



TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO

**Peeter Kesner**

**LPG TERMINALI  
TEHNOLOOGIA JA  
TEHNILINE LAHEND  
AS ALEXELA TERMINAL  
NÄITEL**

**LÕPUTÖÖ**

Mehaanikateaduskond  
Tehnomaterjalide ja turunduse eriala

Tallinn 2013

## SISUKORD

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| Sissejuhatus .....                                       | 4  |
| 1. Vedeldatud naftagaas .....                            | 6  |
| 1.1. Koostis .....                                       | 6  |
| 1.2. Kasutamine .....                                    | 7  |
| 2. Planeeritava terminali keskkonna mõju .....           | 10 |
| 2.1. Vedelgaasi avariiline keskkonda sattumine.....      | 11 |
| 2.2. Tulekahju ja/või plahvatus.....                     | 12 |
| 2.3. Õnnetusi ajaloost .....                             | 15 |
| 3. Tehnoloogiline skeem.....                             | 17 |
| 3.1. Tehniline seadmestik .....                          | 21 |
| 3.1.1. Raudtee vagunite mahalaadimine: .....             | 22 |
| 3.1.2. Raudtee vagunite mahalaadimise pump .....         | 24 |
| 3.1.3. Aurusti ja jahuti .....                           | 25 |
| 3.1.4. Krüomahuti.....                                   | 27 |
| 3.1.5. Krüomahuti pump .....                             | 29 |
| Kokkuvõte .....                                          | 31 |
| Summary .....                                            | 33 |
| Viidatud allikad .....                                   | 34 |
| Lisad .....                                              | 36 |
| Lisa 1. Riskiallikate kaitsekihtide analüüsi skeem ..... | 37 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Lisa 2. Process Flow Diagram: LPG Rundown storage & export..... | 39 |
| Lisa 3. List of symbols .....                                   | 41 |
| Lisa 4. Full Containment LPG storage tank .....                 | 43 |
| Lisa 5. Alexela Pladiski AS LPG and Oil terminal .....          | 45 |

## SISSEJUHATUS

Vedeldatud naftagaas (LPG) on kõrvalprodukt, mis saadakse toornafta rafineerimisest ning maagaasi ammutamisel maapõuest. Omades kõrgemat kütteväärtust kui teised saadaolevad tavakütused omab LPG selget eelist, mis väljendub ka tema laialdases kasutamises.

Käesolevas lõputöös uuritakse ja analüüsitakse AS Alexela Terminali LPG terminali juurdeehituse tehnoloogiat ja seadmeid.

Töö ülesehitus on lahendatud laiemalt kitsamale liikudes. See tähendab, et töö esimeses osas antakse ülevaade vedeldatud naftagaasist (LPG), teises osas käsitletakse võimalikke keskkonna ohtusid ja õnnetusi seoses planeeritava terminali laiendusega. Kolmas osa on fokusseeritud tehnoloogilise skeemi kirjeldusele, protsessidele selles ja seadmetele. Selles tuuakse välja etapid alates LPG vastuvõtmisest kuni väljastamiseni ning analüüsitakse selleks kasutatavat tehnilist seadmestikku.

Alexela gruppi kuulub kokku kolm terminali. Alexela Sillamäe AS asukohaga Sillamäel, Alexela Terminal AS asukohaga Paldiskis ja Alexela Slovaag AS asukohaga Norras.

Alexela Terminal AS Paldiski terminali (sele 1) hakati projekteerima 1999 aastal, ehitus valmis 2001 aasta lõpus ja esimene kaup laaditi tankerile 2002 jaanuar. „AS Alexela Terminal tegevusalaks on heledate naftasaaduste, naftakeemia ja vedeldatud gaasi hoiustamine ja transiidi korraldamine. Raudteetsisternides saabuv kaup pumbatakse mahutitesse, hoiustatakse lühiajaliselt ning pumbatakse tankeritele“. [1] Hetkel on olemas toimiv ja opereeriv butaani mahutipark, plaan on laiendada LPG tehnoloogilist mahutiparki koos vajalike seadmetega.



Sele 1. Alexela Terminal AS Paldiskis [2]

Käesolevas töös uuritakse ja analüüsitakse vajalike materjale ja tehnoloogiaid. Klassikaliselt projekteeritakse ja ehitatakse LPG tehnoloogia igale tootele autonoomseks s.t. eraldi liinid, pumbad, jahutid, mahutid. Käesolev projekt on erijuht, kuna käideldavaid tooteid on mitmeid ja eesmärk on osaliselt nende tehnoloogilist skeemi ühildada.

# 1. VEDELDATUD NAFTAGAAS

Vedeldatud naftagaasil (LPG) on kaks algallikat:

- 60% vedelgaasist saadakse merealustest maardlatest
- 40% toodetakse toornafta rafineerimistehastes

Seega on LPG looduslikult esinevate produktide kõrvalsaadus, mis suudab täita peaaegu iga esmase kütuse funktsiooni, millest see saadud on. Kui maagaas ja toornafta ammutatakse maapõuest, kaasneb sellega mitmete gaaside ja vedelike eraldumine, millest LPG moodustab umbes 5%. Enne kui maagaasi ja toornaftat saab transportida või kasutada, separeeritakse nendest välja raskem gaas LPG. Rafineerimise protsess on keerukas ja koosneb mitmest eri etapist. Atmosfäärilisel rõhul destilleerimine, lõhenemine on vaid mõned etapid selles protsessis, millest LPGd on võimalik saada. Et stabiliseerida toornaftat enne laeva laadimist või transporttorustikus edasi juhtimist, separeeritakse kaasnevad lisagaasid LPGks. [3]

## 1.1. Koostis

LPG on kombinatsioon propaanist (C<sub>3</sub>, keemispunkt atmosfääri rõhul -42,1°C), butaanist (C<sub>4</sub> keemispunkt atmosfääri rõhul -0,5°C), sisaldades vähesel määral ka teisi ühendeid [4: lk 3]. Tava temperatuuril + 15°C aurustub LPG kiiresti ja täielikult. 1 liiter vedelgaasi moodustab 275 liitrit gaasi. Kui suurendada rõhku või jahutada gaasi saame vedeliku mida, on lihtne transportida ja ladustada.

Bensiini tootmisel 20. sajandi alguses ei olnud seda võimalik kaua hoiustada, kuna bensiin lendus ladustamisel kergesti. 1911. aastal Ameerika keemik, Dr. Walter Snelling selgitas välja, et bensiini kiire aurustumise põhjustab suhteliselt kõrge propaani ja butaani sisaldus ning et seda vähendada, on vajalik eelpool nimetatud ühendid bensiinist eraldada. [3]

LPG esimene kaubanduslik tootmine toimus 1920. aastatel. Laiaulatuslikum levik toimus alles 1950-ndatel. Vahepealset arendustegevust ja levikut piirasid I maailmasõja sündmused.

Seoses toornafta rafineerimistehaste arenguga, arenes jõudsalt ka LPG tootmine. Rafineerimistehaste arengule andis suure tõuke vedelkütuste kasutusele võtt tahkete kütuste asemel. LPG müüginumbrid kasvasid 300000 tonnilt 1950.-ndatel kuni 11 miljon tonnini 1970.-ndatel aastatel. Enne seitsmekümnendaid oli LPG pigem piirkondliku tähtsusega, omades kindlat piirkondlikku hinnapoliitikat, ladustamist, ostjaskonda ning müüjaid. C3 (propaan) ja C4 (butaan) pöördepunktiks oli ülemaailmne naftakriis 1973. aastal. Paljud naftariigid leidsid, et vedeldatud naftagaasi eksport on suur sissetuleku allikas rafineerimise kõrval. Lähis-Ida suurendas LPG ekspordimahu 6 miljonilt tonnilt aastal 1975 kuni 30 miljoni tonnini aastal 1985. Suurteks LPG eksportijateks kasvasid ka Austraalia, Indoneesia, Põhjameri, Venetsueela. Kaheksakümnendatel sai LPG ülemaailmseks ekspordi artikliks. Tootjad vajasisid ostjaid ning vastupidi.[3]

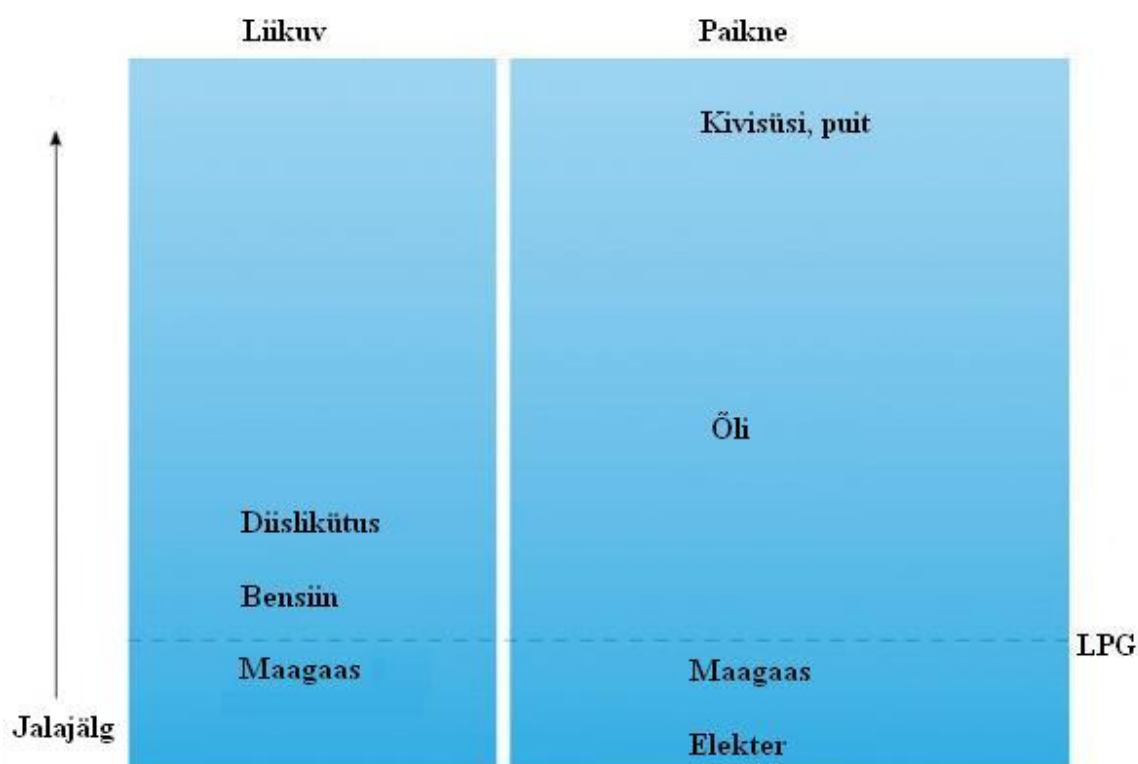
## **1.2.Kasutamine**

Olgu tegemist tööstuse, transpordi, põllumajanduse, energia tootmise, söögi tegemise või meelelahutusega - LPG on kõikjal kasutatav.

Vaid LPG suudab katta niivõrd erinevad valdkonnad kui toidutegemine Lõuna-Aafrikas, kogukonna köök Indias, autogaas taksodele Tokyos, autotööstus Saksamaal, pereelamu keskküte Kanadas, juukselakid Hollywoodi staaridele, elutähtis kütus Mount Everestile ronijatele. LPGd kasutatakse ka olümpiatule tõrvikus tänu tema keskkonnasõbralikkusele.

LPG on erakordne energiaallikas tänu oma päritolu, eeliste, kasutusmugavuse ja tööstuse poolest. Puhas, madala süsinikusisaldusega, efektiivne ja innovaatiline energia pakub hüvesid tarbijatele, tööstusele ja keskkonnale. Lisaks mängib LPG olulist rolli üleminekul turvalisema, säästlikuma ja konkurentsivõimelisema energia mudelile.

Õhukvaliteedil on suur roll inimese tervisele, taimedele, loomadele ja isegi hoonetele. Transport ja elektritootmine on esmased õhusaaste allikad. Kasutades LPGd diislikütuse, kütteõli või teiste tahkete kütuste asemel, vähendame suuresti õhu ja keskkonna saastamist. Vaadates ökoloogilist jalajälge on LPG üks puhtaim saadaolev tavakütus (sele 2).



Sele 2: Ökoloogiline jalajalg võrrelduna tavakütustega [5]

LPG on energiarikas kütuse allikas, omades kõrgemat kütteväärtust ühiku kohta kui teised üldkasutatavad kütused nagu kivisüsi, maagaas, bensiin, põlevkiviõli. See tähendab, et LPG leek põeb kõrgema temperatuuriga, mida saame tõlgendada kõrgema kasutegurina. Tabelis 1 on välja toodud erinevate kütuste kütteväärtused.

Tabel 1.

Erinevate kütuste kütteväärtused [6]

| Kütuse liik                       | Kütteväärtus GJ / t | Kütteväärtus kWh / kg |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Puit laast (niiskusesisaldus 30%) | 12,5                | 3,5                   |
| Puidupellet                       | 17                  | 4,8                   |
| Kütteõli                          | 42,5                | 11,8                  |
| Maagaas (NPT)                     | 38,1                | 10,6                  |
| Vedeldatud naftagaas (LPG)        | 46,3                | 12,9                  |

Energiaallikana võib LPG olla kuni viis korda efektiivsem kui traditsioonilised kütused, selle tulemusena vähendame energiakadusid ning saame säästlikumalt kasutada meie planeedi ressursse. LPG on äärmiselt mitmekülgne ja lihtsasti teisaldatav. Saame teda transportida kasutades mere-, raudtee -või maanteetransporti. See on kütus, mis jõuab kaugeimatesse inimasutuse punktidesse, parandades sealsete inimeste elu ja annab tõuke piirkonna arengule. LPG ei vaja levikuks suurt taristut. Sageli on LPG ainus kütus, mis jõuab väikesaartele või suurtele kõrgustele.[3, 5]

## 2. PLANEERITAVA TERMINALI KESKKONNA MÕJU

Riskianalüüs on võetud ja kohandatud olemasolevast dokumendist „Alexela terminali kavandatava laienduse riskide hindamine“ OÜ Risk Management (Evelin Uiga, Tõnu Paasoja, Ants Tammepuu) [7]. Käesoleva lõputöö jaoks on seda analüüsitud ning välja selekteeritud tähtsaim ja olulisem, et anda parem arusaamine planeeritava terminali laienduse võimalikest ohtudest inimesele ja keskkonnale.

Toetudes AS Alexela Paldiski Terminal poolt koostatud varasemale riskianalüüsile ja ohutusaruandele saab anda ülevaate võimalikest keskkonnamõjudest. Võimalikud ohud ja õnnetusjuhtumid on arvestatud ebasoodsate asjaolude kokkusattumisel, mis võivad tekkida halvimal või selle lähedasel juhtumil.

„Kõikide teostatud arvutuste aluseks olevad kriteeriumid kolme ohuala (ohtlik, väga ohtlik, eriti ohtlik) lõikes pärinevad Kemikaaliseaduse alusel kehtestatud 17. veebruaril 2011.a. vastu võetud Vabariigi Valitsuse määruse nr 28, „Nõuded ohtliku ja suurõnnetuse ohuga ettevõtte kohustuslikule dokumentatsioonile ja selle koostamisele ning avalikkusele edastatavale teabele ja õnnetusest teavitamisele“ [8] nõuetele lisast“. [7: lk 2]

Kuna terminal on realselt opereeriv ja toimiv, kasutatakse planeeritava terminali laienduse käigus juba olemasoleva ohutusaruande materjale. Sellele tuginedes, on planeeringu alal võimalikud järgnevad õnnetuste tüübid.

- kemikaalide avariiline väljavool;
- tulekahju ja/või plahvatus.

Riskianalüüsis läbiviidud uuringu käigus ei vaadeldud iseseisvate sündmustena õnnetusi, mis võivad olla põhjustatud kolmandate isikute tegevustest ja loodusnähtustest. Põhilist ohtu planeeritavas AS Alexela Paldiski Terminali laienduses kujutab vedelgaasi (LPG) käitlemine.

## 2.1. Vedelgaasi avariiline keskkonda sattumine

Juhul, kui kemikaalid on avariiliselt keskkonda sattunud, on järgnevate sündmuste käigul suur ja oluline roll välistemperatuuril ning keskkonnatingimustel. Tulenevalt käideldavate toodete erinevatest füüsikalise-keemilistest omadustest propaan (C3) keemispunktiga  $-42,1^{\circ}\text{C}$  atmosfääri rõhul ja butaan (C4) keemispunktiga  $-0,5^{\circ}\text{C}$  atmosfääri rõhul, käituvad nad erinevatel temperatuuridel erinevalt. Suvel, kui õhutemperatuur võib ulatuda üle  $30^{\circ}\text{C}$  aurustub väljapaiskunud toode ning tekib lokaalne õhureostus. Samas on vedelgaas õhust raskem ning gaasipilv jääb vallituslasse. Kui väliskeskkonna temperatuur langeb alla toodete veeldumistemperatuuri, ei aurustu tooted ja voolavad veeldatud kujul vallituslasse.

Avariilise väljapaiskumise puhul, kui tegemist on väljavooluga mahutitest või süsteemidest isevoolu teel, väheneb seoses vedeliku taseme langusega ka väljavoolatava vedeliku kiirus. Kui leke on pumpadega survestatud süsteemi osas, jääb väljavoolatava toote kiirus konstantseks seni kuni pump töötab. Selline väljapaiskumine võib olla kas pidev või peaaegu momentaalne, sõltuvalt ava või rebendi suurusest. [7: lk 3]

Sekundaarse väljavoolu puhul on mahutid deformeeritud tulekahju poolt põhjustatud kuumusest või võimalikust plahvatuselt. Mahuti tulle sattumisel on võimalik tänu vedelgaasi soojuspaisumisele põlevvedeliku väljapaiskumine. [sealsamas, lk 3] Üleminekul vedel faasist gaasilisse toimub mahu suurenemine, 1 liiter vedelgaasi moodustab 275 liitrit gaasi.

„AS Alexela Terminali Paldiski terminalis võib kemikaalide väljavoolamine tõenäolisemalt aset leida järgmistel peamistel põhjustel:

- mahutite ja selle süsteemide lekkes ja ületäitmisel;
- auto- või raudteetsisternide ületäitmisel;
- raudteetsisternide paigaltliikumisel alt tühjendamise korral;
- mahutite või seadmete mehhaanilise vigastuse tõttu“. [ibid., lk 4]

## 2.2. Tulekahju ja/või plahvatus

„Tulekahju ja/või plahvatuse tekkepõhjusi (mis kutsuvad esile põleva kemikaali süttimise) võib olla terminalis mitmeid. Põhilised mehhanismid, mille baasil arenevad järgnevad õnnetusstsenaariumid tulekahju puhul, oleksid järgmised:

- 1) käitlustoimingute käigus lubatud emissioonide süttimine (näiteks tekkivad aurud mahuti tuulutusklaappide ümbruses või laadimis/lossimistoimingute ajal);
- 2) käitlemisprotsessis toimuv avariid koos ohtliku aine väljavoolu või välja paiskumisega ja sündmusele järgneva aine süttimisega. Aeg kahe sündmuse vahel võib olla erineva pikkusega ja süttimine on võimalik kogu antud aja vältel“. [7: lk 4]

Väljavoolu korral terminali torustikest või mahutitest võivad vabanenud gaasid süttida. Süttimise põhjuseks võib olla leek, staatiline elektrilaeng või mõni muu tekkemehhanismiga säde. Süttimis hetkest alates võib tulekahju arenemiskiirus varieeruda, sõltudes materjali füüsikalisest olekust, energiasisaldusest ja hapniku kogusest. Vedelgaasi puhul saab rääkida ainult leegiga põlemisest, kuna hõõgumist ei toimu. Kui vabanenud gaasid on õhuga sobivas vahekorras segunenud ning on olemas potentsiaalne süüteallikas, on realne oht plahvatusohtliku segu tekkeks. [*ibid.*, lk 4 - 5]

„Vedelgaasi vabanemise korral on võimalikud järgmised õnnetusstsenaariumite põhivariandid:

- 1) vedelgaasi avariiline väljavool ja/või väljapaiskumine;
- 2) tulekahju ja/või plahvatus:
  - põlemine tsisterni, mahuti toruühenduste ja hingamisklaappide juures;
  - gaasipilve põlemine;
  - vabanenud gaasipilve plahvatus (UVCE - *Unconfined Vapor Cloud Explosion*);
  - keeva vedeliku paisuva auru plahvatus (BLEVE - *boiling-liquid-expanding-vapor explosion*).
  - mahuti, seadmete purunemine, ülekuumenemine väliste mõjurite toimele“. [*ibid.*: lk 5]

„Vabanenud gaasipilve plahvatus (UVCE):

Vabanenud gaasipilve plahvatuse ohtlike tagajärgede jaoks peavad olema täidetud järgmised tingimused: gaasipilve mõõtmed enne süttimist peavad olema piisavalt suured, pilve suurema osa tihedus peab olema alumise ja ülemise süttimispiiride vahel ja gaasipilves peab olema detonatsiooni tagav turbulentsus. Vabanenud gaasipilveplahvatuse põhiliseks ohtlikuks väljundiks on lööklaine rinde ülerõhk ja soojuskiirgus“. [7: lk 5]

“Pahvaktuli:

Kui vabanenud gaasipilves puudub detonatsiooni tagav turbulentsus, on pilve süttimise tagajärjeks pahvaktuli. Pahvaktule ohtlikeks väljunditeks on otsene kokkupuude leegiga ja soojuskiirgus“. [*ibid.*: lk 5]

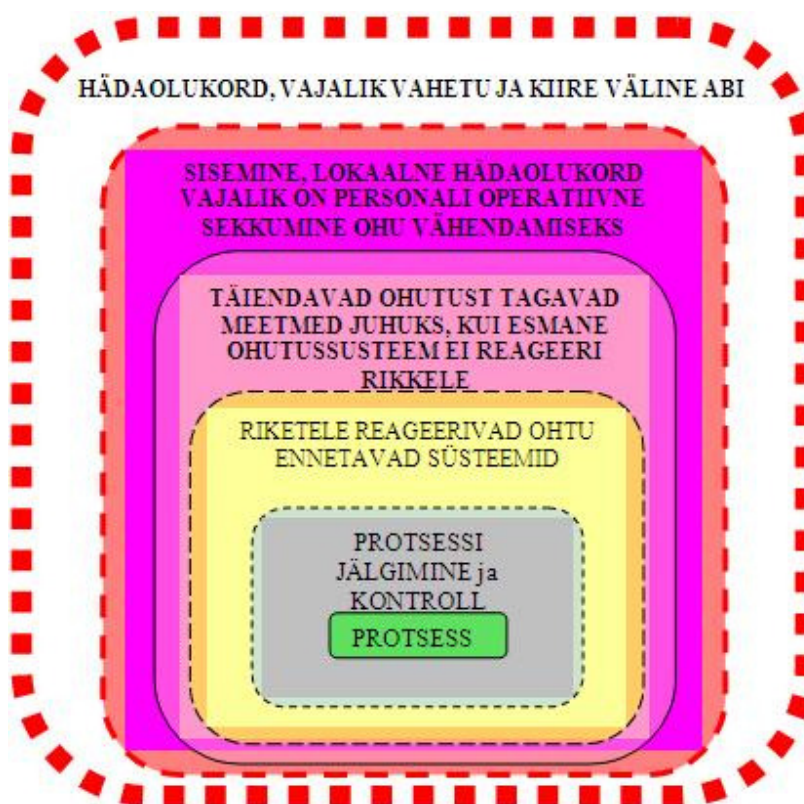
„Mahutis keeva vedelgaasi paisuva aurupilve plahvatus (BLEVE):

BLEVE kujutab endast plahvatust, mis toimub siis, kui hermeetilises mahutis oleva vedeliku temperatuur tõuseb oluliselt kõrgemaks selle keemistemperatuurist, millega kaasnev rõhu tõus purustab mahuti. BLEVE võivad esile kutsuda välise põlengu soojuskiirgus ja mahuti seinte purunemine. BLEVE põhilisteks ohtlikeks väljunditeks on vahetu kokkupõrge tulekera leegiga, tulekera soojuskiirgus ja killud“. [*ibid.*: lk 6]

Võimalikud õnnetusstsenaariumid terminalis: [*ibid.*, lk 8 - 12]

- Avariiline keskkonnareostus LPG mahutipargis
- Tulekahju LPG mahutipargis kaitsemeetmete rakendumisel
- Tulekahju krüomahutite juures, kaitsemeetmeid arvestamata
- Plahvatus LPG mahutipargis: UVCE - gaasipilve tekkimisel, kaitsemeetmeid arvestamata
- Plahvatus LPG mahutipargis: BLEVE - kaitsemeetmeid arvestamata
- Autoestakaadil LPG mahuti plahvatus: BLEVE - kaitsemeetmeid arvestamata

Terminali projekteerimisel ja kaitstustaseme arvutamisel kasutatakse standardi EVS-EN 61511-3:2005 [9] kaitsekihtide mudelis olevaid 7-t kaitsekihti ning lisa kriteeriumina ka hinnangut isikukaitsevahenditele ja tööohutusnõuetele. Kaitstuse taseme määramine on toodud välja lisas (vt lisa 1)



Sele 3 Kaitsekihtide skeem [7: lk 13]

„Kokkuvõttena võimalike keskkonna ohtude ja mõjude kohta on riskianalüüsis öeldud „Eelnev võimalike õnnetustega seonduvate keskkonnamõjude hindamine näitab, et juhul kui arendaja rakendab planeeritava LPG terminali rajamisel projekteerija poolt kavandatavaid kaitsemeetmeid ja tagab nende toimivuse, siis on suurõnnetuse võimalus peaaegu välistatud ja ohualad jäävad kaitse territooriumile“ [7: lk 19].

Planeeritava kütuseterminali (laienduse) mõjud võimaliku õnnetuse korral on võrreldavad olemasolevast terminalist tulenevate mõjudega. Juhul kui arendaja ei täida siiski ettekirjutatud ohutus- ja kaitsemeetmeid ning toimub üks võimalikest kirjeldatud õnnetusjuhtumitest on need käsitletud riskianalüüsis kui kaitsemeetmeid arvestamata toimuvad sündmused.

### **2.3. Õnnetusi ajaloost**

4. jaanuar 1996 aastal juhtus Feyzin terminalis Prantsusmaal õnnetus (vt. sele 4), mis muutis suuresti LPG hoiustamise ja ladustamise tingimusi. Survemahutist vett välja drenima läinud tööline ei sooritanud protseduuri õiges järjekorras ning tulemuseks oli katastroof, mis vapustas tööstust.

Ohutuse tagamiseks on survemahutite proovi võtmiseks sulgventiilide kompleks, mida tuleb teatud järjekorras avada ning sulgeda, et süsteem oleks ohutu. Proovi võtmisel avati vale sulgarmatuur valel ajal, mis põhjustas propaani lekke mahutist. Vabasse atmosfääri sattudes külmutas C3 hetkega ära sulgarmatuuri, mida ei olnud enam võimalik sulgeda. Alarm anti koheselt kui leke tekkis ning läheduses suleti maantee ja evakueeriti inimesed. Kuna ilm oli talvine, tekitas mahutist väljavoolav C3 u. 1,5 meetri kõrguse gaasipilve, mis tuule suuna tõttu maanteele kaldus. Olles saavutanud sobiva õhu ning gaasisegu vahekorra, süttis gaasipilv kõrvalteel sõitnud autost saadud sädemest (UVCE) ning koheselt oli tulekahjukolle lekkiva mahuti ümbruses. Umbes kaks tundi pärast lekke algust plahvatas survemahuti (BLEVE), kuna väljastpoolt kuumutas tuli mahutis oleva toote temperatuuri oluliselt kõrgemaks tema keemistemperatuurist ning tekkinud gaasihulgal ei olnud võimalik enam paisuda. Plahvatuse käigus ja mahuti purunemisel tekkis tulekera ning mahuti killud kahjustasid teisi lähedal asuvaid mahuteid. See põhjustas BLEVE ka läheduses asuvates mahutites. Tuli ja õnnetus saadi kontrolli alla 24 tunni möödudes. Kokku hävitas tuli 11 erinevat mahutit, kus koguseliselt oli propaani 1012 tonni, butaani 2027 tonni ning umbes 1500 tonni lennukikütust. Kustutustööde käigus ning plahvatustes hukkus 18 inimest. Järeldused, mis sellest õnnetusest tehti aitasid suuresti kaasa sarnaste õnnetuste vältimisele tulevikus. [10, 11]

Järeldused ja tegevused [11, lk 11]:

- Proovivõtu sulgarmatuuri vahemaad üksteisest suurendati.
- Mahutipark suletakse vallituslasse takistamaks LPG gaasipilve levikut.
- Mahutitele projekteeritakse veega jahutamise võimalus.
- Ülerõhu klapp viiakse mahuti peale.
- Määrati ära mahutite kaugused üksteisest.
- Mahuti jalad on peavad olema tulekindla konstruktsiooniga.
- Vallituslad varustatakse gaasi detektoritega.



Sele 4. Plahvatus Fezyin terminalis 1966 aastal [12]

### 3. TEHNOLOOGILINE SKEEM

Tehnoloogilise skeemi kirjeldus vastavalt PFD (Process Flow Diagram) joonisele (vt. lisa 2 ja lisa 3). Kirjeldatud on protsesse ja tegevusi, mis on vajalikud, et teostada LPG terminali sisse võtmine, hoiustamine/ladustamine ja välja andmine.

Tavapäraselt projekteeritakse LPG terminalide tehnoloogiline skeem iga toote jaoks autonoomsena. See tähendab, et erinevate toodete jaoks on olemas erinevad toruliinid, seadmed ja mahutid. Käesolev projekt on erijuht, kuna käideldavaid tooteid on mitmeid ja eesmärk on osaliselt nende tehnoloogilist skeemi ühildada. Arvestades erinevate toodete füüsikalise-keemiliste omadustega tuleb leida kasutatavatest lahendustest parim ja adopteerida see projekteeritavasse süsteemi. Peab olema kindel, et erinevad tooted ei puutuks üksteisega kokku, mistõttu on vajalik, et iga torustikku oleks võimalik teistest eraldada. Planeeritavas terminalis on käideldavaidprodukte viis.

- Propaan (C3)
- Butaan (C4)
- LPG (C3 ja C4 segu, ükskõik millises vahekorras)
- n-Pentaan
- isopentaan

Projekteerimistingimuste aluseks on võetud propaani käitlemine, kuna tema keemispunkt atmosfäärirõhul võrreldes teiste produktidega on madalaim  $-42,1^{\circ}\text{C}$ . See seab kasutatavatele materjalidele ja seadmetele kõrged nõudmised.

Planeeritav juurdeehitus liidetakse olemasoleva süsteemiga ja tehnoloogiline protsess saab täiendust lisaraudtee estakaadi mahalaadimise kohtade, survemahutite, krüomahutite, auto ning ballooni täitmise näol.

Kogu tehnoloogiline skeem on üles ehitatud selliselt, et seal kus peab olema gaasiline toode - on see gaasiline ning seal kus on vajalik, et toode oleks veeldatud kujul - on see vedelik. Informatsioon millisel rõhu või temperatuuri juures on tooted vedelas faasis on toodud tabelis 2.

Kuna kasutusel on spetsiifiline tehniline seadmestik, ei tohi need kaks erinevat aine olekut segamini minna.

Tabel 2.

LPG rõhu ja temperatuuri tabel [13]

|                 |                                                    | Auru (gaasi) rõhk, bar |       |       |       |        |
|-----------------|----------------------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|--------|
| Segu            | Propaan (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )<br>mahu % | 100,00                 | 70,00 | 50,00 | 30,00 | -      |
|                 | Butaan (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )<br>mahu % | -                      | 30,00 | 50,00 | 70,00 | 100,00 |
| Temperatuur, °C | -42                                                | -                      | -     | -     | -     | -      |
|                 | -34                                                | 0,47                   | -     | -     | -     | -      |
|                 | -29                                                | 0,79                   | 0,32  | -     | -     | -      |
|                 | -23                                                | 1,21                   | 0,62  | 0,24  | -     | -      |
|                 | -18                                                | 1,69                   | 1,03  | 0,52  | 0,16  | -      |
|                 | -12                                                | 2,34                   | 1,41  | 0,85  | 0,41  | -      |
|                 | -7                                                 | 2,90                   | 1,93  | 1,23  | 0,70  | -      |
|                 | -1                                                 | 3,65                   | 2,52  | 1,69  | 1,06  | -      |
|                 | 4                                                  | 4,48                   | 3,17  | 2,23  | 1,48  | 0,21   |
|                 | 10                                                 | 5,38                   | 3,86  | 2,83  | 1,97  | 0,48   |
|                 | 16                                                 | 6,41                   | 4,69  | 3,45  | 2,52  | 0,79   |
|                 | 21                                                 | 7,58                   | 5,65  | 4,21  | 3,10  | 1,17   |
|                 | 27                                                 | 8,83                   | 6,62  | 5,10  | 3,72  | 1,59   |
|                 | 32                                                 | 10,34                  | 7,86  | 6,07  | 4,55  | 2,07   |
|                 | 37                                                 | 12,20                  | 9,24  | 7,17  | 5,45  | 2,62   |
|                 | 43                                                 | 14,07                  | 10,89 | 8,41  | 6,41  | 3,24   |

- Märkused
1. Konverteerimisel kasutatud valemit  $\text{PSIG} \times 0,069 = \text{bar}$  [14]
  2. Konverteerimisel kasutatud valemit  $5/9 * (32 - F) = C$  [15]

Tooted saabuvad terminali raudtee vagunites. Mahalaadimise kiirusega kuni 25 m<sup>3</sup>/h vaguni kohta pumbatakse toode survemahutisse. Et pumbata toode hermeetilisest raudteemahutist välja, on vajalik tekitada rõhkude erinevus survemahuti ja tsisterni vahel. See teostatakse kompressoriga. Ülerõhku on võimalik tsisternis saavutada kahel erineval meetodil:

Kasutades pumbatavast vedelgaasist toodetud gaasi. See meetod toimub eeldusel, et terminal on juba käigus ning mahutis on olemas toode, mida gasifitseerida. Survemahutist kuhu vedelgaas pumbatakse võetakse läbi aurusti ja kompressori ülerõhu tekitamiseks vajalik gaas. Eelised sellel meetodil on,

- ülerõhk tekitatakse sama tootega, mis raudteevagunis
- puudub vajadus täiendava gaasi (nt. lämmastik) järele
- vaguni tühjenedes võetakse sissepumbatud gaas tagasi, vedeldatakse ning suunatakse juba pumbatud vedelgaasi

Kasutades lämmastikku. Lämmastik on inertgaas, mis ei segune käideldavate toodetega. Lämmastiku kasutamine gaasipadjana on laialt levinud rõhu all olevate mahutite ja tsisternide tühjendamisel. Põhilised erinevused võrreldes eelmise punktiga on:

- majanduslikult kulukam kuna tuleb eraldi osta, hoiustada
- lämmastikku ei ole soovitatav jätta tühjendatud tsisternidesse. Kuna LPG tehnoloogia puhul ei kasutata selliseid temperatuure ja rõhkusid millel lämmastik uuesti veelduks pole, võimalik seda uuesti vedeldada ning lämmastik eraldatakse vabasse õhku.

Mahalaadimise lõppedes, kuna pumba imipoole torustikul asuv andur tunneb ära gaasilise faasi, peatatakse pump. Samal ajal on kompressori töötamise loogika üles ehitatud selliselt, et pumba seiskudes lülitatakse 4-tee ventiil ringi ning vaguni täielikul tühjenemisel ei eksisteeri enam ülerõhku rohkem kui 0,5 bar.

Praktika ja kogemused on näidanud, et raudtee vagunitega transporditud vedelgaas võib sisaldada vee molekule, mis otsesel krüomahutisse laadimisel läbi jahuti põhjustab jääteket nii jahutis kui mahutis. Kuna vesi jäätumisel paisub, tekitab see kasutatavatele materjalidele pingeid (purunemise oht), mis võivad viia tagajärgedeni, kus produkt hakkab süsteemist välja lekkima. Survemahutis on võimalik vedelgaasist vesi välja drenida. Vee erikaal on käideldavatest produktidest raskem ning ta vajub põhja.

Survemahutites säilitatakse tooteid välistemperatuuril kuid rõhu all, et tagada toodete vedeldatud olek. Butaani mahuti ja seadmed on arvestatud maksimaalsele rõhule 8 bar ning propaani mahuti ning seadmed maksimaalsele rõhule kuni 21 bar. Mahutid ei ole turvalisuse kaalutlustel kunagi 100% täidetud vedelgaasiga. 70% on mahutis toote vedelat faasi ning 30% on alati gaasiline fraktsioon.

Vedelgaas hoiustatakse sfäärilistes survemahutites või pumbatakse edasi läbi jahuti krüomahutisse. Sõltuvalt toote veeldumise temperatuurist kasutatakse Alexela Terminal AS-is ühe- või kaheastmelist jahutamist. Esimeses astmes jahutatakse C3 ja C4 0°C-ni ja teises astmes jahutatakse vaid C3 -30°C-ni. Kui lõpptooteks on LPG (C3 ja C4 segu etteantud vahekorras), suunatakse mõlemad produktid peale jahutamist segajasse, kus need sobivas vahekorras kokku segatakse. Süsteem on üles ehitatud selliselt, et võimalik on käidelda kahte toodet üheaegselt.

- C3 ja C4
- C3 ja segu
- C4 ja segu

Krüomahutis on tooted atmosfääri rõhul kuid jahutatud temperatuuril, et tagada veeldatud olek. Planeeritud terminali laiendamise käigus on plaanitud ehitada 3 krüomahutit. Mahutid on töö mahuga 20000m<sup>3</sup>, arvestusliku töö temperatuuriga -40°C ja arvestusliku rõhuga 200 mbar.

Krüomahutisse pumbatud vedelgaas hoiustatakse madalal temperatuuril. Kuna eksisteerib temperatuuride erinevus mahuti alumise ja ülemise osa vahel, toimub mahutis oleva toote pinna peal aurustumine. Seda nähtust nimetatakse külm keemisauruks (tasakaaluseisundi läheduses veeldatud gaasi loomuliku aurumise tulemusena tekkinud gaas, inglise keeles boil off gas ehk BOG). Sama nähtus leiab aset ka torustikes, mis juhivad maha jahutatud vedelgaasi, kuna on suur energiakulu hoida torustikku külmana. Krüomahutis on tekkiva külma keemisauru hulk 0,1% päevas mahutis töömahust. BOG'i on võimalik ära kasutada mitmel eri viisil:

- Võtta gaas kompressoriga survemahutisse ning tagasi hoiustamisse.
- Suunata jahutisse ning tagasi krüomahutisse.
- Kasutada gaas ära olemasolevas tehnoloogilises protsessis. Näiteks katlamajas põleti käitamiseks.

Alexela Terminal AS mahutipargist laeva laadimiseks on vajalik toode pumbata mööda torustikku 2 km kaugusel asuvale laevalaadimise kaile.

Esimene võimalus on pumbata toode laeva krüomahutist. See eeldab, et vastuvõttev alus oleks krüotanker (laevad mahuga  $< 15000\text{m}^3$ ). Alexela Terminal AS-is on laeva laadimise trassi külmana hoidmine laadimiste vahel lahendatud toote tsirkuleerimisega kuni laadimisvarreni. Tsirkuleerimine toimub väiksemate pumpadega, et hoida kokku opereerimiskulutusi. Kui on vajalik laeva laadida, jahutatakse laadimisvars maha ja võetakse seal BOG tagasi. Sarnane protsess toimub ka laeva krüomahutitega.

Kui hakata iga kord laeva laadimiseks laadimistrassi maha jahutama, põrkume igal korral vastamisi suuremahulise BOG'iga, lisaks paneme olemasoleva torustiku igal korral suure pinge alla.

Teine võimalus on väiksemate laevade puhul kasutada surveini, see tähendab, et veeldatud naftagaas on tehnoloogilises protsessis rõhu all.

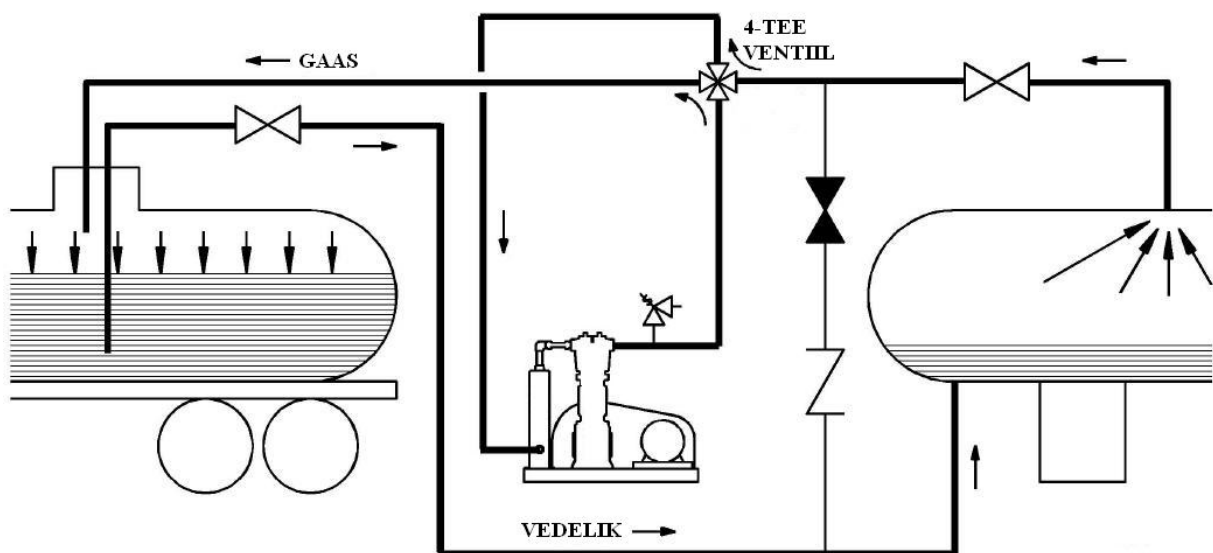
### **3.1. Tehniline seadmestik**

Vastavalt tehnoloogilise protsessi kirjelduses väljaõeldule on ka tehniline seadmestik ning aparatuur arvestatud C3 järgi. Erinevalt tava kütuseterminalidest, kus kasutusel on DIN standard kasutatakse LPG tehnoloogia puhul Ameerika (API) ja Inglise (BS) standardeid. See tuleneb sellest, et nendes riikides, kus vastavat standardit kasutatakse, on pikaajalised kogemused LPG käitlemisel ja ladustamisel. Probleemiks on kohalike ettevõtete vähene teadlikkus API ja BS standardist ning seoses sellega on turult seadmete hankimine komplitseeritud. Kui pakutakse seadmeid, puudub tihti peale oskusteave ning tehniline tugi.

### 3.1.1. Raudtee vagunite mahalaadimine:

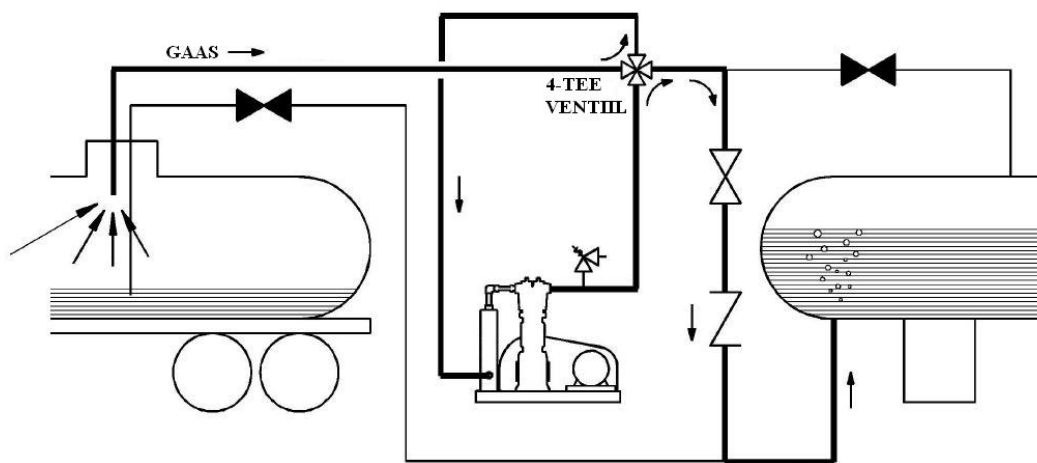
Klassikaliselt teostatakse raudtee mahutite mahalaadimine kompressori ja spetsiaalse 4-tee ventiiliga. Erilahendusega 4-tee ventiil võimaldab protsessi juhtida ilma et ühtegi tehnoloogilise skeemi seadet oleks vaja reverseerivalt tööle lülitada. Mahalaadimise alustamisel ühendatakse mahalaadimisliidesed toote torustikku ning gaasiliides kompressoriga. Selleks, et toode raudtee tsisternist kätte saada tuleb tekitada sinna ülerõhk.

Sele. 5 on kujutatud skemaatiliselt seda protsessi. Sellest mahutist kuhu toode laaditakse, võetakse läbi kompressori vajalik gaas ning suunatakse raudtee vagunisse. Sõltuvalt vajalikust gaasi kogusest, jälgides väliskeskkonna tingimusi ning toote rõhku ja temperatuuri, suunatakse vajadusel vedelgaasi gaasiline faas või suuremahulise gaasi tarbe korral vedelgaas enne kompressorit aurustisse, et tagada toote gaasiline olek ka peale kompressorit. Ülerõhu tulemusena surutakse raudtee tsisterni vedeliku tasapinda alla poole ning vedelgaas hakkab mööda mahalaadimistorustikku välja voolama. Et vältida staatilise elektri teket ning vedelgaasi gaasistumist, on toode juhitud pumbatavasse mahutisse altpoolt. Selles protsessis on äärmiselt oluline jälgida toote (propaan, butaan või nende segu) temperatuuri ning rõhku, et aine faasilised olekud paigas püsiks (vt tabel 2 LPG rõhu ja temperatuuri tabel).



Sele 5. Vedelgaasi mahalaadimise põhimõtteskeem [16]

Kui raudtee vagun on vedelgaasist tühjaks saanud (sele 6), tuvastab andur toote gaasilise faasi, 4-tee ventiil suunatakse teise asendisse ning suletakse mahalaadimistorustik. Raudtee vagunis olev gaas suunatakse läbi kompressori kogumismahuti vedeliku poolele. Selle tulemusena vähendatakse suuresti ülerõhku raudtee tsisternis aga toote mahutis on rõhu tõus vaevu märgatav. Ka selle protsessi käigus on oluline jälgida toote (propaan, butaan või nende segu) temperatuuri ning rõhku, et aine faasilised olekud paigas püsiks (vt tabel 2 LPG rõhu ja temperatuuri tabel). Gaaside tagastus loetakse lõppenuks kui gaasi rõhk raudtee tsisternis on 0,5 bar või väiksem.



Sele 6. Gaaside tagastuse põhimõtteline skeem [16]

AS Alexela Terminal projektis on plaanitud raudtee mahalaadimine lahendada teisiti kui seda pakub klassikaline versioon (kompressor ja 4-tee ventiil).

Peamine eesmärk on rohkem kontrollida ja visualiseerida mahalaadimise protsessi ning viia inimfaktori eksimuse võimalikkus miinimumini. Eesmärk on paigutada igale raudtee kohale oma kompressor ja mahalaadimispump. Selleks kasutatakse mahtpumpa, mida juhitakse sagedusmuunduriga. Vastavalt toote temperatuurile ja rõhule ning väliskeskkonna tingimustele juhitakse toode (C3, C4 või nende segu) enne kompressorit aurustisse. Soojendatud gaasid juhitakse läbi isoleeritud ja köetud gaasiliinide ülerõhu tekitamiseks kompressori ja 3-tee ventiili abil raudtee tsisterni. Oluline on jälgida, et ülerõhk ei ületaks veeldumispunkti (vt tabel 2 LPG rõhu ja temperatuuri tabel). Pump võtab toote vedelfaasi vagunist ja lükkab mahalaadimise kollektorisse ning edasi survemahutisse. Iga vaguni pumbaliinil asub massmõõtja, mis annab informatsiooni mahalaadimise koguste kohta. Kas vagun on tühi, palju maha

laaditi, kas on esinenud tehniline tõrge. Arvestit ei kasutata kommertseesmärgil, seega ei ole vajalik arvesti tüübikinnitus ning taatlemine. Kui pumbaliinil asuv andur tunneb ära toote gaasilise faasi seisatakse pump. Kompressor lülitatakse 3-tee ventiiliga ringi ning vagunis oleva toote gaasiline faas suunatakse ressiivmahutisse, seejuures toote temperatuuri ning rõhu jälgimine on endiselt oluline (vt tabel 2 LPG rõhu ja temperatuuri tabel).

Erinevused pumpamislahendusel võrreldes klassikalisega:

- mahalaadimise kiirus viiakse võimalikult lähedale lubatud vaguni maksimumile 25 m<sup>3</sup>/h vaguni kohta
- paindlikus ning võimalus laadida erinevaid tooteid samaaegselt. Investeering tehakse seadmetele, mis on universaalsed (võimalik käidelda erinevaid tooteid), samas on torustikud hoitud eraldi.
- väiksem arv raudtee mahalaadimise kohti annab majandusliku kokkuhoiu
- vajadus väga täpse ning täieliku algoritmi järele, et protsess jälgiks kõiki ette kirjutatud reegleid ning vajadusi. Seadmeid ning andureid on väga palju.

### **3.1.2. Raudtee vagunite mahalaadimise pump**

Pump on seade mille abil saame vedelike liigutada. Kui kasutame pumpa transportimaks gaase, nimetame seadet kompressoriks. Põhimõtteliselt võib pumbad jagada kahte suurde rühma:

- mahtpumbad
- tsentrifugaalpumbad

Mahtpump annab konstantse vooluhulga erinevatel rõhkudel (jõudlus ilma rõhuta). Mahtpumpa on sobilik kasutada rõhutõstjana madalatel voolukiirustel, lisaks on temal võime taluda teatud määral transporditavas vedelikus sisalduvaid gaase. Tsentrifugaalpump annab ühtlase rõhu erinevatel voolukiirustel (rõhk ilma jõudluset).

Oluline aspekt mida tuleb pumba valikul silmas pidada, on kavitatsioonivaru (edaspidi NPSH *ingl. keeles* Net Positive Suction Head). „Kui pumbatava vedeliku aurustumisrõhk on madalam kui absoluutne rõhk vedeliku tööratasse sisenemistsoonis, tekivad vedelikus aurumullid. Pumba töötamisel liiguvad tekkinud aurumullid mööda tööratte laba pinda tsentrist eemale. Selliselt liikudes suureneb

pidevalt mulle ümbritseva vedeliku rõhk. Kui mull jõuab tsooni, kus ümbritseva vedeliku rõhk on suurem kui rõhk muli sees, kukub mull kokku - kollapseeub. Nähtus on vastupidine plahvatusale. Reeglina on selliseid mulle sadu ja nad kollapseeuvad kõik praktiliselt samal joonel tööratlalabal“.[17] Sellest tulenevalt seisame silmitsi probleemidega nagu müra, pumba jõudluse vähenemine ning võimalikud mehhaanilised vigastused kavitatsiooni tagajärjel.

Teise aspektina pumba valikul tuleb arvestada käideldavate toodete volatiivsusega (volatiivsus e. muutumine - vedeliku võime säilitada vedeldatud olek atmosfääri rõhul ja tempeatuuril). Kui käitleme butaani ei ole see probleemiks aga propaani juures on see väga tõsine probleem (vt. tabel 2 LPG rõhu ja temperatuuri tabel).

Raudtee vagunitest mahalaadimiseks on võimalik kasutada libisevate labadega mahtpumpa, mis on spetsiaalselt ette nähtud vedelgaasidele. Labad kinnituvad vabalt rootoril asuvatesse pesadesse ja tööolukorras liiguvad vabalt edasi-tagasi. Eksentriline disain tekitab olukorra kus imipoolel on labadevaheline tühimik suurem kui survepoolel. See annab lisakindluse, et pumbatav toode on vedeldatud kujul.

### **3.1.3. Aurusti ja jahuti**

Aurustit kasutatakse, et vajadusel tagada toote gaasiline olek. Sõltuvalt vajaliku gaasi kogusest on kasutusel kaks võimalust aurusti energia vajaduse katmiseks - elekter (suur energia kulu) või muu energia kandja (termaalõli, küllastunud aur). Kuna terminalil on olemas katlamaja ja termaalõli süsteem, kasutatakse termaalõliga töötavaid seadmeid. Toode võetakse aurustisse survevahutist. Survevahutis on vedelgaas väliskeskkonna temperatuuril kuid rõhu all (vt tabel 2 LPG rõhu ja temperatuuri tabel). Aurustis tõstetakse toote temperatuur selliseks, et edasijuhtimisel läbi kompressori ning isoleeritud ja köetud liinide oleks tagatud vedelgaasi gaasiline faas tasakaalustamiseks ülerõhku vajavat süsteemi osa. Aurusti on horisontaalne torusoojusvaheti. Aurusti primaarpoolel on toote rõhk suurem kui sekundaarpoolle tootel. See tähendab, et lekke korral seguneb vedelgaas soojendava tootega.

Jahutit kasutatakse, et toode viia vedeldatud olekusse kasutades selleks temperatuuri (vt tabel 2 LPG rõhu ja temperatuuri tabel). Klassikaliselt kasutatakse üheastmelist jahutamist kuna terminalid ei opereeri mitme erineva vedelgaasiga. Käesolev projekt on erijuht ja käideldavaid tooteid on rohkem. Vastavalt projektile on tehniline seadmestik ette nähtud propaani (C3, keemispunkt atmosfääri rõhul

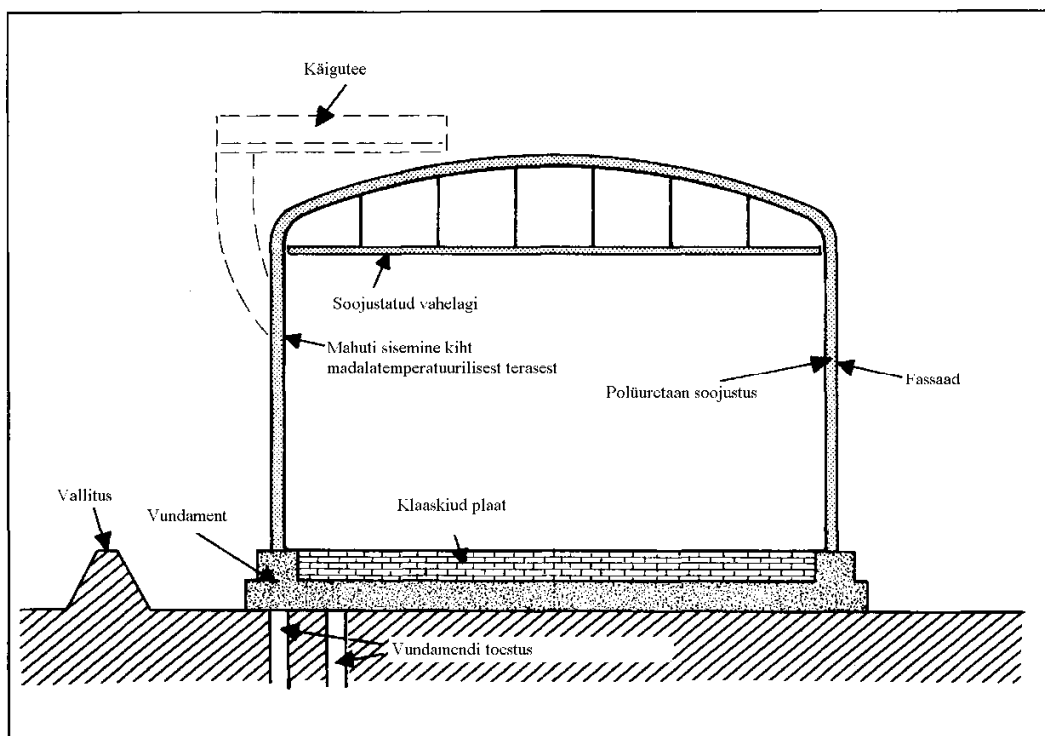
- 42,1°C) käitlemiseks ning tänu sellele saab kasutada sama seadmestikku ka teistel käideldavatel toodetel. Et tagada paindlikus, kasutatakse kaheastmelist jahutamist.

Esimeses astmes jahutatakse C3 ja C4 0°C-ni ja teises astmes jahutatakse vaid C3 -30°C-ni. Kui lõpp tooteks on LPG (C3 ja C4 segu etteantud vahekorras), suunatakse mõlemad produktid peale jahutamist segajasse, kus need sobivas vahekorras kokku segatakse. Jahuti on põhimõtteliselt soojusvaheti. Kasutatakse klassikalist horisontaalset torusoojusvahetit, mis peab vastama tehnilistes tingimustes esitatud nõuetele. Primaarpoole peal on käideldav toode mida tarvis jahutada ja sekundaarpoolel ehk jahutaval on puhas propaan. Sekundaarpoole propaan on ladustatud eraldi ja ei puutu kokku tehnoloogilise skeemiga. Jahutist suunatakse tooted edasi krüomahutitesse.

### 3.1.4. Krüomahuti.

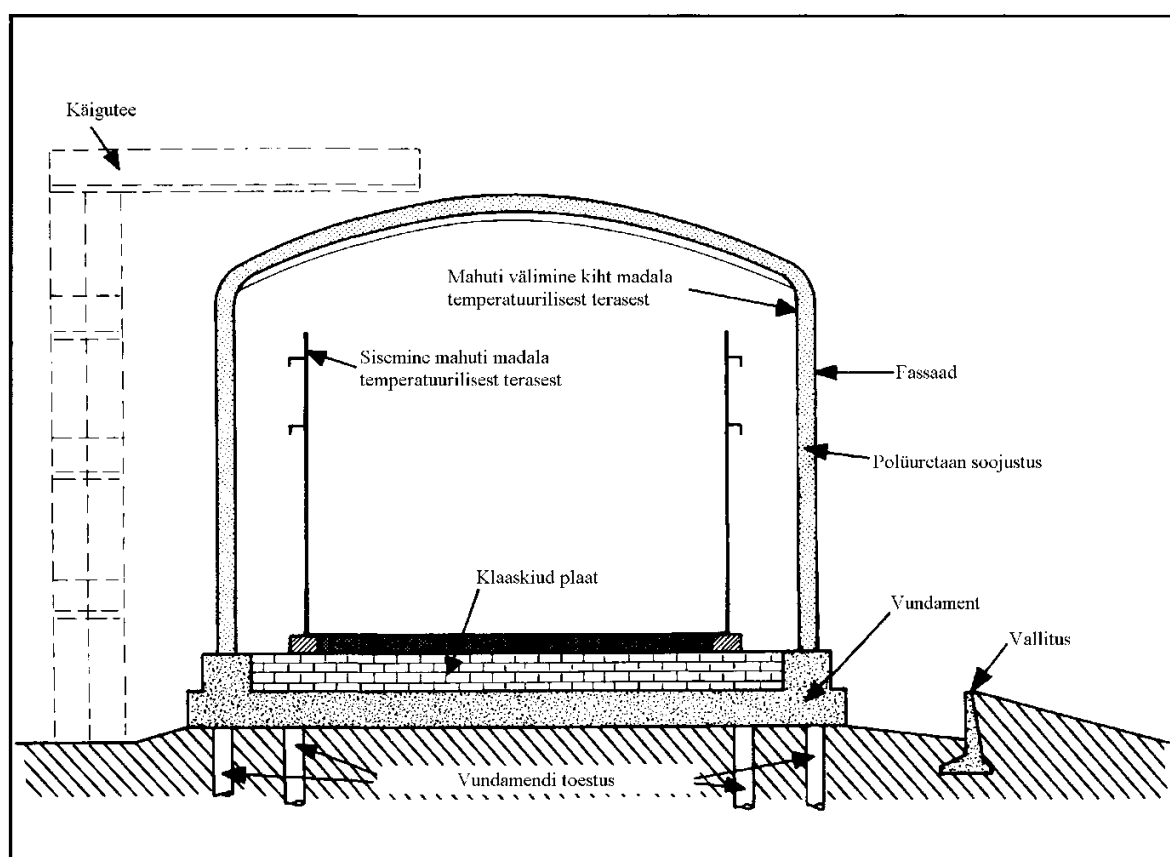
Maalimas on kasutusel mitmeid erinevate tehnilisete lahenditega krüomahuteid hoiustamiseks vedeldatud gaase. Kõigil neil on oma plussid ja miinused, sõltuvalt väliskeskkonna parameetritest, hoiustatavast tootest ning ennekõike nende ohutuse aspektidest. Peamised kolm mahuti tüüpi on nn „Single Containment Tank“, „Double Containment Tank“ ja „Full Containment Tank“.

Single Containment Tank on üheseinaline soojustatud mahuti (sele 7). Mahuti on konstrueeritud selliselt, et sisemine kiht peab kannatama tootest tulenevaid madalaid temperatuure. Väline kiht mahutil on mõeldud soojustusmaterjali kaitseks ning paigalhoidmiseks. Samuti täidab see turvalisuse rolli, sest mahuti lekke korral on võimalik täita sise- ja väliskihi vaheline alal lämmastikuga. Välimine kiht ei ole mõeldud lekke korral kinni hoidma vedeldatud gaasi. Selle tarbeks on mahuti ümbritsetud vallitus-alaga. [18: lk 120]



Sele 7. Ühekihiline LPG mahuti [18: lk 120]

Double Containment Tank on edasiarendus eelmisest kirjeldatud mahutist millele on lisatud välimine kiht (sele 8). Mahuti on konstrueeritud selliselt, et nii sisemine kui väline mahuti on iseseisvalt võimelised kinni hoidma vedeldatud toodet. Et vähendada ohuala mahuti lekke korral, ei tohi väline kiht asetseda sisemisest kaugemal kui 6 meetrit. Samuti on väline kiht võimeline lekke korral hoidma kinni vedeldatud gaasi kuid ei ole mõeldud kinni hoidma eralduvaid gaase. [18: lk 122]



Sele 8. Kahekihiline LPG mahuti [18: lk 122]

Full Containment Tank on kahekordse põhja, kahekordse ümbrise, kahekordse katusega vertikaalne silindriline mahuti. Põhimõtteliselt on tegemist „mahuti mahutis“ tüüpi süsteemiga, milles sisemine mahuti talub madalaid temperatuure ja hüdrostaatilist rõhku, mis kaasneb LPG ladustamisega. Sisemise mahuti lekke korral peavad mahuti väliskest ja põhi taluma LPG hüdrostaatilist rõhku, temperatuuri ja eralduvate gaaside rõhku. Tavapärasel kasutamisel toimib välimine kontsentiline mahuti

lämmastikgaaside madala surve hoidjana ning täidab ühtlasi mahuti isolatsiooni seisukohast aurutõkke ülesannet. [18: lk 122]

Terminali asukoha arvestades ning täites kõrgeid ohutusnõudeid on Full Containment Tank tüüpne mahuti sobivaim. Mahuti põhimõtte joonis on toodud välja lisana (vt lisa 4).

Nimetatud mahuti eelised võrreldes teiste mahutitega.

- Nii mahuti välimine kiht kui katus on ümbritsetud eelpingestatud betooniga. See tagab ohutuse teiste lähedal asuvate mahutite võimalike õnnetusjuhtumite korral (BLEVE).
- Mahutil on topelt katus, mis aitab tulenevalt ümbritseva keskkonna madalast temperatuurist paremini kontrollida mahutisisest temperatuuri ja kondensatsiooni teket
- Lähedal asuvad LPG survemahutid kujutavad õnnetusjuhtumi korral ohtu krüomahutitele.
- Krüomahutid on ohuks lähedalasuvatele tootmishoonetele.

Võrrelduna teiste eelpool nimetatud mahutitega on Full Containment tüüpsed mahutid turvalisemad.

### **3.1.5. Krüomahuti pump**

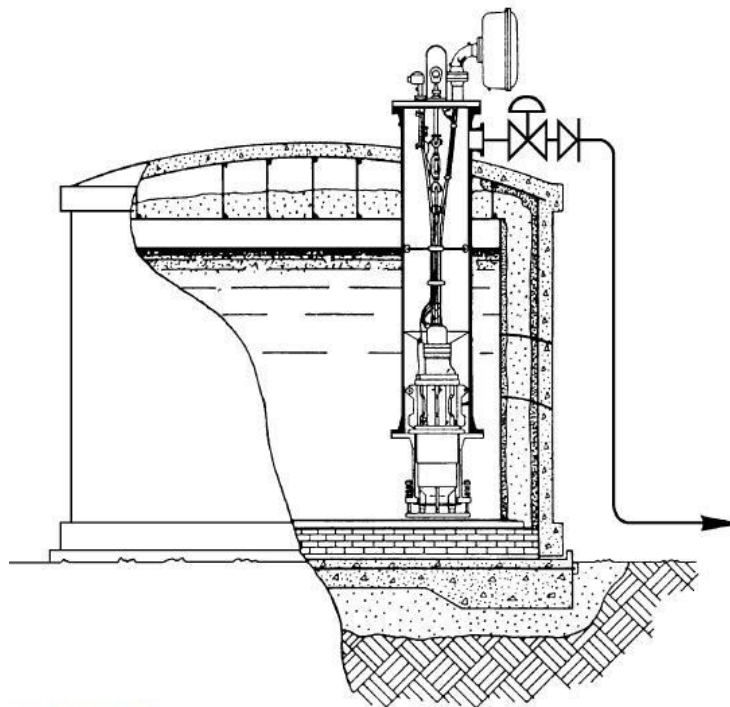
Põhimõtteliselt on võimalik võtta toode välja krüomahutist kolme erineva pumba lahendusega.

- mahutisse uputatav pump
- mahuti katusele paigaldatav pump selliselt et mootor asub katusel ja hüdraulika osa mahutis.
- mahuti väljundtoruliini vahele monteeritav pump.

Soovituslik on kasutada kompaktselt uputatavat pumpa kuna selle kasutamise mugavus ja paindlikus on kõige suuremad (sele 9). Pump lastakse mahuti katuselt pumba kaevu ning nii mootor kui hüdraulika puutuvad tootega kokku. Tänu selle jääb ära täiendav jahutuse- ja määrimisesüsteem kuna käideldav toode täidab selle rolli. Investeeringuna on sellist tüüpi pumba kasutamine kõige kallim variant. Miinuspooleks sellise lahendi puhul on keeruline paigaldus kuna seade on vaja tõsta mahuti kohale ning tervest tükis ilma vigastamata lasta pumba kaevu.

Eelised võrrelduna mahuti välistoruliini pumba ja „pika võlliga“ pumbaga

- Ei ole vaja võlli tihendite süsteemi.
- Pika võlliga pumba puhul on vaja toetada võll pumbakaevus (tsentreerimine, vibratsioon)
- Mõlemad pumbad vajavad tihendisüsteemi, et toode välja ei lekiks. See tähendab aga potentsiaalset lisaohu allikat, kuna on vajalik jälgida tihendite seisukorda, tihendvedeliku taset ning omada laos varuosasid.
- Mahuti kõrvale väljundliinile paigaldatava pump eeldaks mahuti konstruktsiooni muutmist kuna väljavõte tuleb teha küljelt.
- Uputatava pumba kasutamine on krüomahutites kõige kaasaegsem lahendus



Sele 9. Uputatav pump krüomahutis [16]

## KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös on käsitletud Alexela Terminal AS LPG terminali laienemiseks vajalikke tehnoloogiaid ning tehnilist seadmestikku. Olemasoleva butaani mahutipargi laiendusena on plaanitud ehitada LPG terminal.

Esimeses osas antakse ülevaade vedeldatud naftagaasi saamisest, kasutamisest ning ajaloost. LPG on kombinatsioon propaanist (C3, keemispunkt atmosfääri rõhul  $-42,1^{\circ}\text{C}$ ), butaanist (C4 keemispunkt atmosfääri rõhul  $-0,5^{\circ}\text{C}$ ), sisaldades vähesel määral ka teisi ühendeid. LPG on tuleviku energia, mida on kerge transportida ja kasutada tänu tema võimele veelduda rõhu või temperatuuri toimetel. Lisaks on LPG kütteväärtus võrreldes teiste tavakütustega kõrgem mille tõttu saame teda säästlikumalt kasutada.

Teises osas on käsitletud võimalikke keskkonna mõjusid ja ohte, mis võivad kaasneda terminali käikuvõtmise ja käitlemise protsessis. Võimalikud õnnetused planeeritavas terminalis on kemikaalide avariiline väljavool ning tulekahju ja/või plahvatus. Tulenevalt seaduses ette nähtud kaitsekihtidest on planeeritav terminal varustatud ohutustehnikaga, et viia võimaliku õnnetusjuhtumi tõenäosus miinimumi lähedale.

Kolmandas peatükis on käsitletud protsesse, mis on vajalikud terminali toote sissevõtmise, hoiustamise ning väljastamise seisukohalt. Raskuskoht planeeritavas terminalis on käideldavate toodete rohkus kuna üldlevinult opereerivad terminalid vaid ühe või kahe vedelgaasiga. Sellest tulenevalt on äärmiselt oluline teada ning jälgida käideldavate toodete veeldumise temperatuure ja rõhkusid. Lisaks on vajalik hoida toote gaasiline- ja vedelfaas vastavalt tehnoloogilisele skeemile üksteisest lahus.

Käesolev projekt on erijuht ja planeeritava terminali tehnoloogiline skeem ning tehniline seadmedistik on projekteeritud vastama propaani käitlemiseks vajalikele nõudmistele. Tehnilise lahendi erinevused võrrelduna klassikalise lähenemisega eristuvad kõige selgemini raudtee vagunite mahalaadimisel. Klassikalises lahendis sooritatakse mahalaadimise protseduur 4-tee ventiili ning kompressoriga, mis surub vedelgaasi vagunist välja. Alexela Terminal AS-is kasutatakse mahalaadimisel iga vaguni juures

kompressorit ning pumpa. Selline lahend tagab inimfaktorist tuleneva riski minimaliseerimise, protsessi sujuvuse kontrollimise ning võimaliku lubatud maksimaalse mahalaadimise kiiruse. Samas esitab selline lahend aga tõsise väljakutse algoritmile, mis seda protsessi juhtima hakkab. Tulenevalt terminali geograafilisest asukohast ning paiknemisest on projektis kasutatud nn „Full Containment Tank“ tüüpeid krüomahuteid, mis tänu topelt katusele, võimaldab paremini kontrollida mahutisest temperatuuri. Lisaks on mahuti katus ning küljed kaetud eelpingestatud betooniga, mis tagab lisaturvalisuse võimaliku lekke või õnnetusjuhtumi korral.

Lõputöö on koostatud Alexela Terminal AS-i tarbeks kuna Eestis sarnast tehnoloogiat ega terminali veel ei eksisteeri. Hetkel on käimas läbirääkimised planeeritava terminali laienduse vahetus läheduses asuvate maatükkide omanikega ja loodetavasti saab peatselt alustada ehitus tegevust. Probleemiks terminali tehniliste seadmete tarnel võib osutuda kohaliku turu pakkujate vähene teadlikus kasutatavatest standarditest (API, BS). Planeeritava terminali laienduse maksumus jääb suurusjärku 160 miljoni eurot.

Keskkonna aspektist lähtudes on tegu kõige keskkonnasäästlikuma kütuseliigiga. Majanduslikust aspektist lähtudes võimaldab LPG kasutusele võtmine meil kütuse arvelt kõige rohkem säästa. Seda arvestades omab LPG kasutuselevõtt tähtsat sammu uue säästlikuma ja keskkonna sõbralikuma suuna kujundamises.

## SUMMARY

Subject of the thesis is „Technology and technical solution of LPG terminal based on Alexela Terminal AS”. As there is no terminal yet in Estonia that operates with Liquefied Petroleum Gas (LPG) in so big scene, the object of the work was to study and analyze technologies and different technical solutions. Thesis is divided in three main parts where on the first part the overview of usage, history and composition of LPG is given. The second part is focused on the risks that may occur in operating terminal and what influence they would have to the environment. The third part explains step by step the Process Flow Diagram and compares different technical solutions. Main difference in between this project compared to traditional LPG terminal is that there are more products handled. That sets really high technical demands to all the equipment. Another difference is on unloading railcars. In general it done by creating overpressure to railcar and then this pressure presses out the liquid gas but in Alexela Terminal AS in addition to compressor we are going to use vane pumps for unloading. That provides us with better control over unloading procedure whilst eliminating the risk of human error. The minus for that solution is the complexity of the algorithm that needs to be created to control this system.

As this project at the moment is on the design phase the understandings of how and why are really crucial. Hopefully Alexela Terminal AS will agree the contract soon and the project estimated worth of 160 million Euros will start.

## VIIDATUD ALLIKAD

1. AS Alexela Terminal [WWW]  
<http://www.alexelaterminal.ee/index.php?id=10472> (20.04.2013)
2. Google [WWW]  
<http://mw2.google.com/mw-panoramio/photos/medium/40045933.jpg> (20.04.2013)
3. LPG exeptional energy [WWW]  
<http://www.exceptionalenergy.com> (28.02.2013)
4. AWS Group [WWW]  
<http://www.awsgroup.co.za/data/L.P.G.pdf>
5. SHV Energy [WWW]  
<http://www.shvenergy.com> (28.02.2013)
6. Biomass Energy Portal [WWW]  
[http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?\\_pageid=75,20041&\\_dad=portal&\\_schema=PORTAL](http://www.biomassenergycentre.org.uk/portal/page?_pageid=75,20041&_dad=portal&_schema=PORTAL) (20.04.2013)
7. Hendrikson & Ko [WWW]  
[http://www.hendrikson.ee/et/avalikud-dokumendid/cat\\_view/41-harjumaa/239-pallase-piirkond-16-ja-18-ning-laehtala-ehk-alexela-terminali-laienduse-dp-ja-ksh/268-ksh-dokumendid/269-ksh-aruande-lisad.html](http://www.hendrikson.ee/et/avalikud-dokumendid/cat_view/41-harjumaa/239-pallase-piirkond-16-ja-18-ning-laehtala-ehk-alexela-terminali-laienduse-dp-ja-ksh/268-ksh-dokumendid/269-ksh-aruande-lisad.html) (20.02.2013)
8. Riigiteataja [WWW]  
[https://www.riigiteataja.ee/aktalisa/1291/2201/1188/VV28\\_lisa.pdf#](https://www.riigiteataja.ee/aktalisa/1291/2201/1188/VV28_lisa.pdf#) (20.04.2013)
9. EVS-EN 61511-3:2005 - Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector -- Part 3: Guidance for the determination of the required safety integrity levels
10. Informations sur les accidents technologiques [WWW]  
[http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/1\\_feyzin\\_gc\\_ang.pdf](http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/1_feyzin_gc_ang.pdf) (04.04.2013)
11. Sozogaku [WWW]  
<http://www.sozogaku.com/fkd/en/hfen/HC1300001.pdf> (04.04.2013)

12. ARIA Database [WWW]  
<http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/ressources/feyzin.jpg> (20.04.2013)
13. Engineering toolbox [WWW]  
[http://www.engineeringtoolbox.com/propane-butane-mix-d\\_1043.html](http://www.engineeringtoolbox.com/propane-butane-mix-d_1043.html) (03.05.2013)
14. Engineering toolbox [WWW]  
[http://www.engineeringtoolbox.com/propane-butane-mix-d\\_1043.html](http://www.engineeringtoolbox.com/propane-butane-mix-d_1043.html) (03.05.2013)
15. About.Com [WWW]  
<http://math.about.com/od/formulas/a/temp.htm> (03.05.2013)
16. Ettevõtte sisene materjal
17. Bahr Pump AS [WWW]  
[http://www.pump.ee/ee/komm\\_npsh.shtml#](http://www.pump.ee/ee/komm_npsh.shtml#) (03.05.2013)
18. McGuire and White (2000). Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals.  
Third edition. London: Witherby & Co Ltd. 294 lk.

**LISAD**

### Lisa 1. Riskiallikate kaitsekihtide analüüsi skeem [7: lk 14 - 15]

| Ohtlik objekt                          | Rajatav veeldatud gaasi terminal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Protsessi ohutus</b>                | <p>1.1 Kõikide mahutite paigaldus</p> <p>1.2 Mahutite vahelised kujud</p> <p>1.6. Mahuti vallitus alades võivad olla vaid mahuti täitmise/tühjendamise torustikud.</p> <p>1.8. Mahutite vallitus-aladele tuleb ette näha drenaaž, mis peab välistama võimalike gaasiaurude lekke ümbritsevale territooriumile.</p> <p>2. Kõik LPG käitlemiseks kasutatavad torustikud peavad olema õmbluseta terastorud. Äärikud ja armatuur peavad olema isoleeritud. Isolatsiooni kinnitused peavad olema tulepüsivad.</p> <p>2.1. Torustik viiakse tee alt läbi raudbetoonist tunneli sees.</p> <p>2.1. Torustikel paiknevad kahel pool enne tunnelisse sisenemist ja väljumist kiirusvoolu kaitseklapid.</p> <p>3. Pumbad ja kompressorid isoleeritud ei tohi asuda vallitus alas.</p> <p>3.1. Kõik ehituskonstruktsioonid laadimiskohtadel peavad olema terasest, kaetud tulekindla värviga.</p> <p>3.3 maandussüsteem. Automaatne maanduskontrolli süsteem</p> <p>3.6 Laadimisliin peab olema varustatud kaitseklappidega</p> <p>4. Elektri-seadmed laadimiskohtadel peavad olema plahvatuskindlas teostuses. Kõikide elektri-seadmete toide on dubleeritud</p> |
| <b>Protsessi jälgimine ja kontroll</b> | <p>1.4. Gaasidetektorite ja leegiandurite automaatne info edastus operaatori ruumi</p> <p>1.2.1 Tasemeandurid. Igal mahutil peab olema eraldi sõltumatu tasememõõtmise süsteem.</p> <p>1.2.4 Armatuur. Kõik sulgventiilid peamistel täitmis- ja tühjendusliinidel on elektrijuhtimisega ja toite katkemisel isesulguvad.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Rikkele reageerimine</b></p>    | <p>1.3. Gaasi-detektorid ja leegiandurid<br/> 1.2.2 Kaitseklapid.<br/> 1.2.3 Temperatuuri ja rõhuandurid.<br/> 1.2.5 Mahutite dreneerimine. Mahutite dreneerimis-ventiile 2 tk. Üks neist vedrukäepidemega ventiil.<br/> 2.1. Kanal on varustatud gaasianalüsaatoritega.<br/> 3. Pumpade juures peavad olema gaasidetektorid ja kaitseklapid.</p> <p>3. Pumpade seiskamine peab olema võimalik distantisilt.</p> <p>3.4. Produkti laadimistorustikel on elektrilise ajamiga ventiilid, mis sulguvad kohe peale pumpade väljalülitumist.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <p><b>Ohutust tagavad meetmed</b></p> | <p>1.5. Tuletõrje-süsteemi käivitumisel suletakse kõik elektriajamiga ventiilid ja seisatakse pumbad.<br/> 1.2.4. Käsijuhtimisega armatuur korral kasutatakse vedrukäepidemega ventiile Ventiil sulgub kohe kui lasta käepide vabaks.</p> <p>3. Pumpade ja kompressorite juurde peavad olema paigutatud gaasianalüsaatorid.</p> <p>3.2. Laadimiskohad peavad olema varustatud tuletõrjevee süsteemiga.<br/> 3.4. Laadimiskohtadel peavad olema gaasidetektorid ning leegiandurid Laadimiskohad on varustatud avarii-väljalülituse ventiiliga.</p> <p>3.5. Laadimisvoolikud/laadimisvarred peavad olema varustatud spetsiaalsete laadimisotsikutega, mis automaatselt sulgeb vooliku otsa peale seadme lahtiühendamist.</p> <p>3.6. laadimisliin peab olema varustatud kaitseklappidega.</p> <p>7. tagada mahutite, seadmete ja torustike võimalikult suur tulepüsivus spetsiaalsete tulekaitse värvidega ja isolatsiooniga.<br/> Sfääriliste mahutite terasjalad betoneeritakse täis ja värvitakse tulekaitsevärviga.<br/> Mahutite kustutamiseks ja jahutamiseks on võimalik kasutada statsionaarseid kustutus/jahutusvee monitore.<br/> Gaasidetektoritest ja leegidetektoritest tuleva häiresignaali peale käivitab operaator tuletõrjevee süsteemi.</p> <p>7 Kogu territoorium on piiratud 2,5 m kõrguse piirdega (koos ülemise kaldpiirdega). Territooriumi välispiire on valgustatud. Sisepääs territooriumile on läbi turvaruumi.</p> |
| <p><b>Personali sekkumine</b></p>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <p><b>Välisabi</b></p>                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

## **Lisa 2. Process Flow Diagram: LPG Rundown storage & export**



### **Lisa 3. List of symbols**



#### **Lisa 4. Full Containment LPG storage tank**



## **Lisa 5. Alexela Pladiski AS LPG and Oil terminal**

