



SAVONIA

Tekniikka

Palopäällystön koulutus

OPINNÄYTETYÖ

TOIMINTA MAAKAASUN MAANTIEKULJETUSONNETTOMUUDESSA

Marko Villanen

10.10.2013 

SAVONIA–AMMATTIKORKEAKOULU - TEKNIikka, KUOPIO		
Koulutusohjelma		
Palopäälylystön koulutusohjelma		
Tekijä		
Marko Villanen		
Työn nimi		
Toiminta maakaasun maantiekuljetusonnettomuudessa		
Työn laji	Päiväys	Sivumäärä
Opinnäytetyö	10.10.2013	95
Työn valvoja	Yrityksen yhdyshenkilö	
vanhempi opettaja Jouni Salminen	Turvallisuusteknikko Juha Raippo	
Yritys		
Gasum Oy		
Tiivistelmä		
<p>Nesteytetyn maakaasun kuljetukset tulevat lisääntymään tulevaisuudessa. Uuteen TOKEVA-ohjeistukseen on lisätty toimintaohjeet nesteyteyn maakaasun kuljetusonnettomuuksissa.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli syventää toimintaohjeita pelastustoiminnan aikana. Tavoitteena oli tutkia ulkomaisia toimintaohjeita sekä tapahtuneita onnettomuuksia ja verrata niitä meillä oleviin toimintaohjeisiin. Tarkoituksena oli kehittää ja syventää onnettomuuksien torjuntaan osallistuvien viranomaisten toimintamalleja ja yhteistyötä.</p> <p>Vakavissa onnettomuustilanteissa pelastustoimen tärkeimmät toimenpiteet ovat pelastaa, evakuoida, eristää alue ja tarvittaessa varoittaa väestöä. Tärkeää on saada tilanteessa mahdollisimman nopeasti asiantuntija-apu paikalle. Kuljetussäiliön rakenne on ehjänä erittäin kestävä ulkoista paloa vastaan. Vuotoa, joka palaa ei tule sammuttaa ilman asiantuntijan arviota tilanteesta. TOKEVA-ohjeen eristysalueet ovat riittävät suojaamaan pelastushenkilöstöä ja alkuvaiheessa ulkopuolisia henkilöitä merkittävilä vahingoilta. Tilanteen aikana voi ulkopuolisten evakuointialue kasvaa asteittain tilanteesta riippuen.</p> <p>Pelastushenkilöstön tiedot nesteytetyn maakaasun ominaisuuksista ja käyttäytymisestä onnettomuustilanteessa vaihtelevat. Kuljetusreitit sijaitsevat usean eri alueellisen pelastustoimen alueella. Harjoituksilla ja yhteistoimintaharjoituksilla tietoutta voidaan lisätä ja toimintaa onnettomuustilanteessa tehostaa.</p>		
Avainsanat		
nesteytetty maakaasu, kuljetuskalusto, asiantuntija		
Luottamuksellisuus		
julkinen		

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES		
Degree Programme		
Fire Officer (Engineer)		
Author		
Marko Villanen		
Title of Project		
Response to Road Transport Accidents Involving Natural Gas		
Type of Project	Date	Pages
Final Project	1st November, 2013	95
Academic Supervisor	Company Supervisor	
Mr Jouni Salminen, Senior Instructor	Mr Juha Raippo, Safety Engineer	
Company		
Gasum Oy		
Abstract		
<p>The transport of liquefied natural gas will increase in the future. The new Finnish TOKEVA Instructions on response to accidents involving chemicals now include instructions on response to transport accidents involving liquefied natural gas.</p> <p>The objective of the final project was to achieve more in-depth operating guidelines for use during rescue operations. The objective was to examine foreign guideline documents and accidents that have taken place and compare them with the instructions in use in Finland. The objective was to develop and deepen the operating models and cooperation of authorities participating in accident response.</p> <p>In the context of serious accidents, the most important measures taken by the rescue services are to rescue, evacuate, close off the area and, if necessary, alert the population. Minimising the period taken by professional responders to arrive at the scene is important. When intact, the structure of the transport container is highly resistant to external fires. Burning leaks must not be extinguished without an expert assessment of the situation. The closed off areas specified in the TOKEVA Instructions are sufficient to protect rescuers and, in the initial stage, outsiders against considerable damage. During an incident the evacuation area of outsiders may increase gradually depending on the situation.</p> <p>There is variation in responder knowledge about the properties and behaviour of natural gas in accident situations. Transport routes are located in the areas of several different regional rescue services. Awareness and operational efficiency in accident situations can be increased through response exercises and collaboration exercises.</p>		
Keywords		
liquefied natural gas, transport equipment, professional responder		
Confidentiality		
public		

ALKUSANAT

Haluan kiittää Gasum Oy:tä ja sen opinnäytetyössä ohjanneita henkilöitä tuotantopäällikkö Jani Hautaluomaa, turvallisuusteknikko Juha Raippoa, turvallisuuspäällikkö Aki Huomoa ja kehityspäällikkö Veli-Heikki Niirasta sekä pelastusopiston vanhempaa opettajaa Jouni Salmista hyvästä ja tukevasta sekä kärsivällisestä ohjauksesta.

Riihimäellä 10.10.2013

Marko Villanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
2	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TAVOITTEET	9
2.1	Tutkimusongelma	9
2.2	Työnrajaus	9
2.3	Tavoitteet	9
3	TYÖN TILAAJAN ESITTELY	11
3.1	Nesteytetyn maakaasun tulevaisuus	11
4	MAAKAASUN NESTEYTTÄMINEN JA OMINAISUUDET	13
4.1	Ominaisuudet	13
4.2	Nesteyttäminen	14
5	KULJETUSKALUSTON ESITTELY JA RAKENNE	16
5.1	Kuljetuskalusto	16
5.2	Säiliön tekniset tiedot ja merkinnät	17
5.3	Kuljetussäiliön rakenne ja materiaali	18
5.4	Kuljetussäiliön kaappi	19
5.5	Uusi kuljetuskalusto	22
6	LNG:N KULJETUKSET SUOMESSA	24
7	ONNETTOMUUS MAANTIEKULJETUKSESSA	25
8	ONNETTOMUUSTYYPIT JA TOIMINTA	26
8.1	Tieltä suistuminen tai kaatuminen, ei vuotoa	26
8.2	Tieltä suistuminen tai kaatuminen, kaasumainen vuoto	28

	6
8.3 Tieltä suistuminen tai kaatuminen nestevuoto	31
8.4 Tieltä suistuminen tai kaatuminen, vuoto ja palo	33
8.5 Ulkoinen palo kuljetusyksikön välittömässä läheisyydessä	35
9 LASTIN PURKUTAPAHTUMA	37
10 VIRANOMAISYHTEISTYÖ	38
11 ULKOMAILLA TAPAHTUNEITA ONNETTOMUUKSIA	40
11.1 Espanja Murcia	40
11.2 Espanja Tivissa	42
11.3 Yhdysvallat, Nevada	44
11.4 Wales, Aberystwyth	45
11.5 Yhteenveto	45
12 VÄESTÖN VAROITTAMINEN JA TIEDOTTAMINEN	47
13 TYÖN TULOKSET	49
14 POHDINTA	51
LÄHTEET	53
LIITE 1: TOIMINTAOHJE	55
LIITE 2: PERÄVAUNUN TEKNISET MITAT	62
LIITE 3: VENTTIILI- JA PUTKISTOKAAVIO	63
LIITE 4: OHJEET POIKKEUSTILANTEeseen BUNKRAUKSEN AIKANA	64
LIITE 5: POTENTTIAALISTEN ONGELMIEN ANALYYSI	65

LIITE 6: KAASUPILVEN LEVIÄMISEN JA LEIMAHDUKSEN AIHEUTTAMAN YLIPAINEN MALLINTAMINEN	71
LIITE 7: LÄMPÖSÄTEILYLASKELMAT	79

1 JOHDANTO

Aloitin opinnot tammikuussa 2011 ja sen kevään aikana keskustelin vanhemman opettajan Kari Koivistoinen kanssa nesteytetyn maakaasun kuljetusonnettomuuksien torjunnan osalta, että siihen olisi tarvetta luoda torjuntaohjeet. Toiminnallinen opinnäytetyö kuulosti mielenkiintoiselta ja kun se käsitteli vaarallisten aineiden torjuntaa, kiinnosti työ ja otin sen tehtäväksi.

Olin asian osalta yhteydessä Gasum Oy:n turvallisuusteknikko Juha Raippoon, joka oli esittänyt asiasta toiveen pelastusopistolle. Ensitapaamisen yhteydessä minulle selvisi, että työ olisi kiinnostava ja haasteellinen, kuljetukset olivat alkaneet lisääntyä ja näkyvä tulevaisuuteen oli kuljetuskapasiteetin selvä lisääntyminen. Päädyttyäni valitsemaan kyseisen aiheen oli selvää, että kysyisin opinnäytetyön ohjaajaksi vanhempaa opettajaa Jouni Salmista.

Hän suostui ja kertoi myös tarpeesta liittää selkeä toimintaohje valmisteilla olevaan sähköiseen Tokeva-ohjeeseen. Ensimmäisessä ohjauspalaverissa Salminen esitti, että opinnäytetyö ei olisi erillinen toimintaohje, vaan syventäisi Tokeva-ohjeeseen tehtyä torjuntaohjetta. Maakaasun korkeapaineisesta siirtoverkosta oli tehty aiemmin opinnäytetyö, joka oli toteutettu edellä mainitun kaltaisesti ja onnistunut hyvin.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT JA TAVOITTEET

Vaarallisten aineiden onnettomuuksien torjunta on tyypiltään usein hyvin ainekohtaista torjuntatoimintaa. Kuljetustoiminta on jatkuvassa muutoksen ja kasvun tilassa. Yleisesti voidaan todeta, että tärkeää on syventää onnettomuuksien torjunnan tietoa kuljetettavien aineiden osalta.

2.1 Tutkimusongelma

Nesteytetyn maakaasun LNG:n (liquefied natural gas) kuljettaminen maantiekuljetuksina on lisääntyvää toimintaa. 2012 päivitettyyn Tokeva-ohjeeseen lisättiin ohjeet jäähdyttämällä nesteytetyn palavan kaasun torjunnan osalta. Torjunnasta ei ole kuitenkaan olemassa yhtenäistä syventävää materiaalia kotimaassa tehtynä.

Kuljetusten lisääntyminen lisää myös riskiä onnettomuuksien osalta. Naapurimaa Ruotsi on tehnyt ohjevihkosen maantiekuljetusten onnettomuuksien torjunnasta. Työ on toiminnallinen opinnäytetyö. Aineistoa olen kerännyt Gasum Oy:ltä, Maakaasuyhdistyksen julkaisuista, sekä Ruotsista, Englannista ja Espanjassa tehdyistä nesteytetyn maakaasun onnettomuuksia ja niiden torjuntaa käsittelevästä aineistosta.

2.2 Työnrajaus

Opinnäytetyö on rajattu koskemaan kuljetustapahtumaa, lastin purkutapahtumaa asiakkaalla, alkaen siitä, kun kuljetus irtaantuu Kilpilahden tuotevaraston tankkauspiisteestä siihen asti, kun se on luovutettu asiakkaalle.

2.3 Tavoitteet

Tavoitteena on saada syventävää tietoutta jäähdyttämällä nesteytetyn palavan kaasun, (nestemäisen maakaasun) kuljetusonnettomuuksien torjunnasta, tarvittavasta kalustosta ja luoda täydentävää tietoa toiminnasta. Tavoitteena on analysoida ulkomailla tapahtuneita onnettomuuksia ja pyrkiä tätä kautta lisäämään onnettomuuden torjunnan aikaista työturvallisuutta. Toiminnallinen työ vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuden torjunnasta lisää myös omaa osaamisen tasoa.

Lisäksi työn tilaajan esittämät tavoitteet ovat hyvin samankaltaisia, toiminnanharjoittajalla ei ollut kyseiseen toimintaan olevaa materiaalia ja sen tarve on ilmeinen. Kuljetustoiminta on lisääntynyt ja tulee lisääntymään uusien asiakkaiden kautta.

3 TYÖN TILAAJAN ESITTELY

Gasum Oy on perustettu vuonna 1994 ja sen omistusosuudet jakaantuivat vuoden 2012 omistusosuuksien mukaan seuraavasti:

- Fortum 31 %
- Suomen valtio 24 %
- Gazprom 25 %
- E. ON 20 %

Gasumin liikevaihto oli vuonna 2012 1 282 miljoonaa euroa ja liikevoittoa kertyi 62 miljoonaa euroa, Gasum työllistää suoraan 259 henkilöä (Niiranen 2013a).



KUVA 1. Vuoden 2012 tunnuslukuja (Gasum Oy).

3.1 Nesteytetyn maakaasun tulevaisuus

Gasum suunnittelee nesteytetyn maakaasun eli LNG:n tuontiterminaalin rakentamista Etelä-Suomeen. Suuren luokan tuontiterminaali monipuolistaisi ja joustavoittaisi maakaasun hankintaa ja mahdollistaisi kaasun käytön uusissa kohteissa kaasuverkon ulkopuolella. Lisäksi terminaalin yhteyteen rakennettavat varastosäiliöt toimisivat tuoteva-

rastoina ja edistäisivät kaasuverkoston huoltovarmuutta kustannustehokkaasti. Jatko-
päättökset hankkeesta tehdään, kun viranomainen on antanut arviointiselostuksesta
YVA-lausunnon (ympäristö vaikutusten arviointi) syksyllä 2013.(Gasum Oy.) Alla ole-
vassa kuvassa on esitetty eri vaihtoehtoja. Käytännössä tämä merkitsee tulevaisuudessa
kasvavaa LNG:n maantiekuljetuksia.



KUVA 2. LNG:n tuontimahdollisuuksia eri kokoluokissa (Gasum Oy).

4 MAAKAASUN NESTEYTTÄMINEN JA OMINAISUUDET

Maakaasun ominaisuudet ja kuljetustapa eroaa selkeästi toisesta yleisesti kuljetettavasta palavasta kaasusta propaanista. Aineen käyttäytyminen on huomioitava työturvallisuuden kannalta onnettomuuden torjuntaa suunniteltaessa.

4.1 Ominaisuudet

Maakaasu on luonnonkaasu ja sen koostumus voi vaihdella eri tuotantolähteillä huomattavasti. Metaani on kuitenkin pääkomponentti kaikissa maakaasuissa. Suomeen tuotava siperialainen maakaasu on n. 98-prosenttisesti metaania. Metaanin kiehumispiste on -161,5 °C, jonka alle jäädyttämällä maakaasu voidaan siis nesteyttää. Nesteytettyä maakaasun tilantarve on noin 1/600 alkuperäisestä kaasumaisen olomuodon vaatimasta tilavuudesta. (Maakaasukäsikirja 2010, 6.)

Tästä johtuen kuljetusonnettomuuksien torjunnassa nesteytetty maakaasu vaarallisena aineena voidaan käsitellä yksinomaan nesteytettyinä metaanina ja huomioida sen ominaisuudet.

Gasum Oy:n käyttöturvallisuustiedotteen ilmoittamat nesteytetyn maakaasun ominaisuudet:

Sulamis- tai jäähtymispiste	-182 °C (sulamispiste)
Kiehumispiste ja kiehumisalue	-162 °C
Leimahduspiste	-188 °C
Alempi syttymisraja	5 til-%
Ylempi syttymisraja	15 til-%
Höyrynpaine	Noin 150 kPa (20 celsiusta)
Suhteellinen tiheys	Kaasuna 0,56 (ilma = 1)
Vesiliukoisuus	Niukkaliukoinen (24G/l)

Rasvaliukoisuus	Yksilöitävä, ei tunneta
Itsesyttymislämpötila	537 celsiusta
Kaasun tiheys	0,73 kg / m ³
Nesteen tiheys kiehumis- lämpötilassa	0,42kg / l

Ominaisuuksista voidaan todeta, että metaani on kaasuna ilmaa kevyempää ja sen syttymisväli on 5 – 15 tilavuusprosentin välissä. Neste on kiehumispisteessä ominaisuuksiltaan vettä kevyempää. Käyttöturvallisuustiedotteen mukaisesti vaarallisena hajoamistuotteena syntyy hiilimonoksidia (CO).

TAULUKKO 1. Maakaasun ja nestekaasun syttymisrajat (Maakaasukäsikirja 2010, 12).

Maakaasun ja nestekaasujen syttymisrajat

Til-% kaasua ilmassa/hapessa

		ilmassa 20°C	Ilmassa 200°C	Hapessa 20°C
Metaani	CH ₄	5,0–15,0	4,2–14,7	5,0–60,0
Propaani	C ₃ H ₈	2,1–9,3	1,9–9,4	2,3–55,0
Butaani	C ₄ H ₁₀	1,8–8,4	1,5–7,9	1,8–49,0

4.2 Nesteyttäminen

Nesteytetty maakaasu on maakaasua, joka on jäädytetty noin -150 °C, jolloin se on nestemäisessä olomuodossa 2,5 bar paineessa. Normaali paineessa maakaasun nesteytyslämpötila on noin -160 °C. Nesteytetyn kaasun tilavuus pienenee 1/600 osaan kaa-

sumaisesta tilavuudesta, jolloin sitä on mahdollista kuljettaa putkiverkon ulkopuolella. (Hautaluoma 2011.)

Ennen nesteyttämistä maakaasu esikäsitellään haittakomponenttien osuuden pienentämiseksi. Tämän jälkeen maakaasu esijäähdytetään. Nesteytyminen tapahtuu niin kutsutussa Cold-Box-jäähdyttimessä, josta nesteytetty maakaasu johdetaan varastosäiliöihin. Varastosäiliöitä on kolme kappaletta, jokainen on tilavuudeltaan 683 kuutiota. Varastosäiliöistä on kuljetuskalustolle kaksi lastauspaikkaa, joista kummastakin voidaan lastata 50 kuutiota tunnissa. (Hautaluoma 2011.)



KUVA 3. Maakaasun lastaus Kilpilahti (Gasum Oy).

5 KULJETUSKALUSTON ESITTELY JA RAKENNE

Tämän hetkinen kalusto kuljetusta varten on kaksi kuljetusyksikköä, joiden tekniset ominaisuudet esitellään tarkennetusti. Ne ovat käytössä ja vastaavat koko kuljetustoiminnasta tällä hetkellä. Uutta kuljetuskalustoa on tilattu ja niiden kuvat on esitelty työssä.

5.1 Kuljetuskalusto

Säiliö on kaksoisvaippainen tyhjiöeristetty paineastia. Kuvassa olevien säiliöiden koko on 56 kuutiota, suurin mitä normaaliliikenteeseen mahtuu. LNG-säiliön rakenne on samanlainen kuin mitä nestemäisen tyyppien kuljetuksissa käytetään. (Maakaasukäsikirja 2008–2009, 12.)

GASUM OY

LNG-AJONEUVOYHDISTELMÄT

LNG-1 & WPY-163

LNG-2 & WPY-165

VALMISTAJA CRYO AB ja VOLVO LASTVAGNAR AB

Valmistusvuosi	2008
Käyttöönotto	2009



KUVA 4. Maakaasun käytössä olevat ajoneuvoyhdistelmät (Gasum Oy).

5.2 Säiliön tekniset tiedot ja merkinnät

Alla olevassa taulukossa on esitetty kuljetussäiliön tekniset tiedot. Taulukon mukaan maksimi hyötykuorma on 19490 kg. Säiliön koestuspaine on 10,4 bar ja maksimi käyttöpaine on 7 bar. Laskennallinen kaasun poisto täydestä kuormasta on 0,6 % vuorokaudessa. Varoventtiilin aukeamispaine on 7 bar.

TAULUKKO 2. Maintenance instruction Technical data (Cryo AB).

SECTION 5

TECHNICAL DATA

Tare weight	15 920	kg
Gross volume (+20°C)	55 624	liter
Max volume liquid LNG	52 400	liter
Max weight liquid LNG	19 490	kg
Degassing LNG (full tank/24 hr)	0.6	%
Design pressure	7.0	bar
Test pressure	10.4	bar
Max operating pressure	7.0	bar
Working temperature	-162°C	
Safety valve opening pressure	7.0	bar

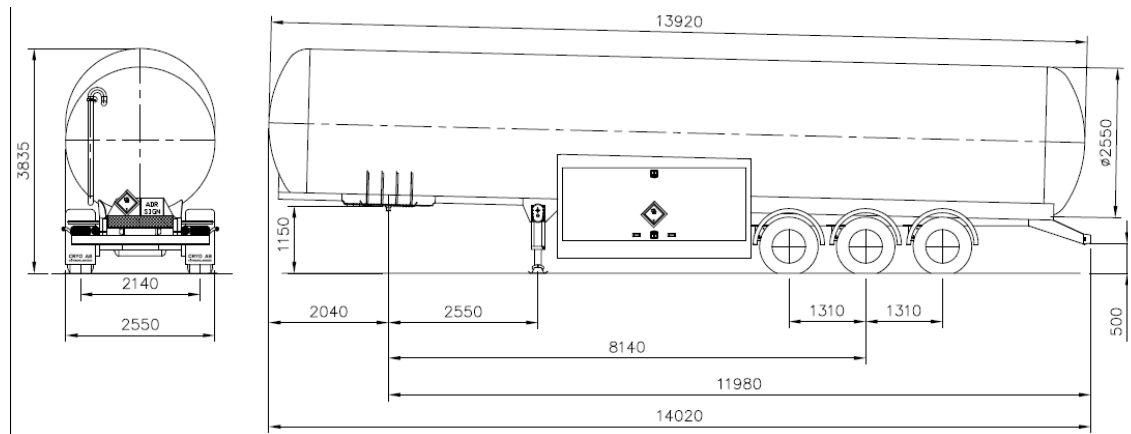


aineen kirjainlyhenne (myös sivuilla)

varoituslipuke (myös sivuilla)

tunnusnumerokilpi (takana ja edessä)

KUVA 5. Merkinnät (Gasum Oy).



KUVA 6. Kuljetussäiliön tekniset mitat (Cryo AB).

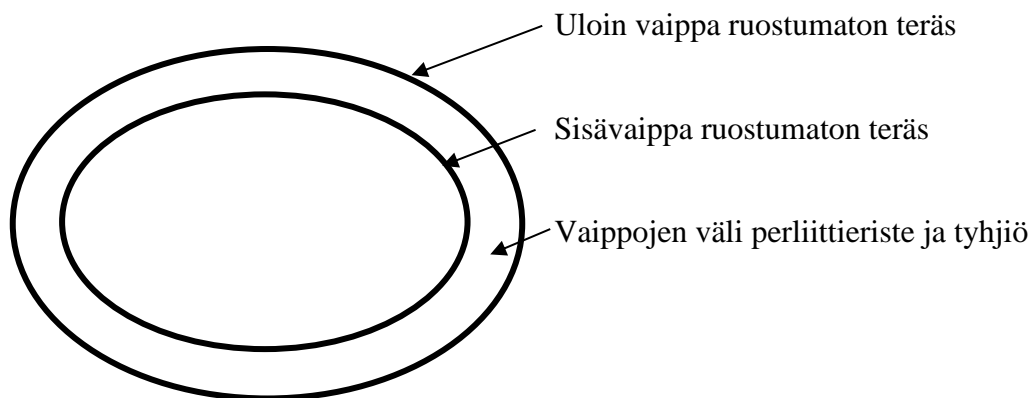
5.3 Kuljetussäiliön rakenne ja materiaali

Säiliö on kaksoisvaippainen tyhjiöeristetty paineastia. LNG-säiliön rakenne on samanlainen kuin mitä nestemäisen tyyppien kuljetuksissa käytetään. (Suomen kaasuyhdistys 2009, 13.)

TAULUKKO 3. Materiaali (Cryo AB).

Material:

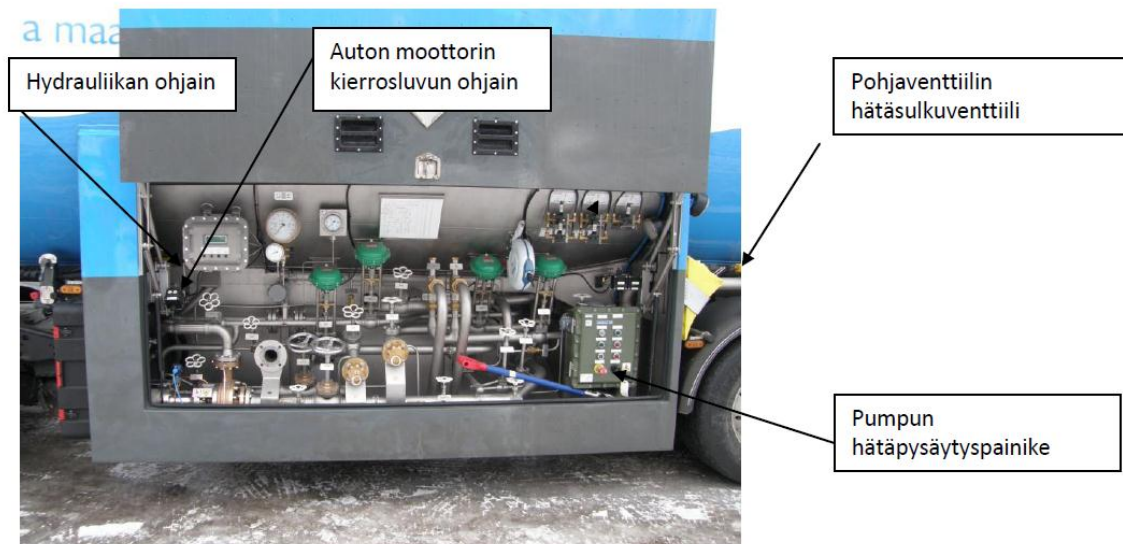
Inner vessel	Stainless steel
Vacuum jacket	Stainless steel
Insulation	Pearlite - vacuum



5.4 Kuljetussäiliön kaappi

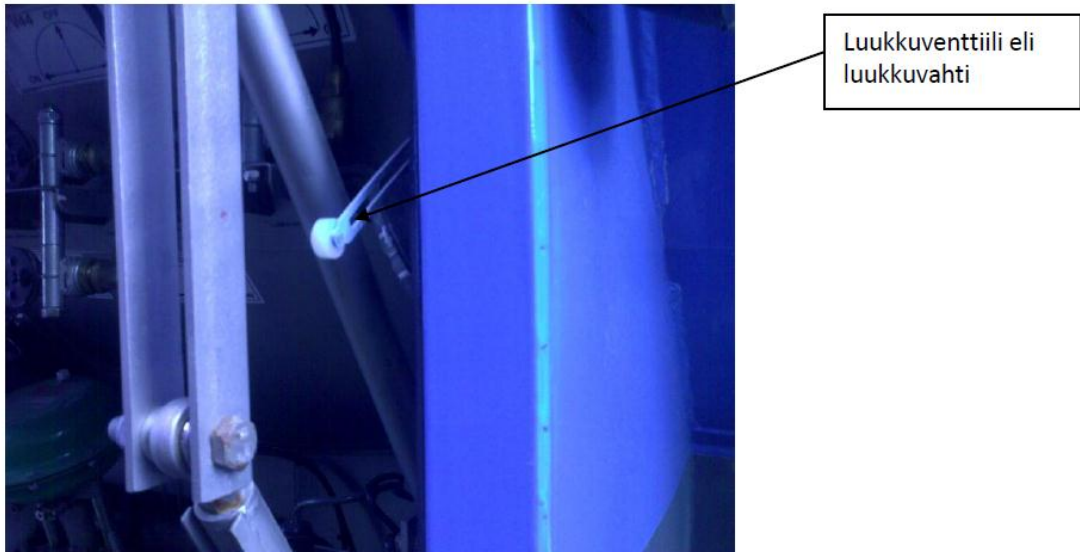
Kuljetussäiliön kaappi sijaitsee keskellä ja edestäpäin oikealla, eli kuljettajan puolella ajoneuvoa. Sinne on sijoitettu auton purkamista ja lastaamista varten olevat tekniset toiminnot. Kaapin oven ollessa auki perävaunun jarrujärjestelmä lukkiutuu anti tow-away-järjestelmän johdosta. (Kivilehto ym. 2009, 2.)

Pohjaventtiilin sulkemiseen on ohjausventtiilit vaunun molemmilla sivuilla. Pumpun pysäytyksen painonappi on pumpun sähkökaapissa, auton moottorin hätäpysäytykseen tarkoitettu painike sijaitsee ohjaamossa. Kaikki katkaisimet ovat väriltään punaisia, niin kutsuttuja ”tappokatkaisijoita”. (Kivilehto ym. 2009, 3.)



KUVA 8. Kuljetussäiliön kaappi (Gasum Oy).

Kuvassa ylhäällä vasemmalla sijaitsee pumpun hydrauliikan ohjainventtiilin. Työntämällä vipua kaappiin sisäänpäin pumppu lakkaa pyörimästä. Huomioitavaa on, että auto jää toimenpiteen jälkeen käyntiin, mikäli auton moottori täytyy pysäyttää, sijaitsee hätäseis-kytkin ohjaamossa. (Kivilehto ym. 2009, 2.)



KUVA 9. Kaapin oven luukkuventtiili (Gasum Oy).



KUVA 10. Häätä-seis-ohjausventtiili (Gasum Oy).

Pohjaventtiilin häätä-seis-painikkeet sijaitsevat perävaunun molemmin puolin. Luukkuventtiili, eli luukkuvahti lukitsee perävaunun jarrujärjestelmän niin, että jarrut ovat päällä. Mikäli ajoneuvoa siirretään, tulee muistaa sulkea kaapin ovi. (Kivilehto ym. 2009, 3.)



X2 = ylätyttö- ja nestekierto- linjan sulkuventtiili
 X3 = pohjacenttiili
 X4 = paineenkevennyslinjan (ulospuhallus) sulkuventtiili
 X13 = paineenkorotuslinjan nesteen syötön sulkuventtiili
 X26 = kaasu faasin purkulinja

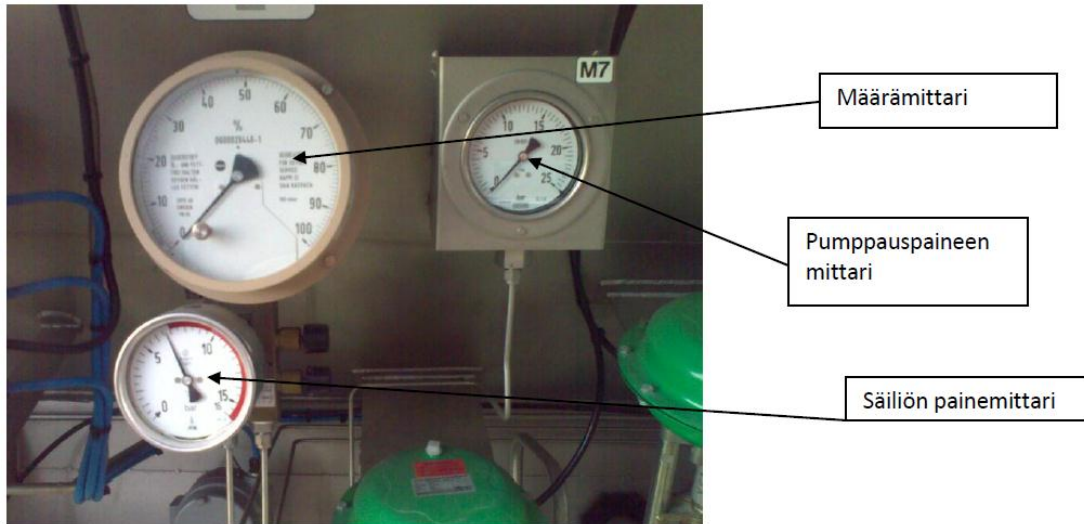
KUVA 11. Sulkuventtiilien ohjaisventtiilit (Gasum Oy).



Palkeen ilmanpaineen poistuessa pohjacenttiili sulkeutuu

KUVA 12. Pohjacenttiili toimilaitteineen (Gasum Oy).

Järjestelmässä ei ole letkurikko- tai putkirikko-ohjaisautomaatiikkaa. Kuljettaja valvoo toimintaa. Häiriötilanteessa sulkemalla X3-venttiili, virtaus säiliöstä tai säiliöön lakkaa. Mikäli kaapissa syttyy kaasupalo, X3-venttiilin ohjaisilmaputki ja ilmapalje palavat puhki, jolloin X3-venttiili sulkeutuu jousivoiman avulla. (Kivilehto ym. 2009, 4.)



KUVA 13. Ohjauskaapin mittaristo (Gasum Oy).

Onnettomuustilanteessa määrämittarin ja etenkin säiliön painetta osoittavan mittarin tarkkailu on tärkeää. Varoventtiili aukeaa 7 bar paineessa purkaen perävaunun asennosta riippuen, joko kaasumaista tai nestemäistä maakaasua ulos. Huomioitavaa on, että pelastustoiminnassa kriittinen paine alkaa, kun varoventtiilin paineraja on ylitetty, eikä se ala toimimaan. Säiliön koestuspaine on 10,4 bar. (Kivilehto ym. 2009, 5.)

5.5 Uusi kuljetuskalusto

Tällä hetkellä nesteytetyn maakaasun kuljetukseen on olemassa kaksi ajoneuvoa, kuljetuskapasiteetti tulee tulevaisuudessa lisääntymää kahdella uudella ajoneuvolla. Uudet kuljetussäiliöt ovat eristerakenteen ominaisuuksien parantumisen myötä eristeen osalta ohuempia. Näin tilavuutta on saatu hieman lisättyä. Seinämien vaipparakenne pysyy samanlaisena kuin edellä on kuvattu, molemmat vaipat ovat ruostumatonta terästä. Erona tämän hetkiseen tulee olemaan se, että venttiili ja mittaristokaapisto aukeaa kahden eri luukun kautta. (Niiranen 2013b.)



KUVA 14. Uusi kuljetussäiliö takaosasta (Gasum Oy).



KUVA 15. Uuden kuljetussäiliön mittaristo- ja venttiilikaappi (Gasum).

6 LNG:N KULJETUKSET SUOMESSA

Nesteytetyn maakaasun kuljetukset ovat alkaneet Suomessa 1996. Porvoosta on kulu-
neiden vuosien aikana toimitettu nesteytettyä maakaasua asiakkaille heidän tarpeen mu-
kaisesti. Toimituksia on ollut Ruotsiin vuoden 2011 huhtikuulle, jolloin ne loppuvat
Ruotsiin Nynäshamniin valmistuneen oman terminaalin johdosta. Saksaan nesteytettyä
maakaasua on toimitettu pääsääntöisesti Vuosaaren satamasta, jonkin verran myös Han-
gon kautta. (Niiranen 2013b.)

Tulevaisuudessa LNG-kuljetuksia tulee liikkumaan Suomessa lähes kaikilla pääreiteillä.
Terminaalin sijoituspaikka tulee määrittämään kuljetusreittien pääpainon, mutta alusta-
vien arvioiden mukaan kuljetuksia tulee alussa olemaan 5–10 rekkaa päivässä, myö-
hemmin kuljetuksia tulee todennäköisesti olemaan 10–20 rekkaa päivässä. Näkymät
ovat LNG-kuljetusten osalta tulevaisuudessa kasvavia. (Niiranen 2013b.)

7 ONNETTOMUUS MAANTIEKULJETUKSESSA

Tähän mennessä Suomessa ei ole tapahtunut tieliikenteessä sellaista onnettomuutta, jossa osallisena olisi ollut jäädyttämällä nesteytettyä palavaa kaasua kuljettanut ajoneuvoyhdistelmä. Tulevaisuudessa kuljetusmäärät tulevat lisääntymään huomattavasti, ja näin ollen riski sille, että onnettomuus tapahtuu jossain vaiheessa, lisääntyy olennaisesti.

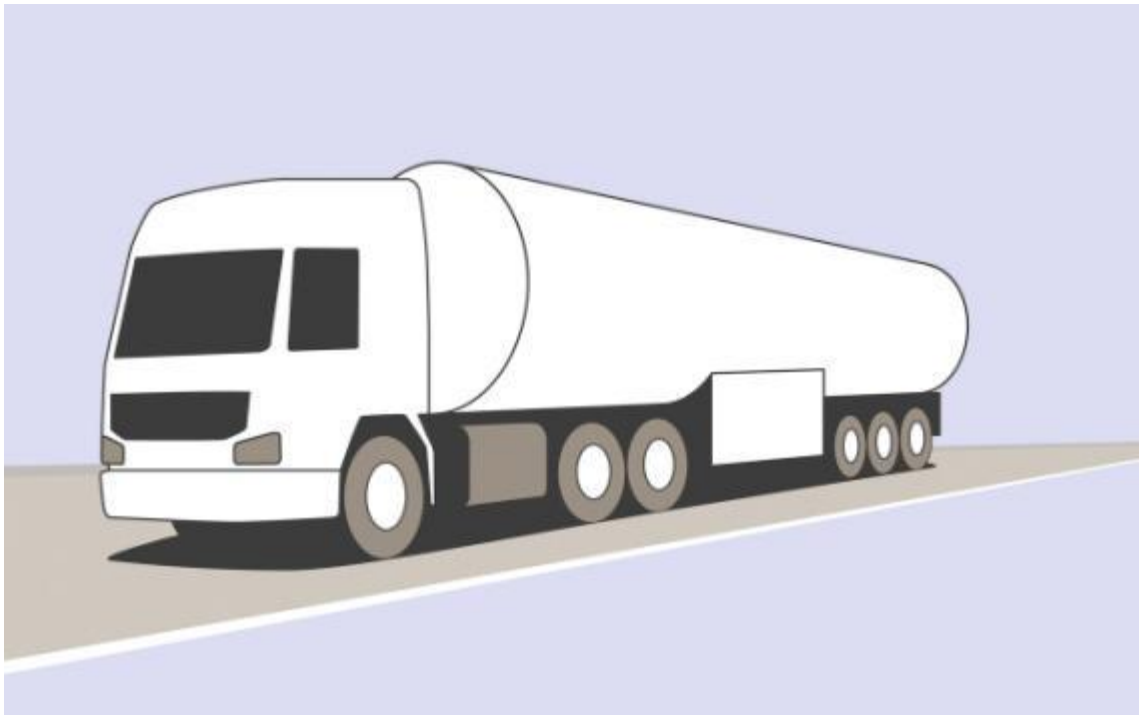
Kuljetuksia tullaan suorittamaan koko Suomen päätieverkostolla useisiin eri kohteisiin. Tieverkosto on Suomessa pääsääntöisesti hyväkuntoista, mutta muu liikenne, sääolosuhteet, inhimillinen virhe ja varsinkin syksyisin ja talvisin nopeasti muuttuvat olosuhteet lisäävät riskiä kuljetusonnettomuuksille. Raskasliikenne voi olla osallisina hyvin erityyppisiin onnettomuuksiin. Osa onnettomuuksista on pelastustoiminnan kannalta suoritettavissa rutiinitoimenpitein. Tilanteesta selvittää perustoimenpitein ja se on nopeasti ohi.

Vaativaksi tilanteen tekee vaarallisten aineiden kuljetuksen osalta jo se, kun joudutaan tekemään ratkaisu kuljetettavan kuorman siirtämisestä pois ajoneuvosta. Tilanteen kestosta tulee pitkäaikaisempi ja se vaatii useita muita järjestelyjä. Onnettomuuden hoitamisen vaativuus ja olemassa olevat riskit kasvavat sitä mukaa, mitä suurempia vahinkoja ajoneuvo on tilanteessa saanut ja miten paljon ihmisiä on osallisena.

8 ONNETTOMUUSTYYPIT JA TOIMINTA

Tässä luvussa keskitytään käsittelemään eri onnettomuustyyppisiä ja niiden torjuntaa. Torjuntaohjeisiin on käytetty ruotsalaisten ohjeistusta, Pelastusopiston Tokeva-ohjetta sekä keskusteluja Gasum Oy:n turvallisuudesta vastaavien asiantuntijoiden kanssa sekä heidän näkemyksiään. Saatuja tuloksia olen verrannut ulkomailla tapahtuneiden onnettomuuksien tutkintaraportteihin, joita käsittelem työssä myöhemmin.

8.1 Tieltä suistuminen tai kaatuminen, ei vuotoa



KUVA 16. Tieltä suistuminen tai kaatuminen, ei vuotoa (Gasum Oy).

Kuljetusyksikön suistuttua tieltä niin, että se jää osittain pyörien varaan, eikä kuljetussäiliöön synny vahinkoa, tilanne on riskien osalta hyvin pieni. Varoventtiilit ovat toimintakykyisiä ja ne tasaavat säiliön mahdollisen paineen nousun. Paineen nousu säiliön sisälämpötilan noususta johtuen tapahtuu hyvin hitaasti ja silloinkin sisäpaineen tasaus pitää tilanteen hallinnassa. Tilanteessa on myös mahdollista seurata mittariston kautta säiliön sisäistä painetta. (Hautaluoma 2013.)

Alkutilanteessa onnettomuusalue tulee eristää sadan metrin säteeltä ja liikenne on pysäytettävä, tiedustelulla poissuljetaan mahdollinen vuoto. Alkuvaiheen asiantuntijana pelastustoiminnan johtajaa tukee ajoneuvon kuljettaja, hänellä on rahtikirjat ja tieto ajoneuvon tekniikasta. (Energigas Sverige 2011, 11.)

Pelastustoiminnan johtajan tulee tässä ja kaikissa muissakin eri onnettomuustyypeissä huomioida se, että tiedustelua tehtäessä liikutaan myös alueella, joka on katsottava tilaluokitelluksi alueeksi. Tästä johtuen pelastustoimen välineet, joita mukana kuljetetaan, on oltava ex-suojattuja valaisimista viestivälineisiin, tämä on olennainen osa työturvallisuutta. (Hautaluoma 2013.)

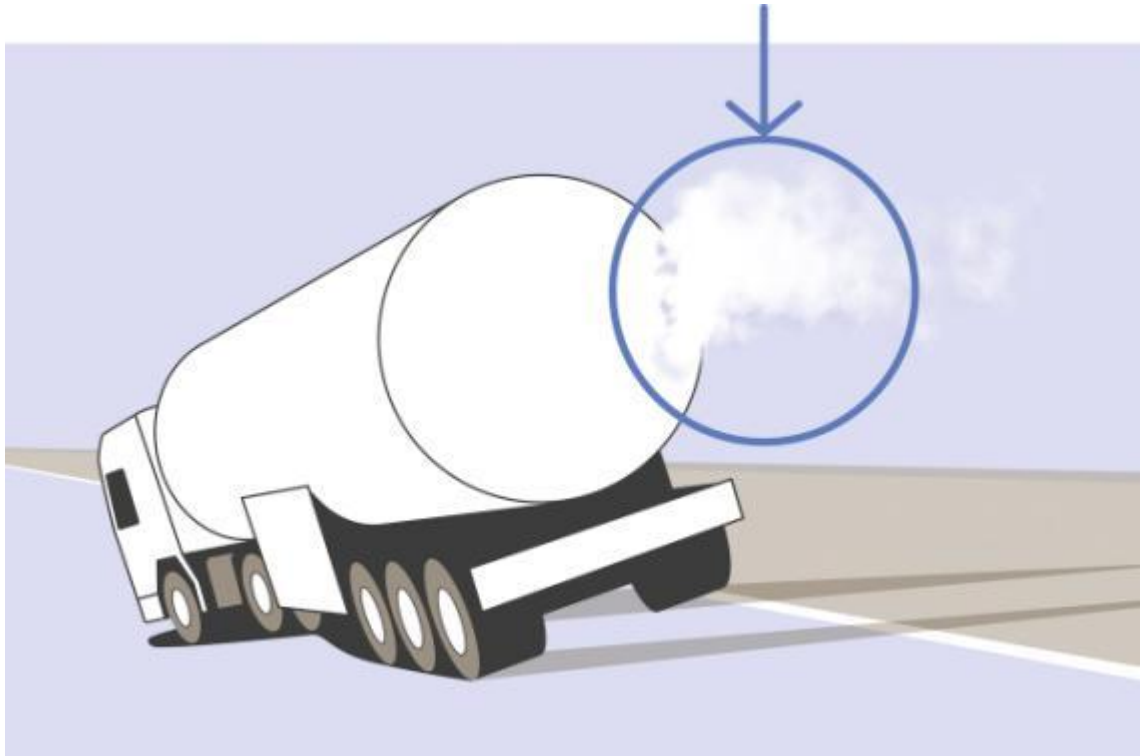
Tiedustelun ja kuljettajan haastattelun jälkeen, kun tilanne on todettu stabiiliksi, voidaan onnettomuuden aiheuttamaa ruuhkaa ohjata poliisin toimesta onnettomuuspaikan ohi, mikäli se on turvallisesti mahdollista, muutoin on harkittava kiertotietä. Liikenteen ohjaus kuuluu poliisille, mutta on hyvä käydä keskustelu pelastustoiminnan johtajan ja poliisin välillä siitä, minkälaista kiertotietä on suunniteltu. Tämä sen vuoksi, että kiertotietä käyttää myös raskaskalusto ja tien tulee olla kelpollinen siihen tarkoitukseen lisäonnettomuuksien välttämiseksi, muutoin raskas kalusto odottaa tilanteen loppuun saattamista.

Yhteys turvallisuusneuvonantajaan tai muuhun vastuuhenkilöön otetaan alkuvaiheen tiedustelun jälkeen. Tässä on oltava myös kuljettajan mukana asiantuntijana. Paras vaihtoehto on, että paikalle saadaan kuljetusyrityksestä vastuuhenkilö. Hän toimii asiantuntijana-apuna ja arvioi voidaanko ajoneuvoa yrittää hinata lastin kanssa vai täytyykö se tyhjentää toiseen kuljetusyksikköön. Tarvittavan hinaus- ja nostokaluston tilaa kuljetusliikkeen edustaja tai vaihtoehtoisesti poliisi. (Hautaluoma 2013.)

Kuljetusyksikön ollessa suistuneena pyörien varassa, voidaan usein käyttää ajoneuvon omaa pumppua. Siirtopumppaus on yleensä oikea vaihtoehto työturvallisuuden kannalta, vain hyvin lievissä tieltä suistumisissa voidaan harkita ajoneuvon hinaamista lasti mukana takaisin tielle. Siirtopumppaukseen jouduttaessa tilanne kestää aina tunteja. Siirtopumppauksen aikana tilannepaikan ohi ei voida ohjata muuta liikennettä kaksi kaistaisella tiellä. (Hautaluoma 2013.) Poliisin on huomioitava tämä omassa resurssis-

saan, pelastustoimi voi antaa tarvittaessa virka-apua, mutta sen resurssi on suurelta osin sidottuna siirtopumppauksen turvaamiseen.

8.2 Tieltä suistuminen tai kaatuminen, kaasumainen vuoto



KUVA 17. Kaasumainen vuoto, ei paloa (Gasum Oy).

Onnettomuustilanteessa, jossa kuljetussäiliö on vaurioitunut niin, että se vuotaa kaasua, tulee alue eristää ensitoimenpiteenä vähintään 100 metrin etäisyydeltä (Energigas Sverige 2011, 14). Maakaasun kaasumainen vuoto on ilmaa raskaampaa alle -110 °C , ylitettyään tämän lämpötilan kaasu kohoaa nopeasti ylös ja haihtuu (Niiranen 2013b). Tästä johtuen vuotokohdan yläpuolella on 300 metriin ulottuva syttymisvaarallinen alue. Pelastustoiminnan johtajan tulee ottaa tämä huomioon, ja ottaa tarvittaessa yhteys lennonvarmistuskeskukseen ja ilmoittaa onnettomuudesta. (Pelastusopisto 2012, T2K.)

Maakaasu haihtuu höyrystyessään ylös, mutta auton välittömässä läheisyydessä kaasumaisessa muodossa voi olla syttyvä seos myös maantasossa. Mahdollisuus tulee huomioida etenkin, jos maaston muodot luovat välittömään läheisyyteen olosuhteet, jotka ohjaavat tai estävät kaasun virtausta. Sääolosuhteilla varsinkin tuulen, sateen ja lämpötilan

suhteen on merkitystä kaasun leviämisen ja käyttäytymisen suhteen. (Hautaluoma 2013.)

Mittaamalla pitoisuutta selvitetään syttymisalueen rajaa. Tiedustelun jälkeen on mahdollista, että eristysrajaa kasvatetaan, mutta vuodon aikana sitä ei tule pienentää alle sadan metrin (Energigas Sverige 2011, 14). Tilanne on aina pitkäkestoinen ja vaatii liikenteen ohjausta turvallista reittiä onnettomuuspaikan ohi. Tokeva-ohjeen mukaisesti vuotokohtaan ei saa suoraan kohdistaa vesisuihkua. Vesisuihkun avulla voidaan ohjata ja laimentaa vuotavaa kaasupilveä. (Pelastusopisto 2012, T2K.)

Ensitoimenpiteiden jälkeen tulee ottaa mahdollisimman nopeasti yhteyttä kuljetusliikkeen asiantuntijaan ja selvitetään jatkotoimenpiteet. Erittäin tärkeää on saada apu paikalle, mutta tilanteissa, joissa etäisyydet ovat pitkät, se ei välttämättä ole mahdollista. Kuljettajan rooli, mikäli hän on kunnossa, on ensiarvoisen tärkeä. (Hautaluoma 2013.)

Vuotokohdan ollessa kaasufaasissa tilanne säiliön sisällä pysyy hallituissa olosuhteissa. Kaasun vuoto heikkenee säiliön sisäpuolisen paineen laskiessa ja lähestyessä normaalia ilmanpainetta. Paineen ollessa sama kuin säiliön ulkopuolella, kaasua tulee vuotokohdasta laskennallisen kaasunpoiston mukaisesti. (Hautaluoma 2013.) Vuotokohta on pyrittävä tukkimaan ja toimenpiteet tehdään Tokeva-ohjeistuksen mukaan (Pelastusopisto 2012, T2K).

Mikäli kaasumainen vuoto aiheutuu varoventtiilin rikkoutumisesta, sitä ei alkutoimenpiteenä saa tukkia. Pelastustoimen johtajan tulee tilanteessa keskustella asiantuntijan kanssa toimenpiteistä, jotta vuodon tukkiminen ei aiheuta säiliön sisäisen paineen nousua ja riskiä säiliön repeämiselle. Tietyissä tilanteissa on mahdollista hallita säiliön sisäistä paineen vaihtelua tietyillä toimenpiteillä, mutta ne ovat aina asiantuntijan suorittamia. Mikäli varoventtiili on vioittunut, annetaan sen purkaa kaasua, alue pidetään riittävältä matkalta eristettynä ja odotetaan asiantuntijaa paikan päälle. (Hautaluoma 2013.)

Ajoneuvon ollessa sellaisessa asennossa, että sen normaaleja tyhjennysyhteitä voidaan käyttää lastin siirtämiseen, pystytään siirtopumppaus suorittamaan. Ajoneuvo johon lasti siirretään, tulee sijoittua turvalliselle alueelle, joka on varmistettu pelastuslaitoksen toimesta. (Energigas Sverige 2011, 15.) Siirtopumppauksen suorittaminen edellyttää

ajoneuvon moottorin käynnissä olemista. Siirtopumppaukseen ryhdyttäessä paikalla on jo asiantuntija sekä tarvittava kalusto. Ennen pumppauksen aloitusta on oltava ehdotoman varma, että vuoto on saatu tukittua. Pelastuslaitos varmistaa tilannetta koko siirtopumppauksen ajan.

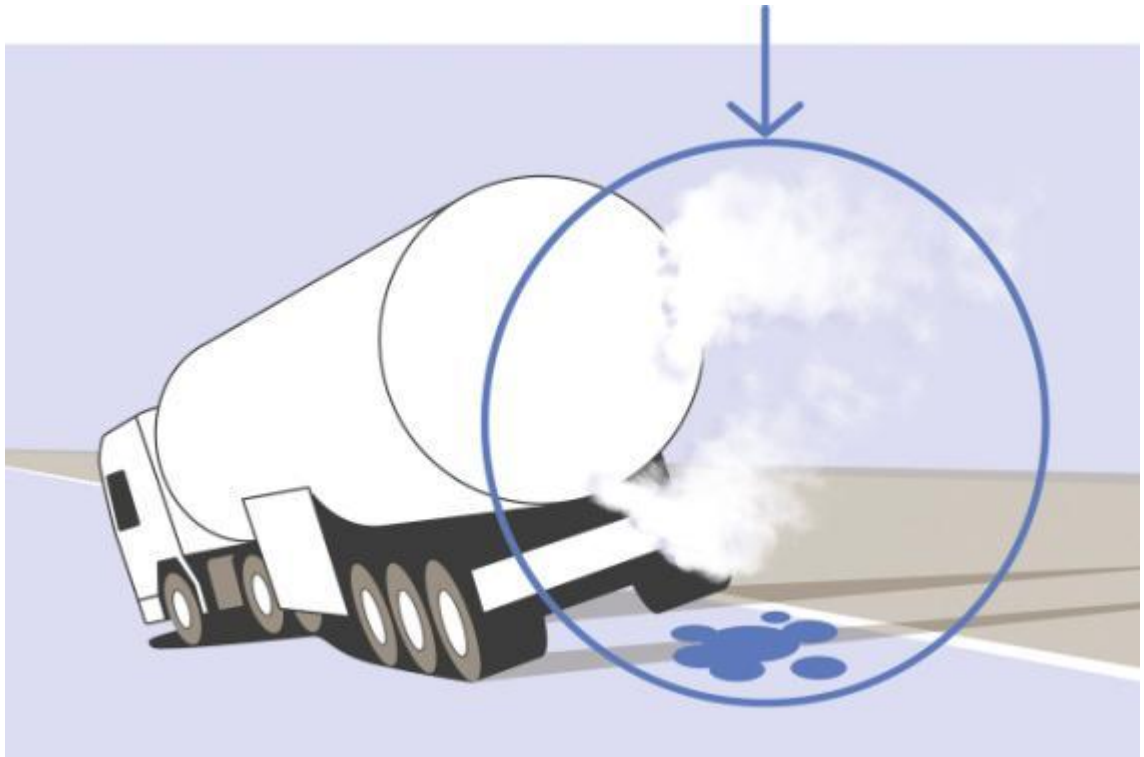
Ajoneuvon pumpun maksimisiirtokapasiteetti on 600 l/min, joten täyden kuorman purku kestää nopeimmillaankin noin 1 h 30 min (Hautaluoma 2013). Kohteessa on oltava riittävä määrä vedenkuljetuskalustoa huomioiden miten kaukana on vedenottoaika. Tässä tapauksessa siirtoa voidaan alkaa suorittamaan pumppauksen avulla vasta sitten, kun vesihuolto on varmuudella järjestetty.

Ajoneuvon ollessa asennossa, jossa sen omaa pumpua ei pystytä käyttämään siirtopumppaukseen, mutta se ei ole vahingoittunut, voidaan aluksi käyttää paineentasaukseen perustuvaa siirtoa tai muita asiantuntijan suorittamia toimenpiteitä. Tällä kevennetään onnettomuussäiliön sisäistä painetta ja pienennetään kaasuvuodon määrää. Vuoto-kohta on tukittava ennen tai jälkeen tasauksen. Ajoneuvo tulee saada sellaiseen asentoon, että pystytään suorittamaan tyhjennys oman pumpun kautta. Tämä vaatii riittävän kapasiteetin omaavia nostureita. Oikean kaluston tilaa kuljetusliikkeen edustaja, joka käy keskustelun nosturiyrityksen edustajan kanssa. Oikein suoritettujen nostotoimenpiteiden avulla ajoneuvo voidaan saattaa sellaiseen asentoon kuormattunakin, että tyhjentäminen on mahdollista. (Hautaluoma 2013.)

Tilanne on pitkäkestoinen ja aiheuttaa merkittävää haittaa liikenteelle. Kiertotie on useita tunteja käytössä. Pelastus- ja poliisiviranomaisten tulee yhdessä sopia ja huolehtia siitä, että riittävä määrä tiedotteita laaditaan onnettomuuden suhteen. Pelastustoiminnan johtaja ratkaisee riittääkö tilanteessa pelastustoiminnan osalta mediatiedotteet vai toimi-taanko tilanteessa Sisäasianministeriön Vaaratiedoteoppaan mukaisesti (SM 2013).

Tärkeä asia on eristää alue huolellisesti, sekä jatkuvalla valvonnalla varmistaa, ettei sivullisia pääse eristetylle alueelle. Onnettomuus on sen tyyppinen, että se aiheuttaa suurta mielenkiintoa, niin mediassa, kuin yleisön keskuudessa. Tiedottamiseen tulee tilanteessa ottaa mukaan myös kuljetusliikkeen edustaja sekä kuljetettavan aineen valmistajan edustaja.

8.3 Tieltä suistuminen tai kaatuminen nestevuoto



KUVA 18. Nestevuoto, ei paloa (Gasum Oy).

Onnettomuudessa, jossa kuljetussäiliö rikkoutuu niin, että se vuotaa nestemäistä maakaasua, tulee alue eristää 300 metrin alueelta ympäri ajoneuvon. Alkuvaiheessa pelastustoimen ajoneuvot on jätettävä riittävän kauas onnettomuus kohteesta, sekä varmistettava, että muista kohteen läheisyyteen joutuneista ajoneuvoista on sammutettu moottorit. (Energigas Sverige 2011, 15.)

Maakaasu on ilmaa kevyempää ja aiheuttaa näin ollen syttymisvaaran myös kohteen yläpuolelle. Alue ulottuu 300 metriä ylöspäin. Pelastustoimen johtajan tulee tarvittaessa ottaa myös yhteyttä lennonvarmistuskeskukseen ja ilmoittaa onnettomuudesta. Tiedustelulla tarkennetaan tilanne ja tarvittaessa täsmennetään eristysalueet uudelleen. Onnettomuuden torjuntatoimet ja suojaustasot määräytyvät TOKEVA-ohjeen mukaisesti. (Pelastusopisto 2012.)

Vuotokohta tulee pyrkiä tukkimaan, työturvallisuuden kannalta on muistettava, että kyseessä on kylmä ja palava aine. Kaasupilveä voidaan ohjata ja laimentaa, mutta itse vuo-

tokohtaan tai vuotaneeseen nesteeseen ei tule kohdistaa sumusuihkua. Tämä lämmitää nestettä ja lisää höyrystymistä, tällöin onnettomuuskohteen syttymisvaarallinen alue kasvaa. Huomioitavaa on, että mikäli kuljetussäiliön ulkovaippa on rikkoontunut, on kuljetussäiliö kokonaisuudessaan menettänyt tyhjiö ominaisuuden. Tämä tarkoittaa sitä, että kuljetussäiliön eristyskyky on menetetty. Kuljetussäiliötä ei pidä valella vedellä, tämä aiheuttaa vain kuljetettavan aineen lämpenemistä ja lisää säiliön sisäistä painetta ja näin ollen vuotoa. Asiantuntija tulee pyytää paikan päälle ja yhteistyössä hänen kanssaan päätetään toimintatavoista. (Hautaluoma 2013.)

Mikäli onnettomuuskohteessa on mahdollista, että vuotavaa nestemäistä maakaasua pääsee maanalaisiin tiloihin, kuten sadevesi- tai viemäriverkosto, tulee tämä estää. Höyrystyessään nestemäinen maakaasu muuttuu ilmaa kevyemmäksi ja pyrkii nousemaan ylöspäin. On mahdollista, että lähialueelle tai viereisiin rakennuksiin muodostuu syttävän seoksen alueita. Kaasuntuessaan ilmaa kevyempänä maakaasu saadaan haihdutettua rakennuksesta painovoimaisella tuuletuksella. Tuuletuksen jälkeen on varmistuttava tilan turvallisuudesta mittaamalla pitoisuusarvo. (Hautaluoma 2013.)

Nestemäisen maakaasun haittavaikutukset ympäristöön ovat erittäin vähäiset ja jäävät hyvin paikallisiksi. Aine ei kulkeudu maaperässä vaan höyrystyy pois, joten jäämiä ei synny. Haittavaikutuksena eliöstölle on nestemäisen aineen leviämialueen paikallinen jäätyminen. Ympäristön kannalta haitta on erittäin pieni, joten pelastustoiminnan osalta se ei sido resursseja. Maahan lammikoitunutta nestemäistä maakaasua ei tule peittää, vaan lammikon annetaan haihtua pois. (Hautaluoma 2013.)

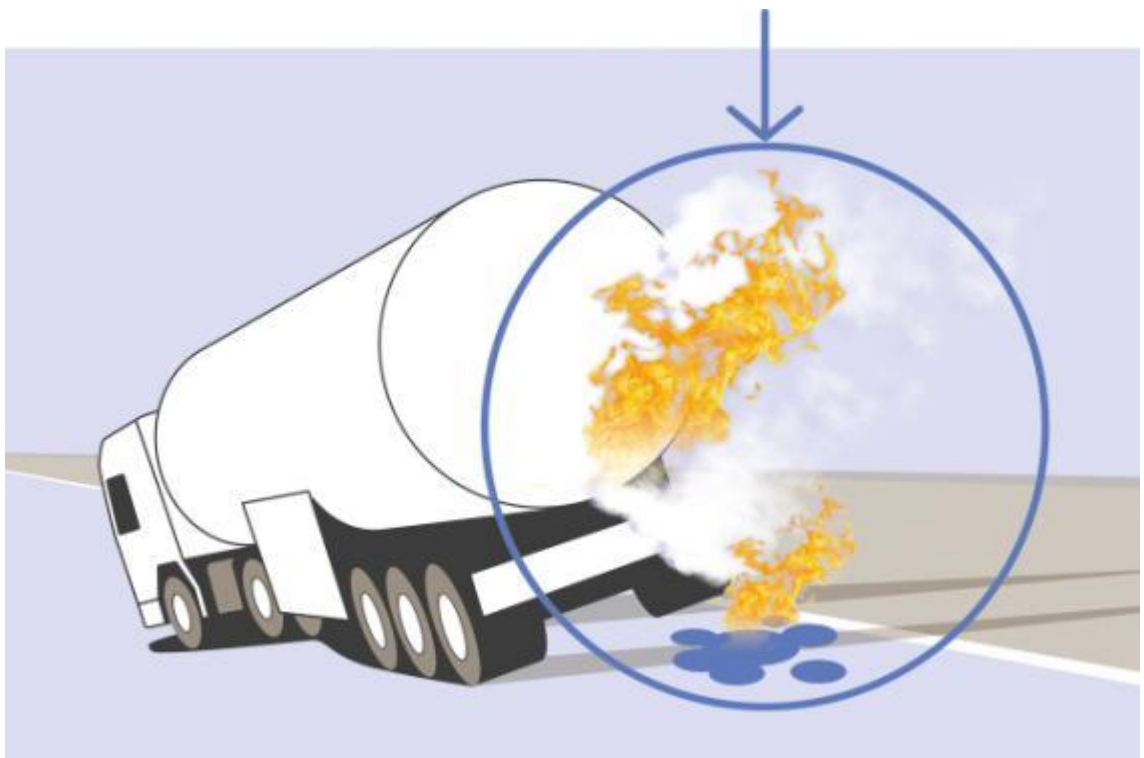
Asiantuntijan kanssa päätetään säiliön tyhjentämisestä. Käytännössä vuoto on saatava tukittua ja ajoneuvo asentoon, jossa sen siirtopumppua voidaan käyttää. Toimintaa varten työskentely alue on saatava turvalliseksi ja pelastuslaitos varmistaa tapahtumaa. Mikäli vuotoa ei saada tukittua, säiliön tulee antaa tyhjentyä nestemäisestä maakaasusta ennen nostotoimenpiteitä. Säiliön tyhjentymisen ajan tulee olla jatkuva tarkkailu höyrystyvän maakaasun käyttäytymisestä ja varmistuttava siitä, että eristysalue on riittävä. (Energigas Sverige 2011, 15.)

Kuljetussäiliön tyhjennyttyä nestemäisestä maakaasusta vuoto lakkaa. Nostotoimenpiteitä voidaan alkaa suorittaa, mikäli mahdollista vuotokohta tulee tukkia. Noston ajan

pelastustoimi varmistaa, että säiliöstä tulevia loppupäästöjä ei kulkeudu nostoa suorittavaa kalustoa kohden. Suojaus varmistetaan sumusuihkuilla ja jatkuvalla mittauksella. (Hautaluoma 2013.)

Tilanne on pitkäkestoinen ja aiheuttaa merkittävää haittaa liikenteelle. Kiertotie on useita tunteja käytössä. Pelastus- ja poliisiviranomaisten tulee yhdessä sopia ja huolehtia siitä, että riittävä määrä tiedotteita laaditaan onnettomuuden suhteen. Tärkeä asia on eristää alue huolellisesti, sekä jatkuvalla valvonnalla varmistaa, ettei sivullisia pääse eristetylle alueelle. Onnettomuus on sen tyyppinen, että se aiheuttaa suurta mielenkiintoa niin mediassa kuin yleisön keskuudessa. Tiedottamiseen tulee tilanteessa ottaa mukaan myös kuljetusliikkeen edustaja sekä kuljetettavan aineen valmistajan edustaja.

8.4 Tieltä suistuminen tai kaatuminen, vuoto ja palo



KUVA 19. Vuoto ja tulipalo (Gasum Oy).

Onnettomuudessa, jossa kuljetussäiliö rikkoutuu niin, että se vuotaa nestemäistä maakaasua ja palaa, tulee alue eristää 300 metrin alueelta ympäri ajoneuvon. Alkuvaiheessa pelastustoimen ajoneuvot on jätettävä riittävän kauas onnettomuus kohteesta, sekä varmistettava, että muista kohteen läheisyyteen joutuneista ajoneuvoista on sammutettu

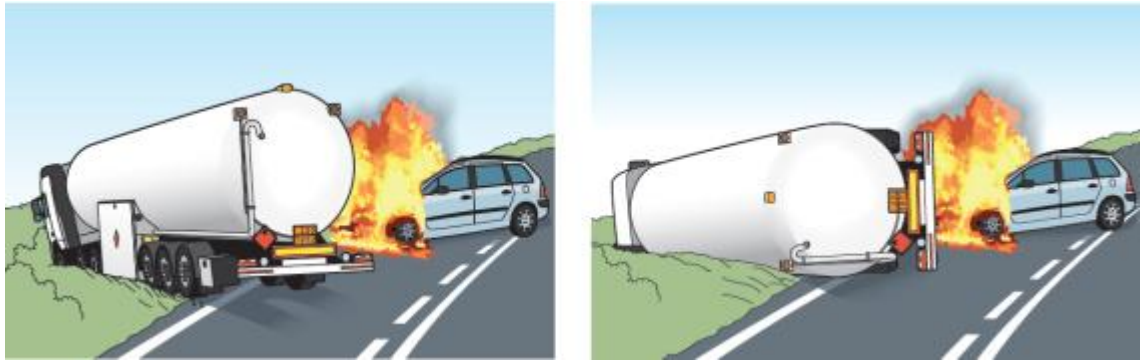
moottorit. Tiedustelulla tarkennetaan tilanne ja tarvittaessa täsmennetään eristysalueet uudelleen. (Energigas Sverige 2011, 16.) Onnettomuuden torjuntatoimet ja suojaustasot määräytyvät TOKEVA-ohjeen (T2K) mukaisesti.

Vuotavan säiliön kaasupaloa ei tule sammuttaa, koska uudelleen syttymisen riski on erittäin suuri. Palavaa kuljetussäiliötä voidaan jäähdyttää vesivalelulla, mutta vesisuihkua ei saa kohdistaa vuotaneeseen nestemäiseen maakaasuun. (Energigas Sverige 2011, 16.) Veden lämpöenergia lisää höyrystymistä ja kasvattaa näin ollen palon voimakkuutta. Mikäli kuljetussäiliön uloin teräsvaippa on vahingoittunut ja eriste tai sisävaippa on näkyvissä, säiliön rakenne on menettänyt vakuuomiomaisuutensa koko kuljetussäiliön osalta ja rakenne ei eristä lämpöä säiliöstä. Valelueden lämpötila on noin + 20 °C ja tämä lämmittää säiliön sisäpuolta, lisäten höyrystymistä ja nostaan tämän johdosta painetta. (Hautaluoma 2013.)

Säiliön rakenne on kestävä tulipalon lämpösäteilyä vastaan, mikäli on mahdollista, tulee tarkkailla kuljetussäiliön sisäisen paineen kehittymistä mittarikaapista. Ensisijaisesti tulee pyrkiä tukkimaan vuoto. Mikäli varmuudella voidaan todeta, että palon sammuttamisen jälkeen vuoto on turvallisesti tukittavissa, voidaan palo sammuttaa jauheella. (Energigas Sverige 2011, 16.) Päätös sammuttamisesta ja sen jälkeisestä vuodon tukkimisesta on riskialtista uudelleen syttymisen johdosta, joten asia tulee harkita huolellisesti ja päättää asiantuntijan kanssa (Hautaluoma 2013).

Tulipalon ollessa suuruudeltaan sellainen, ettei sitä voida sammuttaa ja jäähdyttämisestä ei ole hyötyä, tulee pelastuslaitoksen ensitoimenpiteinä eristää alue ja evakuoida vaarassa olevat. Alueelle tulee antaa välittömästi vaaratiedote Vaaratiedoteoppaan mukaisesti.

8.5 Ulkoinen palo kuljetusyksikön välittömässä läheisyydessä



KUVA 20. Ulkoinen palo välittömässä läheisyydessä (Energigas Sverige 2011, 17).

Ulkoisen palon uhatessa kuljetussäiliötä tulee alue eristää tilanteen alkuvaiheessa 300 etäisyydeltä ympäriinsä. Tiedustelun jälkeen eristysalue saattaa kasvaa, mutta palon aikana sitä ei tule pienentää. Kuljetussäiliön rakenne kestää ehjänä hyvin ulkoista paloa ja palon suuruudesta riippuen paloa rajoitetaan ja se sammutetaan. (Energigas Sverige 2011, 17.)

Vetoauton, renkaiden tai polttoainesäiliöiden palossa kuljetussäiliön ollessa ehjä voidaan paloa rajoittaa ja sammuttaa turvallisesti samalla tarkkaillen säiliön sisäisen paineen tilaa. Säiliön varoventtiili avautuu 7,0 bar paineessa, pelastustoiminnan johtajan tulee huomioda tämä, koska vapautuva kaasu saattaa lisätä palon voimakkuutta. Palon sammuttamisen jälkeen asiantuntija arvioi vahingot ja antaa tarvittavat ohjeet miten kuljetuksen kanssa toimitaan. (Hautaluoma 2013.)

Mikäli ulkoinen palo on voimakkuudeltaan niin suuri, että pelastustoiminnan resurssit eivät riitä rajoittamaan ja sammuttamaan paloa tulee ensitoimenpiteinä eristää alue vähintään 400 metrin alueelta ympäriinsä (Pelastusopisto 2012, T2K). Tilanteen kehittymiseen ja sen arviointiin sekä päätöksentekoon vaikuttaa olennaisesti palon voimakkuus, kuljetussäiliön kunto ja vuotaako kuljetussäiliö onnettomuuden johdosta.

Pelastustoimen resurssit tulee keskittää ulkopuolisten evakuoimiseen. Alueen eristäminen ja ulkopuolisten evakuoiminen vaativat huomattavan määrän resursseja. Tärkeää on, että välittömästi päätöksen jälkeen myös poliisi saa tiedon asiasta ja voi ryhtyä vaa-

dittaviin toimenpiteisiin. Tilanteesta tulee antaa Vaaratiedoteoppaan mukainen vaaratiedote.

Ulkopuolisilla henkilöillä ei ole suojavarusteita mahdollista räjähdyksestä johtuvaa lämpösäteilyä vastaan. Evakuointi tulee suorittaa asteittain välittömästä läheisyydestä aloittaen tarvittaessa aina 1200 metriin asti.

Poliisilla ja ensihoidolla ei ole riittävää varustusta lämpösäteilyä vastaan, joten pelastustoiminnan johtajan tulee huomioida tämä toiminnassa. Käytännössä se tarkoittaa, että työturvallisesti poliisia ja ensihoitohenkilöstöä ei voi olla 600 metriä lähempänä onnettomuutta. Etäisyydet perustuvat tapahtuneiden onnettomuuksien havaintoihin.

Onnettomuustilanteissa tulee olla myös yhteydessä Gasum Oy:n keskusvalvomoon. Keskusvalvomossa on ympärivuorokautinen päivystys sekä yhteydet asiantuntijoihin. Heillä on myös alueen pelastustoimen kanssa yhteistoimintasopimus, onnettomuuden tapahtuessa keskusvalvomoon voidaan pyytää pelastustoimen edustaja, näin ollen yhteyden pito ja kommunikointi onnettomuuspaikan pelastustoiminnan johtajaan helpottuu. (Hautaluoma 2013.)

9 LASTIN PURKUTAPAHTUMA

Säiliöauton kuorman purkutapahtumasta käytetään nimitystä bunkraus. Bunkrauksen aikana riskit voidaan karkeasti jakaa pieneen tai suureen vuotoon liittimessä, letkussa tai säiliöperävaunun laitteissa. (Hautaluoma 2012, 1.) Työn liitteet 4-7 käsittelevät lastin purkamisen vaaratekijöitä, sekä toimenpiteitä onnettomuuksien varalta. Kuljettaja valvoo ja on keskeisessä roolissa tilanteessa. Tämän johdosta on ensiarvoisen tärkeää harjoitella tilanteeseen liittyviä onnettomuusskenaarioita.



KUVA 21. Bunkraus Viking Grace laivaan Turun satamassa (Gasum oy).

10 VIRANOMAISYHTEISTYÖ

Tieliikenteessä tapahtuva vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuus on aina moni viranomaistilanne. Onnettomuuden reaaliaikainen torjunta, altistuneiden pelastaminen, lisävahinkojen estäminen, väestön varoittaminen tarvittaessa, mahdollinen evakuointi, liikenteen ohjaus sekä pelastustoiminnan päättämisen jälkeinen toiminta vaativat useiden eri viranomaisten yhteistyötä. Tärkeä yhteistyökumppani on myös onnettomuuteen osallisen toiminnan harjoittajan edustaja, johon on oltava yhteydessä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Jos pelastustoimintaan osallistuu useamman toimialan viranomaisia, tilanteen yleisjohtajana toimii pelastustoiminnan johtaja. Yleisjohtaja vastaa tilannekuvan ylläpitämisestä ja toiminnan yhteensovittamisesta. Eri toimialojen yksiköt toimivat oman johtonsa alaisuudessa siten, että niiden toimenpiteet kokonaisuudessaan edistävät onnettomuuden tai tilanteen seurausten tehokasta torjuntaa. Tilanteen yleisjohtaja voi muodostaa avukseen viranomaisten, laitosten ja toimintaan osallistuvien vapaaehtoisten yksiköiden edustajista koostuvan johtoryhmän ja kutsua asiantuntijoita avukseen. (Pelastuslaki 379/2011, 35§.)

Pelastuslaki (379/2011) antaa mahdollisuuden pelastustoiminnan johtajalle käyttää apunaan kuljetusyrityksen sekä kuljetettavan vaarallisen aineen valmistajan asiantuntijapua. Nämä henkilöt ovat keskeisessä roolissa silloin, kun kysymyksessä on tieliikenteessä tapahtunut onnettomuus. Tämä on myös erityisen tärkeää jäähdyttämällä nesteytetyn palavan kaasun onnettomuuden torjunnassa.

Vaarallisten aineiden onnettomuudessa joudutaan alkuvaiheessa usein katkaisemaan liikenne kokonaan ja eristämään onnettomuusaluetta. Vilkkaasti liikennöidyillä pääteillä vaihtoehtoisen reitin löytäminen ja sille opastaminen ovat erittäin haasteellisia. Liikenteen ohjaus kuuluu poliisiviranomaiselle. Tästä johtuen on äärimmäisen tärkeää, että onnettomuustilanteeseen on hälytetty myös riittävä määrä poliisipartioita. Tällä varmistetaan myös se, että pelastusviranomaiset pystyvät keskittämään resurssinsa varsinaiseen pelastus- ja torjuntatoimintaan heti alusta alkaen. Pelastustoiminnan johtajan ja poliisin kenttäjohtajan viestintä heti alusta alkaen on äärimmäisen tärkeää, jotta oikeat ratkaisut tehdään heti alusta lähtien.

Suomen ympäristökeskuksessa on öljy- ja kemikaalivahinkojen torjunnan sekä muiden ympäristön erityistilanteiden edellyttämiä kiireellisiä toimenpiteitä varten ympärivuorokautinen ympäristövahinkopäivystys, puhelinnumerot on tarkoitettu viranomaiskäyttöön

(Suomen ympäristökeskus). Alueellisilla pelastustoimilla on olemassa nämä numerot, joten yhteys eri torjuntatoimiin osallistuviin viranomaistahoihin ovat kunnossa. Tärkeää on myös se, että kuljetusasiakirjoista löytyy päivitettyt yhteystiedot liikennöitsijän turvallisuusneuvonantajalle tai muu puhelinnumero, josta tavoittaa asiantuntija-apua ympäri vuorokauden.

Jäähdyttämällä nesteytetyn palavan kaasun onnettomuus on vaarallisten aineiden onnettomuus. Tästä syystä on tärkeää ottaa myös ympäristöviranomaiseen ainakin yhteyttä ja vakavammassa tilanteessa pyytää vastuhenkilö käymään paikanpäällä. Ympäristön kannalta onnettomuuden seurannaisvaikutukset ovat vähäiset, mutta ympäristöviranomaisen toteaa tilanteen ja toimii onnettomuustilanteen osalta oman toimintaohjeistukseen mukaisesti.

11 ULKOMAILLA TAPAHTUNEITA ONNETTOMUUKSIA

Kappaleessa käsitellään ulkomailla sattuneita nesteytetyn maakaasun kuljetusonnettomuuksia. Analysoitavaksi olen valinnut onnettomuuksia, joiden seuraukset ovat olleet merkittäviä ihmisten tai omaisuuden kannalta. Mukana on myös yksi onnettomuus, jonka tarkoitus on antaa hyvä käytännön esimerkki siitä, miten onnettomuus voidaan hoitaa hyvässä yhteistyössä asiantuntijoiden kanssa. Maailmalla on myös näiden onnettomuuksien lisäksi sattunut useita kuljetuksiin liittyviä onnettomuuksia, mutta niiden vaikutukset ovat jääneet vähäisiksi.

11.1 Espanja Murcia

Espanjassa Murcian provinssissa tapahtui 20. elokuuta 2011 jäähdyttämällä nesteytetyn maakaasun maantiekuljetuksen onnettomuus, jossa kuljetussäiliö räjähti onnettomuuden tapahtumien johdosta. Käsittelen onnettomuutta Seguridad y Medio Ambiente verkkojulkaisun artikkelin pohjalta. Tapaus on laadultaan toinen tämäntyyppinen tunnettu onnettomuus maailmalla.

Onnettomuus sai alkunsa kun LNG:tä kuljettava rekka törmäsi moottoritiele vian takia pysähtyneeseen raskaita elementtiosia kuljettaneeseen rekkaan. Törmäyksen johdosta kuljettaja menetti ajoneuvon hallinnan, kuljetusyksikkö ajautui tieltä ja pysähtymisen jälkeen syttyi palamaan.



Figura 2. Situation of the vehicles after the accident. Source^[2].

KUVA 22. Törmäyksen jälkeinen ajoneuvojen sijainti (Martinez ym, 2012, 3).

Lähin paloasema sijaitsi 31 kilometrin päässä onnettomuuspaikasta. Ajomatkan aikana pelastushenkilöstö sai tiedon, että onnettomuuteen osallisena saattoi olla LNG kuljetusyksikkö. Tiedustelun jälkeen kävi ilmi, että kuljettaja on kiinni ohjaamossa, jota liekit ympäröivät, ja osa kuljetussäiliön ulkokuorta ja eristettä on vahingoittunut. Tiedustelun perusteella räjähdysvaara oli olemassa ja alue eristettiin 600 metrin säteeltä, sekä läheinen huoltoasema ja kahvila evakuoitiin.

Hieman ennen räjähdystä kuului kimeä ääni ja palosta nousi tulisoihutu. Hieman tämän jälkeen tapahtui räjähdys.



KUVAT 23 ja 24. Hieman ennen räjähdystä ja räjähdysen jälkeen (Martinez ym. 2012, 5).

Artikkelin mukaan on epätodennäköistä, että pelkkä ohjaamon, polttoainetankin ja renkaiden palo olisi aikaan saanut räjähdystä. Onnettomuuden seurauksena on hyvin todennäköisesti aiheutunut vuoto, joko säiliön tai putkiston vaurion johdosta. Lisäksi ulkokuori ja eriste olivat osittain rikkoontuneet vähentäen kuljetussäiliön kestävyyttä paloa vastaan.

Räjähdysen seurauksena säiliöstä lensi kaksi vaimennuslevyä 150 metrin päähän, ja pienempiä kappaleita 200 metrin päähän. Artikkelin mukaan räjähdysestä seurannut paineaalto oli riittävän suuri aiheuttamaan huomattavia materiaali vahinkoja aina 160 metrin säteellä, hajottaen läheisen huoltoaseman ikkunat ja vaurioittaen kattorakenteita.

Lämpösäteily sytytti puisia materiaaleja 141 metrin säteellä palamaan, artikkelin mukaan lämpösäteilyn arvo on ollut $12,5 \text{ kW/m}^2$. Ihmiselle kivuntunteen aiheuttaa 4 kW/m^2

lämpösäteily. Paikalla ollut henkilö, joka seisoj noin 600 metrin päässä onnettomuudesta, tunsj kuumaa ilmapirran.

Onnettomuuden tutkinnan johtopäätöksinä kyseisessä tilanteessa pelastushenkilöstön ensimmäisinä toimenpiteinä on pelastaa ja evakuoida ihmiset. Pelastushenkilöstö voi operoida sammutusasussa ja paineilmalaitteilla suojautuneena 332 metrin etäisyydellä palavasta säiliöautosta ja ihmiset tulee evakuoida 1245 metrin etäisyydeltä onnettomuuspaikalta. Missään tilanteessa ei tule mennä 100 metriä lähemmäksi kohdetta. Yleisesti on todettu, että räjähdys tapahtuu noin 10 – 15 minuutin kuluttua syttymisestä, mutta tässä onnettomuudessa se tapahtui myöhemmin, sen on arvioitu johtuvan siitä, että kyseessä oli hyvin todennäköisesti nestemäinen vuoto.

11.2 Espanja Tivissa

Tiviassa Espanjassa tapahtui 22. kesäkuuta 2002 iltapäivällä LNG:tä kuljettaneen säiliöauton tieltä suistuminen, joka johti LNG kuljetussäiliön räjähtämiseen. Olen käsitellyt tapausta Journal of Loss Prevention in the Process Industries verkkojulkaisun pohjalta. Onnettomuus tapahtui kuljettajan menetettyä ajoneuvon hallinnan alamäessä ylinopeuden johdosta. Ajoneuvo kääntyi ympäri ja päättyi vasemmalle kyljelle hiekkaluueelle.

Välittömästi tämän jälkeen syttyi ohjaamon ja kuljetussäiliön välissä palamaan, silminnäkijän mukaan näkyi pelkkiä liekkejä, ei savua. Noin 70 metrin päässä seisseen silminnäkijän mukaan liekit olivat väriltään sinisiä ja korkeita, kaksi muuta silminnäkiää eivät havainneet samaa ilmiötä. Pian tämän jälkeen syttyivät renkaat, aiheuttaen pieniä räjähdysääniä. Noin kaksi minuuttia onnettomuudesta liekit kasvoivat. Arvioiden mukaan tämän aiheutti joko polttoaineen syttyminen, vuoto kuljetussäiliöstä (rikkoontunut varoventtiilin putki) tai niiden yhteisvaikutus.



KUVA 25. Tilanne noin 2 minuuttia onnettomuuden jälkeen (Planas-Cuchi ym 2004, 316).

Arviolta 20 minuutin kuluttua onnettomuudesta kuljetussäiliö räjähti. Aluksi kuului pieniä räjähdyksiä, näiden perään voimakas kimeä ääni, jota seurasi iso räjähdys. Räjähdysten jälkeen tuli katosi ja ilmestyi valkoinen pilvi. Pilvi syttyi välittömästi luoden kasvavan tulipallon. Onnettomuudessa kuoli kuljettaja. Kaksi henkilöä, jotka seisoivat noin 200 metrin päässä, loukkaantuivat saaden palovammoja.

Kuljetussäiliö oli halkaisijaltaan 2,33 metriä ja 13,5 metriä pitkä. Sisempi vaippa oli ruostumatonta terästä, seinämäpaksuus 4 mm ja päädyt 6 mm. Eristeenä itsestään sammuttava 130 mm paksu polyuretaanieristys, uloin kuori oli 2 mm paksua alumiinia. Säiliössä oli viisi varoventtiiliä. Kahden aukeamispaine oli 7 bar, yksi 9 bar ja kaksi 10 bar aukeamispaineella purkuputkistossa. Kaikki varoventtiilit olivat yhdistetty paineen purkuputkeen, joka sijaitsi säiliön päällä.

Räjähdysten paineen vaikutuksen tarkka määrittelyä ei kyseisessä tapauksessa voitu suorittaa, johtuen riittämättömistä lähtöarvotiedoista. Paineesta voidaan kuitenkin päätellä, että 125 metrin päässä sijainneen talon ikkunat säilyivät ehjinä.

Kuljetussäiliön takaosan pääty, joka oli 5 metriä pitkä, lensi 80 metrin päähän ja etuosa, joka oli 4 metrin pituinen 125 metrin päähän onnettomuuspaikasta. Moottorin ja ohjaimon päällisosia lensi 257 metrin päähän onnettomuuspaikasta.

Puutteellinen kokemus ja tieto toiminnasta onnettomuudessa aiheuttivat syttymisen ja palopäällikön päätöksen evakuoida ihmiset 1600 metrin säteeltä. Päätös perustui mahdollisuuteen, että säiliö räjähtää. Alue evakuoitiin ja pelastushenkilöstö vetäytyi pois. Palo syttyi 07:30 ja jatkui laajentumatta kello 15:00 asti. Säiliö kesti palavan vuodon kokonaisuudessaan. Onnettomuuden ohi kulkevat tiet avattiin kello 16:30. Kukaan ei loukkaantunut onnettomuudessa.

11.4 Wales, Aberystwyth

Täyteen lastattu LNG:tä kuljettava ajoneuvo pyörähti kiertoliittymässä ympäri törmäten katuvalaisimiin ja päätyen kyljelleen. Käsittelen onnettomuutta IChemE LNG Fire Protection & Emergency Responseren julkaisun perusteella.

Kuljetusyhtiön asiantuntijat olivat paikalla 45 minuuttia onnettomuuden jälkeen. Tilanteessa päädyttiin siirtämään lasti toiseen ajoneuvoon. Toiminta suoritettiin onnistuneesti ja päästöjä ei siirron aikana syntynyt ollenkaan.

11.5 Yhteenveto

Espanjassa tapahtuneissa onnettomuuksissa tapahtumaketjut saivat alkunsa kuljettajien virheestä. Ajoneuvojen nopeus oli korkea ja törmäysenergiat niin suuria, että kuljetussäiliö tai putkisto vaurioitui tilanteessa. Säiliön ulkokuori ja eristys kärsivät vahinkoja ja näin ollen ainakin osa säiliön rakenteesta menetti eristyskyvyn. Onnettomuuksissa syttyi tulipaloja ja niihin osallistui auton polttoainesäiliön ja palavien rakenteiden lisäksi vuotava aine.

Todennäköisesti eristekyvyn menettämisestä johtuen palon voimakkuus huomioiden, sai aikaan nopean säiliön kuumenemisen ja paineen nousun. Molemmissa räjähdyksissä silminnäkijöiden mukaan hieman ennen räjähdystä kuului voimakasta kimeää ääntä. Toisessa tapauksessa näkyi myös erotettava tulisoihtu.

Kyseisissä onnettomuuksissa itse varsinaisen törmäyksen aiheuttamien vahinkojen lisäksi vahinkoja aiheuttavat paineaalto, lämpösäteily ja räjähdysten aiheuttamat heitteet.

Paineaallon aiheuttamia vahinkoja voidaan tapahtuneiden perusteella olettaa aina 160 metrin etäisyydellä.

Toisessa onnettomuudesta kaksi ihmistä sai 200 metrin päässä palovammoja ja toisessa palava materiaali syttyi aina 141 metrin etäisyydeltä. Yksi silminnäkijä, joka seisoikin noin 600 metrin päässä, tunsikin lämpöaallon ihollaan. Räjähdyksen aiheuttamat heitteet lensivät maksimissaan aina 257 metrin säteellä riippuen heitteen koosta.

Yhdysvalloissa Nevadassa tapahtuneesta onnettomuudesta en löytänyt syytä, miksi kuljetussäiliön venttiilistöissä tapahtui vuoto. Tässäkin tapauksessa ihmisen toiminta edesauttoi onnettomuuden kehittymistä. Kuljettaja ei käyttänyt hätä-seis-kytkimiä ja pelastushenkilöstöllä ei ollut riittävää tietoa onnettomuuteen osallisesta vaarallisesta aineesta.

Huomioitavaa tässä onnettomuudessa oli se, että kuljetussäiliö ehjänä kesti palavan vuodon lämpösäteilyn ja se paloi muutamassa tunnissa tyhjäksi. Erona Suomessa käytettävään kuljetussäiliöön on se, että Suomessa myös sisävaippa on ruostumatonta terästä ja näin ollen rakenne on kestävämpi kuin alumiinisella sisävaipalla varustettu kuljetussäiliö.

Walesin onnettomuus on hyvä esimerkki onnettomuuden hoidosta silloin, kun tilanne ei ole ajautunut kriittiseksi. Asiantuntijoiden toimesta suoritetaan arviointi ja päätetään yhdessä pelastustoimen johtajan kanssa menettelytavasta. Onnettomuustilanne saatetaan työturvallisesti päätökseen hallituissa toimintaolosuhteissa.

12 VÄESTÖN VAROITTAMINEN JA TIEDOTTAMINEN

Mahdollista on, että LNG:n kuljetusonnettomuus aiheuttaa tarpeen väestön varoittamiseen. Sisäasiainministeriö on laatinut julkaisun 1 / 2013 Vaaratiedoteopas, jossa vaaratiedottamista käsitellään. Nesteytetyn maakaasun onnettomuus kohdistuu paikalliselle alueelle.

Vaaratiedote voidaan antaa, jos se on välttämätöntä väestön varoittamiseksi, silloin kun vaarallisen tapahtuman seurauksena voi aiheutua ihmiselle hengen- tai terveysvaaraa taikka vaaraa merkittävälle omaisuuden vaurioitumiselle tai tuhoutumiselle.

Vaaratiedote voidaan lisäksi antaa, kun vaaratilanne, jonka perusteella vaaratiedote on annettu, on ohi.

Vaaratiedotteen sisällöstä ja antamisesta voidaan antaa tarkempia säännöksiä valtioneuvoston asetuksella. (Laki vaaratiedottamisesta 466/2012, 3§)

Vaaratiedote tulee kielilain (423/2003) 32§:n mukaisesti antaa sekä suomen että ruotsin kielellä.

Jos 3§:n 1 momentissa tarkoitettu vaarallinen tapahtuma tai sen seuraukset kohdistuvat saamelaiskäräjistä annetun lain (974/1995) 4§:n mukaiselle saamelaisten kotiseutualueelle, vaaratiedote on mainitulla alueella annettava lisäksi saamen kielellä. (Laki vaaratiedottamisesta 466/2012, 6§.)

Onnettomuus voi vaikuttaa kuitenkin suureen määrään ihmisiä, mikäli pääväyliä joudutaan sulkemaan. Ulkomailla tapahtuneiden edellä analysoitujen onnettomuuksien tutkimusraporteista voidaan todeta vakavien LNG:n kuljetusonnettomuuksien osalta, että reagointiaika väestön varoittamiseen on sängen lyhyt. Pelastustoiminnan johtajalla on hälytyksen jälkeen huomattavan vähän aikaa varoittaa väestöä onnistuneesti.

Hyvä tiedote vastaa viiteen kysymykseen: missä – milloin – mitä – miten – tiedotteen antaja. Tiedotteen alussa on tapahtumapaikka ja aika selkeästi ilmaistuna, tämän jälkeen lyhyt tieto tapahtumasta tai tilanteesta ja sen mahdollisesti aiheuttamasta vaarasta ja lopuksi yksinkertaiset toimintaohjeet väestölle. Tiedotteessa tulee olla myös tieto tiedotteen antaneesta viranomaisesta. (SM 2013, 11.)

Hätäkeskus voi vastaanottaa joissain erityistilanteissa vaaratiedotteen saneluna VIRVE:llä ja kirjoittaa vaaratiedotteen sanelun perusteella. Mikäli tiedottava viranomainen ei voi sanella tekstiä suomeksi ja ruotsiksi, hätäkeskus avustaa tiedotteen kääntämisessä edellä mainituin tavoin. Hätäkeskus hyväksyttää sanelun pohjalta kirjoitetut tekstit edellä mainituin tavoin. Hätäkeskus hyväksyttää sanelun pohjalta kirjoitetut tekstit lukemalla tiedotteiden sisällöt tiedottamisesta vastaavalle viranomaiselle. Hyväksymisen jälkeen hätäkeskus toimittaa tiedotteen Yleisradioon. (SM 2013, 13.)

Käytännössä vaaratiedote on tilanteessa saneltava VIRVE:n kautta, muutoin on mahdollista, että onnettomuuden vaara aiheuttava tapahtuma on tapahtunut ennen kuin vaaratiedote on julkaistu.

Tiedottamisen osalta alueellisilla pelastustoimilla on ohjeistukset, joita pelastusviranomaiset noudattavat. Pääsääntönä on hyvä muistaa, että kukin tiedottaa omasta vastuualueesta. Esimerkiksi onnettomuuden syyn arviointi ei kuulu pelastusviranomaisen tietousvastuulle. Tiedotustilaisuuksia järjestettäessä on paikalla oltava kuljetusliikkeen ja kuljetettavan aineen valmistajan edustajat. Heillä on paras tietämys oman toimialansa kysymyksiin.

13 TYÖN TULOKSET

Työn tavoitteena oli täydentää tietoutta jäädyttämällä nesteytetyn palavan kaasun torjuntatoimenpiteistä. Akuutit ensivaiheiden toimenpiteet, kuten pelastaminen, alueen eristäminen ja väestön varoittaminen ovat selkeästi pelastustoimintaa johtavan viranomaisen vastuulla. Toiminnan tulee nojata yksinkertaistettuihin toimintaohjeisiin, jotka huomioivat työturvallisuuden riittävällä tarkkuudella. Tilanteen jatkuessa ensiarvoisen tärkeä pelastustoiminnan johtajalle on asiantuntija-apu, joka tilanteen menestyksekkään loppuunsaattamisen varmistamiseksi on saatava paikalle.

Onnettomuuden luonne vaihtelee vakaana pysyvistä, hyvin nopeasti etenevään, mahdollisesti merkittäviä henkilö- ja aineellisia vahinkoja aiheuttavaksi. Tilanne on pahimmillaan erittäin haastava pelastustoiminnan johtajalle, silloin on erityisen tärkeää kohdentaa onnettomuuden alkuvaiheessa olevat resurssit oikeaan painopistealueeseen.

Pelastustoiminnan johtamisen taktinen ohje, *torju suurin uhka ensin*, on toimiva ohje myös LNG:N kuljetusonnettomuudessa. Erittäin tärkeää on vain tunnistaa suurin uhka ja sovittaa mahdollinen tuleva onnettomuuden tapahtumaketju oikeaan mittasuhteeseen. Tämän perusteella tehdyt päätökset eivät saa olla alimitoitettuja, eivät myöskään yliamuvia. Tiedon puute tai ohjeistuksien puutteellinen käyttö aiheuttavat helposti ylivoimaisuutta.

Luvussa 8 käsitellään onnettomuustyyppisiä ja siihen liittyviä toimintaohjeita. Luvun keskeisiä ohjeita ovat eristysalueiden laajuudet. Maailmalla on tapahtunut onnettomuuksia ja olen vertailut työssäni käyttämiäni ruotsalaisten määrittämiä alueita sekä myös Tokeva-ohjeessa olevia eristysalueita.

Opinnäytetyön tarkastelun tuloksena voidaan todeta, että LNG:n kuljetusonnettomuudet ovat pääsääntöisesti hallittavissa hyvin oikeilla taktisilla ratkaisuilla, sekä asiantuntijan kanssa yhteistyössä tehdyillä toimintapäätöksillä. Kuljetussäiliön rakenne kestää oikein suoritettuja nostotoimenpiteitä, vaikka lastia ei olisi saatu kevennettyä. Kuljetussäiliön rakenne suojaa ehjänä myös ulkoista paloa vastaan. Huomioitava on kuitenkin mahdollisuus onnettomuuteen, joka voi aiheuttaa vakavaa vaaraa ja haitta ihmisille ja omaisuus-

delle. Vahinkojen minimoimiseksi alueen eristäminen ja tiedustelulla saadut tiedot ovat ensiarvoisen tärkeitä.

Pelastustoiminnan johtajan päätöksien tueksi on oltava riittävän yksinkertaiset toimintaohjeet. Tokeva-ohjeet nesteytetyn maakaasun osalta antavat toimintarungon, mutta ulkomailla tapahtuneiden onnettomuuksien raportoinnissa on mainittu evakuointialueeksi ulkopuolisista aina 1200 metriin asti. Huomioitavaa kuitenkin on, että toisessa tarkastelussa olleessa onnettomuudessa 600 metrin etäisyydellä seisonut henkilö tunsi vain kuuman ilmapirran. Heitteitä raportoitiin aina 257 metrin päässä, joten vakavien henkilövahinkojen välttämiseksi ulkopuolisten evakuointi ensitoimenpiteinä 600 metriin voidaan pitää riittävänä.

Pelastustoimintaan osallistuville viranomaisille on erittäin haastavaa suoriutua väestön varoittamisesta ja ulkopuolisten evakuoimisesta, kun tarkastellaan vakavan onnettomuustapahtuman aikajanaa. Tapahtuneissa onnettomuuksissa raporteissa mainitaan räjähdysten tapahtuvan noin 10 – 15 minuutin kuluessa onnettomuudesta. Toisessa onnettomuudessa räjähdys tapahtui 20 minuutin kuluttua, toisessa 71 minuutin kuluttua onnettomuudesta.

14 POHDINTA

Jäähdyttämällä nesteytetyn maakaasun kuljetusonnettomuuksien menestyksekkään torjunnan perusedellytyksenä on tuntea kuljetuskaluston ja kuljetettavan aineen perusasiat. Erittäin tärkeätä pelastustoiminnan johtajalle on ymmärtää, että välittömästi onnettomuustilanteen alusta alkaen tulee tukeutua asiantuntija-apuun. Vaarallisten aineiden onnettomuus muodostuu helposti myös moniviranomaistoiminnaksi, jossa tulee ottaa huomioon myös muu väestö. Tilanne aiheuttaa helposti haittaa tai merkittävää haittaa väestön normaalille toiminnalle.

Onnettomuudet kiinnostavat aina myös tiedotusvälineitä, erityisen kiinnostavaa siitä tulee, kun kyseessä on vaarallisten aineiden onnettomuus. Osan tiedotusvälineistä tapa käsitellä onnettomuuksia on syyllistävä. Tiedottamisessa on huomioitava se, että kukin taho tiedottaa omasta toimialastaan. Keskeistä onnistuneelle tiedottamiselle on, että alkuvaiheen tiedottamisen jälkeen, jonka yleisesti hoitaa pelastustoiminnan johtaja, mukaan tulevat onnettomuudessa toimivat eri osapuolet.

Vaarallisten aineiden onnettomuuksia tapahtuu Suomessa vähän. Maantiekuljetusonnettomuudet, joiden seuraukset ovat merkittäviä, ovat harvinaisia. Nesteytetyn maakaasun kuljetuksien osalta on erityisen tärkeää ylläpitää torjuntavalmiutta säännöllisesti järjestetyillä harjoituksilla. Haasteen tähän luo se, että toimintaa tapahtuu usean eri alueellisen pelastustoimen alueella.

Tämä asettaa nesteytetyn maakaasun tuottajan sekä kuljetusliikkeen haasteelliseen asemaan. Harjoituksia tulisi järjestää useita ja se sitoo toiminnanharjoittajien resursseja. Vaarallisten aineiden onnettomuuksissa hälytysvasteissa on tapahtumapaikasta riippuen usein pelastusyksiköitä eri alueellisten pelastustoimien alueilta. Tämän johdosta harjoitukset tulisi järjestää yhteistyössä mahdollisen onnettomuuden sattuessa paikalla olevan henkilöstön kanssa. Se vähentäisi harjoitusmääriä, sekä toimisi myös alueellisten pelastuslaitosten kannalta yhteistoimintaa kehittäväenä.

Omalta kohdalta tämän aiheen käsittely lisäsi tietoutta yleisestikin palavien kaasujen maantiekuljetuksien onnettomuuksien torjunnasta. Tiedän kokemuksesta, että tehtävä, johon liittyy vaarallisia aineita, luo lisäulottuvuuksia pelastustoimintaan ja sen johtami-

seen. Kuljetettavan aineen ja kaluston perustuntemus on lisääntynyt, samalla jo tiedossa oleva tosiasia, että asiantuntija-apu on välttämätöntä, on vahvistunut entisestään. Mitään mistä ei ole varma, ei pidä tehdä ja kuljetukseen liittyvät, ei niin kiireelliset toimenpiteet, vain asiantuntijan opastuksella.

LÄHTEET

Cryo AB. *Maintenance instruction. ID. No. 9556.*

Energigas Sverige 2011. *Åtgärder vid nödsituationer under transporter av flytande metan (LNG och LBG) Tankbilar och Tankcontainer.* Energigas Sverige Box 49134 100 29 Stockholm.

Gasum Oy 2011. *Käyttöturvallisuustiedote LNG Nesteytetty maakaasu.*

Gasum Oy. Www-dokumentti. <http://www.gasum.fi/kaasu>

[verkostot/finngulflng/Sivut/default.aspx](http://www.gasum.fi/verkostot/finngulflng/Sivut/default.aspx). 9.6.2013

Hautaluoma, J. 2011. *Luentomateriaali 25.5.2011.* Tuotantopäällikkö Gasum Oy.

Hautaluoma, J. 2012. *RVL-aluksen bunkraus.* Tuotantopäällikkö Gasum Oy.

Hautaluoma, J. 2013. Tuotantopäällikkö Gasum Oy. Keskustelu Mäntsälä 13.8.2013.

ICHEME 2007. Institution of Chemical Engineers. *LNG Fire Protection & Emergency Response.* Second edition. BP Process Safety Series. Dorchester. UK.

Planas-Cuchi, E., Gasulla, N., Ventosa, A. ja Casal, J. 2004. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries.* Www-dokumentti. http://ecosakh.ru/data/im_docs_62_vzryv_avticisterny_original_na_angl.pdf. 11.9.2013.

Kivilehto, R., Riikonen, A. 2009. *LNG-maantiekaluston lyhyt esittely.* Gasum Oy.

Laki vaaratiedotteesta 10.8.2012/466.

Liikenneturva. Www-dokumentti. http://www.liikenneturva.fi/www/tilastot/liite-tiedostot/Raskas_liikenne.pdf. 6.9.2013.

Niiranen, V - H. 2013b. Kehityspäällikkö. Kehityspäällikkö Gasum Oy. Kekustelu Mäntsälä 13.8.2013.

Niiranen, V - H. 2013a. *Luentomateriaali 20.8.2013*. Kehityspäällikkö Gasum Oy.

Pelastuslaki 29.4.2011/379.

Pelastusopisto 2012. *Tokeva – ohje*. Kuopio.

Martinez, B., Perez, B. ja Ayala, M. 2012. *Seguridad y Medio Ambiente*. Www-dokumentti.

<http://www.mapfre.com/fundacion/revistas/seguridad/n127/en/article2.html>. 11.9.2013.

SM 2013. *Vaaratiedoteopas*. Sisäasianministeriön julkaisu 1 / 2013. Kopijyvä Oy.

Suomen kaasuyhdistys 2009. *Maakaasukäsikirja 2008 – 2009*. Helsinki.

Suomen kaasuyhdistys 2010. *Maakaasukäsikirja 2010*. Helsinki.

Suomen ympäristökeskus. Www-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=3569&lan=fi>. 6.9.2013.

LIITE 1: TOIMINTAOHJE

Ohje : Nesteytetty maakaasu

Maakaasu, nesteytetty, jäähdytetty
kaasu

1972 F+ jäähd.

Syttymätön vuoto

Vaaratekijät

- Kaasun syttymisvaara, vaara- alue voi ulottua 100 - 200 m vuotavasta ajoneuvo yksiköstä myötätuuleen.
- Kylmäriskeet, aine erittäin kylmää. Haurastuttaa aineen kanssa kosketuksiin joutuneet varusteet, varusteiden repeämisvaara. Kylmän ilman hengittäminen voi aiheuttaa keuhkovammoja ja paleltumisvammoja.
- Paineilmalaitteen paineenalentimeen tai hengitysventtiiliin jäätyvä kosteus voi aiheuttaa toimintahäiriöitä.
- Vuoto alentaa ilman happipitoisuutta vuodon välittömässä läheisyydessä.

Henkilösuojaimet

- Sammutusasu.
- Paineilmalaite.
- Roisketiivis kemikaalisuojapuku, lämpökäsineet.

Välineet

- Syttymisvaaramittari vaara-alueen tiedusteluun.
- Sumusuihku suojaukseen, kaasupilven ohjaukseen ja laimentamiseen. (vesisuihku ei saa kohdistaa vuotokohtaan eikä vuotavaan nesteeseen).
- Kipinöimättömät työvälineet torjuntatoimiin.
- Vesisuihku tai höyryä jäätyneen venttiilin sulattamiseen.
- Muovinauhaa alueen eristämiseen.

Toimenpiteet

1. Aloita tiedustelu ja lähesty onnettomuuspaikkaa tuulen yläpuolelta. Selvitä tiedustelulla onnettomuuden luonne, välittömät vaarat ja odotettavissa oleva kehittyminen **Ohje M 1**
2. Käytä paineilmahengityslaitetta ja lämpöä eristäviä käsineitä. Käytä tarvittaessa lisäksi roisketiivistä kemikaalisuojapukua suojaamaan kylmiltä roiskeilta.
3. Pelasta onnettomuuden uhrit, jos uhrien luona ei ole syttymisvaaraa. Poista syttymisvaara sumusuihkulla. Lämmitä paleltuneita vartalon osia vedellä.
4. Nestevuoto aiheuttaa näkyvän sumupilven.
Kaasuvuoto on näkymätön tai heikosti näkyvä usvapilvi.
Tiedustelee vaara-alue syttymisvaaramittarilla. Tarvittaessa kemikaalisukelluspari tiedustelee vuodon sijainnin ja suuruuden sekä vuotavan aineen määrän, ulkonäön, käyttäytymisen ja leviämisen. **Ohje M4a.**
5. Tyhjennä vaara-alue sivullisista ja eristä se. Kaasuvuodossa 100 metriä, nestemäisessä vuodossa 300 metriä.
6. Niin kauan kuin vuoto ei syty, tilanne ei muutu. Vuotava venttiili saattaa jäätyä. Ota yhteyttä liikennöitsijän edustajaan (turvallisuusneuvonantaja), asiantuntija-apu on tarpeen vuotavan säiliön käsittelyssä ja säiliöauton tyhjentämisessä.
7. Poista syttymislähteet ja vältä kipinöintiä synnyttävää toimintaa, kuten polttomoottorin ja ex-suojaamattoman radiopuhelimen käyttöä.
8. Estä nestemäisen aineen leviäminen maan pinnalla tai maanalaisiin tiloihin. Patoa lammikko hiekalla tai muulla palamattomalla kylmää kestäväällä materiaalilla. Voit tarvittaessa tilapäisesti pienentää vaara-aluetta laimentamalla kaasupilveä sumusuihkulla. Suuntaa sumusuihku näkyvään pilven osaan. Laimentaminen voi olla tarpeen uhreja pelastettaessa tai vuotoa suljettaessa. Varo veden joutumista vuodon mahdollisesti muodostamaan lammikkoon, koska tämä kasvattaa vaara-aluetta. **Ohje M8c.**

9. Sulje säiliön venttiili jos voit tehdä sen vaaratta. **ÄLÄ tuki varoventtiiliä.** Jos venttiili on jäänyt, sulata se vedellä tai höyryllä. **Ohje M9.** Jos venttiili sulkeminen ei onnistu, ole yhteydessä asiantuntijaan, voit ehkä jäädyttää vuotoaukon kiinni märällä rätillä tai muulla vastaavalla. Tarkkaile säiliön sisäistä painetta. Säiliön varoventtiili saattaa avautua ja puhaltaa höyryä. Varoventtiili sulkeutuu itsestään. Älä valele säiliötä tarpeettomasti vedellä, koska valeluvesi saattaa jäättyä ja tukkia varoventtiilin tai lämmittää säiliötä ja nostaa sisäistä painetta.
10. Anna padotun lammikon haihtua itsestään, aine on ilmaa kevyempää.
12. Lopeta pelastustoimet.
13. Poista rajoitukset.

Ohje : Nesteytetty maakaasu

Maakaasu, nesteytetty, jäähdytetty kaasu	1972	F+	jäähd.
---	------	----	--------

Palava vuoto

Vaaratekijät

- Jos liekki koskettaa säiliötä, vaipan eristyskyky huononee, paine säiliössä alkaa nousta ja varoventtiili voi avautua. Pitkä kuumennus saattaa johtaa säiliön repeytymiseen. Repeytyneen säiliön sisältö palaa tulipallona, jonka lämpösäteily voi aiheuttaa palovammoja 300 metrin etäisyydellä. Säiliön kappaleet lentävät yleensä alle 200 metrin etäisyydelle, joskus kauemmaksikin.

Henkilösuojaimet

- Paloasu
- Paineilmalaite

Välineet

- Vesisuihkuja säiliön jäähdyttämiseen.
- Muovinauhaa alueen eristämiseen.

Toimenpiteet

1. Selvitä tiedustelulla onnettomuuden luonne, välittömät vaarat ja tulipalon leviämisvaara. **Ohje M1.**
3. Pelasta onnettomuuden uhrit, jos voit tehdä sen vaaratta.
4. Repeävän säiliön vaara-alue on 400 metriä joka suuntaan.
5. Tyhjennä ja eristä ympäristö vähintään 400 metriä joka suuntaan
6. Kaksivaippainen, eristetty säiliö kestää hyvin lähellä palavan tulipalon lämpösäteilyä. Jos liekki koskettaa säiliötä, säiliön eristekyky heikkenee. Tällöin paine nousee ja sen varoventtiili avautuu jonkin ajan kuluttua. Pitkäaikainen kuumennus johtaa säiliön repeämiseen. Vuotavasta kaasusta johtuvaa paloa ei saa sammuttaa, jollei vuotoa voida pysäyttää turvallisesti.
7. Siirrä kuumenemisvaarassa olevat säiliöt turvaan. Sammuta palava materiaali sille soveltuvalla sammutteella. Jos palo on kestänyt tai näyttää kestävän pitkään, vetäydy ja tyhjennä sekä eristä ympäristö vähintään 400 m säteellä. Muussa tapauksessa jäähdytä säiliötä valelemalla sen kuumenevaa osaa tuetuilla suihkuilla.
8. Vesivalelu voi estää säiliön repeämisen. Vettä on oltava vähintään 10 l/min säiliön pinnan neliometriä kohden ja sen on muodostettava kuumenevalle pinnalle yhtenäinen vesikalvo. Jos liekit eivät kosketa säiliötä, riittää 2 l/min säiliön neliometriä kohden, edellyttäen että vesikalvo on yhtenäinen. **M7b.** Huomaa, että varoventtiilin puhaltama höyry on kylmää ja voi jäättyä ja tukkia varoventtiilin.

12. Lopeta pelastustoiminta.

13. Poista rajoitukset.

Ohje : Nesteytetty maakaasu

Maakaasu, nesteytetty, jäähdetty 1972 F+ jäähd.
kaasu

Ajoneuvoyhdistelmän onnettomuus, ajoneuvosäiliön eristekuori vahingoittunut, ei vuotoa.

Vaaratekijät

- Lämpimällä ilmalla riittävän suuren eristekuoren repeämisen johdosta voi olla mahdollista, että säiliön sisäinen lämpötila nousee hallitsemattomasti aiheuttaen säiliön sisäisen paineen nousu, jolloin säiliön repeäminen on mahdollista.
- Säiliön varoventtiilin toiminta estyy varoventtiilin ollessa nestepinnan alapuolella, nopea säiliön sisäinen lämpötilan ja paineen nousu on epätodennäköistä mutta mahdollista. Varoventtiili joutuu nestepinnan alapuolelle, jos yhdistelmä on onnettomuudessa ajautunut väärinpäin (renkaat ylöspäin).

Henkilösuojaimet

- Paloasu
- Roisketiivis kemikaalisuojapuku (tarvittaessa).

Välineet

- Muovinauhaa alueen eristämiseen.

Toimenpiteet

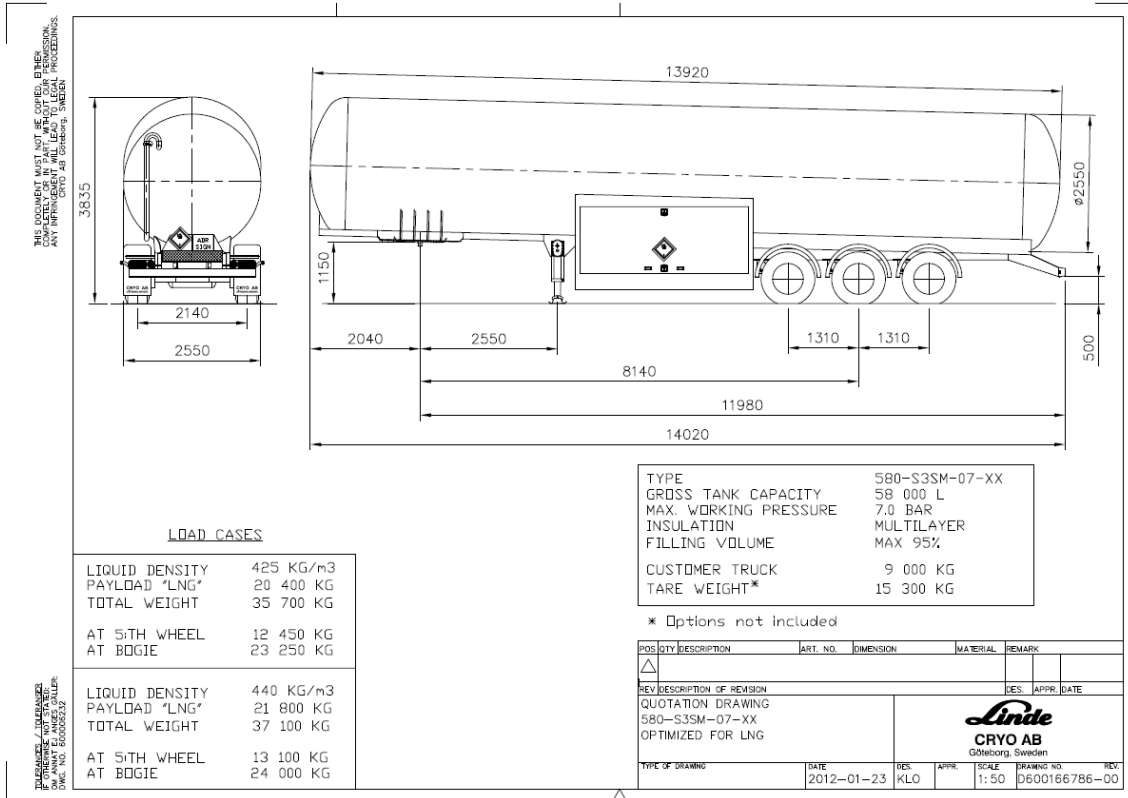
1. Selvitä tiedustelemalla onnettomuuden luonne, välittömät vaarat ja odotettavissa oleva kehittyminen. **Ohje M1.**
3. Pelasta onnettomuuden uhrit.
5. Alueen eristäminen 100 metriä ajoneuvoyhdistelmän ympäriltä. Eristeestä vahingoittunutta säiliötä ei pidä jäähdyttää vesisuihkulla, lämmittävä vaikutus, nostaa säiliön sisäistä painetta.
6. Ota yhteys kuljetusliikkeen asiantuntijaan(turvallisuusneuvonantaja).

7. Ajoneuvoyhdistelmän ollessa asennossa, jossa varoventtiili on nestepinnan alapuolella (renkaat ylöspäin), tulee säiliö saada käännettyä vierittämällä tai maata pois kaivamalla, niin että **varoventtiili saadaan kaasutilaan**. Tarkkaile säiliön sisäistä painetta mittarista.
8. Arvioi ja neuvottele asiantuntijoiden kanssa jatko toimenpiteistä, tyhjennyksen tarpeellisuudesta ja parhaasta menettelytavasta.

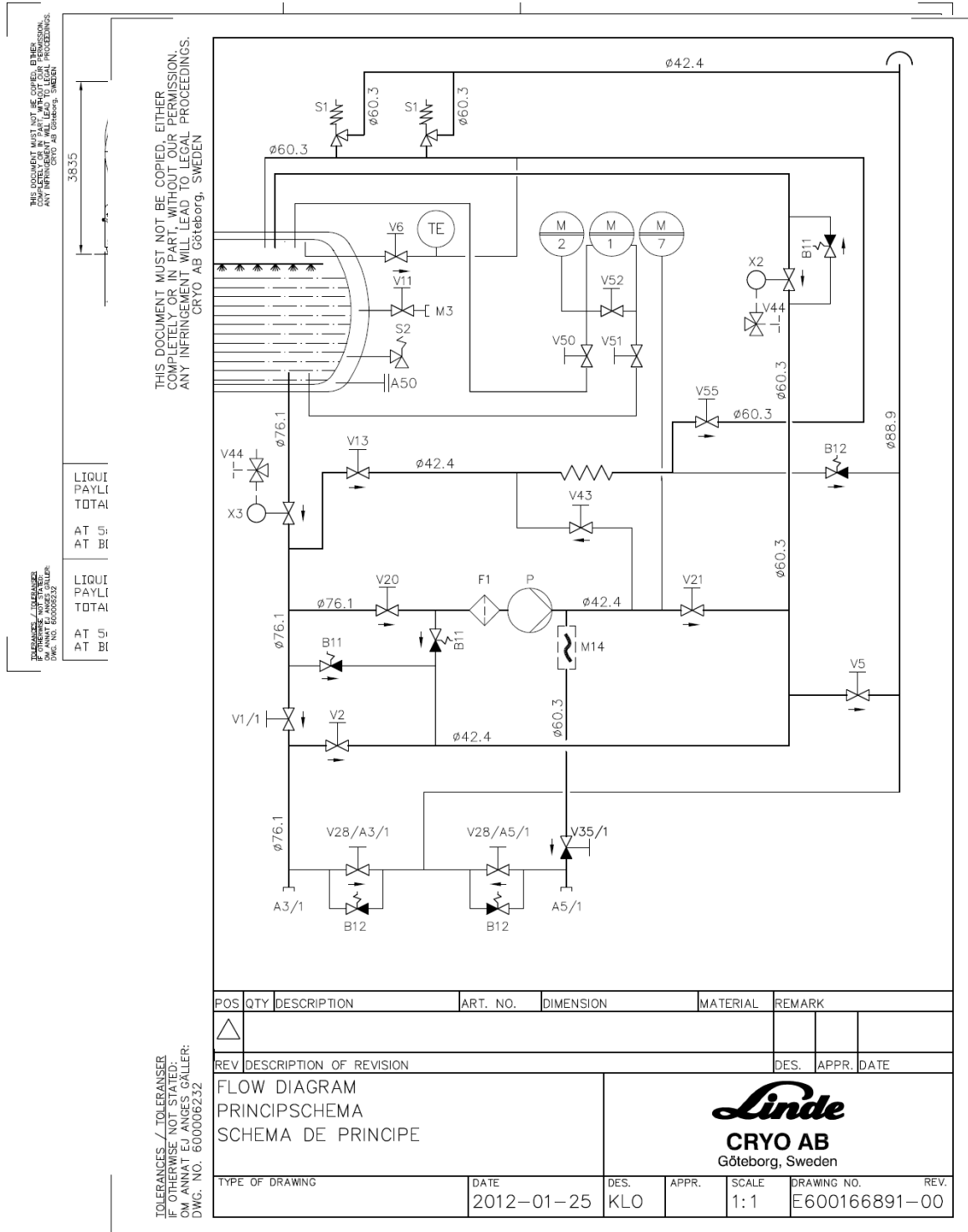
12. Lopeta pelastustoiminta

13. Poista rajoitukset

LIITE 2: PERÄVAUNUN TEKNISET MITAT



LIITE 3: VENTTIILI- JA PUTKISTOKAAVIO



LIITE 4: OHJEET POIKKEUSTILANTEESEEN BUNKRAUKSEN AIKANA

Gasum

JHA

RVL-~~aluksen~~ bunkraus

1 (1)

2.11.2012

OHJEET POIKKEUSTILANTEITA VARTEN

1_Poikkeustilanne säiliöautolla ~~bunkrauksen~~ aikana

Pieni vuoto havaitaan liittimessä, letkussa tai säiliöperävaunun laitteissa.

- Ajetaan lastauspumpun syöttö hallitusti alas mikäli pumppu on jo ehditty käynnistämään ja ilmoitetaan tästä välittömästi laivan puolelle, jotta he saavat suljettua hallitusti bunkraus-järjestelmän. Suljetaan säiliöperävaunusta syöttöventtiili, sekä laivasta bunkrausventtiilit.
- Tyhjennetään täyttöletku laivan vent-mastoon.
- Jatketaan bunkrausta vasta sen jälkeen kun vuodon syyt on selvitetty ja korjattu sekä uudet tiiveyskokeet suoritettu ohjeen mukaisesti.

Suuri vuoto havaitaan liittimessä, letkussa tai säiliöperävaunun laitteissa.

- Painetaan välittömästi ~~säiliöperävaunun~~ hätä-seis painiketta ja ilmoitetaan välittömästi laivaan, käynnistetään laivan ~~bunkrauksen~~ ESD säiliöperävaunun läheisyyteen järjestetystä painikkeesta. Varoitetaan lähellä olevia henkilöitä ja poistutaan tuulen yläpuolelle riittävän etäisyyden päähän. Ilmoita tilanteesta alueen palokunnalle.

2_Poikkeustilanne laivassa ~~bunkrauksen~~ aikana

Bunkrauksen aikana kaikki välttämättömät valvontajärjestelmät ovat käytössä ja jos ilmaisimet reagoivat metaanipitoisuuksiin tai tapahtuu muu ESD:n aiheuttama syy ne ajavat ESD-venttiilit kiinni. Jos laivassa tapahtuu jotain muuta poikkeavaa, jotka ohjeiden mukaan vaativat ~~bunkrauksen~~ hätä-pysäytyksen se suoritetaan henkilökunnan toimesta manuaalisesti. Jos ESD syyistä tai toisesta aktivoituu siitä on saatava välittömästi tieto säiliöperävaunun operaattorille, joka ajaa bunkrauspumpun hallitusti alas ja sulkee lähtöventtiilin.

Rekan luo on järjestetty hätä-seis painikkeen lisäksi varoitusvalo, joka kertoo laivassa tapahtuneesta hätäalasajosta, tällöin on välittömästi lopetettava bunkraus hallitusti.

Bunkrauksen keskeytyksen jälkeen on varmistettava letkun tiiveys ja tarvittaessa on päästettävä painetta letkusta laivan vent-mastoon.

Jos laivassa tapahtuu iso vuoto tai muu vaaratilanne eikä ESD jostain syystä aktivoituu on tästä tehtävä ilmoitus välittömästi säiliöperävaunun operaattorille, joka tekee säiliöperävaunulle välittömästi HÄTÄ-SEIS toiminnon.

GASUM OY
PL 21, (MIESTENTIE 1)
02151 ESPOO

PUH. 020 4471
Y-TUNNUS 0969819-3
WWW.GASUM.FI

GASUM OY LASKUNTARKASTUS
PL 71
02151 ESPOO

LIITE 5: POTENTIAALISTEN ONGELMIEN ANALYYSI

Gasum

POTENTIAALISTEN ONGELMIEN ANALYYSI

LIITE 1

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 1/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma / Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkall STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäksymykset	Tod. uäk	Seur.	Riski
1	Bunkraukselle ei ole nimetty vastu henkilöä		Bunkraus keskeyty tai sitä ei aloiteta ilman vastuuhenkilöitä	Nimetään yksi vastuuhenkilö molemmilta osapuolilta	1	1	V
2	Laivan EX-luokitellut tilat eivät ole merkittyjä. Laiva ei ole täysin valmis ja tiloissa voidaan työkennellä	Voidaan tehdä epähuomiossa tulitöitä jotka voivat aiheuttaa vuotoilanteissa kaasun syttymisen		Merkittään tilat EX-alueesta varoitavilla kilvillä. Ex-käytäntöjen opastus työntekijöille. Tulityö lupakäytäntö Alueen eristäminen kun laitteistossa on kaasua tai LNG:tä Tuotantotiedote	2	2	M

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat

B = "vanhat" ja luotettavasti hoidossa olevat vaarat

C = vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.

T=2 epätodennäköinen

T=3 vähäinen

T=4 satunnainen

T=5 todennäköinen

T=6 hyvin todennäk.

Seuraukset:

H=1 pieni

H=2 vakava

H=3 suuronnettomuus

H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO= korkea

KE= keskinertainen

M= matala

V= vähäpätöinen

Gasum

POTENTIAALISTEN ONGELMIEN ANALYYSI

LIITE 1

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 2/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma / Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkall STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäksymykset	Tod. uäk	Seur.	Riski
				Telakka informoi pelastuslaitosta			
3	Pieni vuoto putkistossa tai letkuliitoksissa laivalla	Ympäristöön pääsee kaasua josta tulee räjähdysvaarallinen seos ilman kanssa Kylmääntyminen	Kaasuilmatisimet aiheuttavat ESD-toiminnon (häätäpysäytys) Operointihenkilökunnalla on mukana henkilökohtainen happi/metaanimittari josta saadaan hälytys pitoisuuksien raja-arvojen rikkoutumisesta Suojavarusteet ja vaatetus bunkraukseen osallistuvilla.	Vuototilanteita varten on laadittava poikkeustilanneohje (oma ohje laivalla)	2	1	V

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat

B = "vanhat" ja luotettavasti hoidossa olevat vaarat

C = vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.

T=2 epätodennäköinen

T=3 vähäinen

T=4 satunnainen

T=5 todennäköinen

T=6 hyvin todennäk.

Seuraukset:

H=1 pieni

H=2 vakava

H=3 suuronnettomuus

H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO= korkea

KE= keskinertainen

M= matala

V= vähäpätöinen

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 3/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma /Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkallalla STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokit	Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäkysymykset	Todennäköisyys	Seur	Riski
4	Suuri vuoto putkistossa tai letkuliitoksissa laivalla	Ympäristöön pääsee kaasua tai LNG:tä josta tulee räjähdysvaarallinen seos ilman kanssa Laivarakenteiden vaurioituminen, happikato, räjähdysvaara	Kaasuilmasisimet aiheuttavat ESD-toiminnon (häätäpysäytys) Operointihenkilökunnalla on mukana henkilökohtainen happi/metaanimittari josta saadaan hälytys pitoisuuksien raja-arvojen rikkoutumisesta	Vuototilanteita varten on laadittava poikkeustilaohje	1	2	V
5	Pieni vuoto putkistossa tai letkuliitoksissa auton luona	Ympäristöön pääsee kaasua josta tulee räjähdysvaarallinen seos ilman kanssa	Vuototilanteita varten on laadittu poikkeustilaohje Operointihenkilökunnalla on mukana henkilökohtainen happi/metaanimittari josta saadaan hälytys pitoisuuksien raja-arvojen rikkoutumisesta	Hätäpysäytystoimintoa varten lisätään laivan järjestelmään liitetty hätäseispainike auton läheisyyteen josta bunkrauksen saa pysäytettyä. Uudelle letkulle tehdään tiiveyskoe ensimmäisellä	4	1	M

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsitellyt edellyttävät vaarat

B = "vanhat" ja luotettavasti hoidossa olevat vaarat

C = vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.

T=2 epätodennäköinen

T=3 vähäinen

T=4 satunnainen

T=5 todennäköinen

T=6 hyvin todennäkö.

Seuraukset:

H=1 pieni

H=2 vakava

H=3 suuronnettomuus

H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO=korkea

KE=keskinkertainen

M=matala

V=vähäpätöinen

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 4/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma /Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkallalla STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokit	Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäkysymykset	Todennäköisyys	Seur	Riski
				<u>bunkrauskerralla</u>			
6	Suuri vuoto putkistossa tai letkuliitoksissa auton luona	Ympäristöön pääsee kaasua josta tulee räjähdysvaarallinen seos ilman kanssa	Vuototilanteita varten on laadittu poikkeustilaohje Operointihenkilökunnalla on mukana henkilökohtainen happi/metaanimittari josta saadaan hälytys pitoisuuksien raja-arvojen rikkoutumisesta	Hätäpysäytystoimintoa varten lisätään laivan järjestelmään liitetty hätäseispainike auton läheisyyteen josta bunkrauksen saa pysäytettyä. Uudelle letkulle tehdään tiiveyskoe ensimmäisellä <u>bunkrauskerralla</u>	1	2	V

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsitellyt edellyttävät vaarat

B = "vanhat" ja luotettavasti hoidossa olevat vaarat

C = vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.

T=2 epätodennäköinen

T=3 vähäinen

T=4 satunnainen

T=5 todennäköinen

T=6 hyvin todennäkö.

Seuraukset:

H=1 pieni

H=2 vakava

H=3 suuronnettomuus

H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO=korkea

KE=keskinkertainen

M=matala

V=vähäpätöinen

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 6/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma / Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkall STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäkysymykset	Tod. näk.	Seur.	Riski
				jälkeen, toimittajan uudessa PI-kaaviossa on varoventtiili ja ESD-venttiilin sulkeutumisaika on oletuksen mukainen.			
8	Auton ja laivan maadoitukset		Ohjeistettu lastauksen tarkistus listassa.	Telakka osoittaa maadoituspisteen, auto ja laiva maadoitetaan samaan pisteeseen.	1	1	V
9	Nestemäisen LNG:n vuoto tunneliin	Kaasua tunneliin Laivan ja laiturin väliin kaasua	Koeponnistettu letku Bunkrauskopissa tuuletus	Kaukalot letkujen liitosten alle Laiturilla olevat kaivot peitetään matolla ja murskeella Tunnelin erotus energiasta	1	2	V

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat

B = "vanhat" ja huotettavasti hoidossa olevat vaarat

C = vailla käytännön merkitystä olevat, "miehikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.

T=2 epätodennäköinen

T=3 vähäinen

T=4 satunnainen

T=5 todennäköinen

T=6 hyvin todennäkö.

Seuraukset:

H=1 pieni

H=2 vakava

H=3 suuronnettomuus

H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO=korkea

KE=keskinkertainen

M=matala

V=vähäpätäinen

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 5/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma / Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkall STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäkysymykset	Tod. näk.	Seur.	Riski
7	Bunkrauksen hätäpysäytys	Paineisku ja LNG:n kulkeutuminen varoventtiilien kautta. Letku voi jäädä pulloksi hätäpysäytyksessä nykyisen kaavion mukaan, varoventtiilin puuttuminen	Seurataan painemittauksia	Merkkivalo hätäseis-painikkeen luokse. Hälytyksen sattuessa kuljettaja pysäyttää auton pumpun Selvitettävä LNG-järjestelmän toimittajalta miksi varoventtiili puuttuu. Toimenpideohjeissa huomioitava ja käsiteltävä vielä uudelleen tämä kohta. Selvitettävä myös hätäventtiilin sulkeutumisaika. Selvitetty tilaisuuden	1	1	V

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat

B = "vanhat" ja huotettavasti hoidossa olevat vaarat

C = vailla käytännön merkitystä olevat, "miehikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.

T=2 epätodennäköinen

T=3 vähäinen

T=4 satunnainen

T=5 todennäköinen

T=6 hyvin todennäkö.

Seuraukset:

H=1 pieni

H=2 vakava

H=3 suuronnettomuus

H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO=korkea

KE=keskinkertainen

M=matala

V=vähäpätäinen

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 7/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma /Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkallä STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaara aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäksymykset	Tod. näkö	Seur.	Riski
				Pelastuslaitos varmistaa tunnelin kaasuttomuuden ennen jännitteen kytkemistä.			
10	Muu toiminta bunkrauspaikan läheisyydessä	Ympäristöön pääsee kaasua josta tulee räjähdysvaarallinen seos ilman kanssa	Vuototilanteita varten on laadittu poikkeustilaohje Operointihenkilökunnalla on mukana henkilökohtainen happi/metaanimittari josta saadaan hälytys pitoisuuksien raja-arvojen rikkoutumisesta	Keskukset jännitteettömäksi bunkrauksen ajaksi bunkrauspaikan läheisyydessä Sekä lisäksi nostureiden eristäminen, jotta liikuminen ei ole mahdollista.	1	2	V
11	Laiturin pinnan jäätyminen	Liukastumisvaara bunkrauksen aikana. Jäisellä laiturilla auto ei käänny toivottavalla tavalla, törmäysvaara		Laiturin hiekoitus	5	1	M

Vaaran luokitukset:
 A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat
 B = "vanhat" ja huollettavasti hoidossa olevat vaarat
 C = vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvausvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:
 T=1 hyvin epätod.
 T=2 epätodennäköinen
 T=3 vähäinen
 T=4 satunnainen
 T=5 todennäköinen
 T=6 hyvin todennäkö.

Seuraukset:
 H=1 pieni
 H=2 vakava
 H=3 suuronnettomuus
 H=4 katastrofaalinen

Riski:
 KO=korkea
 KE=keskinkertainen
 M=matala
 V=vähäpätöinen

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 8/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma /Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkallä STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaara aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäksymykset	Tod. näkö	Seur.	Riski
12	Keskittymät, liikennettä ja henkilöitä bunkrauspaikalla	Ulkopuoliset henkilöt eivät ole tutustuneet bunkrausohjeisiin eivätkä välttämättä tiedä miten bunkrauspaikalla pitää toimia tai eivät ole tietoisia turvallisuusohjeista		Alue rajataan	2	1	V
13	Rakennukset, muu toiminta alueella jos sattuu iso letkurikko	Ympäristöön pääsee kaasua josta tulee räjähdysvaarallinen seos ilman kanssa	Vuototilanteita varten on laadittu poikkeustilaohje Operointihenkilökunnalla on mukana henkilökohtainen happi/metaanimittari josta saadaan hälytys pitoisuuksien raja-arvojen rikkoutumisesta		1	2	V
14	Typpivuoto	Hapen syrjäytyminen alueella	Bunkraustila on tuuletettu (seinä auki). Bunkraukseen osallistuvilla henkilöillä on henkilö-		4	1	M

Vaaran luokitukset:
 A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat
 B = "vanhat" ja huollettavasti hoidossa olevat vaarat
 C = vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvausvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:
 T=1 hyvin epätod.
 T=2 epätodennäköinen
 T=3 vähäinen
 T=4 satunnainen
 T=5 todennäköinen
 T=6 hyvin todennäkö.

Seuraukset:
 H=1 pieni
 H=2 vakava
 H=3 suuronnettomuus
 H=4 katastrofaalinen

Riski:
 KO=korkea
 KE=keskinkertainen
 M=matala
 V=vähäpätöinen

Gasum

POTENTIAALISTEN ONGELMIEN ANALYYSI

LIITE 1

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 9/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma / Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranan Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkallia STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäkysymykset	Todennäköisyys	Seuraukset	Riski
			kohtainen happi/metaanimittari mukana				
15	Putkistoa ei ole jäädytetty tai tyytetty ennen bunkrauksen aloittamista	Paine nousee järjestelmässä	Lämpötilamittaukset, painemittaukset. Tarkistukset tarkistuslistassa	Varmistettava vastuukysymykset, kuka antaa vaikkauksen, kuivauksen, puhdistuksen ja jäädytyksen osalta, että järjestelmä on valmis vastaanottamaan LNG:tä.	1	1	V
16	Säiliöön jää nestemäistä tyyppiä	Paineen laskeminen ja metaanin jäätyminen, heikentää BOGIN lämpöarvoa	Lämpötilamittaus, paineen seuranta	Vastuukysymykset ks. ed.kohta.	1	1	V

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat
 B = "vanhat" ja luotettavasti hoidossa olevat vaarat
 C = vailla käytännön merkitystä olevat, "miehikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.
 T=2 epätodennäköinen
 T=3 vähäinen
 T=4 satunnainen
 T=5 todennäköinen
 T=6 hyvin todennäk.

Seuraukset:

H=1 pieni
 H=2 vakava
 H=3 suuronnettomuus
 H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO=korkea
 KE=keskinkertainen
 M=matala
 V=vähäpätäinen

Gasum

POTENTIAALISTEN ONGELMIEN ANALYYSI

LIITE 1

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 10/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma / Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranan Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkallia STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaaraa aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäkysymykset	Todennäköisyys	Seuraukset	Riski
17	Typinlinjan venttiilit jää auki tyyptyksen jälkeen	LNG:tä voi päästä typinlinjaan (Putken pituus muutamia metrejä ennen takaiskuventtiiliä). Putkea ei ole eristetty, paleltumisvaara.		Tarkistuslistassa venttiilien tilan varmistaminen sulkeminen omana kohtana. Kuitattava ennen bunkrauksen jatkamista	2	1	V
18	Yhteydenpito katkeaa	Hätätilanteessa ei pystytty reagoimaan nopeasti	Laivalta tai autolta bunkrauksen ESD jos yhteys katkeaa.		2	1	V
19	Laivan säiliöiden ylitäyttö		Järjestelmä pysäyttää bunkrauksen Bunkrauksen alussa tarkistetaan paljonko säiliöön mahtuu LNG:tä.	Ylärajan tarkistaminen ensitäytössä.	1	1	V

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat
 B = "vanhat" ja luotettavasti hoidossa olevat vaarat
 C = vailla käytännön merkitystä olevat, "miehikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.
 T=2 epätodennäköinen
 T=3 vähäinen
 T=4 satunnainen
 T=5 todennäköinen
 T=6 hyvin todennäk.

Seuraukset:

H=1 pieni
 H=2 vakava
 H=3 suuronnettomuus
 H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO=korkea
 KE=keskinkertainen
 M=matala
 V=vähäpätäinen

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 11/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma / Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkallia STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaara aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäkysymykset	Tod. uäk	Seur.	Riski
20	Varoventtiin avautuminen kaasun paineesta tai pumppauspaineesta	Kaasua pääsee ilmaan mastosta, kaasuhaihtuu.	Painevalvonta	Onko nestepuolen varoventtiin avautuessa tilanne hallinnassa Ventlinjassa?	1	1	V
21	Täyttöletkuun voi jäädä nestettä tai painetta	Vuoto liitoskohdasta letkua irroitettaessa	Järjestelmässä on kahdet tyhjennysventtiilit joilla puretaan paine letkusta. Painemittaus	Auton moottorin sammutus ennen letkujen irrottamista (letkuja irrottaessa kuullaan jos liitoksesta alkaa purkautua kaasua)	2	1	V
22	Auton ulospuhalluslinjaan jää nestettä	Kaasupilvi, jos linjaan jää paljon nestettä niin se valuu auton alle	Murskepeti auton pumppukopin alle	Nesteen jääminen ulospuhalluslinjaan tutkitaan sulkemalla 2V10j V56 ja toteamalla painemittarista paineen nousu.	3	1	M

23 Tulipalo autossa

Tehdaspalokunta valmiudessa ja ilmoitus pelastuslaitokselle

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat

B = "vanhat" ja huollettavasti hoidossa olevat vaarat

C = vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.

T=2 epätodennäköinen

T=3 vähäinen

T=4 satunnainen

T=5 todennäköinen

T=6 hyvin todenn.

Seuraukset:

H=1 pieni

H=2 vakava

H=3 suuronnettomuus

H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO=korkea

KE=keskinkertainen

M=matala

V=vähäpätöinen

Asiakas: Gasum Oy

Kohde: RVL Bunkraus STX:n telakalla Sivu 12/12

Osallistajat: Jani Hautaluoma / Gasum, Ari Melander RVL, Veli Saarinen RVL, Veli-Heikki Niiranen Gasum, Mikael Impiläinen STX, Harri Hautero STX, Timo Metsäkallia STX, Tuomas Klimoff Satakunnan pelastuslaitos

Nro Luokitus	Vaara aiheuttava tilanne	Seuraukset	Nykyinen varautuminen	Toimenpide-ehdotukset/lisäkysymykset	Tod. uäk	Seur.	Riski
--------------	--------------------------	------------	-----------------------	--------------------------------------	----------	-------	-------

24 Tulipalo laiturilla

Ensisammutuskalusto riittävä

25 Tulipalo laivalla

Laivan palovalvonta ja sammutusjärjestelmä hyväksytty käyttöön.

Vaaran luokitukset:

A = jatkokäsittelyä edellyttävät vaarat

B = "vanhat" ja huollettavasti hoidossa olevat vaarat

C = vailla käytännön merkitystä olevat, "mielikuvitusvaarat" ja pienet vaarat

Todennäköisyys:

T=1 hyvin epätod.

T=2 epätodennäköinen

T=3 vähäinen

T=4 satunnainen

T=5 todennäköinen

T=6 hyvin todenn.

Seuraukset:

H=1 pieni

H=2 vakava

H=3 suuronnettomuus

H=4 katastrofaalinen

Riski:

KO=korkea

KE=keskinkertainen

M=matala

V=vähäpätöinen

LIITE 6: KAASUPILVEN LEVIÄMISEN JA LEIMAHDUKSEN AIHEUTTAMAN
YLIPAINEEEN MALLINTAMINEN



Pöyry Finland Oy
PL 16 (Jaakonkatu 3)
FI-01621 Vantaa
Finland
Kotipaikka Vantaa
Y-tunnus 0625905-6
Puh. +358 10 3311
Faksi +358 10 33 23400
www.poyry.fi

**Kaasupilven leviämisen ja
leimahduksen aiheuttaman
ylipaineen mallintaminen**

Päivä 15.8.2012

Viite 16ILS1417-E0029

Sivu 1 (8)
Yhteyshlö Anne Kovanen
Puh. 010 332 1375
anne.kovanen@poyry.com

Gasum Oy
Pansion LNG- terminaali

Sisältö	1	Kaasupilven leviämisen mallintaminen
	2	Leimahduksen aiheuttaman ylipaineen mallintaminen
Liitteet	1.	Kaasupilvet ja ylipaineet

Jakelu Gasum Oy
Pöyry Finland Oy

Alkuperäinen	10.8.2012 / MIAA	15.8.2012/ AOV			FC
Muutos	Pvm/Tehnyt	Pvm/Tarkastanut	Pvm/Hyväksynyt	Pvm/Julkaissut	Huomautukset
1	11.9.2012/AOV	12.9.2012/MIAA	12.9.2012/LYS	26.11.2012/VER	

1 KAASUPILVEN LEVIÄMISEN MALLINTAMINEN

LNG:n vuotaessa ulkoilmaan se höyrystyy välittömästi ja aiheuttaa ilmaa kevyemmän kaasupilven. Kaasupilven leviämistä suuronnettomuusvaaran arvioinnin mukaisissa vuototilanteissa tarkasteltiin käyttäen Lakes Environmental:in SLABView-mallinnusohjelmaa¹. Laskennan perustana on ns. SLAB-malli, jonka tarkempi dokumentointi löytyy US EPA:n (Environmental Protection Agency) nettisivuilta.² Lähtötietoina laskennassa käytetään mm. vuotavan aineen ominaisuuksia, vuotomäärää ja ilmasto-olosuhteita. Tuloksena saadaan kaasupilven leviäminen ajan funktiona sekä pilven sisäinen pitoisuuskartta, josta voidaan määrittää leimahtavan seoksen sisältämän kaasupilven tilavuus painevaikutuslaskentaa varten. Itse pilvi voidaan lopuksi istuttaa esim. karttapohjaan vuototilanteen havainnollistamiseksi.

1.1 Leviämismallinnuksen oletukset

Keskimääräiset tiedot Turun Pansion sääolosuhteista tilattiin Ilmatieteenlaitokselta. Lähin mittauspiste, josta pitkäaikaista keskiarvotietoa oli saatavissa, on Turun Lentoasema. Niiden mukaan vuosina 1971-2000 lämpötila on ollut 5,2 °C ja tuulen nopeus 3,5 m/s lounaasta.

Mallinnuksissa käytettiin TUKES:n³ suosittamia ilmakehän ominaisuuksia. Tarkastelu tehtiin siis tuulen nopeuksilla 3 m/s ja 5 m/s ja ilmakehän ns. Pasquiellin stabiilisuusluokka oli D eli neutraali. Tuulenmittauskorkeutena käytettiin Turun Lentoaseman mittauskorkeutta, joka on 10 metriä: Meteorologisen rosoisuusparametrin arvoksi oletettiin 1.0 m, joka on tyypillinen teollisuusalueelle. Ilman suhteellinen kosteus oli laskennassa 70 %.

Tulosten tarkasteluun valittiin ajan funktiona muuttuvan pilven suurin leimahduskelpoinen tilavuus (metaanin pitoisuus välillä 5-15 til-%).

Vuototilanne skenaariot sovittiin yhteisesti Gasumin kanssa:

- Skenaario A: auton ja säiliön välisen letkun irtoaminen säiliön täytössä, DN65

Vuotomäärä skenaarioissa A on sovittu Gasumin kanssa yhteisesti perustuen pumppausnopeuksiin ja vuotoihin reagointiin kuluvaan aikaan.

1.2 Leviämismallinnuksen tulokset

Laskettu tapaus A on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Laskettu tapaus.

Skenaario	Vuotonopeus (kg/s)	Vuotoaukon halkaisija (mm)
A	5	65

¹ <http://www.weblakes.com/products/slab/features.html>

² Ermak, D. E., User's Manual for Slab: an Atmospheric Dispersion Model for Denser-Than-Air Releases. Atmospheric and Geophysical Sciences Division, University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California June 1990. <http://www.epa.gov/ttn/scram/models/nonepa/SLAB.PDF>

³ Turvatekniikan keskus: Tukes-ohje K10-2010, Turvallisuusselvitys, 10.8.2010.

Kuvat pilvistä istutettuna terminaalin aluelayoutiin on esitetty liitteessä 1. Leimahtavan pilven maksimietäisyydet vuotopaikasta on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Maksimietäisyydet vuotopaikasta, jossa leimahtava seos voi esiintyä.

Skenaario	tuuli (m/s)	etäisyys (m)
A	3	31
A	5	31

2 LEIMAHDUKSEN AIHEUTTAMAN YLIPAINEN MALLINTAMINEN

Ylipaine mallinnettiin käyttäen TNT-ekvivalenttimallia^{4,5}, joka on laajalti käytössä ja käytännöllinen tapa mallintaa leimahduksen ylipainetta. Mallin avulla laskettiin leimahduksen aiheuttama ylipaine kaasupilven keskipisteestä etäisyyden funktiona.

Aluksi määritetään TNT-ekvivalenttimassa W_{TNT} (kg), joka kuvaa ko. leimahtavan aineen syttymisen vaikutuksia.

$$W_{TNT} = \frac{\alpha W_{exp} \Delta H_c}{E_{TNT}}$$

missä W_{TNT} = TNT-ekvivalenttimassa (kg)

α = ekvivalenttitekijä

W_{exp} = syttyvän aineen massa (kg)

ΔH_c = syttyvän aineen palamisenergia (kJ/kg)

E_{TNT} = TNT:n palamisenergia (kJ/kg)

TNT:n palamisenergia on noin 4500 kJ/kg ja analyysissä käsiteltiin normaaleja palavia aineita, jolloin käytetään ekvivalenttitekijää 0,02.⁶ Metaanin palamisenergia on 50030 kJ/kg.

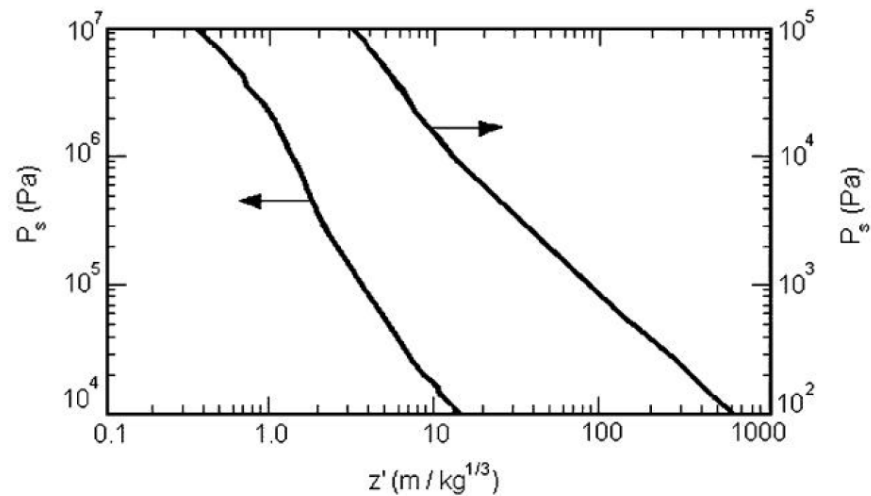
Leimahtavan aineen massa laskettiin SLABView:lla mallitettujen kaasupilvien tilavuuden kautta. Oletuksena oli, että koko kaasupilven leimahduskelpoisen tilavuuden pitoisuus on metaanin ylempään syttymisrajan mukainen eli 15til %. Kaasupilven keskipiste oletettiin leimahduksen keskipisteeksi.

TUKES:in määrittelemät tarkasteltavat ylipaineet ovat 5 kPa, 15 kPa ja 30 kPa. Näitä paineita vastaavat skaalatut etäisyydet z' katsottiin alla olevasta kuvaajasta.

⁴ Alonso F., Ferradas F., Perez J., Aznar A., Gimeno J., Alonso J., Characteristic overpressure-impulse-distance curves for the detonation of explosions, pyrotechnics or unstable substances, J. of Loss Prev. Process Ind., 19 (2006) 724-728.

⁵ CCPS of the AIChE, Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVE's, 1994, s.111-122.

⁶ Lee F., Editor Mannan S., Lee's Loss Prevention in the Process Industries, Hazard Identification, Assessment and Control Vol. 1, 3rd. ed., 17/154-156.



Kuva 1. Leimahduksen ylipaine skaalatun etäisyyden funktiona.

Lopuksi laskettiin ko. ylipaineen etäisyys z leimahduksen keskipisteestä alla olevan kaavan mukaisesti.

$$z' = \frac{z}{W_{TNT}^{1/3}}$$

2.1 Ylipainemallinnuksen tulokset

Ylipainemallinnus tehtiin jokaiselle kaasuvuototapaukselle. Laskettu tapaus A on esitetty taulukossa 1. Kuvat pilvistä (leikkaus maanpinnan tasolta) istutettuna terminaalin aluelayoutiin on esitetty liitteessä 1. Taulukoissa 3-4 on esitetty leimahtavan aineen massa sekä ylipaineiden etäisyydet pilven keskipisteestä tuulen nopeuksilla 3 ja 5 m/s.

Taulukko 3. Skenaario A, Auton purkuletkun irtoamisesta aiheutuvan kaasupilven leimahdus, 3 m/s.

57	kg metaania	
30	kPa	16,3 m
15	kPa	27,3 m
5	kPa	46,6 m

Taulukko 4. Skenaario A, Auton purkuletkun irtoamisesta aiheutuvan kaasupilven leimahdus, 5 m/s.

37	kg metaania	
30	kPa	14,1 m
15	kPa	23,6 m
5	kPa	40,4 m

2.2 Johtopäätökset

Skenaariossa A kaasupilven leimahduksesta aiheutuva 15 kPa:n ylipaine yltää prosessirakennuksen kulmaan. 30 kPa:n ylipaine rajautuu 30 000m³ säiliön reunaan ja jättää rekkojen purkualueen sisäänsä.

Taulukossa 5 on esitetty eri ylipainetasojen vaikutukset ihmisiin ja rakenteisiin.

Taulukko 5. Ylipaineen vaikutukset lähiympäristöön⁷

Painealon ylipaine bar tai muu vaikutus	yli 0,3 bar tai heitteitä	0,29-0,1 bar	0,1-0,03 bar
Vaikutus ihmisiin	keuhkot voivat vaurioitua (yli 1 bar) tänykalvot voivat vaurioitua (0,35 bar), välillisiä vaikutuksia heitteistä, sortuvista rakennuksista ja lasinsiruista	hetkellinen kuulovaurio, mahdollinen kuulon alenema, välillisiä vaikutuksia lasinsiruista ja rikko utuvista rakenteista	lähinnä välillisiä vaikutuksia esim. ikkunoiden sirpaleista
Vaikutus rakenteisiin	vakavia vaurioita rakenteille (sortuvat tai syntyä s ortumavaara)	korjattavissa olevia vaurioita rakenteille, mahdollinen sortumavaara	ikkunoista n. 50 % hajoaa, sirpaleet voivat tunke utua ihoon

⁷ Gilbert Y., Raivio T., YRTTI – Yhteiset riskien arviointiperusteet turvallisuusselvityksille, Gaia Oy, 2007.

LIITE 7: LÄMPÖSÄTEILYLASKELMAT



Pöyry Finland Oy
 Martinkatu 8
 FI-21200 Raisio
 Finland
 Kotipaikka Vantaa, Finland
 Y-tunnus 0625905-6
 Puh. +358 10 33320
 www.poyry.com

Lämpösäteilylaskelmat

Päiväys 31.08.2012

Viite 16ILS1417.11-E0028
 Sivu 1 (18)
 Yhteyshö Minna Aaltonen
 Puh. 010 33 49025
 minna.aaltonen@poyry.com

Gasum Oy
 Pansion LNG-terminaali

Sisältö	1	JOHDANTO
	2	KOHTEEN KUVAUS
	3	LÄMPÖLEVIÄMISEN LASKENTA
	4	TURVAETÄISYYSVAATIMUKSET
	5	TULOKSET
	6	JOHTOPÄÄTÖKSET
Liitteet	1.	LNG-palon lämpösäteily 3 m/s tuulella, skenaario A
	2.	LNG-palon lämpösäteily 3 m/s tuulella, skenaario B
	3.	LNG-palon lämpösäteily 5 m/s tuulella, skenaario A
	4.	LNG-palon lämpösäteily 5 m/s tuulella, skenaario B

Jakehu

Orig.	31.08.2012 / MIAA	/VER	/LYS	31.08.2012 / MIAA	Original issue
Rev.	Date/Author	Date/Checked	Date/Approved	Date/Issued	Notes

1 JOHDANTO

Tämän raportin tarkoituksena on määrittää LNG:n terminaalin turvaetäisyydet tulipalotilanteissa lämpösäteilymallinnuksen avulla Turun Pansion Oravaistenniemessä.

Lämpösäteilymallinnukset tehdään tapauskohtaisesti ja tarkastelussa otetaan huomioon paikalliset olosuhteet. Raportti sisältää kuvaukset kohteesta, laskentamenetelmistä ja mahdollisista oletuksista sekä esittää mallinnusten tulokset.

2 KOHTEEN KUVAUS

Lämpöleviämistarkastelun kohteena on Gasum Oy:n Pansion LNG-terminaali, jossa on yksi 30 000 m³:n LNG:n varastosäiliö.

Alueella yleisin vallitseva tuulensuunta on lounaasta ja keskimääräinen tuulennopeus on 2,9 m/s.

Tulipalon lämpöleviämisen tarkastelussa oleva nesteytetty maakaasu (LNG) on erittäin helposti syttyvää. Normaali-ilmanpaineessa ja -lämpötilassa sen syttymisalue on 5-15 til-% maakaasua ilmassa.

Maakaasu on hajuton, normaali-ilmanpaineessa - ja lämpötilassa ilmaa kevyempi kaasu (tiheys 0,73 kg/m³). Kiehumislämpötilassa (-162 °C) maakaasu on nestemäisessä muodossa (tiheys 426 kg/m³). Kiehumislämpötilassa höyrystynyt maakaasu on ilmaa tiheämpää. LNG haihtuu nopeasti normaali-ilmanpaineessa ja -lämpötilassa ja sen syttymislämpötila on 625 °C. Yhdestä osasta LNG:tä muodostuu noin 600-kertainen määrä kaasua.

LNG:n palamisnopeus on 0,078 kg/m²·s ja palamisentalpia 50 MJ/kg¹.

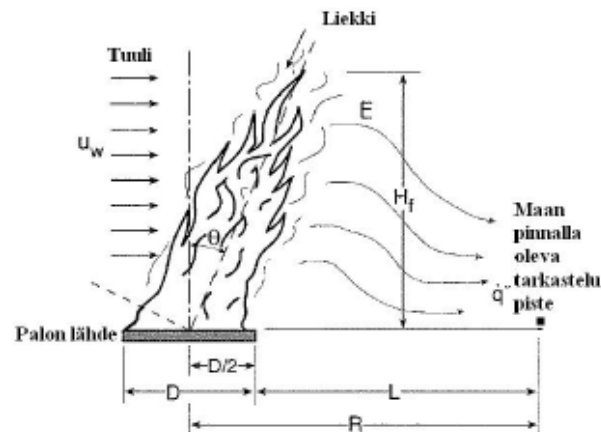
3 LÄMPÖLEVIÄMISEN LASKENTA

Tulipalon aiheuttaman tehotiheyden mallintamiseen käytetään U.S.NRC:n (United States Nuclear Regulation Commission) kehittämää kvantitatiivista tulipalon mallinnusmenetelmää². Laskenta ja tietyt oletusarvot perustuvat teoksessa SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th Edition, 2008 esitettyihin periaatteisiin.

Laskenta suoritetaan arvioiden lämpösäteily tulipalosta tiettyyn kohteeseen. Laskelmissa oletetaan, että palo on tietyn yksinkertaisen geometrisen kappaleen muotoinen, lämpösäteily emittoidaan kappaleen pinnalta ja näkymättömät kaasut eivät emittoi merkittäviä määriä säteilyä. Alla on havainnollistettu laskennan kulkua sekä esitetty kuvan avulla laskennassa käytetyt parametrit.

¹ DiNenno, P. Eds. 2008. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 4th Edition. NFPA. Quincy

² U.S.NRC, Fire Dynamics Tools (FDT) Quantitative Fire Hazards Analysis Methods for the U.S. Nuclear Regulatory Commission Fire Protection Inspection Program (NUREG-1805, Final Report), <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1805/final-report/>, 16.8.2010



Kuva 1. Liekin säteily vastaanottavaan kohteeseen maanpinnalla.

Liekin aikaansaama lämpösäteily tiettyyn pisteeseen voidaan laskea seuraavan yhtälön avulla:

$$\dot{q} = E \cdot F_{1 \rightarrow 2}$$

missä

\dot{q} = tapauskohtainen lämpösäteily [kW/m²]

E = keskimääräinen emissioteho liekin pinnalla [kW/m²]

$F_{1 \rightarrow 2}$ = rakenteen korjauskerroin

Liekin emissiovoima saadaan alla esitetyn yhtälön mukaisesti:

$$E = 58 \cdot (10^{-0,00823 \cdot D})$$

missä

E = liekin emissiovoima [kW/m²]

D = paloaltan halkaisija [m]

Koska mallinnus tehdään teoreettisesti pyöreälle palo-alueelle, paloaltan halkaisija lasketaan kaikissa tapauksissa pinta-alan A_f kautta seuraavalla yhtälöllä:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_f}{\pi}}$$

missä

D = paloaltan halkaisija [m]

A_f = pinta-ala [m²]

Liekin lämpösäteilyn kohdistamiseksi tiettyyn pisteeseen tarvitaan korjauskerrointa. Korjauskerroin on jaettu vertikaaliseen ja horisontaaliin osaan, jotka yhdistetään yhdeksi kertoimeksi.

$$\pi F_{1 \rightarrow 2, H} =$$

$$\left[\tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{b+1}}{\sqrt{b-1}} \right) - \left(\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot (b+1) + ab \sin \theta}{\sqrt{A \cdot B}} \right) \cdot \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A}{B}} \cdot \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} \right) + \right. \\ \left. \frac{\sin \theta}{\sqrt{C}} \left(\tan^{-1} \frac{a \cdot b - (b^2 - 1) \sin \theta}{\sqrt{b^2 - 1} \cdot \sqrt{C}} + \tan^{-1} \frac{(b^2 - 1) \sin \theta}{\sqrt{b^2 - 1} \cdot \sqrt{C}} \right) \right]$$

$$\pi F_{1 \rightarrow 2, V} =$$

$$\left[\left(\frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta} \right) \cdot \left(\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{\sqrt{AB}} \right) \cdot \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A}{B}} \cdot \sqrt{\frac{b-1}{b+1}} \right) + \left(\frac{\cos \theta}{\sqrt{C}} \right) \cdot \right. \\ \left. \tan^{-1} \left(\left(\frac{a \cdot b - (b^2 - 1) \cdot \sin \theta}{\sqrt{b^2 - 1} \cdot \sqrt{C}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{(b^2 - 1) \sin \theta}{\sqrt{b^2 - 1} \cdot \sqrt{C}} \right) \right) - \left(\frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta} \right) \cdot \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{b-1}{b+1}} \right) \right]$$

missä

$\pi F_{1 \rightarrow 2, H}$ = horisontaali maanpinnan kohteen tavoitteellinen korjauskerroin

$\pi F_{1 \rightarrow 2, V}$ = vertikaali maanpinnan kohteen tavoitteellinen korjauskerroin

$$a = H_f/r$$

$$b = R/r$$

$$A = a^2 + (b+1)^2 - 2a(b+1) \sin \theta$$

$$B = a^2 + (b-1)^2 - 2a(b-1) \sin \theta$$

$$C = 1 + (b^2 - 1) \cos^2 \theta$$

$$F_{1 \rightarrow 2, \max} = \sqrt{F_{1 \rightarrow 2, H}^2 + F_{1 \rightarrow 2, V}^2}$$

missä

$F_{1 \rightarrow 2, \max}$ = vektorisuure horisontaaliin ja vertikaaliseen korjauskertoimeen

Edellisessä yhtälössä tarvitaan liekin korkeutta, joka voidaan laskea seuraavasti:

$$H_f = 55 \cdot D \cdot \left(\frac{\dot{m}}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot D}} \right)^{0,67} \cdot (u^*)^{-0,21}$$

missä

u^* = dimensioton tuulen nopeus

\dot{m} = palamisen massahäviö pinta-alaa kohti ajassa [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]

D = paloaltan halkaisija [m]

ρ_a = ilman tiheys [kg/m^3]

g = gravitaatiovakio [m/s^2]

Yhtälö korjataan kertomalla se dimensiottomalla tuulen nopeudella, joka saadaan seuraavalla yhtälöllä:

$$u^* = \frac{u_w}{\left(g \cdot \dot{m} \cdot D / \rho_a \right)^{\frac{1}{3}}}$$

missä

u^* = dimensioton tuulen nopeus

u_w = tuulen nopeus [m/s]

g = gravitaatiovakio [m/s^2]

\dot{m} = palamisen massahäviö pinta-alaa kohti ajassa [$\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$]

D = paloaltan halkaisija [m]

ρ_a = ilman tiheys [kg/m^3]

Laskentaan pitää vielä lisätä korrelaatio liekin kulman havainnollistamiseksi. Liekin kulmaan vaikuttaa tuulen nopeus ja se kääntyykö liekki kohti kohdetta vai siitä pois-päin. Seuraavalla yhtälöillä mallinnetaan kyseistä kulmaa:

$$\cos \theta = \{1 \quad \text{kun } u^* \leq 1$$

$$\cos \theta = \left\{ \frac{1}{\sqrt{u^*}} \quad \text{kun } u^* \geq 1 \right.$$

missä

θ = liekin kulma

u^* = dimensioton tuulen nopeus

4 TURVAETÄISYYSVAATIMUKSET

Selvitys perustuu standardiin *SFS-EN 1473*. Standardin määrittelemät sallitut lämpösäteilyrajat on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Taulukko 1. Sallitut lämpösäteilyrajat laitosalueen sisäpuolella ³.

Laitteisto laitosalueen sisäpuolella	kW/m ²
betonikuoriset varastosäiliöt	32
teräskuoriset varastosäiliöt ja prosessilaitteet	15
ohjaamot, huoltorakennukset, laboratoriot, varastot ym.	8
hallintorakennukset	5

Taulukko 2. Sallitut lämpösäteilyrajat laitosalueen ulkopuolella ³.

Alue laitosalueen rajan läheisyydessä	kW/m ²
Syrjäinen alue: Alue, jossa satunnaisesti rajoitettu määrä ihmisiä, esim. pelto.	8
Keskimääräinen alue: Alue, joka ei ole syrjäinen eikä kriittinen. Tämä on yleisin tapaus.	5
Kriittinen alue: Paikka, joka on vaikea tai vaarallista evakuoida nopeasti (esim. urheilustadionit, pelikentät,...) tai alue, jossa ihmisten liikkumista ei voida kieltää hätätilanteiden aikana.	1,5

Lämpösäteilyn vaikutukset ihmisiin:

- 1,5 kW/m² pitkäaikainen oleskelu aiheuttaa haittoja
- 5 kW/m² riittää aiheuttamaan kipua, jos ei pääse suojaan 15 s:n kuluessa. Pidemmässä oleskelussa toisen asteen palovammat ovat todennäköisiä.

Soihdusta ja säiliön varoventtiileistä purkautuvien kaasujen syttymisestä aiheutuvat lämpösäteilyvuot laitosalueen sisäpuolen rakennuksiin, säiliöihin ja muihin laitteistoihin ei saa ylittää normaalitoiminnan aikana 1,5 kW/m² ja onnettomuustilanteessa 5 kW/m². Laitoksen ulkopuolella onnettomuustilanteissa lämpösäteilyvuot eivät saa ylittää 5 kW/m² syrjäisillä alueilla, 3 kW/m² keskimääräisillä alueilla tai 1,5 kW/m² kriittisillä alueilla. Normaali-toiminnan aikana lämpösäteilyvuon tulisi olla alle 3 kW/m² syrjäisillä alueilla ja alle 1,5 kW/m² keskimääräisillä ja kriittisillä alueilla.

TUKES on määritellyt lämpösäteilylle seuraavat riskiluokat ⁴:

- 10 kW/m² korkea riski: 3-asteen palovammoja, rakenteet voivat syttyä
- 6 kW/m² merkittävä riski: 2-asteen palovammoja 20-60 s altistuksesta, vähäisiä vaurioita rakenteille
- 2 kW/m² kohonnut riski: 1-asteen palovammoja, yksittäisiä haittoja rakenteille

³ SFS-EN 1473:2007. Installation and equipment for liquefied natural gas. Design of onshore installations. Suomen standardisoimisliitto. Helsinki.

⁴ Gilbert, Y., Raivio, T. 2007. YRIT I- Yhteiset riskienarviointiperusteet turvallisuusselvityksille. Gaia Oy. http://www.tukes.fi/Tiedostot/vaaralliset_aineet/esitteet_ja_oppaat/Yrttihanke_loppuraportti.pdf, 18.8.2010

5 TULOKSET

LNG:tä pumpataan varastosäiliöstä säiliöautoon 5 kg/s (40 m³/h). Suuri repeämä tai reikä lastausletkussa aiheuttaa LNG-vuodon (skenaario A). Jos oletetaan, että rekan kuljettaja painaa hätä-seispainiketta 15 s:n kuluessa, LNG:tä ehtisi vuotaa n. 0,2 m³. Tämä johtaisi n. 20 m²:n paloalueeseen.

Terminaalissa olevat liittimet ja tankkausletkujen yhteen ovat myös mahdollisia vuoto-kohtia (skenaario B). Vuodon oletetaan olevan n. 0,2 m³, jolloin paloalueeksi muodostuu n. 1 m².

Lämpöleviämisselvityksessä mallinnetut kaksi skenaariota ja niiden paloajat on esitetty alla olevassa taulukossa. LNG:n palamisnopeutena on käytetty arvoa 0,078 kg/m²·s.

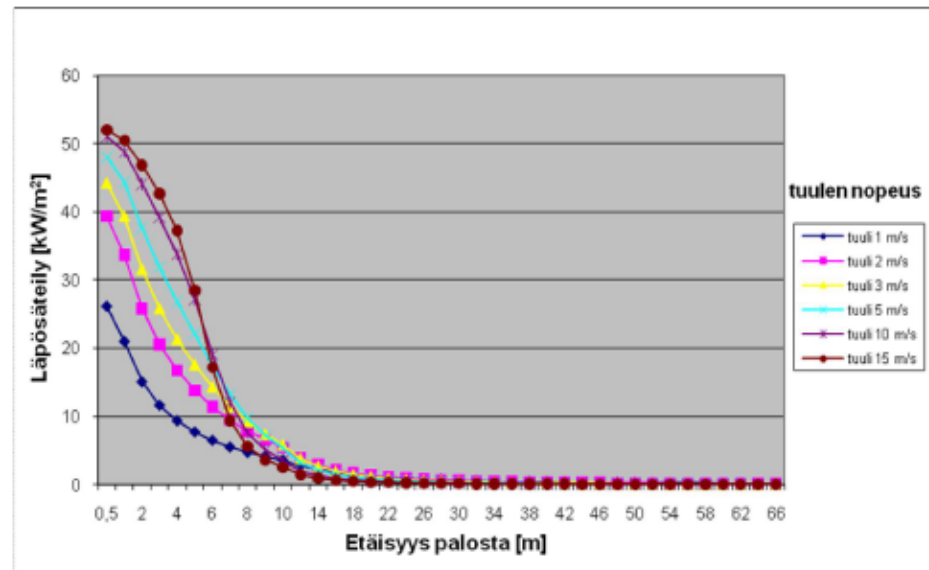
Taulukko 1 Lämpöleviämiskenaariot ja paloajat.

skenaario	määrä [m ³]	paloalue [m ²]	paloaika [min]
A	0,2	20	1
B	0,2	1	18

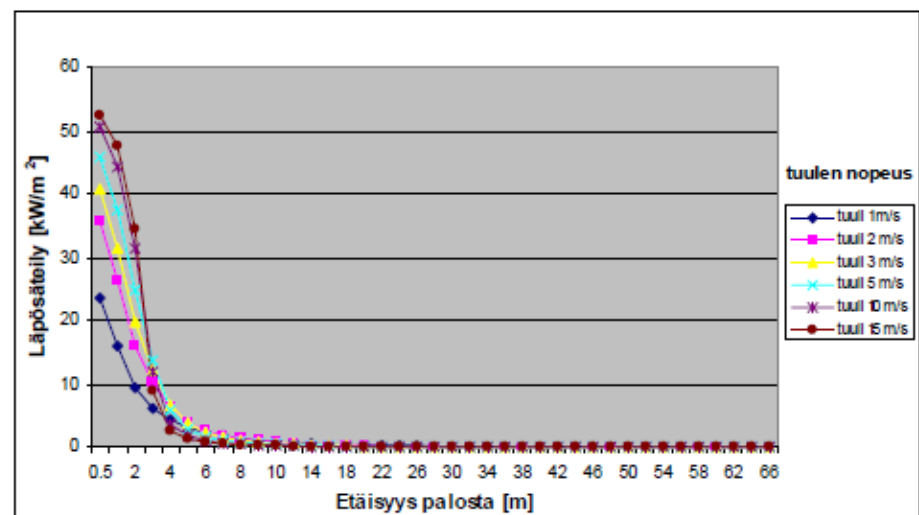
Lämpöleviämismallinnuksen tulokset on esitetty alla olevissa kuvissa ja taulukossa.

Taulukko 4. Mallinnuksen tulokset tuulen nopeuksilla 5 m/s, 3 m/s ja 0,5 m/s.

skenaario	määrä [m ³]	paloalue [m ²]	tuuli [m/s]	etäisyys [m]				
				1,5 kW/m ²	3 kW/m ²	5 kW/m ²	8 kW/m ²	15 kW/m ²
A	0,2	20	5	16	13	10	9	6
			3	18	13	11	7	6
			0,5	19	12	8	5	2
B	0,2	1	5	6	5	4	3,5	2,5
			3	6	5	4,5	3,5	2,5
			0,5	7	4	2,5	1,5	1



Kuva 2. Lämpösäteily etäisyyden funktiona skenaariossa A.



Kuva 3. Lämpösäteily etäisyyden funktiona skenaariossa B.

Liitteenä olevissa kuvissa (16ILS1417-10002) on esitetty lämpösäteilyn aiheuttamat Tukes-ohjeen K10-2010⁵ määrittelemät lämpösäteilyrajat (3 kW/m², 5 kW/m² ja 8 kW/m²) 3 m/s tuulella.

8 kW/m²:n lämpösäteily ulottuu skenaariossa A 7 m etäisyydelle ja skenaariossa B 9 m:n etäisyydelle tuulen ollessa 3 m/s.

⁵ Turvatekniikan keskus: Tukes-ohje K10-2010, Turvallisuus selvitys, 10.8.2010.

5 kW/m²:n lämpösäteily ulottuu skenaariossa A 11 m etäisyydelle ja skenaarioissa B 10 m:n etäisyydelle tuulen ollessa 3 m/s.

3 kW/m²:n lämpösäteily ulottuu skenaariossa A 13 m:n etäisyydelle ja skenaarioissa B 13 m:n etäisyydelle tuulen ollessa 3 m/s.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

LNG:n varastosäiliötä lähimpänä sijaitsevilla Baltic Tankin teräs- ja betonikuorisissa säiliöissä varastoidaan kala-, rypsi- ja soijaöljyä sekä melassia. Lähin teräskuorinen säiliö sijaitsee n. 35 m:n etäisyydellä LNG-säiliöstä. Säiliöllä on noin 7 m korkuinen betoninen suoja-allas. Lähin betonikuorinen säiliö n. 50 m:n etäisyydellä. Laskelmien perusteella tulipalotilanteessa näille säiliöille ei aiheudu haittaa.

Lämpöleviämismallinnuksessa havaittiin, ettei standardin EN 1473 määrittelemien lämpösäteilyrajojen etäisyyksillä sijaitse rakennuksia.

LNG-säiliön vieressä kulkeva tie ovat TUKES:n määrittelemän merkittävän riskin alueella, missä voi tulipalotilanteessa saada 2-asteen palovammoja. Yleinen tie (Pansiontie) on kuitenkin 150 m:n päässä.

Lähin asutus on n. 400 m:n päässä LNG-terminaalista.

LIITE 1**LNG-palon lämpösäteily 3 m/s tuulella, skenaario A**

LIITE 2**LNG-palon lämpösäteily 3 m/s tuulella, skenaario B**

LIITE 3**LNG-palon lämpösäteily 5 m/s tuulella, skenaario A**

16ILS1417.11-E0028
16

LIITE 4

LNG-palon lämpösäteily 5 m/s tuulella, skenaario B

