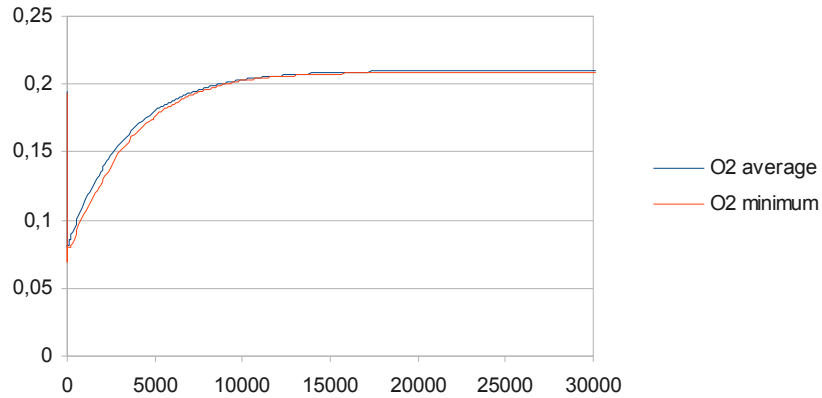
Kuva 6. a) 2EHN:n mooliosuus tankissa ajanfunktiona (sekunteina) b) logaritmisella skaalalla. Maksimiarvo on punaisella ja keskiarvo sinisellä.

Kuvassa 6 2EHN:n maksimiarvo on simuloinnin alkuvaiheessa hieman heiluva ja ajoittain syntyy maksimiarvoja. Nämä saattavat osittain riippua laskennan tarkkuudesta, mutta koska kaasut sekoittuvat melko hyvin tankissa, niin pitkä tuuletusaika poistaa haitallisen kaasun varmasti. Ajanfunktio logaritmisessa skaalassa on hyvin lineaarinen, niin sitä voi jatkaa riippuen miten pieni pitoisuus on toivottu. Ekstrapoloiden kuvaa 6 maksimipitoisuuden raja-arvo 1 ppm saavutetaan noin kuudessa tunnissa.



Kuva 7. Dieselin konsentraatio tankissa ajan funktiona (sekunteina). b) logaritminen skaala

Räjähdyksikaasun, tässä tapauksessa diesel-ilmaseoksen, pitoisuus vähenee hyvin tasaisesti ajan funktiona. Kolmessa tunnissa ja 45 minuutissa mooliosuus tippuu suunnilleen 500 ppm:ään, eli räjähdysvaaraa ei ole.

O₂ mole fraction

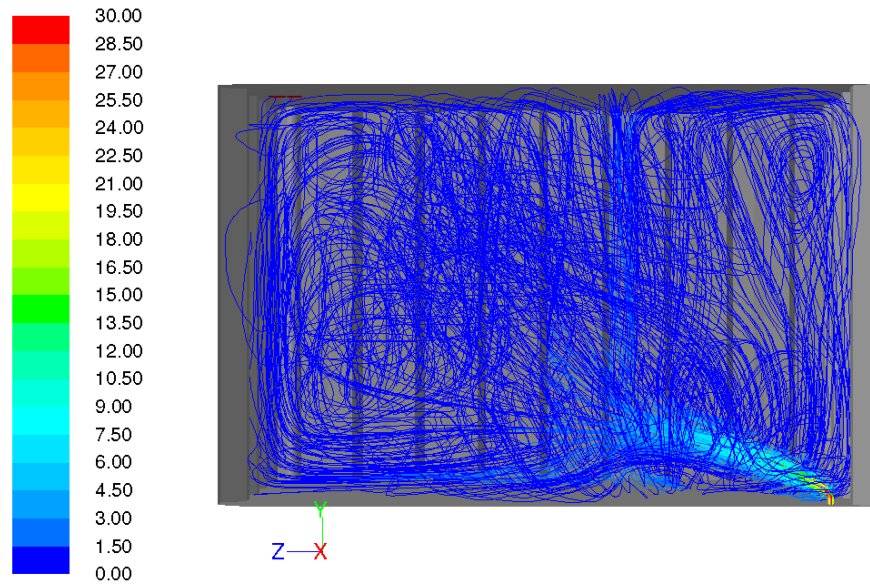
Kuva 8. Hapen mooliosuus tankissa ajan funktiona (sekunteina).

Kuva 8 mukaan happikonsentraatio saavuttaa normaalilukemia noin 13500 sekunnin kuluttua, mikä tarkoittaa 3 tuntia ja 45 minuuttia. Tämän jälkeen muutokset ovat hyvin pieniä.

Eri tarkastetuista arvoista 2EHN:n pitoisuus on kriittisin ja määrittää vaadittavan tuuletusajan, mikä tässä tapauksessa on noin kuusi tuntia.

5.2 Case 2

Tässä tapauksessa inertgas tuuletin puhalttaa syöksyputken kautta.

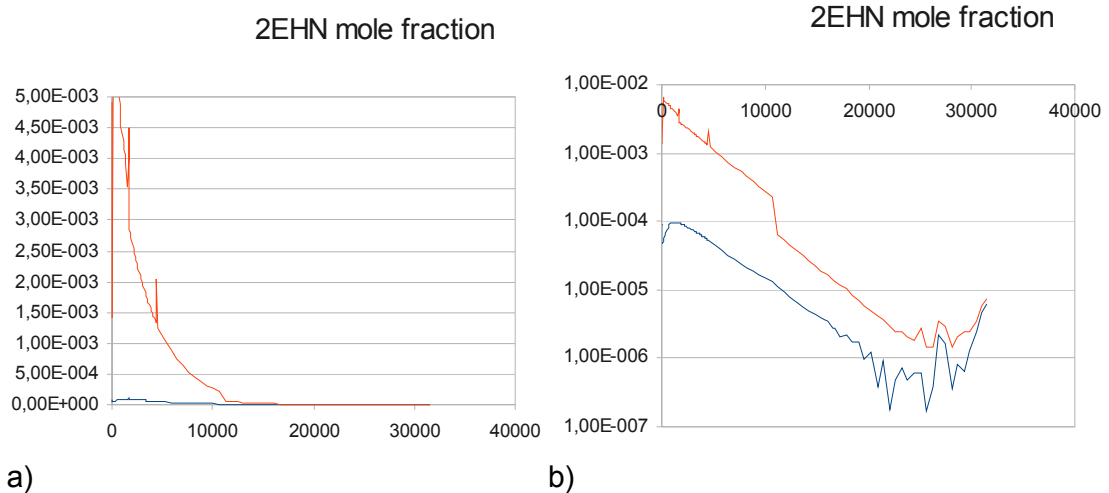


Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s) (Time=1.0109e+03)

Jun 15, 2009
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, spe, rke, transient)

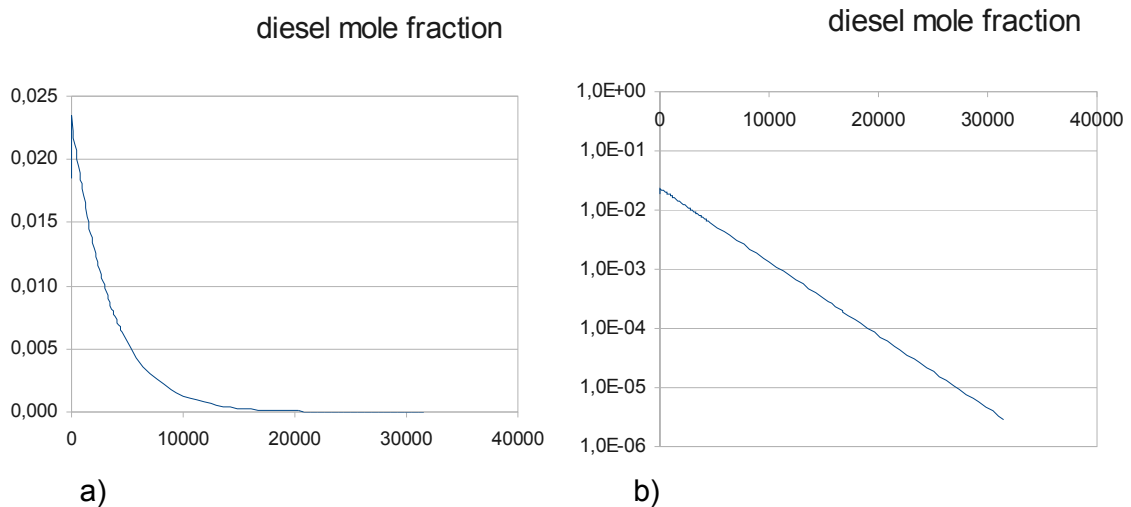
Kuva 9. Case 2:n virtauskenttä väritettynä virtausnopeuden mukaan (m/s).

Kuvan 9 mukaan ilma sekoittuu hyvin tankissa vaikkakin suurimmat virtausnopeudet pysyvät lähellä syöksylinjan sisääntuloa. Miesluukun lähellä virtaus on hidasta, mutta ilma kiertää joka paikassa.



Kuva 10. a) 2EHN:n mooliosuus tankissa ajanfunktiona (sekunteina) b) logaritmisella skaalalla. Maksimiarvo on punaisella ja keskiarvo sinisellä.

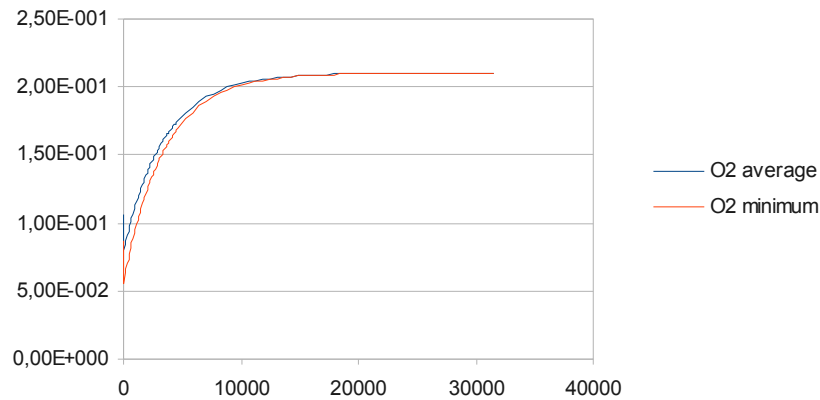
2EHN:n maksimiarvo nousee simuloinnin alkuvaiheessa. Tuloksista nähdään että uuden ilman virratessa sisään se työntää tankissa olleen kaasun syrjään ja syntyy hetkellisiä maksimiarvoja. Pitkää tuuletusaikaa tarvitaan poistamaan haitallinen kaasu, ekstrapoloidessaan tässäkin tarvitaan noin 6 tuntia että maksimipitoisuus saavuttaa raja-arvon 1 ppm.



Kuva 11. Dieselin konsentraatio tankissa ajan funktiona. b) logaritminen skaala

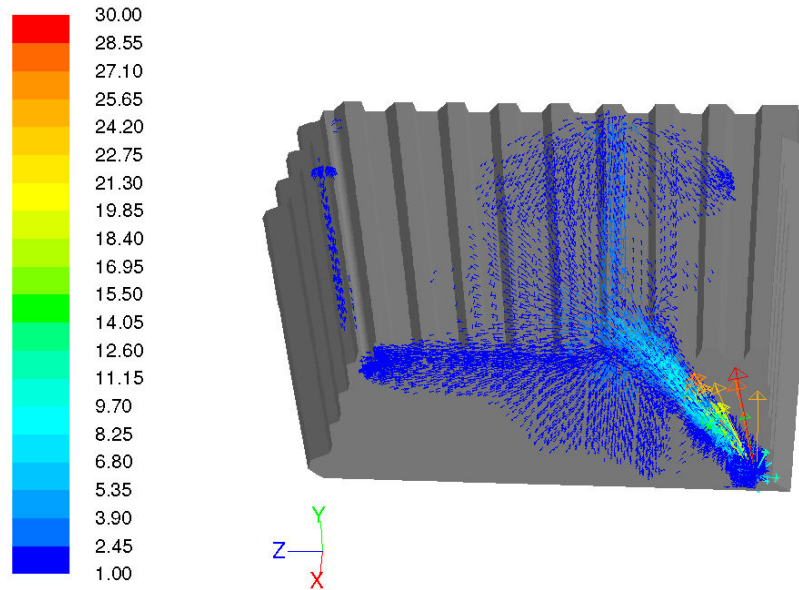
Räjähdykskaasun pitoisuus vähenee hyvin tasaisesti ajan funktiona. Siinä ajassa kun 2EHN:n on tuuletettu pois, niin räjähdysvaaraa ei enää ole.

O2 mole fraction



Kuva 12. Hapen mooliosuus tankissa ajan funktiona.

Kuva 12 mukaan happikonsentraatio saavuttaa normaalilukeman samassa ajassa kuten edellisessä tapauksessa. Tämän jälkeen muutokset ovat hyvin pieniä. Koska sekoittuminen on hyvä, niin tuuletusaika ratkaisee. Tässä tapauksessa vaadittava tuuletusaika on noin 4 tuntia hapen osalta.



Velocity Vectors Colored By Velocity Magnitude (m/s) (Time=1.0109e+03)

Jun 15, 2009
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, spe, rke, transient)

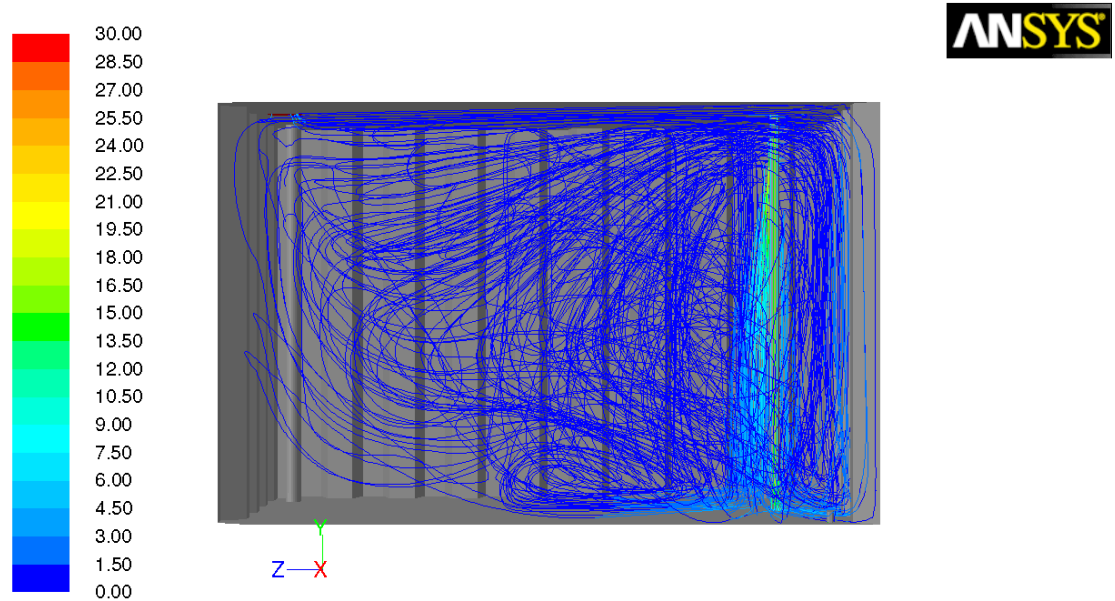
Kuva 13. Case 2:n virtauskenttä vektoreina väritettynä virtausnopeuden mukaan (m/s).

Kuvassa 13 nopeusvektorikenttä on rajattu niin että näkee miten suurin osa ilmasta leviää tässä tapauksessa.

Eri tarkastetuista arvoista 2EHN:n pitoisuus on kriittisin ja määrittää vaadittavan tuuletusajan, mikä tässä tapauksessa on noin kuusi tuntia.

5.3 Case 3

Tässä tapauksessa inertgas tuuletin puhalttaa katon kautta, sekä kannettava tuuletin puhalttaa sukalla.

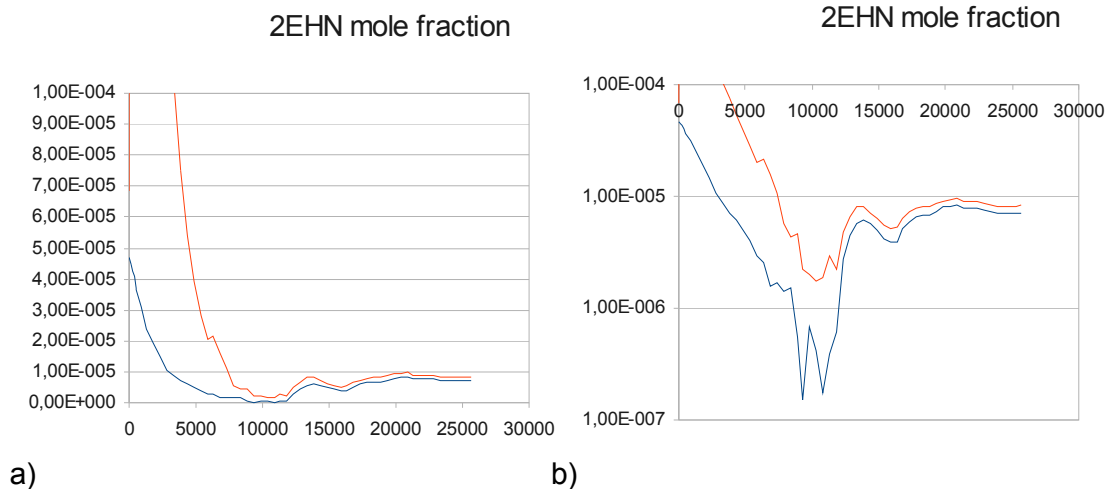


Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s) (Time=4.8820e+02)

Jun 15, 2009
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, spe, rke, transient)

Kuva 14. Case 3:n virtauskenttä väritettynä virtausnopeuden mukaan (m/s).

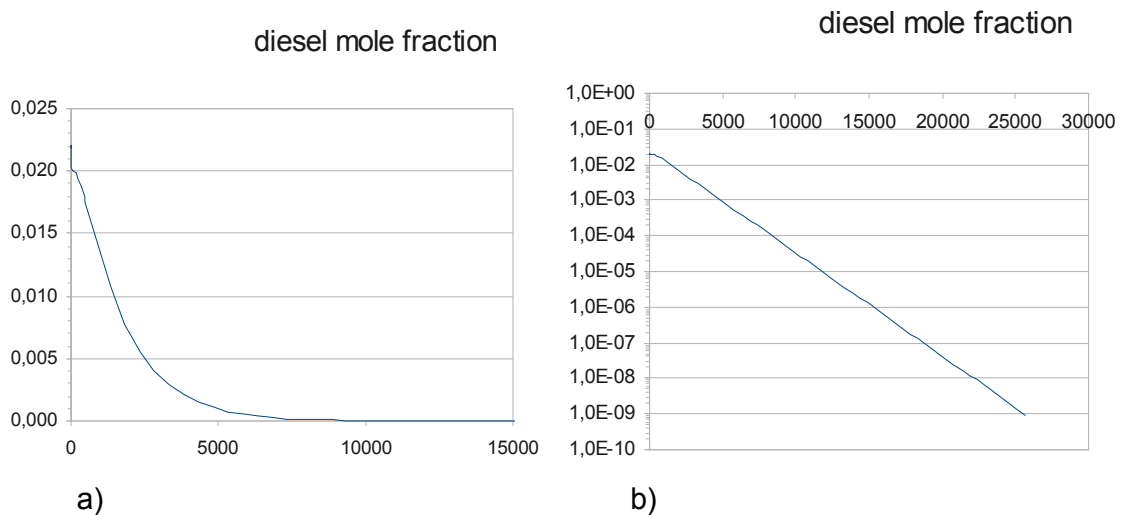
Kuvan 14 mukaan suurimmat virtausnopeudet pysyvät lähellä sisääntuloa. Miesluukun alla virtaus on hyvin hidasta, mutta pitkällä tuuletusajalla ilma sekoittuu melko hyvin. Tässä tapauksessa kun ilmamäärä on suurempi niin pituisuudet tippuvat nopeammin.



Kuva 15. a) 2EHN:n mooliosuus tankissa ajanfunktiona b) logaritmisella skaalalla. Maksimiarvo on punaisella ja keskiarvo sinisellä.

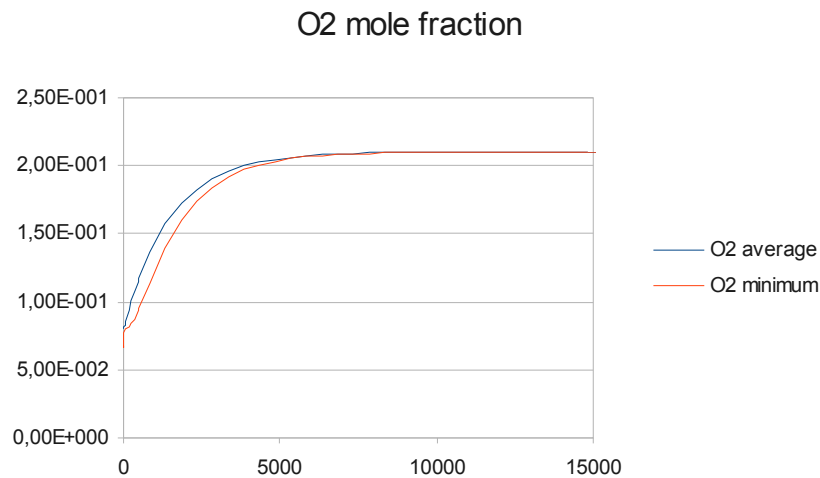
2EHN:n maksimiarvo nousee simuloinnin alkuvaiheessa, niin kuin edellisessä laskennassakin. Laskennan puolivälissä näkyy selvästi milloin laskennan tarkkuus ei enää riitä hyvin pienille pitoisuuksille ja käyrät rupeavat heilumaan. Koska on tiedossa että pitoisuudet laskevat ajan funktiona loputtomiin niin uutta tarkempaa laskentaa ei tässä vaiheessa tehty, vaan pitää vain jättää virheellisen loppuosa huomioimatta.

Tarvittava tuuletusaika tässä tapauksessa on huomattavasti lyhyempi kuin edelliset. Periaate on kuitenkin sama että 5-6 viipymäaikaa tarvitaan. Tässä tapauksessa 1 ppm:n raja-arvo saavutetaan noin 3.5 tunnin jälkeen.



Kuva 16. Dieselin konsentraatio tankissa ajan funktiona. b) logaritminen skaala

Räjähdyskaasun pitoisuus vähenee hyvin tasaisesti ajan funktiona. Siinä ajassa kun 2EHN:n on tuuletettu pois, niin räjähdysvaaraa ei enää ole.



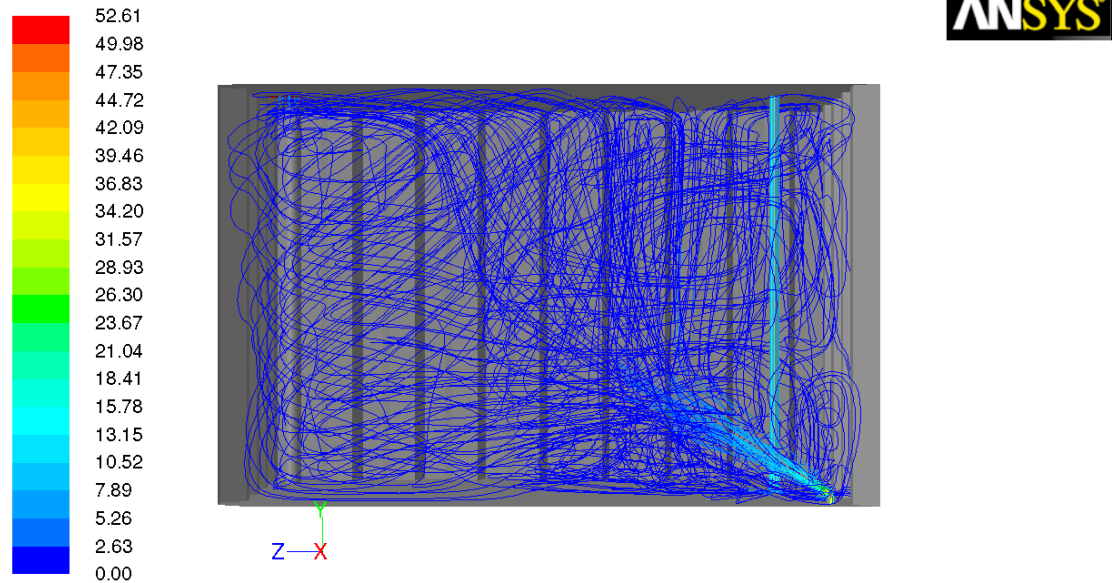
Kuva 17. Hapen mooliosuus tankissa ajan funktiona.

Kuva 17 mukaan happikonsentraatio saavuttaa normaalilukemia noin kahdes-
sa tunnissa. Tämän jälkeen muutokset ovat hyvin pieniä.

Eri tarkastetuista arvoista 2EHN:n pitoisuus on kriittisin ja määrittää vaaditta-
van tuuletusajan, mikä tässä tapauksessa on noin kolme ja puoli tuntia.

5.4 Case 4

Tässä tapauksessa inertgas tuuletin puhalttaa syöksyputken kautta, sekä kannettava tuuletin puhalttaa sukalla.

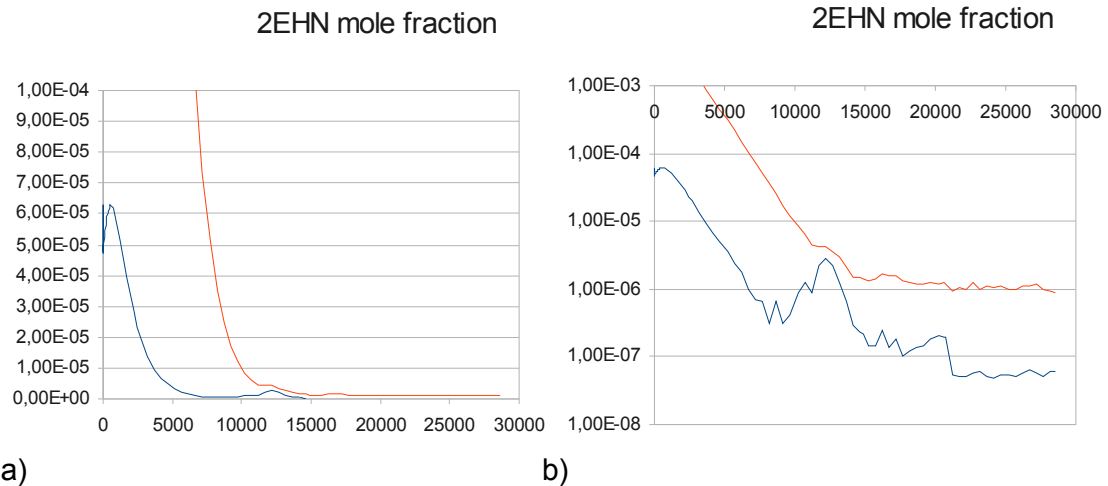


Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s) (Time=5.4145e+02)

Jun 15, 2009
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, spe, rke, transient)

Kuva 18. Case 4:n virtauskenttä väritettynä virtausnopeuden mukaan (m/s).

Kuvan 18 mukaan ilma sekoittuu erittäin hyvin tankissa ja virtausnopeudet kasvavat muuallakin kuin lähellä sisääntuloa. Miesluukun lähellä havaitaan virtausta ja tämä puhallinjärjestely vaikuttaa sekoitusmielessä järkevältä.



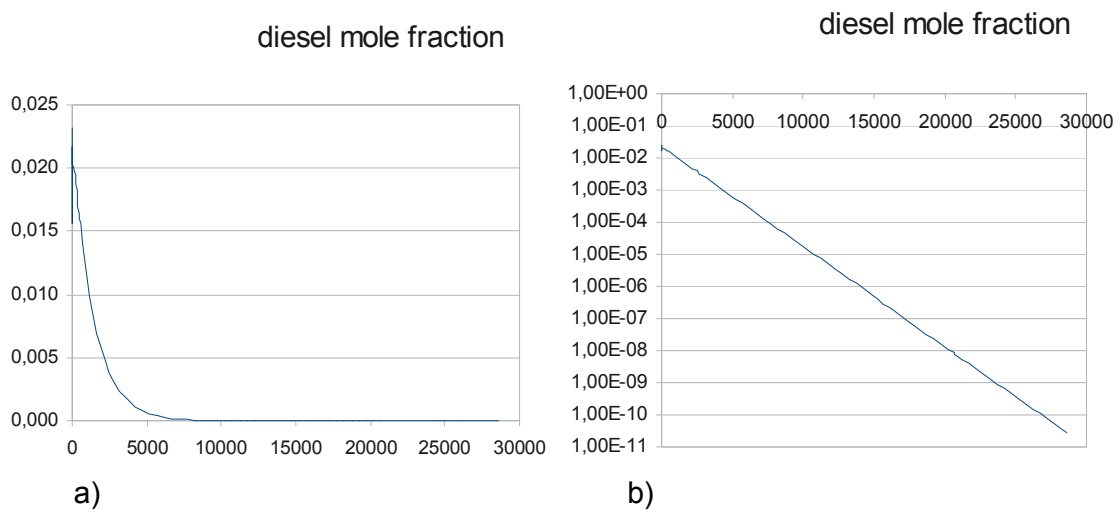
a)

b)

Kuva 19. a) 2EHN:n mooliosuus tankissa ajanfunktiona b) logaritmisella skaalalla. Maksimiarvo on punaisella ja keskiarvo sinisellä.

2EHN:n maksimiarvo nousee simuloinnin alkuvaiheessa samalla tavalla kuten edellisissä tapauksissa. Laskennan puolivälissä näkyy taas selvästi milloin laskentatarkkuus loppuu kesken, eli loppuosan virheet pitää taas jättää huomioida.

Tarvittava tuuletusaika tässä tapauksessa on hieman pitempi kuin edellisessä. Tässä tapauksessa 1 ppm:n raja-arvo saavutetaan vajaan 4 tunnin jälkeen.



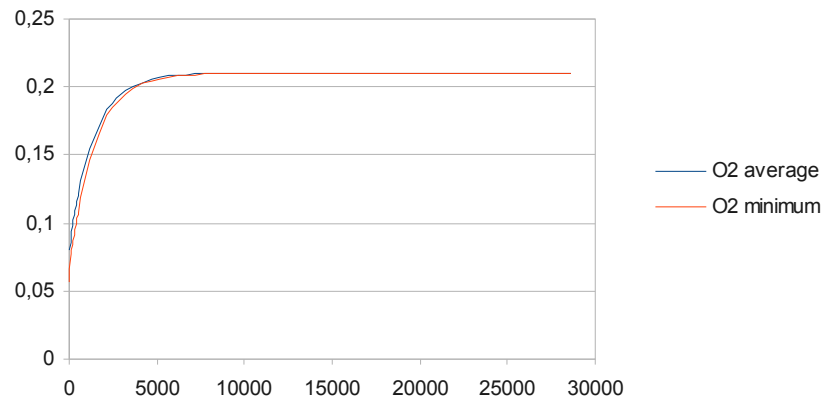
a)

b)

Kuva 20. Dieselin konsentraatio tankissa ajan funktiona. b) logaritminen skaala

Räjähdykskaasun pitoisuus vähenee hyvin tasaisesti ajan funktiona. Siinä ajassa kun 2EHN:n on tuuletettu pois, niin räjähdysvaaraa ei enää ole.

O2 mole fraction



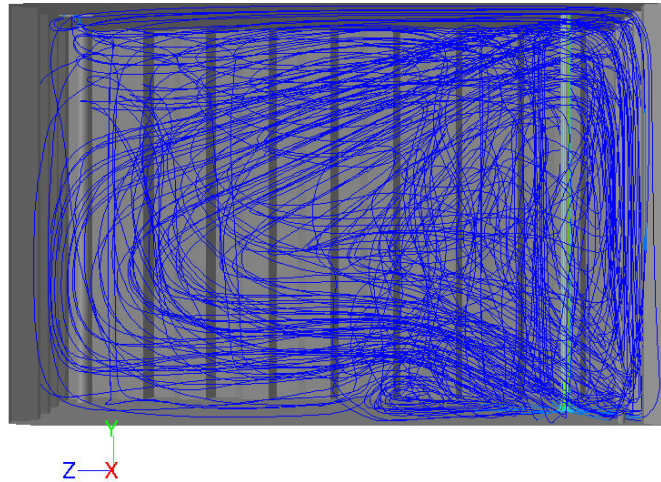
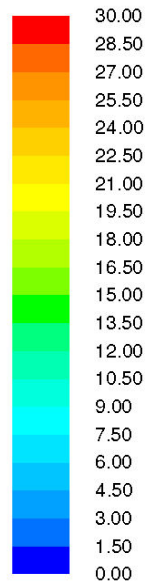
Kuva 21. Hapen mooliosuus tankissa ajan funktiona.

Kuva 21 mukaan happikonsentraatio saavuttaa normaalilukemia noin kahdessa tunnissa. Tämän jälkeen muutokset ovat hyvin pieniä.

Eri tarkastetuista arvoista 2EHN:n pitoisuus on kriittisin ja määrittää vaadittavan tuuletusajan, mikä tässä tapauksessa on noin neljä tuntia.

5.5 Case 5

Tässä tapauksessa käytetään kannettava tuuletin sukalla.



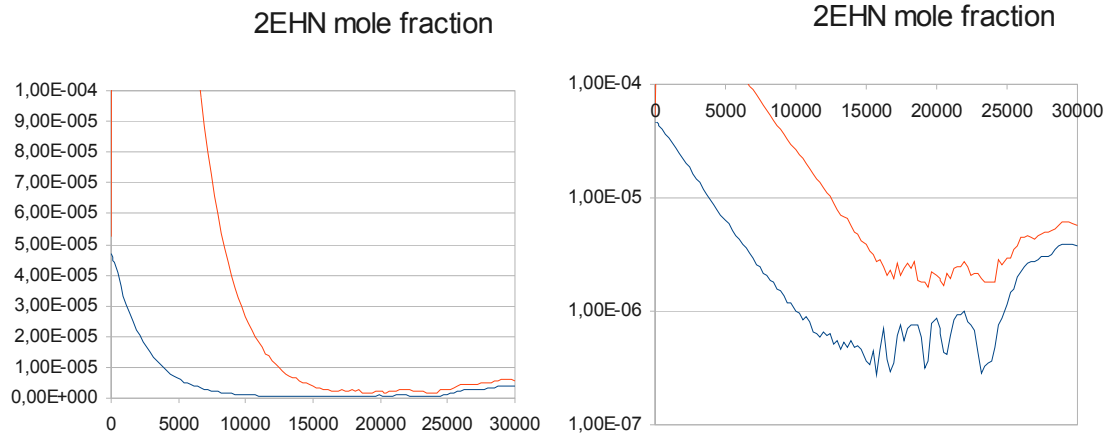
Pathlines Colored by Velocity Magnitude (m/s) (Time=1.8400e+02)

ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbns, spe, rke, transient)

Jun 22, 2009

Kuva 22. Case 3:n virtauskenttä väritettynä virtausnopeuden mukaan (m/s).

Kuvan 22 mukaan ilma sekoittuu tankissa hyvin, mutta suurimmat virtausnopeudet pysyvät lähellä sisääntuloa. Miesluukun lähellä on virtausta, mutta hitaampaa ja tämä puhallinjärjestely vaatii vähän pidemmän tuuletusajan kuin parhaat tapaukset.



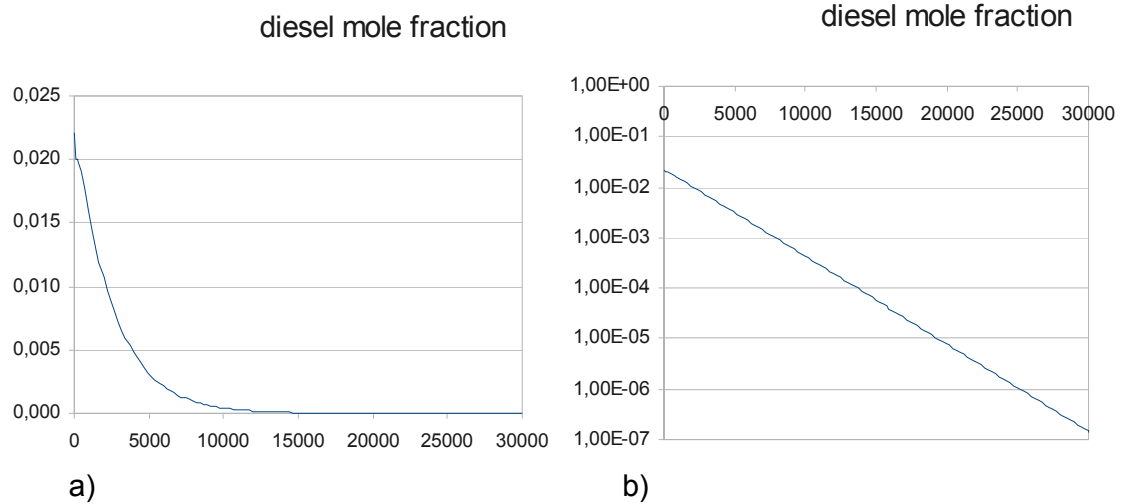
a)

b)

Kuva 23. a) 2EHN:n mooliosuus tankissa ajanfunktiona b) logaritmisella skaalalla. Maksimiarvo on punaisella ja keskiarvo sinisellä.

2EHN:n maksimiarvo nousee simuloinnin alkuvaiheessa samalla tavalla kuten edellisissä tapauksissa. Tämä laskenta oli numeerisesti vähän stabiilimpi ja virheet vaikuttavat vasta lopussa.

Tässä tapauksessa 1 ppm:n raja-arvo saavutetaan vajaan 5 tunnin jälkeen.



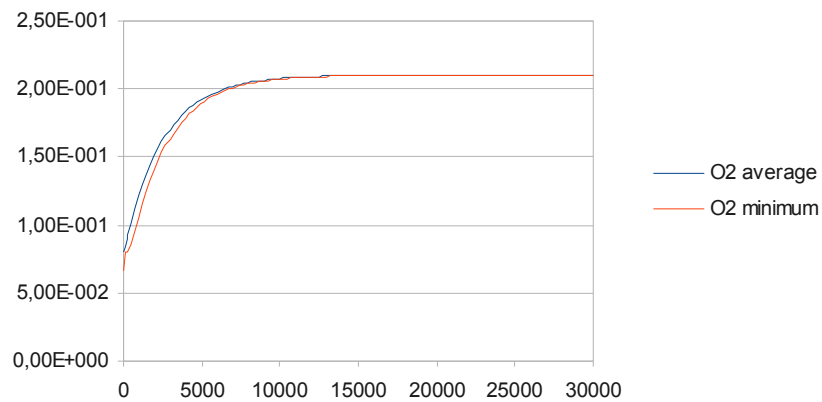
a)

b)

Kuva 24. Dieselin konsentraatio tankissa ajan funktiona (sekunteina). b) logaritminen skaala

Räjähdyskaasun pitoisuus vähenee hyvin tasaisesti ajan funktiona. Siinä ajassa kun 2EHN:n on tuuletettu pois, niin räjähdysvaaraa ei enää ole.

O2 mole fraction



Kuva 25. Hapen mooliosuus tankissa ajan funktiona.

Kuva 25 mukaan happikonsentraatio saavuttaa normaalilukemia noin neljässä tunnissa. Tämän jälkeen muutokset ovat hyvin pieniä.

Eri tarkastetuista arvoista 2EHN:n pitoisuus on kriittisin ja määrittää vaadittavan tuuletusajan, mikä tässä tapauksessa on noin viisi tuntia.

6 Johtopäätökset

Tulokset näyttävät että jokaisella tuuletustavalla saavutetaan hyviä tuloksia. Ilma sekoittuu niin hyvin että vain tuuletusaika on ratkaiseva. Suurempi ilmamäärä pienentää vaadittavaa tuuletusaikaa. Nyrkkisääntö hyvin sekoittuneissa säiliöissä on että pitäisi tuulettaa 6 viipymääikaa. Näissäkin tapauksissa tämä sääntö pitää hyvin paikkansa, eli se on suositeltava minimituuletusaika.

Tarkastelussa huomaa että 2EHN:lle vaaditaan pitempi tuuletusaika kuin muille kaasuille. Pelkkä happimittari ei siis näytä onko turvallista mennä tankkiin sisään. Mikäli 2EHN:n pitoisuus tuuletuksen alkaessa on vielä suurempi kuin 50 ppm niin vaaditaan entistä pitempi tuuletusaika.

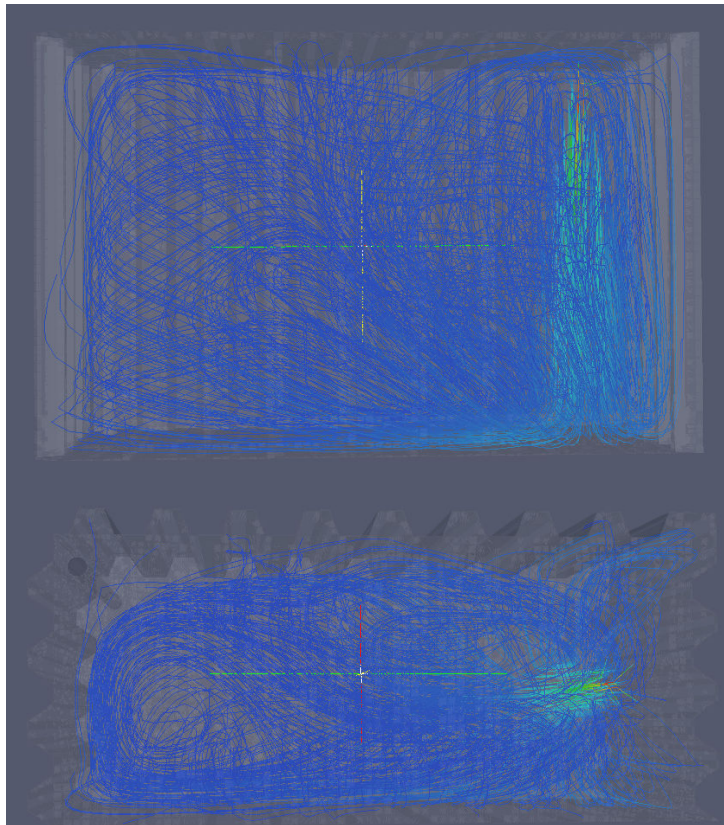
Taulukko 2.

	CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	
Lastitankin tilavuus	7174	7174	7174	7174	7174	m ³
Tuuletus kapasiteetti	7000	7000	17000	17000	10000	m ³ /h
Minimi tuuletusaika	~6	~6	~3.5	~4	~5	h
O ₂ pitoisuus minimituuletuksen jälkeen	21	21	21	21	21	V-%
Diesel pitoisuus minimituuletuksen jälkeen	36	51	5	<1	16	ppm
2EHN pitoisuus minimituuletuksen jälkeen	~1	~1	<1	<1	~1	ppm

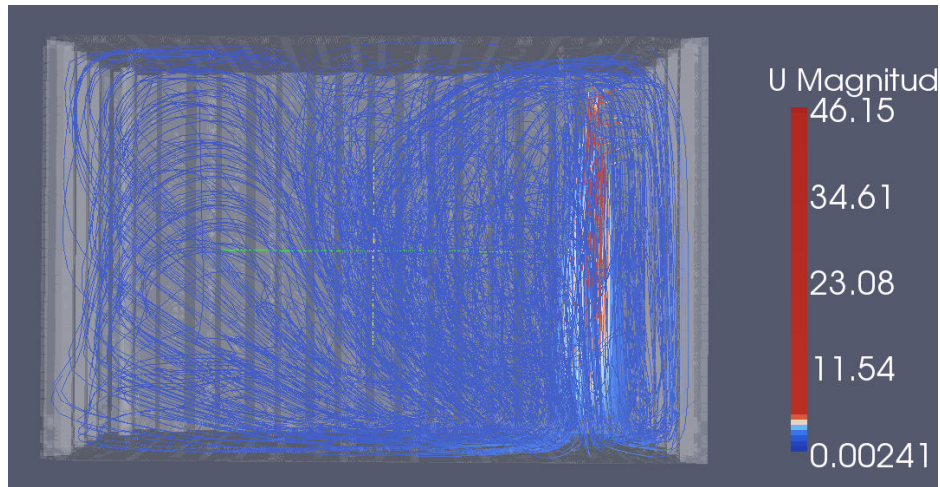
7 Liite 1 OpenFOAM tulokset

CFD-laskennan OpenFOAM-koodilla teki Juhani Aittamaa ja tarkoitus oli tarkistaa antavatko eri koodit samankaltaisia tuloksia. Vertailu tehtiin case1:lle.

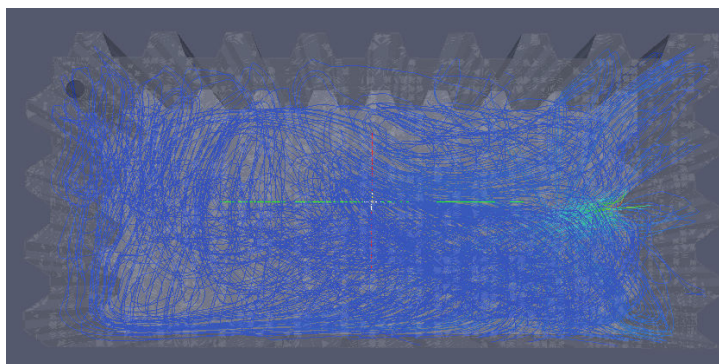
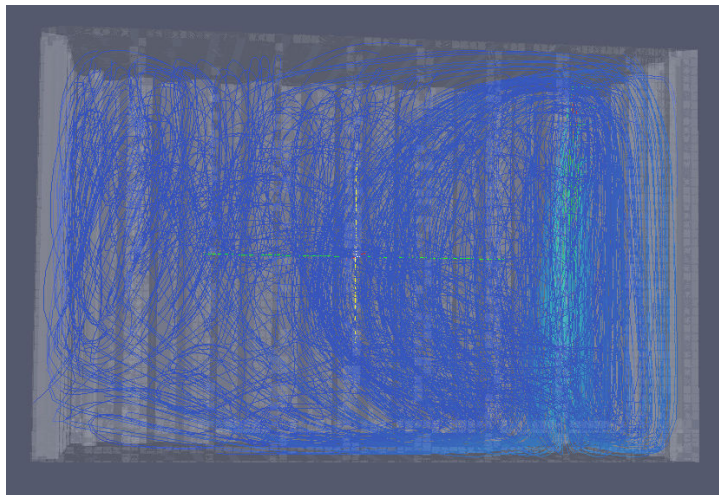
Näissä laskelmissa käytettiin samaa periaatetta että ensin laskettiin virtauskenttä ja tämän jälkeen komponenttien diffuusio. Näissä kuvissa näytetään pääosin virtauskenttää virtaviivoilla mutta lopussa on myös kuvasarjoja syötöilman leviämisestä. Kuvat on tehty ParaView ohjelmalla.



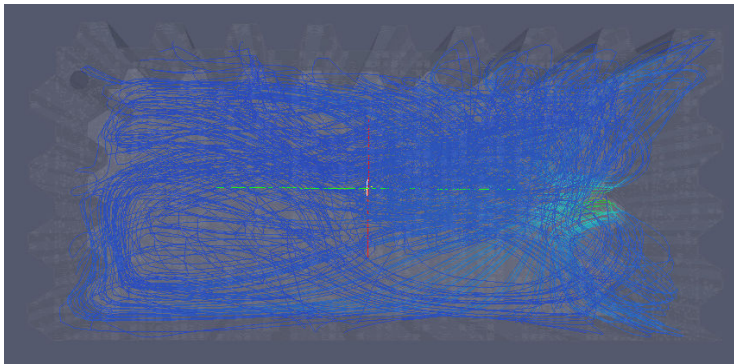
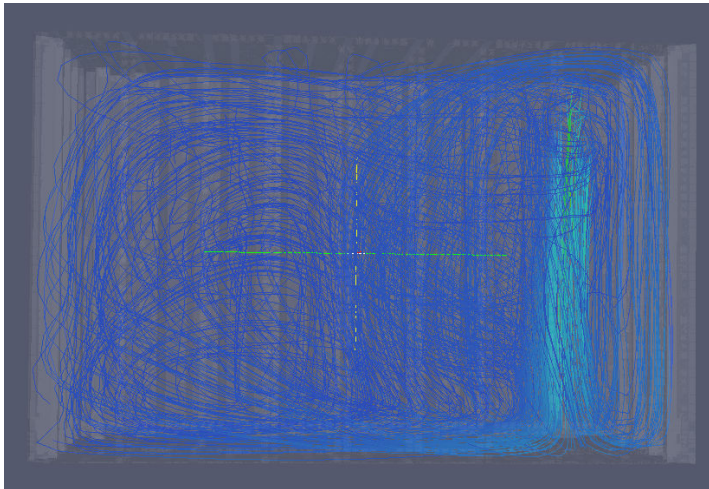
Kuva 26. Keskikokoisella verkolla ja k-omega SST turbulenssimallilla laskettu virtauskenttä sivulta ja ylhäältä.



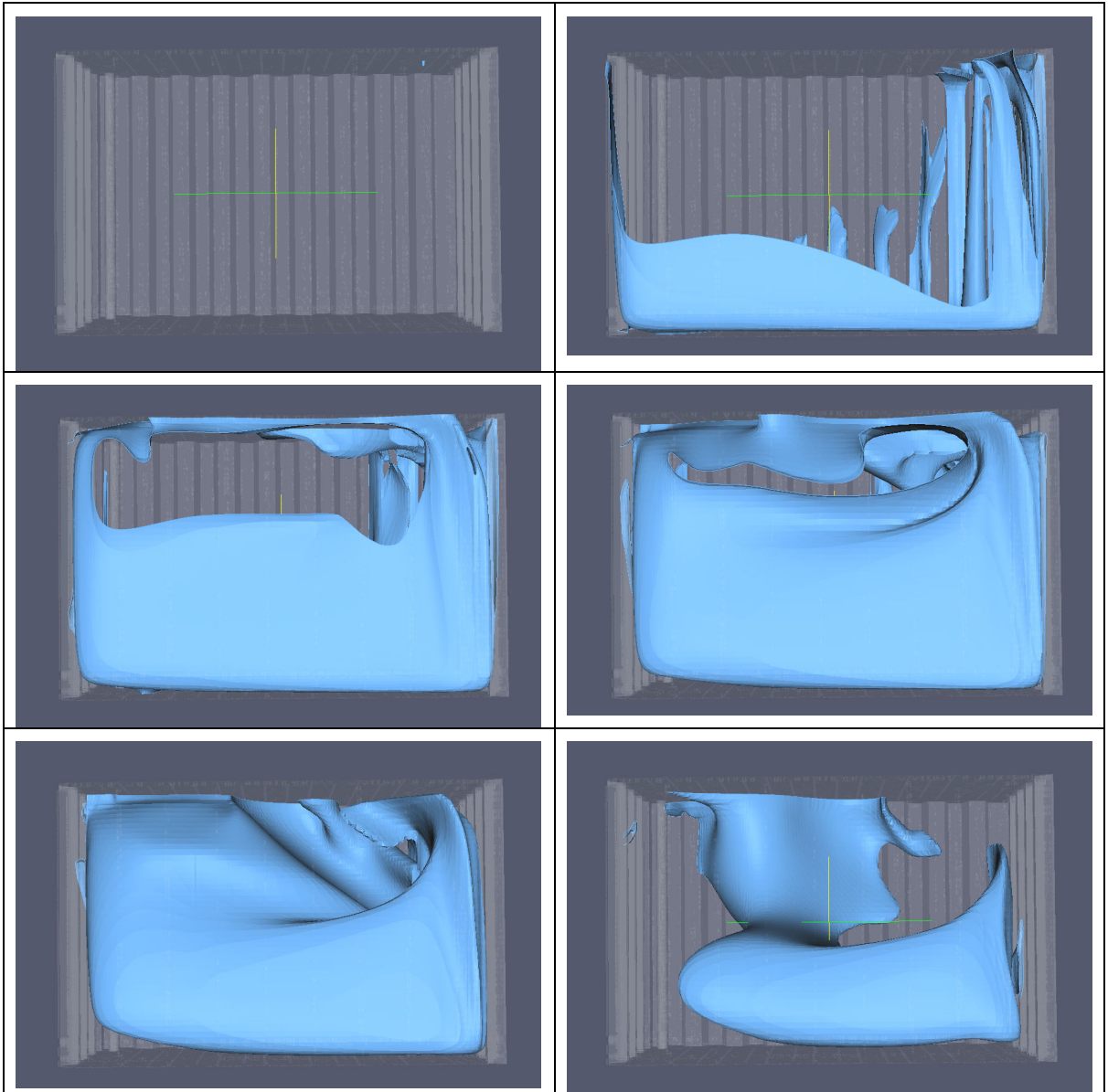
Kuva 27. Keskikokoisella verkolla ja realizable k-epsilon turbulenssimallilla laskettu virtauskenttä. Oikealla näkyy virtausnopeuksien väritysskala.

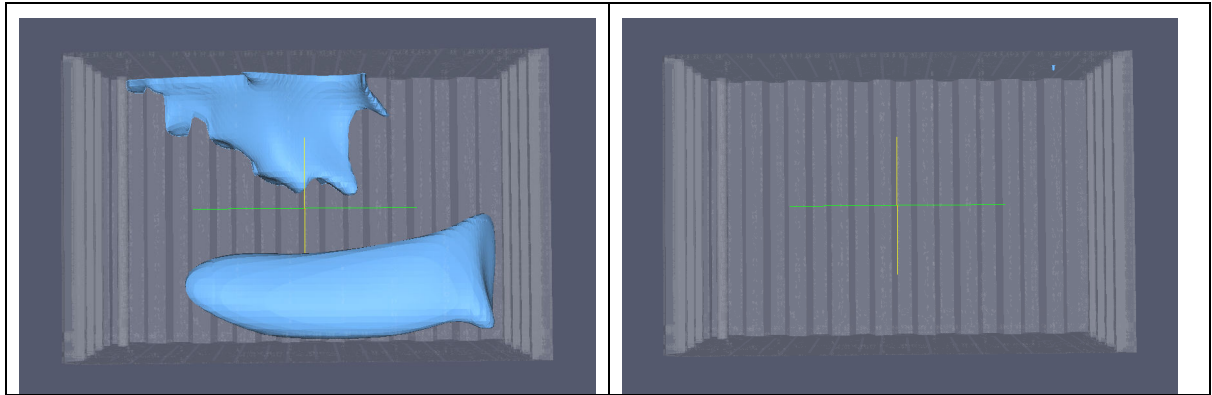


Kuva 28. Keskikokoisella verkolla ja RSM (Reynold's stress model) turbulenssimallilla laskettu virtauskenttä.

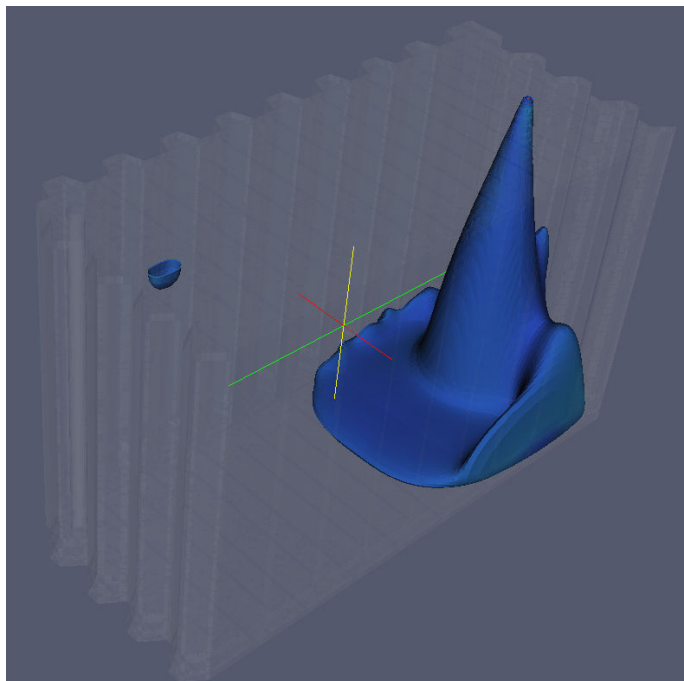


Kuva 28. Keskikokoisella verkolla ja RSM (Reynold's stress model) turbulenssimallilla laskettu virtauskenttä. Eri ajanhetki kuin edellisessä kuvassa. Tämä osoittaa että virtaus on vähän heiluva, mutta ei merkittävästi.

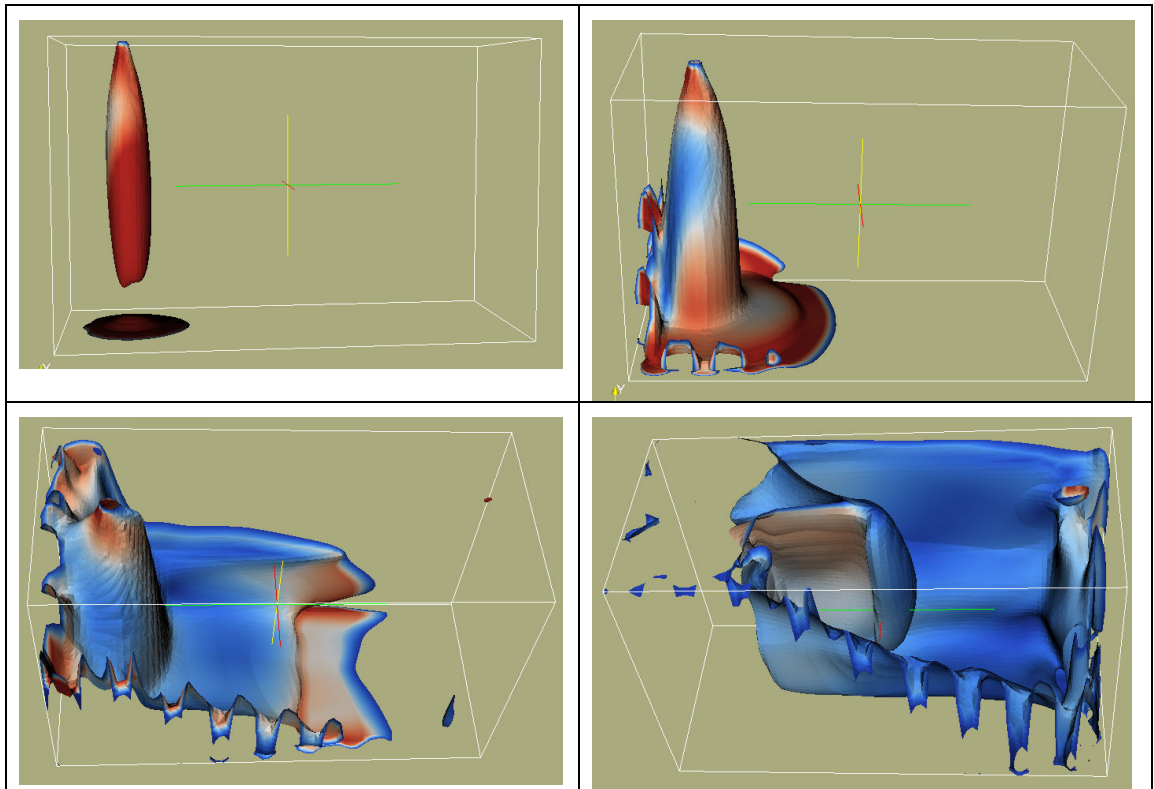




Kuva 29. Isoimmalla laskentaverkolla tehty kuvasarja kaasun sekoittumisesta, kuvattu isopinnoilla.



Kuva 30. Isoimmalla laskentaverkolla tehty kuva missä näkyy missä esiintyy voimakkainta turbulenssia realizable k-epsilon turbulenssimallilla.



Kuva 31. Keskikokoisella laskentaverkolla ja RSTM turbulenssimallilla laskettu kuvasarja joka näyttää miten kaasu leviää tankissa.