

Sisekaitseakadeemia  
Päästekolledž

Vitali Kondratjev

## LNG TERMINALI ASUKOHA VALIK OHUALADEST LÄHTUDES

Lõputöö

Juhendaja: Andres Talvari,  
emeriitprofessor, PhD

Tallinn 2013

# LÕPUTÖÖ ANNOTATSIOON

## SISEKAITSEAKADEEMIA

Kolledž: Päästekolledž	Kuu ja aasta: Mai 2013
Töö pealkiri: LNG terminali asukoha valik ohualadest lähtudes Töö pealkiri võõrkeeles: Выбор месторасположения терминала СПГ исходя от зоны опасности	
Töö autor: Vitali Kondratjev	Olen nõus oma lõputöö kättesaadavaks tegemisega elektroonilises keskkonnas. Allkiri:
Antud lõputöö teemaks on „LNG terminali asukoha valik ohualadest lähtudes“. Lõputöö põhiosa pikkuseks on 39 lehekülge. Töös on 33 tabelit, 3 joonist ja 3 lisa. Töö on kirjutatud eesti keeles ja võõrkeelne kokkuvõtte vene keeles.  Probleem on seotud planeeritava LNG terminali asukoha valikuga. Käesoleva lõputöö eesmärgiks on hinnata LNG käitlemisega seotud riske ning määrata kindlaks LNG terminali ohualad. Eesmärgi saavutamiseks kasutas autor järgmised uurimismeetodid: dokumendianalüüs, matemaatilised arvutused ja intervjuu.  Lõputöö tulemusena selgitati välja, mis ohud võivad kaasneda LNG käitlemisel ning kui suured on planeeritava ettevõtte ohualad.  Lõputöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis annab autor ülevaate LNG omadusest. Teine peatükk on töö uurimuslik osa, kus eesmärgi saavutamiseks kasutab autor erinevaid uurimismeetodeid. Kolmandas peatükis teeb autor järeldused ja ettepanekud.	
Võtmesõnad: Veeldatud maagaas, metaan, riskianalüüs, ohuala	
Võõrkeelsed võtmesõnad: Сжиженный природный газ, метан, анализ риска, зона опасности	
Säilitamise koht:	
Kaitsmisele lubatud	
Kolledzi direktor: Margus Möldri	Allkiri:
Vastab lõputöö nõuetele	
Juhendaja: Andres Talvari	Allkiri:

# SISUKORD

LÕPUTÖÖ ANNOTATSIOON .....	2
SISUKORD .....	3
MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU .....	5
SISSEJUHATUS .....	6
1. LNG KIRJELDUS JA OHUD .....	7
1.1 Üldisloomustus .....	7
1.2 LNG lühiajalugu .....	7
1.3 LNG veeldamine .....	8
1.4 Hoidmine ja tagasigaasistamine .....	8
1.5 LNG omadused .....	9
1.5.1 Koostis .....	9
1.5.2 Keemistemperatuur .....	10
1.5.3 Tihedus ja erikaal .....	10
1.5.4 Süttivus ja süttimispiirid .....	11
1.5.5 Süttimistemperatuur ja leegi temperatuur .....	13
1.6 Ohud .....	13
1.6.1 Plahvatusohtlikkus .....	13
1.6.2 Põlemine .....	13
1.6.3 LNG vabanemine vette .....	14
1.6.4 LNG vabanemine maapinnale .....	14
1.6.5 LNG auru vabanemine .....	15
1.6.6 Krüoogeenne efekt .....	15
2. TÖÖ UURIMUSLIK OSA .....	16
2.1 Riskianalüüsi juriidilised alused .....	16
2.2 Riskianalüüsi meetodilised alused .....	17
2.2.1 Hädaolukordade toimumise tõenäolisus .....	17
2.2.2 Hädaolukordade tagajärjed .....	17
2.2.3 Riskimaatriks .....	18
2.2.4 Riskide kirjeldus .....	19
2.2.5 Ohualad .....	20

2.3	LNG terminali ohualad.....	21
2.3.1	Sildumiskai .....	21
2.3.2	Produkti torustik .....	23
2.3.3	Mahutipark .....	25
2.3.4	LNG aurustid .....	26
2.3.5	BLEVE efekt .....	28
2.4	Muuga ja Paldiski võrdlus .....	31
2.4.1	Muuga sadam.....	31
2.4.2	Paldiski Pakrineeme .....	31
2.5	Intervjuud .....	32
3.	JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD .....	33
3.1	Järeldused .....	33
3.2	Ettepanekud .....	34
	KOKKUVÕTE .....	35
	PE3IOME .....	36
	VIIDATUD ALLIKATE LOETELU .....	37
	TABELITE JA JOONISTE LOETELU .....	38
	LISA 1 .....	40
	LISA 2 .....	41
	LISA 3 .....	42

## MÕISTETE JA LÜHENDITE LOETELU

LNG (Liquefied natural gas) – veeldatud maagaas

EVS –Eesti Vabariigi Standard

Lombituli – veeldatud gaasi lekkimisel mahutist või torustikust moodustub lekkekohale põlev lomsüüteallika olemasolul.

Jugatuli, leektuli – veeldatud või rõhu all oleva gaasi väljapääsemisel mahutis või torustikus olevast avausest seguneb see õhuga ning süüteallika olemasolul süttib, tekitades jugatule (leektule).

Sähvatustuli, pahvaktuli – lenduva tuleohtliku aine atmosfääri sattumisel tekib õhuga segunev gaasipilv, mis süüteallika olemasolul süttib/pahvib.

СПГ – сжиженный природный газ.

## SISSEJUHATUS

LNG (Liquefied Natural Gas) on maagaas, mis on hoidmise ja transpordi lihtsustamiseks viidud vedelasse olekusse. Maagaasi kasutamine tekitab vähem süsihappegaasi ja seega saastab loodust vähem.

Praegu käib nn „võitlus“ Eesti ja Soome vahel, kuhu LNG terminal ehitada. Terminali asukohapaikadena välja pakutud Paldiski Pakrineeme ja Soome linn Inkoo.

Eestis oli AS Eleringi pakkumine Muuga sadama tööstuspiirkonda, kuid ettevõtte siiski loobus Eestis konkureerimast.

Eelnevast lähtudes, lõputöö probleemiks on planeeritava LNG terminali asukoha valik.

Teema on aktuaalne sellepärast, et võimaliku LNG terminali ehituse tõttu on oluline teada sellega seotud ohtusid ja riske.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on hinnata LNG käitlemisega seotud riske ning määrata kindlaks LNG terminali ohualad. Selleks, et jõuda püstitatud eesmärgini, esitab autor järgmised uurimisküsimused:

- Millised on LNG omadused?
- Millised on võimalikud ohud LNG käitlemisel?
- Kas Paldiski-Pakrineeme on parem koht LNG terminali ehitamiseks võrreldes AS Eleringi pakutud Muuga sadama tööstuspiirkonnaga?

Eesmärgi saavutamiseks kasutab autor järgmisi uurimismeetodeid: dokumendianalüüs, matemaatilised arvutused ja intervjuud.

Lõputöös on esitatud informatsioon veeldatud maagaasi omadustest ja tehtud planeeritava terminali riskianalüüs.

# 1. LNG KIRJELDUS JA OHUD

## 1.1 Üldiseloostus

LNG on lõhnatu, värvitu, mittekorrodeeriv, mittepõlev ja mittemürgine. LNG on sisuliselt maagaas, mis on hoidmise ja transpordi lihtsustamiseks viidud vedelasse olekusse.

LNG ehk veeldatud maagaas on maagaas, mis on jahutatud kuni veeldumistemperatuurini -260°C Fahrenheiti järgi (-162°C) ja mida hoitakse atmosfäärirõhul. Maagaasi muutmine LNG-ks on protsess, mis vähendab selle ruumala umbes 600 korda – justkui vähendada rannapall lauatenisevalliks. Seetõttu on võimalik LNG riikidevaheline transport tankeritega. Pärast kohaletoimetamist soojendatakse LNG tagasi selle esialgsesse gaasilisse olekusse, nii et seda saab kasutada nagu tavalist maagaasi, suunates selle torujuhtmeid mööda elamutesse ja ettevõtetesse.

Tagasi gaasilisse olekusse viiduna kasutatakse LNG-d elamu- äri- ja tööstussektoris erinevatel eesmärkidel, nagu hoonete kütmine ja jahutamine, toiduvalmistamine, elektri tootmine ning paberi, metalli, klaasi ja teiste materjalide tootmine. Samuti kasutatakse LNG-d üha enam raskeveokite kütusena. (Basic...15.02.2013)

## 1.2 LNG lühiajalugu

Maagaasi veeldamise ajalugu ulatub tagasi 19. sajandisse, kui Briti keemik ja füüsik Michael Faraday katsetas erinevate gaaside, sealhulgas ka maagaasi, veeldamist. Saksa insener Karl von Linde ehitas esimese praktikas kasutatava jahutuskompressormasina Münchenis 1873. aastal. Esimene LNG tehas ehitati Lääne-Virginias 1912. aastal ning see alustas tööd 1917. aastal. Esimene tehas kommertslikuks veeldamiseks ehitati Ohio osariigis Clevelandis 1941. aastal. LNG-d säilitati mahutites atmosfäärirõhul. Maagaasi veeldamine lõi võimaluse selle transpordiks kaugelasuvatesse sihtkohtadesse. 1959. aasta jaanuaris toimetab maailma esimene LNG tanker, ümberehitatud Teise maailmasõja aegne kaubalaev *Metaanipioneer*, mis oli varustatud viie 7000 barrelit mahutava prismakujulise palsapuutugede ning vineer- ja uretaanisolatsiooniga alumiiniumtankiga. (Foss...2007:13-15)

### 1.3 LNG veeldamine

Veeldamisel eemaldatakse toodetud maagaasist selles leiduvad lisandid, et vältida nende külmumist ja seadmete kahjustamist gaasi jahutamisel LNG temperatuurini ( $-256^{\circ}\text{F}$ ) ning tagada vastavus torugaasi spetsifikatsioonile tarnekohas. Veeldamisprotsessi on võimalik läbi viia selliselt, et saadav LNG sisaldaks peaaegu 100 protsenti metaani.

Veeldamisprotsess näeb ette puhta lähtegaasi jahutamist jahutusaineid kasutades. Veeldamistehas võib koosneda mitmest paralleelsest sõlmest. Gaasi veeldamisel väheneb selle ruumala 600 korda, mis tähendab, et  $-256^{\circ}\text{F}$  juures võtab LNG enda alla ainult 1/600 vastava gaasikoguse poolt toatemperatuuril ja atmosfäärirõhul hõivatavast ruumalast.

LNG on krüogeenne vedelik. Termin „krüogeenne“ tähendab madalat temperatuuri, tavaliselt alla  $-100^{\circ}\text{F}$  ( $-73^{\circ}\text{C}$ ). LNG on läbipaistev vedelik, mille tihedus moodustab umbes 45 protsenti vee tihedusest. (Foss...2007:20-21)

### 1.4 Hoidmine ja tagasigaasistamine

Sihtkohtades saab LNG-d kasutada erinevatel viisidel. Näiteks saab LNG-d kasutada veoki- ja bussiparkide transpordikütusena. Sellistel juhtudel on sisseveetava LNG vastuvõtutermiinaalides olemas seadmed LNG laadimiseks tsisternautodesse, et see gaasitanklatesse toimetada. Samuti võivad LNG imporditermiinaalid paikneda elektrijaamade juures, mis võimaldab kasutada LNG krüogeenseid omadusi elektrijaama jahutamiseks, samal ajal kui gaasi põletatakse elektri tootmiseks. LNG muundatakse tagasi maagaasiks, et transportida see tarbijateni läbi maagaasitorustike süsteemi.

Et LNG tagasi gaasilisse olekusse viia, suunatakse see tagasigaasistamise seadmesse. Vedelas olekus vastuvõtutermiinaali saabumisel pumbatakse LNG kõigepealt atmosfäärirõhul topeltseinaga hoiumahutisse, mis on sarnane veeldamistehases kasutatavatele mahutitele ja kus LNG-d hoitakse atmosfäärirõhul nii kaua kui vaja. Kui tekib vajadus gaasi järele, pumbatakse LNG kõrgemal rõhul läbi erinevate vastuvõtutermiinaali osade, kus seda soojendatakse kontrollitud keskkonnas. LNG-d võib soojendada, suunates selle läbi torude, mida soojendatakse otsetoimega soojenditega, läbi torude, mida soojendab merevesi, või läbi torude, mida soojendatakse vees. Seejärel reguleeritakse taasaurustatud maagaasi rõhku ning see suunatakse torusüsteemi metaanina, mida kasutatakse kodudes ja ettevõtetes. (Foss...2007:24)



## 1.5 LNG omadused

### 1.5.1 Koostis

Maagaas koosneb peamiselt metaanist, kuid võib sisaldada ka etaani, propaani ja raskemaid süsivesinikke. Maagaas on fossiilkütus, mis tähendab, et see on tekkinud settinud ja miljonid aastad maapõues lebanud orgaanilisest materjalist. Toornafta ja maagaas on fossiilkütused, mis on tuntud kui „süsivesinikud“, kuna need kütused sisaldavad vesiniku- ja süsinikuaatomitest koosnevaid keemilisi ühendeid. Maagaasi keemiline koostis sõltub leiukohast ja töötlemisviisist. See on metaani, etaani, propaani ja butaani segu, mis sisaldab vähesel määral raskemaid süsivesinikke ja mõnesid lisandeid, millest olulisimad on lämmastiku- ja orgaanilised väävlühendid, vesi, süsinikdioksiid ja väävelvesinik, mis võivad sisalduda lähtegaasis, kuid mis eemaldatakse enne veeldamist. Peamine koostisosa on suure ülekaaluga metaan, mille sisaldus on tavaliselt, kuigi mitte alati, üle 85 ruumalaprotsendi. LPG (vedelgaasi) LNG-st erinev koostis ja füüsikalised omadused põhjustavad ka selle erineva käitumise. LPG-s sisalduvate propaani ja butaani keemiline koostis erineb maagaasi ja LNG põhikomponendi metaani koostisest. Propaani ja butaani võib hoida ja transportida seguna või eraldi. Sarnaselt metaanile on mõlemad tavalisel toatemperatuuril ja atmosfäärirõhul gaasid ning kergesti aurustuvad. Propaan veeldub palju kergemini kui LNG ( $-43^{\circ}\text{C}$  [ $-46^{\circ}\text{F}$ ] juures, LNG aga  $-162^{\circ}\text{C}$  [ $-259^{\circ}\text{F}$ ] juures), seetõttu on seda tunduvalt kergem kokku suruda ning portatiivses mahutis kaasas kanda. LPG-d hoitaksegi vedelikuna rõhu all, LNG-d aga hoitakse vedelikuna ainult väga madalatel temperatuuridel ja atmosfäärirõhul. (Basic...15.02.2013)

Tabel 1. LNG koostis (Allikas: Liquefied...15.02.2013)

Ühend	Valem	Kogus, %
Metaan	$\text{CH}_4$	88 – 95
Etaan	$\text{C}_2\text{H}_6$	3 – 8
Propaan	$\text{C}_3\text{H}_8$	0,7 – 2,0
Butaan	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	0,2 – 0,7
Pentaan	$\text{C}_5\text{H}_{12}$	0,03 – 0,5
Süsihappegaas	$\text{CO}_2$	0,6 – 2,0
Lämmastik	$\text{N}_2$	0,3 – 3,0
Heelium	He	0,01 – 0,5

### **1.5.2 Keemistemperatuur**

Keemistemperatuur on üks kõige tähtsamaid omadusi, kuna see määrab millal gaas vedelikuks muutub. Puhta vee keemistemperatuur atmosfäärirõhul on 100°C (212°F). LNG keemistemperatuur varieerub sõltuvalt selle põhikoostisest, kuid on tavaliselt -162°C (-259°F). Veeldamisprotsessis jahutatakse maagaasi, et see vedelikuks muuta. Seejuures väheneb gaasi poolt hõivatav ruumala umbes 600 korda. Tööstus- ja kodutarbijatele edastamiseks muudetakse LNG tagasi gaasiks. LNG tagasigaasistamise protsessis LNG-d soojendatakse ja viiakse tagasi gaasilisse olekusse. (Basic...15.02.2013)

### **1.5.3 Tihedus ja erikaal**

Tihedus on aine mass ruumalaühikus ja see on füüsikaline suurus. Kuna LNG pole puhas aine varieerub LNG tihedus veidi sõltuvalt selle tegelikust koostisest. LNG tihedus on vahemikus 430 kg/m<sup>3</sup> kuni 470 kg/m<sup>3</sup>. LNG tihedus moodustab alla poole vee tihedusest, seetõttu tõuseb LNG vette valatuna pinnale.

Erikaal on suhteline suurus. Vedeliku erikaal on selle vedeliku tiheduse ja vee tiheduse suhe (15.6°C/60°F juures). Gaasi erikaal on selle gaasi tiheduse ja õhu tiheduse suhe (15.6°C juures). Mistahes gaas, mille suhteline tihedus on väiksem kui 1,0, on õhust kergem (tõuseb üles). Kui erikaal ehk suhteline tihedus on tunduvalt väiksem kui õhul, hajub gaas kergesti lahtistes või hea ventilatsiooniga kohtades. Teiselt poolt, mistahes gaas, mille suhteline tihedus on suurem kui 1,0, on õhust raskem (laskub alla). Metaani erikaal toatemperatuuril on 0,554, seega on see õhust kergem ja tõuseb maapinnalt üles. Väliskeskkonnas LNG aurustub, kuna Maal pole kohta, mille temperatuur oleks -162°C. (Basic...15.02.2013)

### 1.5.4 Süttivus ja süttimispiirid

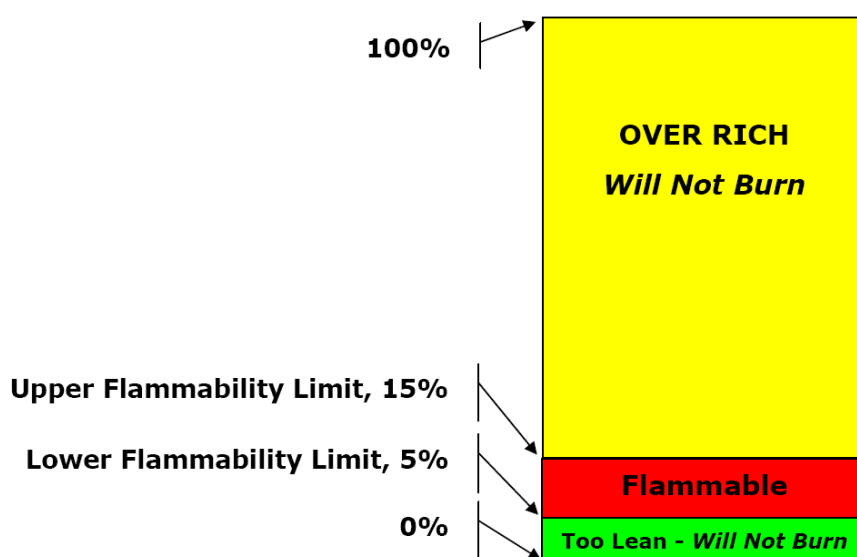
Maagaasi süttivus teeb selle energiaallikana kasutatavaks, kuid on samas ka ohuallikaks. Oluline on mõista asjaolu, et kuigi maagaas on süttiv, siis sellest saadud vedelik (LNG) seda pole, kuna põlemine on gaasifaasi nähtus.

Põlemisprotsessi toimumiseks on vajalikud kolm asja (sellest ka nimetus „tulekolmnurk“): kütus (näiteks põlevgaas), hapnik (õhk) ja süttimisallikas (lahtine leek, säde, kuum pind jms.).

LNG aurude süttimiseks peavad olema täidetud mitmed tingimused. Süttimine saab aset leida, kui kütus on segunenud õhuhapnikuga teatud kindlas vahekorras.

Kontsentratsioonide vahemikku, milles gaas või aur süttimisallika olemasolu korral põleb, nimetatakse süttimispiirkonnaks. Kontsentratsioonivahemiku alumist ja ülemist piiri nimetatakse vastavalt „alumine süttimispiir“ (LFL) ja „ülemine süttimispiir“ (UFL).

Metaani süttimispiirid õhus on järgmised: LFL – 5 mahuprotsenti ja UFL – 15 mahuprotsenti. Kui metaani kontsentratsioon õhus on alla 5 või üle 15 mahuprotsendi, pole selline segu süttiv (vt joonis 1).



Joonis 1. Metaani süttimispiirid (Allikas: Foss...2012:13-14)

Süttivus on omane paljudele ainetele, mis meid ümbritsevad. Seetõttu on erinevate ainete süttimispiiride teadmine oluline nende ohutu käitlemise ja kasutamise tagamiseks. Näiteks on väga laiad süttimispiirid atsetüleenil: segus õhuga võib atsetüleen süttida, kui selle kontsentratsioon on alla 2% või üle 80%. Tabelis on esitatud metaani ja teiste kütuste süttimispiiride võrdlus.

Tabel 2. Kütuste süttimispiirid (Allikas: Basic...15.02.2013)

KÜTUS	LFL	UFL
Metaan	5,0	15,0
Butaan	1,86	7,6
Petrooleum	0,7	5,0
Propaan	2,1	10,1
Vesinik	4,0	75,0
Atsetüleen	2,5	>82,0

## 1.5.5 Süttimistemperatuur ja leegi temperatuur

Süttimistemperatuur (ka isesüttimistemperatuur) on madalaim temperatuur, mille juures õhus sisalduv gaas või aur (nt maagaas) süttib iseeneslikult ilma sädeme või leegi juuresolekuta. See temperatuur sõltub sellistest teguritest nagu õhu-kütusesegu koostis ja rõhk. Umbes 10% metaani sisaldava õhu-kütusesegu isesüttimistemperatuur on umbes 540°C (1000°F).

LNG-l on väga kõrge leegi temperatuur. Lihtsalt öeldes põleb see kiiresti ja on parem soojusallikas kui teised kütused, näiteks bensiin. LNG-s sisalduva metaani leegi temperatuur on 1330°C (2426°F). Võrdluseks, bensiini leegi temperatuur on 1027°C (1880°F), mis tähendab, et LNG põleb kuumema leegiga. Samuti põleb LNG kiiresti, põlemiskiirusega umbes 12,5 m<sup>2</sup>/minut, võrreldes bensiini põlemiskiirusega 4 m<sup>2</sup>/minut. LNG põlemisel tekib rohkem soojust, kuna selle põlemissoojus on 50,2 MJ/kg, võrreldes bensiiniga, mille põlemissoojus on 43,4 MJ/kg. (Basic...15.02.2013)

## 1.6 Ohud

### 1.6.1 Plahvatusohtlikkus

Selleks, et LNG auru süttimine saaks viia plahvatuseni, peab gaas kõigepealt segunema ühtlaselt õhuga kontsentratsioonide vahemikus 5% kuni 15%, moodustunud õhu-gaasisegu peab sattuma suletud ruumi ja seejärel süttimasüüteallika olemasolul. Kui ükskõik milline nendest tingimustest pole täidetud, siis plahvatust ei toimu. Plahvatuse korral tekib märkimisväärne ülerõhk. Ohtliku ülerõhu teke on võimalik LNG pilve sattumisel suletud territooriumile, näiteks ettevõtte hoonete vahelisele alale, tootmisruumidesse, laevade vahele jäävale alale kail jms. (Beale...2006:7)

### 1.6.2 Põlemine

LNG põlemisel on kolm võimalust – lombituli, jugatuli ja sähvatustuli:

- **Lombituli** – veeldatud gaasi lekkimisel mahutist või torustikust moodustub lekkekohale lomp, mis võib aüüteallika olemasolul süttida. Osa lombis olevast gaasist aurustub ning auru kokkupuutel süttimisallikaga see süttib. Tuli levib tagasi lombi poole ning ka lomp süttib ja tekib lombituli, kuna juurdetuleva soojuse tõttu aurustumine intensiivistub.

- **Jugatuli, leektuli** – veeldatud või rõhu all oleva gaasi väljapääsemisel mahutis või torustikus olevast avausest seguneb see õhuga ning süüteallika olemasolul süttib, tekitades jugatule (leektule). Kuna veeldatud maagaasi säilitatakse atmosfäärirõhul, on joatule teke ebatõenäoline. Jugatuli võib tekkida torustikes pumbatava või tehnoloogilistes seadmetes rõhu all oleva gaasi väljapääsemisel. Joatule mõju on väikese ulatusega (lokaalne).
- **Sähvatustuli, pahvaktuli** – lenduva tuleohtliku aine atmosfääri sattumisel tekib õhuga segunev gaasipilv. Kui gaasi kontsentratsioon pole väiksem alumisest süttimispiirist, võib see süttida. Süttimisel tekib sähvatustuli, mis võib levida lekkekohani, kutsudes seal esile lombi- või joatule.

Nii lombi-, pahvak-, kui joatule korral toimub soojusvahetus konvektsiooni ja soojuskiirguse teel. Suure tulekahju korral kujutab peamist ohtu ümbruskonnale leegist lähtuv soojuskiirgus, mis tekitab põletushaavu inimestele, nõrgestab ehitiste konstruktsioone ja kutsub esile sekundaarseid põlenguid. (Paldiski...2012)

### 1.6.3 LNG vabanemine vette

LNG laialivalgumine on eriti ohtlik produkti veekeskkonda sattumise korral. Maapinnal on võimalik LNG laialivalgumise ulatust piirata, LNG sattumisel vette muutub aga reaktsioon juhitamatuks. Ühesuguse maapinnale ja vette sattunud LNG koguse korral on vettesattunud produkti poolt põhjustatav tulekahju võimsam ja ähvardab katastroofiliste tagajärgedega. (Хэйвенс...2005:29)

### 1.6.4 LNG vabanemine maapinnale

Kuna soojusülekanne soojadelt pindadelt (näiteks maapinnalt) jahutatud vedelikule on efektiivne, aurustub laialivalgunud LNG kiiresti. Aurude segunemisel õhuga moodustub gaasi-õhusegu, mis kontsentratsioonide vahemikus 5 kuni 15% võib süttida (sellised on ka metaani süttimispiirid segus õhuga). LNG laialivalgumisel on sellise kontsentratsiooniga gaasi-õhusegu moodustumine vältimatu ning selle kokkupuutel lahtise tule või sädemetega tekib tulekahju. LNG aurude süttimise protsess on analoogiline teiste vedelate süsivesinike (näiteks bensiini) aurude süttimisega. Laialivalgunud LNG süttimine kujutab ohtu inimestele seoses võimaliku otsese kokkupuutega leegiga ning põlengul eralduva suure soojusenergia kogusega. (Хэйвенс...2005:19)

### 1.6.5 LNG auru vabanemine

Kui laialivalgunud LNG silmapilkset süttimist ei toimu, moodustub aurupilv. See on pikk, õhuke, sigarikujuline ja teatud ilmastikutingimuste korral võib läbida märgatava vahemaa, enne kui selle kontsentratsioon väheneb ohutuks. See on väga oluline, kuna süttimise korral levib tuli lekkeallika suunas. Külma aur on õhust raskem ning seepärast hõljub see alguses pinna lähedal. Pilve hajumine sõltub otseselt ilmastikutingimustest.

Eriline oht lähtub LNG pilvest, kui see süttib. Eraldub tohutu kogus soojust. Selle poolt tekitatud põletused on pilve sees või selle läheduses viibivatele inimestele surmavad. Isegi sellest tulekerast eemal saavad inimesed soojuskiirguse tõttu kannatada. (Баскаков...2004:16-17)

### 1.6.6 Krüogeenne efekt

Krüogeenne vedelik on allajahutatud veeldatud gaas keemistemperatuuriga alla - 90°C atmosfäärirõhul (1 atm). Veeldatud metaan keeb -162°C juures. Kuna krüogeensed vedelikud on äärmiselt madala temperatuuriga, on nendega seotud kolme liiki oht :

- Suur paisumiskiirus aurustumisel. LNG (veeldatud metaani) ruumala on 630 korda väiksem vastava gaasikoguse ruumalast ning seega suureneb selle ruumala aurustumisel 630 korda. Kui selline aurustumine leiab aset kinnises mahutis, on võimalik mahuti purunemine. Ohtu kujutab ka asjaolu, et aurustumisel toimuva paisumise tõttu asendub õhk gaasiga, mis võib põhjustada inimeste lämbumise.
- Teiste gaaside veeldamine ja tahkestamine. Krüogeensete vedelike käitlemisel kujutab endast märkimisväärset ohtu õhuniiskuse kondenseerumine ja tahkestumine madala temperatuuri toimel. Tekkiv jää võib ummistada ventilatsioonitorud ja –klapid, mis võib põhjustada rõhu tõusu süsteemis.
- Elavkudede kahjustamine. Kokkupuutel krüogeense vedelikuga inimene tavaliselt valu ei tunne. Valu tekib alles kudede sulamisel. Kokkupuutel tekkivad nahakahjustused on analoogilised I, II ja III astme kuumapõletustele sõltuvalt kudede külmumise sügavusest.

(Basic...15.02.2013)

## 2. TÖÖ UURIMUSLIK OSA

### 2.1 Riskianalüüsi juriidilised alused

- Kemikaaliseadus. Kemikaalide käitlemist ja sellega seotud riske reguleerib Kemikaaliseadus ja selle alusel kehtestatud õigusaktid. Vastavalt seadusele peab uue ettevõtte ohtlikkuse määrama enne ehitamise või tegevuse algust. Seejuures arvestatakse kõigi ettevõttes samaaegselt käideldavate ohtlike kemikaalide (s.h. tooraine, vahe- ja kõrvalproduktid, jääk ning protsessi kontrolli alt väljumisel tekkida võivad kemikaalid) võimalikke koguseid.
- Hädaolukorra riskianalüüsi koostamise juhend. Siseministri 18.02.2010 määrus nr 5 - RT I, 25.11.2010, 10
- Nõuded ohtliku ja suurõnnetuse ohuga ettevõtte kohustuslikule dokumentatsioonile ja selle koostamisele ning avalikkusele edastatavale teabele ja õnnetusest teavitamisele. Vabariigi Valitsuse 17.02.2011 määrus nr 28 - RT I, 29.12.2011, 188



## 2.2 Riskianalüüsi meetodilised alused

Riskianalüüsi koostamisel riskihindamismeetodiks oli valitud "Esmane ohuanalüüs" (PHA) ja riskimaatriksit sisaldav analüüsimismeetod. PHA on analüüsimismeetod, mida kasutatakse projekti varajases arenguastmes. PHA eesmärgiks on tuvastada ohud ja ohuolukorrad, mis võivad antud tegevust, rajatist või süsteemi kahjustada. (EVS-EN 31010:2010)

### 2.2.1 Hädaolukordade toimumise tõenäolisus

Tabel 3. Hädaolukordade esinemise tõenäolisus (Allikas: Hädaolukorra...10.02.2013)

Tõenäolisusaste	Tõenäolisus	Tõenäolisus 1 aasta jooksul	Selgitus
1	Väga väike	<0,005% kuni 0,05%	1 võimalus 100 000-st kuni 1 võimalus 10 000-st, et hädaolukord leiab aset 1 aasta jooksul
2	Väike	>0,05% kuni 0,5%	1 võimalus 10 000-st kuni 1 võimalus 1000-st, et hädaolukord leiab aset 1 aasta jooksul
3	Keskmine	>0,5% kuni 5%	1 võimalus 1000-st kuni 1 võimalus 100-st, et hädaolukord leiab aset 1 aasta jooksul
4	Suur	>5% kuni 50%	1 võimalus 100-st kuni 1 võimalus 10-st, et hädaolukord leiab aset 1 aasta jooksul
5	Väga suur	>50%	suurem kui 1 võimalus 10-st, et hädaolukord leiab aset 1 aasta jooksul

### 2.2.2 Hädaolukordade tagajärjed

Tabel 4. Hädaolukordade tagajärgede raskusastmed (Allikas: Hädaolukorra...10.02.2013)

Raskusaste	Tagajärg
A	Vähetahtis (Puudub)
B	Kerge
C	Raske
D	Väga raske
E	Katastroofiline

### 2.2.3 Riskimaatriks

Riskianalüüsi koostamisel on kasutatud riskimaatriksit, milles riskiklassid on ühendatud neljaks tsoonideks. Riskiklassi määramisel võetakse sellele õnnetusele antud tõenäosuse hinnang ja õnnetusest tuleneva tagajärje hinnang. Numbri ja tähe kombinatsioon annab selle õnnetuse riskiklassi.

Tabel 5. Riskimaatriks (Allikas: Hädaolukorra... 18.02.2010)

<b>Tõenäolisus</b>	Väga suur (5)					
	Suur (4)					
	Keskmine (3)					
	Väike (2)					
	Väga väike (1)					
		Vähetahtis (A)	Kerge (B)	Raske (C)	Väga raske (D)	Katastroofiline (E)
<b>T a g a j ä r g</b>						

	Väga kõrge risk
	Kõrge risk
	Keskmine risk
	Madal risk

## **2.2.4 Riskide kirjeldus**

### **Väga kõrge risk:**

Väga kõrge riski kategooriasse kuuluvaid hädaolukordi tuleb käsitleda esmaste või kriitilistena. Valmisolek sellisteks hädaolukordadeks tuleb tagada niipea kui võimalik.

Väga kõrge riskiga hädaolukordade tõenäolisus on keskmisest suurem ja nendeks valmistumine peab olema esmatähtis. Ennetusmeetmete kõrval tuleb olulist tähelepanu pöörata hädaolukorraks valmisolekule, mis nõuab ametkondade ühisõppuste ja –koolituste läbiviimist ning ressursside planeerimist.

### **Kõrge risk:**

Antud kategooriasse kuuluvaid hädaolukordi tuleb käsitleda oluliste riskidena. Selliste hädaolukordade tõenäolisus on väga kõrgetest riskidest mõnevõrra väiksem, kuid vajalik on nendeks valmistumine hädaolukorra võimalikke tagajärgi arvestades. Soovitav on ametkondade ühisõppuste korraldamine ning ressursside planeerimine ennetus- ja leevendusmeetmete rakendamiseks.

### **Keskmine risk:**

Sellised hädaolukorrad on väga väikese tõenäolisusega. Nendeks tuleb valmistuda olemasolevate võimaluste kohaselt. Valmisoleku tagamisel ja leevendusmeetmete väljatöötamisel tuleb antud kategooria hädaolukordi käsitleda kolmandas järjekorras.

### **Madal risk:**

Igapäevased tegevushäired ja avariid, milleks iga asutus ja ettevõtte peab ise valmistuma ja mille likvideerimisega peavad nad ise hakkama saama.

(Hädaolukorra... 18.02.2010)

### 2.2.5 Ohualad

**Eriti ohtlik ala.** Selle ala piires võivad õnnetuse mõjul kõik rajatised täielikult puruneda ja võimalik on kuni 50% kaitsmata inimeste hukkumine. Vahemaa eriti ohtliku ala välispiirist ohtliku objektini on määratud eriti ohtliku ala raadiusega **Re**. Eriti ohtliku ala välispiir kujutab endast samaaegselt väga ohtliku ala sisepiiri.

**Väga ohtlik ala.** Selle ala piires võivad õnnetuse mõjul tekkida suureulatuslikud purustused ja rasked vigastused. Võimalik on kuni 1% kaitsmata inimeste hukkumine. Vahemaa väga ohtliku ala välispiirist ohtliku objektini on määratud väga ohtliku ala raadiusega **Rv**. Väga ohtliku ala välispiir kujutab endast samaaegselt ohtliku ala sisepiiri.

**Ohtlik ala.** Selle ala piires võivad õnnetuse mõjul tekkida väiksemad purustused ja kerged vigastused. Väheohtliku ala välispiir kujutab endast ka ohuala välispiiri. Vahemaa väheohtliku ala välispiirist ohtliku objektini on määratud ohuala raadiusega **Ro**.

(Nõuded... 17.02.2011)

## 2.3 LNG terminali ohualad

Ohualade arvutamisel kasutati ALOHA arvutiprogrammi. Kõik arvutused on tehtud järgmistel meteoroloogilistel tingimustel: tuule kiirus 5 m/s, tuul kirde suunast (45°), õhutemperatuur 15°C, poolpilves ilm, suhteline õhu niiskus 50%, inversiooni puudub.

Ohualade määramisel jaotati terminali territoorium järgmisteks aladeks:

- Sildumiskai LNG vastuvõtmiseks tankeritest;
- Produkti torustik (kai – mahutipark);
- Hoidlatsoon (mahutipark);
- Regaseerimistsoon (LNG aurustid).

### 2.3.1 Sildumiskai

Sadamas võib aset leida ohtliku kemikaali leke laadimisseadmest tankeri lossimise ajal. Laadimisseadmete ühendustorude läbimõõt 16 cm. Lekke võimalikud algpõhjused on:

- Seadmete mittekorrasolek (korrosioon, hüdraulilised löögid);
- Inimlik eksimus (laadimisseadme ebaõige ühendamine);

Ebasoodsad ilmastikuolud (lainetus ja tuul, mis põhjustavad tankeri liikumise), laadimisseadmete mehaaniline mõjutamine. (Paldiski...2012)

Tabel 6. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (leektuli). Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 16 cm. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m		
				Re, 25 kW/m <sup>2</sup>	Rv, 10 kW/m <sup>2</sup>	Ro, 8 kW/m <sup>2</sup>
Leektuli	14861/20813	13	60	10	19	21

Tabel 7. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (leektuli). Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 16 cm. Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m		
				37 kW/m <sup>2</sup>		
Leektuli	14861/20813	13	60	10		

Tabel 8. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (lombituli). Lombi arvestuslik pindala 100 m<sup>2</sup>, lekke ava läbimõõt 16 cm. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m		
				Re, 25 kW/m <sup>2</sup>	Rv, 10 kW/m <sup>2</sup>	Ro, 8 kW/m <sup>2</sup>
Lombituli	14861/20813	20	25	28	39	42

Tabel 9. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (lombituli). Lombi arvestuslik pindala 100 m<sup>2</sup>, lekke ava läbimõõt 16 cm. Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m		
				37 kW/m <sup>2</sup>		
Lombituli	14861/20813	20	25	24		

Tabel 10. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (sähvatustuli). Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 16 cm. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m	
			Re, 150000 ppm	Ro, 50000 ppm
Sähvatustuli	14861/20813	60	33	58

Tabel 11. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel. Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 16 cm. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m		
			Re, 1,5 atm	Rv, 0,8 atm	Ro, 0,24 atm
Plahvatus	14861/20813	60	60	63	75

Tabel 12. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel. Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 16 cm.

Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m		
			Re, 0,35 atm	Rv, 0,17 atm	Ro, 0,03 atm
Plahvatus	14861/20813	60	69	83	200

### 2.3.2 Produkti torustik

Produktitorustik, mille kaudu veeldatud gaas pumbatakse tankerist mahutitesse, on umbes 1 km pikk ja läbimõõduga 36 cm. Produktitorustikuga asetleidva võimaliku õnnetuse peamised algpõhjused on:

- Torustiku materjali korrosioon ja väsimus;
- Mehaanilised toimed (hüdrauliline löök, konstruktsioonide kokkuvarisemine).

(Paldiski...2012)

Tabel 13. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (leektuli). Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 36 cm. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m		
				Re, 25 kW/m <sup>2</sup>	Rv, 10 kW/m <sup>2</sup>	Ro, 8 kW/m <sup>2</sup>
Leektuli	19580/27422	28	60	10	27	31

Tabel 14. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (leektuli). Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 36 cm. Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m
				37 kW/m <sup>2</sup>
Leektuli	19580/27422	28	60	10

Tabel 15. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (lombituli). Lombi arvestuslik pindala  $100 \text{ m}^2$ , lekke ava läbimõõt 36 cm. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht ( $\text{m}^3$ )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m		
				Re, $25 \text{ kW/m}^2$	Rv, $10 \text{ kW/m}^2$	Ro, $8 \text{ kW/m}^2$
Lombituli	19580/27422	20	33	28	39	42

Tabel 16. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (lombituli). Lombi arvestuslik pindala  $100 \text{ m}^2$ , lekke ava läbimõõt 36 cm. Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht ( $\text{m}^3$ )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m	
				$37 \text{ kW/m}^2$	
Lombituli	19580/27422	20	33	24	

Tabel 17. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (sähvatustuli). Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 36 cm. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht ( $\text{m}^3$ )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m	
			Re, $150000 \text{ ppm}$	Ro, $50000 \text{ ppm}$
Sähvatustuli	19580/27422	60	39	67

Tabel 18. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel. Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 36 cm. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht ( $\text{m}^3$ )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m		
			Re, $1,5 \text{ atm}$	Rv, $0,8 \text{ atm}$	Ro, $0,24 \text{ atm}$
Plahvatus	19580/27422	60	54	60	83

Tabel 19. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel. Rõhk on 2 atm, lekke ava läbimõõt 36 cm. Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht ( $\text{m}^3$ )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m		
			Re, $0,35 \text{ atm}$	Rv, $0,17 \text{ atm}$	Ro, $0,03 \text{ atm}$
Plahvatus	19580/27422	60	73	95	233



### 2.3.3 Mahutipark

Plaanitava terminali mahutipark on arvestatud tankeris oleva LNG kogusega. Plaanitud on  $2 \times 160000 \text{ m}^3$  mahutit. Mahuti koosneb sisemisest teraskestast ning seda ümbritsevast eelpingestatud betoonist kestast ja katusest. LNG soojenemise ja aurumise vähendamiseks täidetakse teras- ja betoonkesta vahele jääv ruum soojusisolatsiooniga. Välisseinad tõkestavad auru väljapääsu sisemahutist ning kaitsevad seda plahvatusel tekkiva ülerõhu, kildude, löökide, soojuskiirguse ja madalate temperatuuride eest. Et mahutit oleks võimalik kuivatada, läbi puhuda ja ohustada, paigaldatakse terasmahutisse ning terasmahuti ja betoonkesta vahele ventilatsiooniseadmed ja seadmed lämmastiku sissepuhumiseks.

40 aasta jooksul on LNG käitlemisel teadaolevalt aset leidnud kaks suurõnnetust krüogeensete veeldatud maagaasi mahutitega. Esimesel korral (1987. aastal Ameerika Ühendriikides) purunes mahuti sein mittesobivate materjalide kasutamise tõttu. Teine suurõnnetus LNG mahutiga toimus 1987. aastal Qataris ja selle põhjustas konstruktsiooniviga. LNG terminaalides asetleidnud avariilukordade analüüs näitab, et mahuti täieliku purunemise risk on tühine ja seda ei arvestata riskianalüüsi läbiviimisel. Riskianalüüsid arvestavad võimalikke lekkeid mahutite torustikest, äärikühendustest ja klappidest. (Paldiski...2012)

Tabel 20. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel mahutist läbi torustiku (lombituli). Lombi arvestuslik pindala  $100 \text{ m}^2$ , lekke ava läbimõõt 10 cm. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht ( $\text{m}^3$ )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m		
				Re, 25 $\text{kW/m}^2$	Rv, 10 $\text{kW/m}^2$	Ro, 8 $\text{kW/m}^2$
Lombituli	176642/247397	36	60	57	81	89

Tabel 21. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel mahutist läbi torustiku (lombituli). Lombi arvestuslik pindala  $100 \text{ m}^2$ , lekke ava läbimõõt 10 cm. Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht ( $\text{m}^3$ )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m
				37 $\text{kW/m}^2$
Lombituli	176642/247397	36	60	48

Tabel 22. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel mahutist (sähvatustuli). Arvestuslik lekke ava läbimõõt 10 cm. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m	
			Re, 150000 ppm	Ro, 50000 ppm
Sähvatustuli	173459/242939	60	65	142

Tabel 23. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel. Arvestuslik lekke ava läbimõõt 10 cm. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m		
			Re, 1,5 atm	Rv, 0,8 atm	Ro, 0,24 atm
Plahvatus	173459/242939	60	148	156	201

Tabel 24. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel. Arvestuslik lekke ava läbimõõt 10 cm. Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m		
			Re, 0,35 atm	Rv, 0,17 atm	Ro, 0,03 atm
Plahvatus	173459/242939	60	180	231	638

### 2.3.4 LNG aurustid

Aurustites viiakse veeldatud maagaas uuesti gaasilisse olekusse. Aurustitest võib gaas vabaneda läbi torustiku avariide, mistõttu võib kokkupuutel piisavalt võimsa süüteallikaga tekkida jugaleek. See omakorda tekitab soojuskiirgust, mis põhjustab lähedalviibijatele põletushaavu.

(Paldiski...2012)

Tabel 25. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel regaseerimistsooni mahutist (lombituli). Lombi arvestuslik pindala 100 m<sup>2</sup>, lekke ava läbimõõt 10 cm, mahuti maht 60 m<sup>3</sup>. Inimesi ohustav.

(Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m		
				Re, 25 kW/m <sup>2</sup>	Rv, 10 kW/m <sup>2</sup>	Ro, 8 kW/m <sup>2</sup>
Lombituli	17785/24908	19	60	27	37	41

Tabel 26. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel regaseerimistsooni mahutist (lombituli). Lombi arvestuslik pindala 100 m<sup>2</sup>, lekke ava läbimõõt 10 cm, mahuti maht 60 m<sup>3</sup>. Ehitisi ohustav.

(Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Leegi pikkus, m	Metaani põlemise aeg, min	Ohuala suurus, m	
				37 kW/m <sup>2</sup>	
Lombituli	17785/24908	19	60	23	

Tabel 27. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel mahutist (sähvatustuli). Arvestuslik lekke ava läbimõõt 10 cm, mahuti maht 60 m<sup>3</sup>. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m	
			Re, 150000 ppm	Ro, 50000 ppm
Sähvatustuli	17472/24470	60	22	70

Tabel 28. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel. Arvestuslik lekke ava läbimõõt 10 cm, mahuti maht 60 m<sup>3</sup>. Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m		
			Re, 1,5 atm	Rv, 0,8 atm	Ro, 0,24 atm
Plahvatus	17472/24470	60	47	53	81

Tabel 29. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel. Arvestuslik lekke ava läbimõõt 10 cm, mahuti maht 60 m<sup>3</sup>. Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht (m <sup>3</sup> )	Metaani väljumise aeg, min	Ohuala suurus, m		
			Re, 0,35 atm	Rv, 0,17 atm	Ro, 0,03 atm
Plahvatus	17472/24470	60	69	95	262

### 2.3.5 BLEVE efekt

BLEVE (keeva vedeliku paisuva auru plahvatus) on plahvatus, mis leiab aset hermeetilises mahutis oleva vedeliku temperatuuri tõusmisel märgatavalt üle selle vedeliku keemistemperatuuri ning mahuti lõhkemisel temperatuuri tõusuga kaasneva rõhu suurenemise tõttu. BLEVE võib tekkida välise põlengu tekitatud soojuskiirguse ja mahuti seinte purunemise tõttu. BLEVE peamisteks ohtlikeks toimeteks on vahetu kokkupuude tulekeraga, tulekera poolt põhjustatav soojuskiirgus ja laialipaiskuvad killud. Suurimat ohtu kujutavad endast mahutist vabanenud gaasipilve plahvatus ja mahutis keeva vedelgaasi paisuva aurupilve plahvatus. BLEVE tõenäolisus on suurem LNG autoveoki sattumisel liiklusõnnetusse.

Tabel 30. BLEVE tulekerast soojuskiirguse ohualad. Mahuti arvestuslik maht  $60 \text{ m}^3$ . Inimesi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht ( $\text{m}^3$ )	Tulekera raadius, R (m)	Tulekera diameter, D (m)	Tulekera kestvus (s)	Ohuala suurus, m		
					Re, $25 \text{ kW/m}^2$	Rv, $10 \text{ kW/m}^2$	Ro, $8 \text{ kW/m}^2$
BLEVE	22867/32026	82.5	165	11	246	397	444

Tabel 31. BLEVE tulekerast soojuskiirguse ohualad. Mahuti arvestuslik maht  $60 \text{ m}^3$ . Ehitisi ohustav. (Allikas: autor)

Õnnetuse stsenaarium	Metaani kogus, mass (kg) /maht ( $\text{m}^3$ )	Tulekera raadius, R (m)	Tulekera diameter, D (m)	Tulekera kestvus (s)	Ohuala suurus, m
					$37 \text{ kW/m}^2$
BLEVE	22867/32026	82.5	165	11	196

Tabel 32. Õnnetuste tõenäolisus, raskusaste ja riskiklass. (Allikas: autor)

Õnnetuse liik	Tõenäolisus	Raskusaste	Riskiklass
<b>1. Sildumiskai</b>			
1.1 Leektuli	2	B	2B
1.2 Lombituli	3	B	3B
1.3 Sähvatustuli	4	B	4B
1.4 Plahvatus	2	C	2C
<b>2. Produktitorustik</b>			
2.1 Leektuli	2	B	2B
2.2 Lombituli	3	B	3B
2.3 Sähvatustuli	4	B	4B
2.4 Plahvatus	2	C	2C
<b>3. Mahutipark</b>			
3.1 Lombituli	3	B	3B
3.2 Sähvatustuli	3	C	3C
3.3 Plahvatus	4	D	4D
<b>4. Regaseerimistsoon</b>			
4.1 Lombituli	3	B	3B
4.2 Sähvatustuli	3	C	3C
4.3 Plahvatus	4	D	4D
4.4 BLEVE	1	D	1D

Tabel 33. Riskimaatriks. Allikas: Hädalukorra...10.02.2013 (Koostas autor)

T õ e n ä o l i s u s	Väga suur (5)					
	Suur (4)		1.3; 2.3		3.3; 4.3	
	Keskmine (3)		1.2; 2.2; 3.1; 4.1	3.2; 4.2		
	Väike (2)		1.1; 2.1	1.4; 2.4		
	Väga väike (1)				4.4	
		Vähetähtis (A)	Kerge (B)	Raske (C)	Väga raske (D)	Katastroofiline (E)

Keskmine riskiarv 4B.

	Väga kõrge risk
	Kõrge risk
	Keskmine risk
	Madal risk

## 2.4 Muuga ja Paldiski võrdlus

### 2.4.1 Muuga sadam

LNG terminali arvestuslikud ohualad Paldiski poolsaarel on rakendatavad ka Muuga sadama tööstuspargis.

Muuga sadam on suurim kaubasadam Eestis. Sadama territooriumil paiknevad viis A-kategooria suurõnnetuse ohuga ettevõtet:

- AS DBT: töödeldav kemikaal – ammooniumnitraat;
- Oiltanking Tallinn AS: töödeldav kemikaal – bensiin, diislikütus, isopreen;
- VESTA Terminal Tallinn OÜ: töödeldav kemikaal – masuut, toornafta, diislikütus, bensiin;
- AS Vopak E.O.S. Pakterminal: töödeldav kemikaal – masuut, lennukipetrol, toornafta, bensiin, naftaõli, butaan, gaasikondensaat;
- AS Vopak E.O.S. Stivterminal: töödeldav kemikaal – bensiin, lennukipetrol, diislikütus, toornafta.

Muuga sadama territooriumil paikneb ka üks B-kategooria suurõnnetuse ohuga ettevõtte Neste Eesti AS Terminal, kus töödeldakse bensiin, diislikütus ja orgaanilised lahustid.

Samuti plaanitakse ehitada naftagaaside käitleva LPG terminal, mille ohuala umbes 650 meetrit. LPG terminali ohuala kattub LNG terminali ohualaga (vt joonis 3).

Eeltoodud ohualade arvutused näitavad, et selliste ohualadega ettevõtte ei mahu Muuga sadama tööstuspargi alale teisi olemasolevaid terminali ohtu seadmata. Domino efekti algündmus võib toimuda ükskõik millises lähiümbruse ettevõttes. Muuga sadama territooriumil on ohtlikud ettevõtted, mis võivad algündmuse toimumisel domino efekti kaasatud saada.

### 2.4.2 Paldiski Pakrineeme

Planeeritava LNG terminaali koht asub Pakri poolsaare kirde osas. Terminali ohualas pole ning sinna ei planeerita ühtegi teist A- või B-kategooria suurõnnetuse ohuga ettevõtet. Kavandatava LNG terminaali kaugus tiheasustusega alast on umbes 2,5 kilomeetrit. Terminaalile lähim elamumaa asub umbes 1,8 kilomeetri kaugusel läänes.

## 2.5 Intervjuud

Päästeameti kriisireguleerimise osakonna ekspert Kady Danilas:

LNG terminali ehitamine Paldiskisse.

„Paldiski teemaplaneeringuga olen tutvunud ja lähtudes selle kohta koostatud riskianalüüsist ning terminali asukohast, ei ole ohutuse osas vastuväiteid. Looduskeskkonna osa ei oska kommenteerida. Lähtun võimalikest mõjudest inimestele. Kuna lähimad hooned ja elanikud ning ka teised ettevõtted asuvad kilomeetrite kaugusel, siis saab seda ohutuse osas pidada sobivaks asukohaks”.

LNG terminali ehitamine Muugale.

„Nende plaanidega pole täpsemalt tutvunud. Tean ainult umbes terminali planeeritavat asukohta. Selle põhjal saan öelda, et Muuga sadama teistest ettevõtetest jääb see küll eemale, kuid võib asuda väga lähedal LPG terminalile, mida ka Muugale planeeritakse. Muuga ja LNG osas seisukoha võtmiseks on vaja täpsemaid analüüse. Kuidas LNG ja LPG omavahel mõjuvad, teisi ettevõtteid mõjutavad ja mis täpselt ohualasse jääb. Üldise teadmise põhjal saan öelda ainult, et Muuga on kindlasti komplitseeritum, kui Paldiski, kus planeeritava ala ümbrus on praktiliselt tühi“.

BALTI GAAS AS/koostöös ALEXELA AS-ga esindaja Peeter Kestner:

Nimetatud ettevõtete esindaja Peeter Kesneri sõnul ehitatakse veeldatud maagaasi terminaali Paldiskisse sõltumata sellest, kas Eesti saab ehituseks raha või mitte. Tema arvates on Pakri poolsaare kirdeosa LNG terminaali ehitamiseks kõige sobivam koht, kuna selles kohas on juba olemas gaasijuhe Paldiski linnani. Paldiskist tuleb rajada gaasijuhe Kiilini, kus toimubki ühendamine Eestis olemasoleva gaasitrasside võrguga. Samuti on antud koha eeliseks, et talvel jääb see sadam jäävabaks.



### 3. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

#### 3.1 Järeldused

Vastavalt Majandus- ja kommunikatsiooniministri 2011.a. 8. juuni määrusele nr. 40 "Kemikaali ohtlikkuse alammäär ja ohtliku kemikaali künniskogus ning suurõnnetuse ohuga ettevõtte ohtlikkuse kategooria ja ohtliku ettevõtte määratlemise kord" on kavandatud LNG terminaal A-kategooria suurõnnetuse ohuga ettevõtte. Sellises ettevõttes on kemikaali käitlemiseks vajalik Tehnilise Järelevalve Ameti poolt väljastatav tegevusluba. Vastavalt Kemikaaliseaduse § 11 peab A-kategooria suurõnnetuse ohuga ettevõtte esitama Tehnilise Järelevalve Ametile teabelehe, ohutusaruande, riskianalüüsi ja hädaolukorra lahendamise plaani. Nimetatud dokumentide läbivaatamine toimub koostöös asukohajärgse päästeasutusega.

Gaasilise metaani tehnoloogiaseadmetest väljasattumise võib põhjustada inimlik eksimus, tehniline rike või loodusjõud.

Suurima tõenäosliusega ohustsenaariumiteks on:

- Sadamakail lossimisseadmest lekkinud LNG aurude süttimine;
- Metaaniaurude süttimine lekke korral tehnoloogilisest torustikust;
- Gaasiplahvatus metaani lekke korral hoidlatest;
- Gaasiplahvatus metaani lekke korral tagasigaasistamise seadmest.

Planeeritava LNG terminaali koht asub Pakri poolsaare kirde osas. Terminali ohualas pole ning sinna ei planeerita ühtegi teist A- või B-kategooria suurõnnetuse ohuga ettevõtet. Kavandatava LNG terminaali kaugus tiheasustusega alast on umbes 2,5 kilomeetrit. Terminaalile lähim elamumaa asub umbes 1,8 kilomeetri kaugusel läänes. Läbiviidud riskianalüüs näitas, et terminali inimesi ohustav ala on 444 meetrit ja ehitisi ohustav ala 638 meetrit elumajadeni ei ulatu (vt joonis 2). Siit tuleb järeldus, et Paldiski on sobilikum koht LNG terminali rajamiseks, kui Muuga sadam, kus paiknevad suurõnnetuse ohuga ettevõtted.

Päästeameti kriisireguleerimise ekspert Kady Danilas kaldub samuti arvama, et inimeste ja ettevõtete ohutuse seisukohast Paldiski on sobilik koht LNG terminali ehitamiseks.

## 3.2 Ettepanekud

Avariolukordade tekkimist pole võimalik täielikult välistada. Avariide tagajärgede raskusastet aitavad vähendada valmisolek tegevuseks ning inimeste teadmised ja oskused võimaliku avariolukorra tekkimisel.

Antud lõputöös teeb autor järgmised ettepanekud võimalike avariide tagajärgede raskuse vähendamiseks:

- Kuna mahutiparki ohuala on 638 meetrit, peab aurustite tehnoloogiline park paiknema umbes 700 meetri kaugusel mahutipargist;
- Paigaldada terminaali territooriumile gaasilekkest teavitavad andurid, kuna lekke õigeaegsel avastamisel on võimaliku avarii tagajärjed väiksemad;
- Metaanitankeri lossimise ajal keelata kõik tööd, eelkõige lahtised tuletööd;
- Teostada tuletöid ainult vahetuseülemaga kooskõlastatult, järgides ohutustehnika eeskirju;
- Keelata mobiiltelefonide või muude seadmete, mis võivad tekitada sädet, kasutamine, kuna gaasi kogunemise korral võib mobiiltelefon saada detonatsiooni põhjuseks;
- Keelata terminaali territooriumil suitsetamine ning lahtise tule kasutamine;
- Paigaldada avariist õigeaegse teavitamise süsteem. Kasutada signaalsireene terminaali töötajate heliteavituseks avariolukorras ja õppehäire korral;
- Viia regulaarselt läbi personali avariolukorras tegutsemise alast väljaõpet;
- Määratleda terminaali töötajate kogunemiskoht evakuatsiooni korral;
- Paigaldada hoidlate alasse statsionaarne tulekustutussüsteem.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli hinnata LNG käitlemisega seotud riske ning määrata kindlaks LNG terminali ohualad. Eesmärgi saavutamiseks kasutas autor järgmisi uurimismeetodeid: dokumendianalüüs, matemaatilised arvutused ja intervjuu.

Uurimuse tulemusena selgus, et suurima tõenäolisusega ohu stsenaariumiteks on:

- Sadamakail lossimisseadmest lekkinud LNG aurude süttimine;
- Metaaniaurude süttimine lekke korral tehnoloogilisest torustikust;
- Gaasiplahvatus metaani lekke korral hoidlatest;
- Gaasiplahvatus metaani lekke korral tagasigaasistamise seadmest.

Lõputöö eesmärk on saavutanud. Autor teeb omapoolsed järeldusi ja ettepanekuid:

- Aurustite tehnoloogiline park peab paiknema umbes 700 meetri kaugusel mahutipargist;
- Paigaldada terminaali territooriumile gaasilekkest teavitavad andurid;
- Metaanitankeri lossimise ajal keelata kõik tööd, eelkõige tuletööd;
- Teostada tuletöid ainult vahetuseülemaga kooskõlastatult, järgides ohutustehnika eeskirju;
- Keelata mobiiltelefonide või muude seadmete, mis võivad tekitada sädet;
- Keelata terminaali territooriumil suitsetamine ning lahtise tule kasutamine;
- Paigaldada avariist õigeaegse teavitamise süsteem;
- Viia regulaarselt läbi personali avariiolukorras tegutsemise alast väljaõpet;
- Määratleda terminaali töötajate kogunemiskoht evakuatsiooni korral;
- Paigaldada hoidlate alasse statsionaarne tulekustutussüsteem.

## РЕЗЮМЕ

Тема данной дипломной работы – „Выбор месторасположения терминала СПГ исходя от зоны опасности“. Основная часть дипломной работы составляет 39 страниц. В работе 33 таблицы, 3 рисунка и 3 дополнения. Работа написана на эстонском языке с иноязычным заключением на русском языке.

Ключевыми словами в данной дипломной работе являются: сжиженный природный газ, метан, анализ риска, зона опасности.

Проблема связана с выбором места строительства планируемого терминала СПГ. Целью данной дипломной работы является оценка рисков, связанных с обращением СПГ и определение зоны опасности терминала СПГ. Для достижения цели автор использовал следующие методы исследования: анализ научных документов, математические расчёты и интервью. Для определения опасных зон автор использовал компьютерную программу АЛОНА.

Работа состоит из трёх частей. В первой части автор делает обзор о СПГ. Вторая часть дипломной работы – это исследовательская часть, где для достижения цели, автор использует разные исследовательские методы. В третьей части автор делает выводы и предложения.

## VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Basic Properties of LNG. GIIGNL kodulehelt

<http://www.giignl.org/fr/home-page/lng-basics-safety/> välja otsitud 15.02.2013

Beale, J. P. 2006. The facts about LNG. [http://www.ch-iv.com/pdfs/riley\\_debunk.pdf](http://www.ch-iv.com/pdfs/riley_debunk.pdf) välja otsitud 01.04.2013

Eesti kaart. Maaameti kodulehelt <http://geoportaal.maaamet.ee/> välja otsitud 30.03.2013

Eesti Standart EVS – EN 31010:2010, Riskijuhtimine. Riskihindamismeetodid.

Foss, M. M. 2012. LNG safety and security. Houston

Foss, M. M. 2007. Introduction to LNG. Houston

Liquefied Natural Gas Safety. California Energy Commission kodulehelt

<http://www.energy.ca.gov/lng/safety.html> välja otsitud 30.03.2013

Paldiski LNG terminali teemaplaneeringu KSH aruanne. Paldiski linna kodulehelt

[http://paldiski.ee/public/E1177\\_aruanne\\_final.pdf](http://paldiski.ee/public/E1177_aruanne_final.pdf) välja otsitud 20.02.2013

Hädaolukorra riskianalüüsi koostamise juhend. Siseministri 18.02.2010 määrus nr 5 - RT I, 25.11.2010, 10

Nõuded ohtliku ja suurõnnetuse ohuga ettevõtte kohustuslikule dokumentatsioonile ja selle koostamisele ning avalikkusele edastatavale teabele ja õnnetusest teavitamisele. Vabariigi Valitsuse 17.02.2011 määrus nr 28 - RT I, 29.12.2011, 188

Баскаков, С. П. 2004. Перевозка LNG морем. Москва

Хэйвенс, Д. 2005. Оценка потенциальных угроз общественным интересам в связи с планируемым размещением импортного терминала СПГ в порту Лонг-Бич. Фейетвилл

## TABELITE JA JOONISTE LOETELU

Tabel 1. LNG koostis.....	9
Tabel 2. Kütuste süttimispiirid.....	12
Tabel 3. Hädalukordade esinemise tõenäolisus .....	17
Tabel 4. Hädalukordade tagajärgede raskusastmed .....	17
Tabel 5. Riskimaatriks .....	18
Tabel 6. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (leektuli). .....	21
Tabel 7. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (leektuli). .....	22
Tabel 8. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (lombituli). .....	22
Tabel 9. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (lombituli). .....	22
Tabel 10. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel voolikutest (sähvatustuli). .....	22
Tabel 11. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel.....	22
Tabel 12. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel.....	23
Tabel 13. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (leektuli). .....	23
Tabel 14. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (leektuli). .....	23
Tabel 15. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (lombituli). .....	24
Tabel 16. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (lombituli). .....	24
Tabel 17. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel torustikust (sähvatustuli). .....	24
Tabel 18. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel.....	24
Tabel 19. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel.....	24
Tabel 20. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel mahutist läbi torustiku (lombituli). .....	25
Tabel 21. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel mahutist läbi torustiku (lombituli). .....	25
Tabel 22. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel mahutist (sähvatustuli). .....	26
Tabel 23. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel.....	26
Tabel 24. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel.....	26
Tabel 25. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel regaseerimistsooni mahutist (lombituli). .....	26
Tabel 26. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel regaseerimistsooni mahutist (lombituli). .....	27
Tabel 27. Soojuskiirguse ohualad metaani lekkel mahutist (sähvatustuli). .....	27
Tabel 28. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel.....	27
Tabel 29. Lööklaine ohualad metaani plahvatusel.....	27
Tabel 30. BLEVE tulekerast soojuskiirguse ohualad. ....	28

Tabel 31. BLEVE tulekerast soojuskiirguse ohualad. ....	28
Tabel 32. Õnnetuste tõenäolisus, raskusaste ja riskiklass.....	29
Tabel 33. Riskimaatriks. ....	30
Joonis 1. Metaani süttimispiirid .....	11
Joonis 2. LNG terminali ohualad.....	41
Joonis 3. LNG ja LPG terminalide ohualad .....	42

## LISA 1

LNG õnnetused:

20. oktoober 1944. Purunes East Ohio Natural Gas Company Ohio osariigis Clevelandis asuv LNG mahuti. Plahvatuses ja tulekahjus hukkus 128 inimest. Mahutil puudus vallitis ning see oli ehitatud Teise maailmasõja ajal, kui metallinormid oli väga ranged. Mahuti materjaliks oleva terase niklisisaldus oli väga väike, mis muutis mahuti kokkupuutel äärmiselt külma LNG-ga hapraks, mahuti purunes ja LNG sattus linna kanalisatsioonisüsteemi.

Veebruar 1973, Staten Island, New York. Tühja hoiumahuti sisemuse remondi ajal algas tulekahju. Rõhk mahutis suurenes niivõrd kiiresti, et mahuti peal olev betoonkuppel tõusis üles ja varises seejärel kokku, kukkudes mahutisse ja tappes 37 all olnud ehitustöölist. LNG polnud selles intsidendis otseselt osaline.

Oktoober 1979, Lusby, Maryland. Cove Point'i LNG terminaalil purunes pumba tihend, pumbast lekkisid gaasiaurud, mis sattusid kaablitorusse ja settisid seal. Kaitselüliti väljalülitamisel terminaali töötaja poolt gaasiaurud süttisid, tappes töötaja ja kahjustades tugevalt hoonet. Selle õnnetuse tõttu muudeti Ameerika Ühendriikide tuleohutusnorme.

19. jaanuar 2004, Skikda, Alžeeria. Plahvatus firma Sonatrach LNG veeldamistehases. 27 hukkunut, 80 vigastatut, hävines kolm LNG veeldamisseadet. 2004. aasta toodang vähenes 76%. Leidis aset külma süsivesiniku leke ning süsivesinikgaasid sattusid kõrgrõhu-aurukatla põlemiskambrisse suunatavasse õhku. Põlemiskambris toimunud plahvatus kutsus esile suurema aurude plahvatuse väljaspool kambrit.

(Liquefied...30.03.2013)



## LISA 2



Joonis 2. LNG terminali ohualad (Allikas: Maaamet. Koostas autor)

### LISA 3



Joonis 3. LNG ja LPG terminalide ohualad (Allikas: Maaamet. Koostas autor)