

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Martin Seetur

RS090

AMMONIAAKI KASUTAVATE KÜLMHOONETE RISKID

Lõputöö

Juhendaja:

Kady Danilas, MA

Kaasjuhendaja:

Ants Tammepuu, MA

Tallinn 2013

ANNOTATSIOON

SISEKAITSEAKADEEMIA

Kolledž: Päästekolledž	Kuu ja aasta: Mai 2013
Töö pealkiri: Ammoniaaki kasutavate külmhoonete riskid	
Töö pealkiri võõrkeeles: Risks of cold storage plants using ammonia	
Töö autor: Martin Seetur	Olen nõus oma lõputöö kättesaadavaks tegemisega elektroonilises keskkonnas.
Allkiri:	
<p>Lühikokkuvõte:</p> <p>Käesolev lõputöö on kirjutatud teemal „Ammoniaaki kasutavate külmhoonete riskid”. Lõputöö pikkuseks on 40 lehekülge. Lõputöö sisaldab 11 tabelit ja 10 joonist. Töö on kirjutatud eesti keeles ja võõrkeelne kokkuvõte on inglise keeles.</p> <p>Lõputöö eesmärgiks on ülevaate loomine ammoniaagi baasil töötavatest külmutusseadmetest ja nende riskidest ning juhiste väljatöötamine ammoniaaki kasutavate külmhoonete riskianalüüside koostamiseks. Eesmärgi saavutamiseks kasutatakse uurimismeetodina teoreetilist uurimust ehk dokumendianalüüsi.</p> <p>Lähtudes uurimuse tulemustest teeb lõputöö autor erinevaid soovitusi juhendi koostamiseks.</p>	
Võtmesõnad: Külmhoone, ammoniaak, riskid, ohutusmeetmed	
Võõrkeelsed võtmesõnad: cold storage plant, ammonia, risks, safety measures	
Säilitamise koht: Sisekaitseakadeemia	
Kaitsmisele lubatud	
Kolledži direktor: Margus Möldri	Allkiri:
Vastab lõputöö nõuetele	
Juhendaja: Kady Danilas	Allkiri:

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. AMMONIAAKI KASUTAVAD KÜLMUTUSSEADMED.....	6
1.1. Erinevate külmutusseadmete ehitus	6
1.2. Ammoniaagi omadused.....	13
1.3. Külmhoonete õnnetused.....	15
1.4. Külmhoonete riskiallikad	18
1.5. Külmhoonete õnnetusi ennetavad ja tagajärgi leevendavad meetmed.....	21
1.6. Ohualade arvutamine	25
2. AMMONIAAKI KASUTAVAD KÜLMHOONED EESTIS JA NENDE RISKID	27
2.1. Külmhoonete paiknemine	27
2.2. Külmhoonete tüübid/liigid	27
2.3. Külmhoonete riskid.....	28
2.4. Riski maandamismeetmed	30
2.5. Külmhoonete ohualad ja arvutamise tingimused	31
3. TULEMUSTE ANALÜÜS JA ETTEPANEKUD RISKIANALÜÜSI	
KOOSTAMISEKS	32
3.1. Külmutusseadmete ehitus.....	32
3.2. Võimalikud õnnetused ja toimumise kohad.....	32
3.3. Õnnetuste põhjused	33
3.4. Riski maandamismeetmed	34
3.5. Ohuala	34
KOKKUVÕTE.....	36
SUMMARY	38
VIIDATUD ALLIKATE NIMEKIRI	39
TABELITE JA JOONISTE LOETELU.....	41
LISA 1. KÜLMHOONETE OHUALADE JA ARVUTAMISE TINGIMUSED	42

LISA 2. JUHISED AMMONIAAKI KASUTAVATE KÜLMHOONETE RISKIANALÜÜSIDE KOOSTAMISEKS.....	43
--	----

SISSEJUHATUS

Ammoniaak on mürgine gaas, mida kasutatakse Eestis 31 külmoone seadmetes.¹ Vastavalt kemikaaliseadusele kuuluvad sellised külmooned ohtlike ettevõtete kategooriasse ja on seega kohustatud analüüsima õnnetuste riske. Riskide analüüsimise eesmärgiks on anda ettevõtjale teadmised riskidest ja riskiallikatest ning sisend ennetus- ja leevendusmeetmete planeerimiseks. Samuti on riskide hindamise tulemusena koostatud riskianalüüs oluline dokument ettevõtteväliste tegevuste planeerimiseks nagu õnnetusteks valmisolek ja ruumiline planeerimine.

Tänaseks on Päästeametile esitatud nõutud riskianalüüsid ligemale 50% külmoone kohta. Tehnilise Järelevalve Ameti ja Päästeameti külmoone riskianalüüside koostamise praktikast on selgunud, et külmoone ettevõtjad on riskianalüüside koostamisel raskustes ja koostamiseks esitatud analüüside sisus esineb puuduseid ning ühesuguste ettevõtete analüüside tulemused (sh ettevõtte ohuala kui oluline näitaja ettevõttevälise valmisoleku ja planeerimistegevuse juures) ei ole võrreldavad.

Tulenevalt eelnevast on vajadus saada külmoone riskidest süstemaatiline ülevaade ja koostada selle põhjal ettevõtjatele täpsemad juhised, millest riskide analüüsimisel lähtuda. Selline ülevaade ja juhised on kasutatavad ka kemikaaliohutuse järelevalve spetsialistide koolituses ja töös.

Lõputöö eesmärgiks on ülevaate loomine ammoniaagi baasil töötavatest külmutusseadmetest ja nende riskidest ning juhiste väljatöötamine ammoniaaki kasutavate külmoone riskianalüüside koostamiseks.

¹ „Ohtlike ettevõtete nimekiri”, andmebaas, Päästeameti kriisireguleerimise osakond (2013).

Lõputöö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmised uurimisülesanded:

- Analüüsitakse ammoniaagi külmutusseadmete tööpõhimõtteid võimalike õnnetuste aspektist
- Antakse ülevaade ammoniaagi külmhoone riskidest
- Koostatakse ülevaade Eesti ammoniaaki kasutavate külmhoonete süsteemidest ja riskianalüüside tulemustest
- Kaardistakse tänastes riskianalüüsides esinevad probleemkohad
- Lähtudes kaardistatud riskidest töötatakse selgunud probleemkohtade osas välja juhised riskianalüüsi koostamiseks

Eesmärgi saavutamiseks kasutatakse uurimismeetodina teoreetilist uurimust ehk dokumendianalüüsi.

Töö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis kirjeldatakse külmutusseadmete ehitust, külmhoonete riske ja võimalikke õnnetusi, ammoniaagi omadusi ja ohualade arvutust. Teises peatükis kajastatakse Eesti külmhoonetete ehitust, nende riske ja riskide maandamise meetmeid. Kolmandas peatükis autor teeb kokkuvõtte analüüsides ja võrdleb neid ning teeb ettepanekud riskianalüüside koostamiseks.

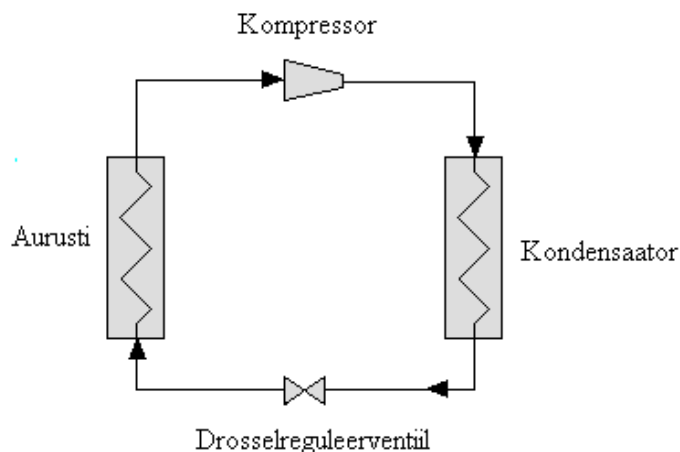
Autor tänab lõputöö juhendajat Kady Danilast, kaasjuhendajat Ants Tammepuud ja kõiki lõputöö valmimisele kaasa aidanud inimesi.

1. AMMONIAAKI KASUTAVAD KÜLMUTUSSEADMED

1.1. Erinevate külmutusseadmete ehitus

Ammoniaaki kasutavate külmhoonete riskide paremaks mõistmiseks, kirjeldab autor süsteemi ehitust ja tööpõhimõtet ning toob välja erinevate süsteemide erisused.

Kõige algelisem külmutusseade on auru-kompressor külmutusseade, mis vajab teoreetiliselt kõigest nelja komponenti – aurusti, kompressor, kondensaator ja drosselreguleerventiil. Kõik need seadmed on torustiku abil omavahel ühtseks süsteemiks ühendatud.²



Joonis 1. Auru-kompressor külmutusseadme ehitus³

Antud külmutusseadme põhjal saab kirjeldada külmutusseadmete töö põhimõtet. Jahutusprotsess toimub kohaks on aurusti, kus madalal rõhul olev vedel ammoniaak aurustub jahutatavalt objektilt saadava soojuse mõjul. Ammoniaagi aur imetakse aurustist kompressori abil, mis komprimeerib selle kõrgele rõhule ja temperatuurile. Kuum komprimeeritud agensiaur liigub edasi jahutamiseks kondensaatorisse, kus

² Gangopadhyay, R.K. ja Das, S.K., „Ammonia Leakage from Refrigeration Plant and the Management Practice“, *Process Safety Progress* (2007), vol.27, No.1, 15-20, p 15.

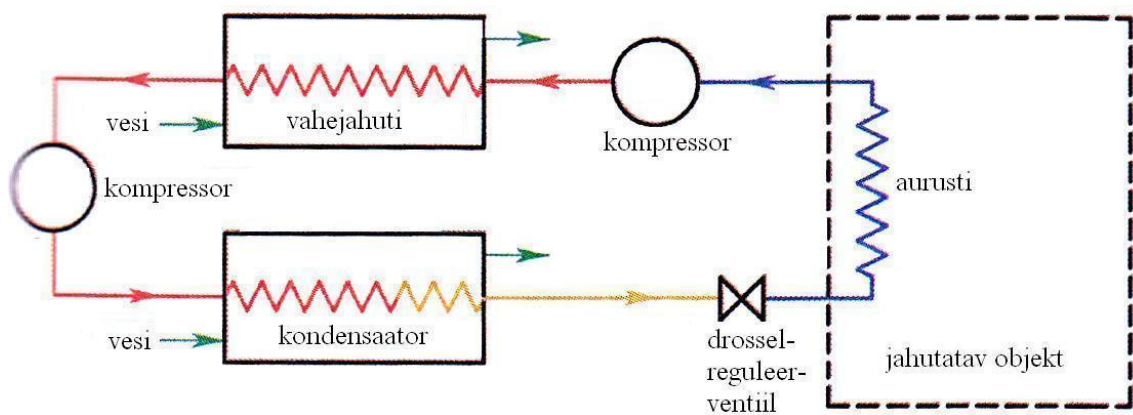
³ Ibid, p 15.

agensiaur kondenseerub vedelasse olekusse. Kondensaatorist väljuv kõrgel rõhul olev vedel agens liigub rõhu alandamiseks läbi drosselreguleerventiili aurustisse, kus toimub jälle jahutusprotsess.⁴

Lisaks neljale põhikomponendile võib külmutusseadme ehituses kasutada teisi seadmeid – vaheanum, vahejahuti, ökonomaiser, siugtoru ja ejektor. Nende kasutusele võtmisega on võimalik koostada kaheksa erinevat külmutusseadet võttes arvesse nende tööpõhimõtteid.⁵

Mittetäieliku vahejahutusega kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade

Joonisel 2 kujutatud külmutusseade koosneb kahest kompressorist või ühest kaheastmelisest kompressorist, aurustist, kondensaatorist, vahejahutist, drosselreguleerventiilist ning neid ühtseks süsteemiks ühendavast torustikust. Külmutusseade erineb auru-kompressor külmutusseadmest seetõttu, et tema ehituses on kasutatud kahte kompressorit, vahejahutit ja kondensaatorit ning nad on ühendatud jadamis. Selline ehitus tagab agensi jahutamise madalamale temperatuurile kui eelneval seadmel.⁶



Joonis 2. Mittetäieliku vahejahutusega kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade⁷

⁴ *Ibid*, p 16.

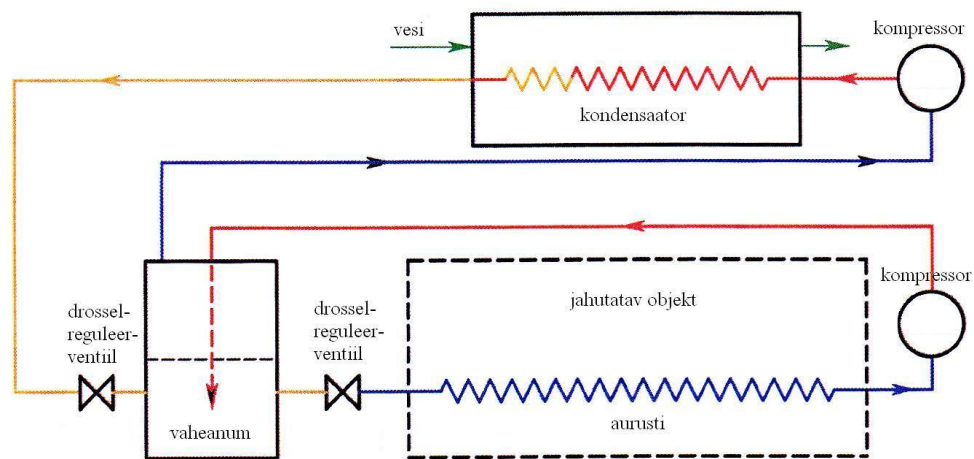
⁵ Albri, R., *Külmatehnika [I osa]*, Tallinn, Eesti Mereakadeemia, 2011, lk 84.

⁶ *Ibid*, lk 113.

⁷ *Ibid*, lk 113.

Täieliku vahejahutusega kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade

Külmutusseade, mis on kujutatud joonisel 3 koosneb kahest kompressorist või ühest kaheastmelisest kompressorist, aurustist, kondensaatorist, vaheanumast, kahest drosselreguleeriventiilist ja kõiki neid elemente omavahel ühendavast torustikust. Antud külmutusseade erineb mittetäieliku vahejahutusega kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseadmest sellepolest, et vahejahutina on kasutusel vaheanum, mis on ka kasutusel vedela külmutusagensi hoidmiseks madalal temperatuuril.⁸



Joonis 3. Täieliku vahejahutusega kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade⁹

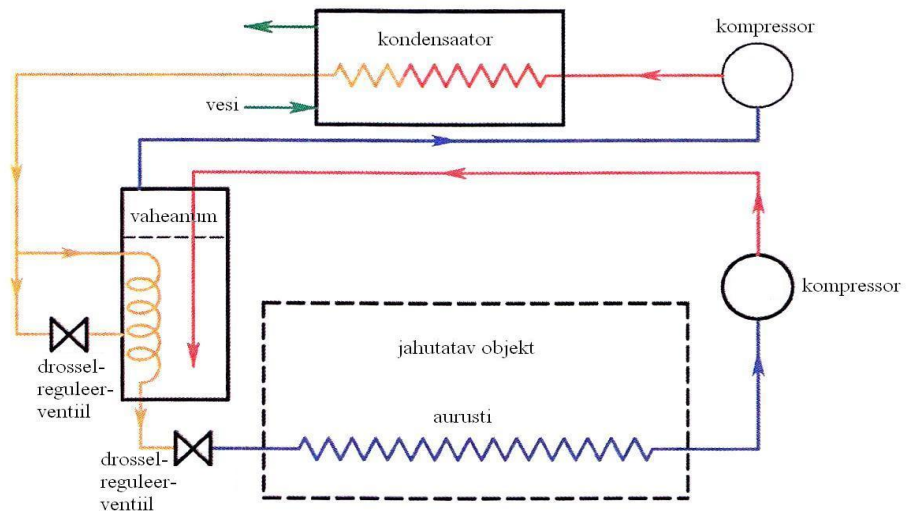
Täieliku vahejahutusega (siugtoru-vaheanumaga) kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade.

Joonisel 4 kujutatud külmutusseadme ehituses on kasutusel aurusti, kaks kompressorit, kondensaator, vaheanum, kaks drosselreguleeriventiili ja siugtoru. Kirjeldatud külmutusseade erineb eelmisest vaheanuma konstruktsiooni poolest. Sellist tüüpi vaheanumas jahutatakse aurustisse drosseldatav külmutusagens vaheanumat läbivas siugtorus.¹⁰

⁸ *Ibid*, lk 115-116.

⁹ *Ibid*, lk 115.

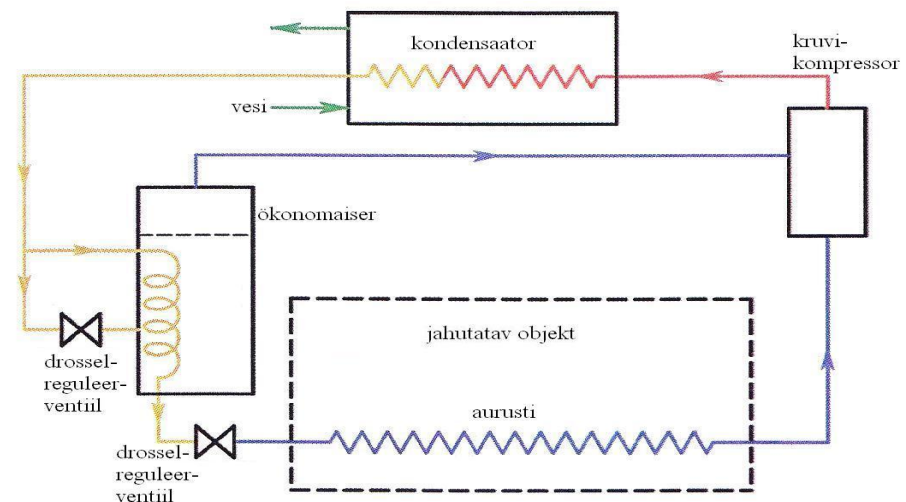
¹⁰ *Ibid*, lk 118-119.



Joonis 4. Täieliku vahejahutusega (siugtoru-vaheanumaga) kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade¹¹

Siugtoru-ökonomaiseriga kruvikompressor-külmutusseade

Külmutusseade, mis on kujutatud joonisel 5 koosneb aurustist, kruvikompressorist, kondensaatorist, ökonomaiserist, kahest drosselreguleerventiilist ja siugtorust. Kruvikompressori eeliseks aurukompressor-külmutusseadme ees on tema võime samaaegselt imeda külmutusagensi auru erinevate keemisrõhkudega soojusvahetitest, nagu näiteks aurusti ja ökonomaiser. Ökonomaiser on soojusvaheti, mille abil on võimalik efektiivselt maha jahutada kondensaatoris kondenseerunud sooja külmutusagensi.¹²



Joonis 5. Siugtoru-ökonomaiseriga kruvikompressor-külmutusseade¹³

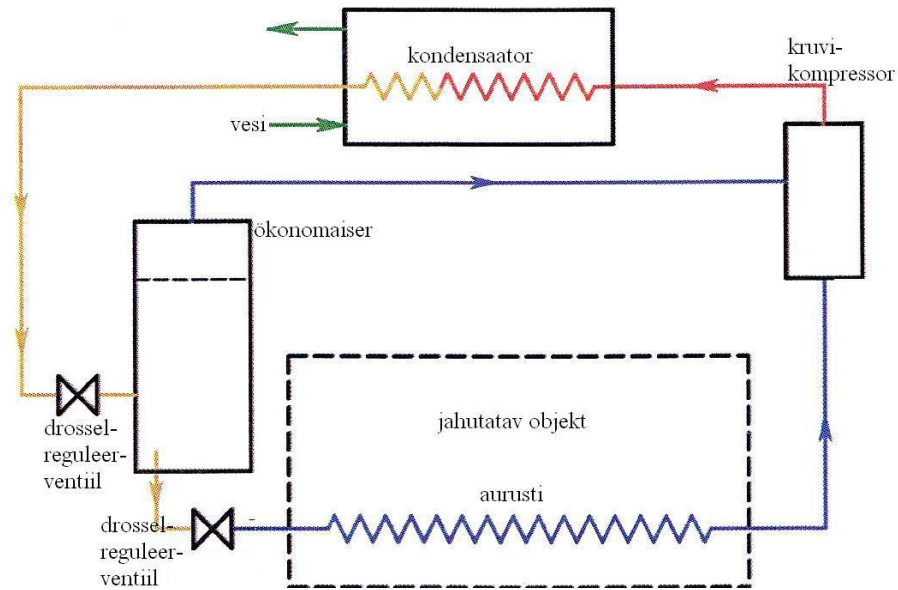
¹¹ *Ibid*, lk 118.

¹² *Ibid*, lk 125-126.

¹³ *Ibid*, lk 126.

Siugtoruta ökonomaiseriga kruvikompressor-külmutusseade

Joonisel 6 kujutatud külmutusseadme ehituses kasutatakse aurustit, kruvikompressorit, kondensaatorit, kahte drosselreguleerventiilid ja ökonomaiserit. milles puudub siugtoru. Tema tööpõhimõte erineb eelmise külmutusseadme omast seetõttu, et kondensaatorist välju külmutusagens suunatakse läbi drosselreguleerventiili otse ökonomaiserisse, kust külmutusagens drosseldatase aurustisse.¹⁴



Joonis 6. Siugtoruta ökonomaiseriga kruvikompressor-külmutusseade¹⁵

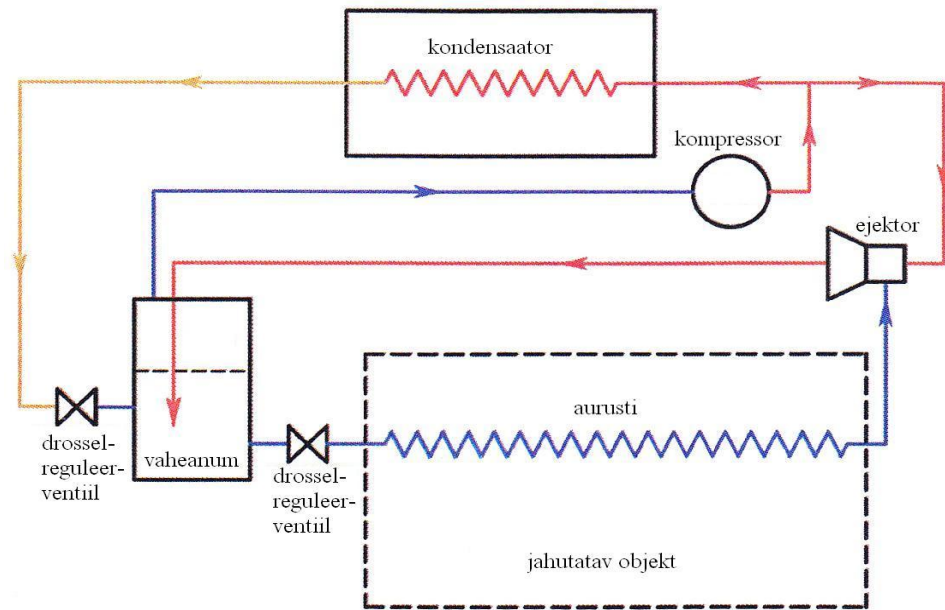
Kaheastmelise komprimeerimisega auruejektor-külmutusseade

Joonisel 7 kujutatud külmutusseadme ehituses on kasutusel aurusti, kompressor, kondensaator, kaks drosselreguleerventiili, vaheanum ja ejektor. Kirjeldatud külmutusseadme erinevus seisneb selles, et kompressorist väljuv agensiaur jaguneb kaheks ning üks osa agensist läbib ejektorit ja tekitab seal imiefekti, mille abil imetakse aurustist agensiauru.¹⁶

¹⁴ *Ibid*, lk 128-129

¹⁵ *Ibid*, lk 128.

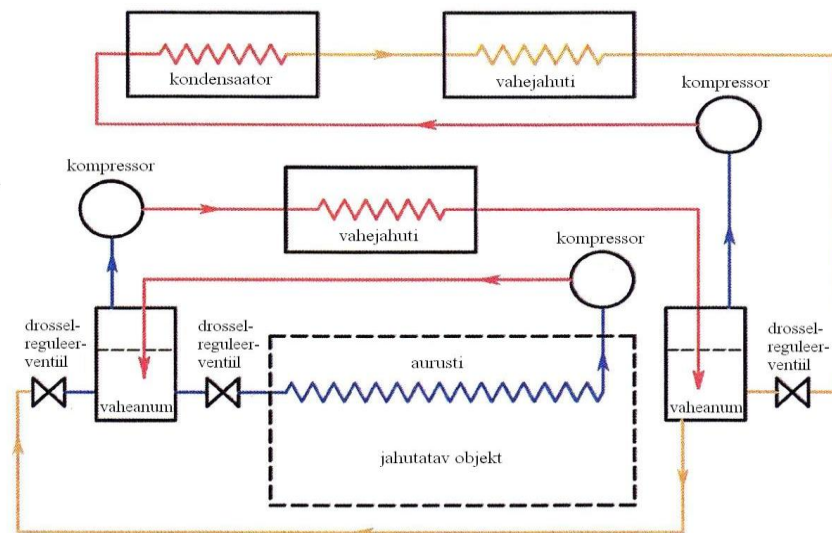
¹⁶ *Ibid*, lk 129-130



Joonis 7. Kaheastmelise komprimeerimisega auruežektor-külmutusseade¹⁷

Kolmeastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade

Külmutusseade, mis on kujutatud joonisel 8 koosneb aurustist, kondensaatorist, kahest vaheanumast, kahest vahejahutist, kolmest drosselreguleeriventiilist ja kolmest kompressorist. Kolmeastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseadme tööpõhimõte on põhimõtteliselt sama, mis kaheastmeliselgi.¹⁸



Joonis 8. Kolmeastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade¹⁹

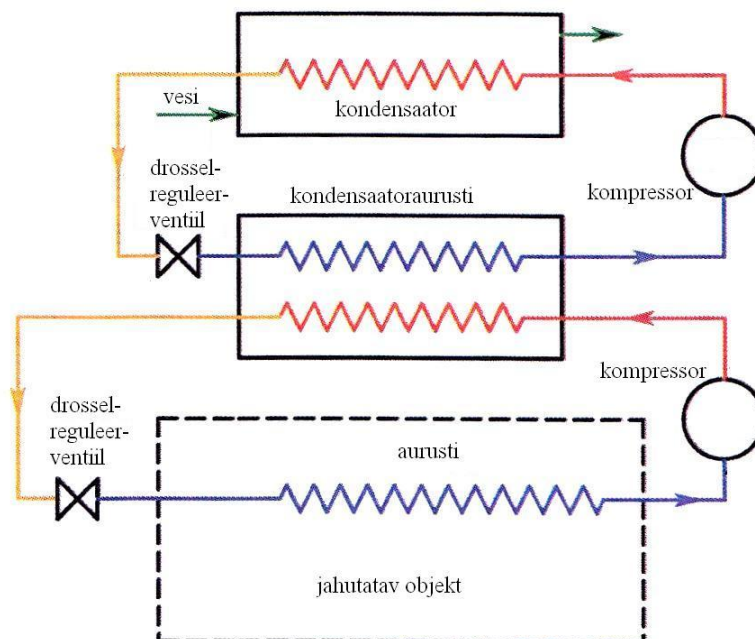
¹⁷ *Ibid*, lk 129.

¹⁸ *Ibid*, lk 130-133.

¹⁹ *Ibid*, lk 131.

Kaskaadkülmutusseade

Joonisel 9 kujutatud kaskaadkülmutusseade koosneb kahest või kolmest erineva külmutusagensiga töötavast külmutuseadmest ehk kaskaadist. Erinevad kaskaadid on omavahel ühendatud soojusvahetite ehk kondensaatoraurustite kaudud, mis on ühele kaskaadile aurusti ja teisele kondensaator.²⁰



Joonis 9. Kaskaadkülmutusseade²¹

Ammoniaaki kasutavate külmutusseadmete üheks tehniliseks probleemiks on see, et ta ei tööta orgaaniliste õlidega ja tuleb kasutada spetsiaalseid õliseparaatoreid. Teiseks probleemiks on ammoniaagi suhteliselt kõrge temperatuur kompressorist väljudes isegi keskmisel rõhul, selle probleemi lahenduseks on kaheastmelise süsteemi kasutamine. Probleemid ammoniaagi külmutusseadmetega on tehnilist laadi ja seetõttu lahendatavad ning kõigis olulistes aspektides on seda juba tehtud.²²

²⁰ *Ibid*, lk 133-135.

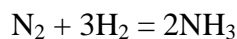
²¹ *Ibid*, lk 134.

²² Nydal, R., *Külmustehnika alused: praktiline käsiraamat*, Tallinn, The Swedish Society of Refrigeration, 1997.

1.2. Ammoniaagi omadused

Ammoniaagi molekulvalem on NH_3 . Tegemist on värvitu ja teravalõhnalise gaasiga, mis lahustub hästi vees. Ammoniaak on kergelt veelduv gaas, mille keemistemperatuur on $-33,4^\circ\text{C}$ ja sulamistemperatuur on $-77,7^\circ\text{C}$.²³

Ammoniaagi saamiseks reageerib lämmastik vesinikuga kõrgel temperatuuril ja rõhul katalüsaatorite abil²⁴:



Ammoniaaki kasutatakse külmutusagensina eelkõige tema heade termodünaamiliste omaduste tõttu, mis võimaldavad tal palju tõhusamalt kanda soojust kui teistel külmaagensidel. See on eriti sobiv vahemikus 0°C kuni -30°C .²⁵

Temperatuuril 260°C laguneb lämmastikuks ja vesinikuks. Lahustub halvasti määreõlides, kuid lahustub hästi vees: 700 l gaasi lahustub 1 l vees või 517 g/l, tekib ammoniumhüdraat $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, kusjuures 10%-list ammoniaagi vesilahust nimetatakse nuuskpiirituseks. Vedel NH_3 juhib elektrit. Ei reageeri keemiliselt mustmetallidega. Põhjustab vase ja selle sulamite intensiivset oksüdeerumist. Seepärast on nende kasutamine ammoniaagisüsteemis keelatud.²⁶

Ammoniaagi süttimisvahemik on 15% kuni 28% või 33% sõltuvalt katsemeetodist ja algingimustest. Ammoniaak põleb ainult suletud ruumis, mitte õues ilma toetava leegita, ja ei ole seetõttu klassifitseeritud välistingimustes tuleohtlikuks.²⁷ Ammoniaagi ja külmutusseadme süsteemi määreõlide segu, aga võib olla palju laiemal plahvatusulatusel. Uuring, et määrata kindlaks õli mõju ammoniaagi süttimispiiridele

²³ Talvari, A., *Ohtlikud ained*, teine, täiendatud trükk, Sisekaitseakadeemia, 2006, lk 78.

²⁴ Karik, H. Ja Truus, K., *Elementide keemia*, Tallinn, AS Kirjastus Ilo, 2003, lk 414.

²⁵ Gangopadhyay ja Das, „Ammonia Leakage“, *supra nota* 2, p 15.

²⁶ Albri, *Külimatehnika*, *supra nota* 5, lk 71.

²⁷ Lindborg, A., „Probability in Ammonia Refrigeration Risk Assessment“, Technical Papers, International Institute of Ammonia Refrigeration (2009), p 10.

leidis, et õli vähendas madalamat süttivuspiiri 8%, sõltuvalt õli liigist ja kontsentratsioonist.²⁸

Ammoniaagi süttimiseks on vajalik süttimisallikas, mille energia on minimaalne, kuid, mis võrreldes teiste tuleohtlike ainetega, on märkimisväärne. Ammoniaagi minimaalne süttimisenergia on 680 MJ, samas kui metaanil, etaanil ja propaanil 0,21-0,26 MJ ja vesinikgaasil 0,02 MJ.²⁹

Ammoniaak on jahutussüsteemides surve all veeldatud kujul. Õnnetuse tagajärjel vabanenud vedel ammoniaak võib esineda aerosoolina, st väikeste vedelikutilkadena koos ammoniaagigaasiga. Ta käitub nagu tihe gaas, kuigi on tavaliselt kergem kui õhk, st selle asemel, et kohe õhku tõusta, võib ta hõljuda maapinna kohal. Sellised omadused võivad suurendada töötajate ja üldsuse ammoniaagiga kokkupuute riski.³⁰

Füsioloogilistelt omaduste poolest on ammoniaak ligilähedane kloorile, kuid tal on laialdasem tervistkahjustav mõju – eelkõige soodustab see põletikke, põhjustades kudede kärbumist. Ohtlikke kontsentratsioonide korral tekivad silmade, ülemiste hingamisteede, naha limaskestade destruktiiiv-põletikulised ja nekrootilised muudatused. Need omakorda soodustavad nakkushaiguste teket, kui organismis on juba tõvestavaid mikroobe, näiteks kopsudes. Ammoniaagimürgituse võib põhjustada vererõhu muutus, häired ja muutused vasomotoorses süsteemis, südamelihastes, mao limaskestades, veres, närvisüsteemi erutus- ja pidurdusprotsessides. Vedela ammoniaagi sattumisel paljale nahale tekivad seal külmumiskolded, silma sattumisel võib see põhjustada nägemishäireid või isegi pimedaks jäämist. Kõige tõsisemaks ohuks on hingamise lakkamine häälepilu spasmi tagajärjel. Seoses ohtudega inimorganismile on ammoniaagiga töötamisel kehtestatud terve rida ohutusnõudeid. Süsteemi lekete puhul annab ammoniaagi terav spetsiifiline nuuskpiirituse lõhn sellest silmapilkselt märku.

²⁸United States Environmental Protection Agency, „Hazard of ammonia release at ammonia refrigeration facilities“, *Chemical Safety Alert*, 2001, 1-8, p 2 ; Gangopadhyay ja Das, „Ammonia Leakage“, *supra nota 2*, p 17-18.

²⁹ Lindborg, „Probability in Ammonia Refrigeration Risk Assessment“, *supra nota 27*, p 11.

³⁰ Gangopadhyay ja Das, „Ammonia Leakage“, *supra nota 2*, p 17.

See omadus võimaldab külmutusseadet teenindaval personalil avastada lekked kohe ning asuda viivitamatult neid likvideerima.³¹

Tabel 1. Ammoniaagi kontsentratsioonid ja sümptomid³²

Ammoniaagi kontsentratsioon õhus (ppm)	Sümptomid
5-10	Tuntav lõhna tase
50	Ei põhjusta kroonilisi kahjustusi
150-200	Üldised ebameeldivused: pisarad silmadest, nahaärritus, hingamisteede ärritus
400-700	Tuntavad ebameeldivused
2000	Kahjustused (nahk, kopsud, asfüksia) tekivad mõne hetkega, minutite pärast järgneb surm

1.3. Külmuhoonete õnnetused

Ammoniaagi lekke korral on ohustatud eelkõige töötajate, aga ohus võib olla ka ümbruskonnas asuvate inimeste tervis. Paljud osad jahutussüsteemis sisaldavad surve all veeldatud ammoniaaki. Kui ammoniaak on surve all, siis satub vabanemisel suurem kogus ammoniaaki õhku. Ammoniaagi vabanemise tagajärjeks võivad tulenevalt saastumisest määrideõlidega olla ka plahvatused.³³

Vahejuhtumeid ammoniaagi leketega on vähe võrreldes olemasolevate süsteemide arvuga. Surmaga lõppenud õnnetuste arv riikides on esitatud tabelis 2. Need arvud on kontrollitud seoses õnnetuse allika ja tausta erinevustega. Arvud viitavad ainult surmaga lõppenud õnnetustele, mis on seotud ammoniaagi külmutusseadmetega, mitte teiste ammoniaagiga seotud rakenduste puhul.³⁴

³¹ Albri, *Külmatehnika*, supra nota 5, lk 72.

³² Talvari, *Ohtlikud ained*, supra nota 23, lk 79.

³³ United States Environmental Protection Agency, „Hazard of ammonia release“, supra nota 28, p 1.

³⁴ Lindborg, „Probability in Ammonia Refrigeration Risk Assessment“, supra nota 27, p 8.

Tabel 2. Teada olevad surmaga lõppenud õnnetuse ammoniaagi külmutusseadmetega antud riikides³⁵

Riik	Erinetavatel aastatel sh 2008 juhtunud õnnetused	Hukkunute arv
Rootsi	68	0
Norra	63	1
Taani	63	0
Soome	63	0
Island	30	0
Saksamaa	22	2
USA	15	8
Austraalia	30	0
Uus-Meremaa	30	0
Holland	29	1
Tšiili	30	1
Itaalia	30	0

Surmaga lõppenud õnnetused ja õnnetused, mis nõudsid ravi, on tekkinud tavaliselt vaid meetrite kaugusel ammoniaagi vabanemisest. Õnnetuskohast 200 meetri kaugusel on tunda iseloomulik lõhn. Ohutuks kauguseks peetakse 1500 meetrit. Tööstuses ammoniaagi vabanemine hõlmab mitmeid tonne ainet, nt mahutid ja vagunid. Vabanemise mõju sõltub suuresti ilmastikutingimustest, nagu näiteks temperatuur, tuule kiirus ja kliima inversioon.³⁶

Võimalike õnnetuste ja tagajärgede ilmestamiseks toob autor järgmisena näited külmuhoonetes toimunud õnnetustest.

1992. a toimus õnnetus lihapakendamistehases, kus kahveltõstuk vigastas ammoniaagi külmutussüsteemi torustikku. Töötajad evakueeriti. Lekkele järgnes plahvatus, mis tekitas suuri kahjustusi, sealhulgas suured augud hoonete külgedes. Süttimise põhjuseks arvati olevat kahveltõstuk. Selle õnnetuse oleksid ära hoidnud külmutussüsteemi füüsilised kaitsebarjäärid.³⁷

1996. a toimus õnnetus külmuhoones, kus kompressori õlirõhk langes järk-järgult pikal nädalavahetusel. Madala õlirõhu automaatne väljalülitus ei lülitanud kompressorit välja, mis viis katastroofilise rikkeni, kui kompressor rebis ennast lahti. Eraldus märkimisväärne kogus ammoniaaki. Seega on kõikide külmutusega seotud

³⁵ *Ibid*, p 15.

³⁶ *Ibid*, p 8.

³⁷ United States Environmental Protection Agency, „Hazard of ammonia release“, *supra nota* 28, p 1-2.

automaatlülite perioodiline kontrollimine absoluutselt vajalik, et vähendada selliste juhtumite tõenäosust.³⁸

1986. a toimus õnnetus tapamajas, kus külmutustoru rebenes ja ammoniaak vabanes. Kaheksa töötajat sai raskeid ja 17 kergemaid tervisekahjustusi.³⁹

1989. a õnnetus külmutatud pizza tehases tõi kaasa peaaegu kogu 6500 elanikuga linna elanike evakueerimise. Ammoniaagi vabanemine algas siis, kui 16-tolline ammoniaagi jahutussüsteemi imitoru oli lahti tulnud, vabanes ligi 45000 naela ammoniaaki. 50 elanikku vajab haiglaravi.⁴⁰

Jäätetehase õnnetus juhtus ammoniaagi laadimisel ammoniaagi balloonist vedeliku liini. Ammoniaagi vastuvõtja alumine klapp jäi lahti ja vastuvõtjas olev rõhk (15-18 kg/cm³) põhjustas ammoniaagi vabanemise. Ruumis puudusid veesprinklerid, mis oleksid takistanud ammoniaagi levimist ruumist välja. Kaitsemeetmena oli kompressori ruumis kasutusel väljatõmbe ventilaator, mille tulemusel oleks pidanud imetama ammoniaak ruumist välja jahutustorni, kuid selle süsteemi osad olid õnnetuse hetkel remondis, mistõttu sai vigastada kaheksa töötajat ja mõju ulatus ka ümbruskonna elanikeni. Õnnetuse mõju pikendas hingamisaparaatide puudumine töötajatel, mis oleks võimaldanud neil lekke varem sulgeda.⁴¹

Õnnetusel külmutusseadmes purunes ootamatult õli separaatori väljalaske sektsioon, mis põhjustas suure koguse ammoniaagi vabanemise tehase sees ja väljas. Ruumis olevad veesprinklerid käivitusid ning hingamisaparaatidega kaitstud töötajad suutsid õli mahuti isoleerida, kuid trumlis olev ammoniaak vabanes täielikult. 30 töötajat sai kannatada. Õnnetuse põhjuseks oli niiskusest tingitud õli trumli korrosioon, mida ei hooldatud ega jälgitud vastavalt. Kogu süsteemi torustik ja klapid tuleb korrosiooni kaitseks perioodiliselt üle värvida või valmistada roostevaba terasest.⁴²

³⁸ *Ibid*, p 2.

³⁹ *Ibid*, p 2.

⁴⁰ *Ibid*, p 2.

⁴¹ Gangopadhyay ja Das, „Ammonia Leakage“, *supra nota* 2, p 16-17.

⁴² *Ibid*, p 17.

1.4. Külmhoonete riskiallikad

Järgnevalt toob autor välja kirjanduses kirjeldatud levinumad rikked, mis põhjutavad võimalikke õnnetusi külmhoonetes ning mõned näited võimalikest õnnetuse stsenaariumitest külmhoonetes.

Ammoniaagi vabanemised külmhoonetes on põhjustatud mitmetest olukordadest⁴³:

- Tehase häired, mis viivad ülerõhu tekkimise ja rõhu väljalaske klappide avanemiseni
- Pöörlevate võllide ja klappide tihendite lekked
- Külmutusagensi torustiku tõrked, mis tulenevad korrosioonist põhjustatud mehaanilise terviklikkuse häirumisest
- Seadmete kokkupõrkamisest tulenev süsteemi komponentide füüsiline kahju
- Hüdrauliline löök
- Vooliku vigastused, mis leiavad aset ammoniaagi transportimise ajal

Tüüpilised rikete näited külmhoonetes on järgmised⁴⁴:

- Kõrgsurve väljalülitused või rikked
 - Vigased kondensaatori ventilaatorid või pumbad
 - Mustad jahutusvee kurnad, spiraalid või blokeeritud pihustid
 - Veevarustuse kaotus kondensaatoris (vesijahutusega üksustel ainult)
 - Liigne koormus või ekstreemsed keskkonnatingimused
 - Liigne ammoniaagi laadimine
- Madalsurve väljalülitused või rikked
 - Aurusti või jahutid jäätunud või külmunud
 - Aurusti ventilaatorid ei tööta korralikult
 - Jahutusvee või -glükooli pumbad ei tööta korralikult
 - Süsteemist on puudu ammoniaaki

⁴³ United States Environmental Protection Agency, „Hazard of ammonia release“, *supra nota* 28, p 1.

⁴⁴ WorkSafe, „Victorian Code of practice - Ammonia refrigeration“ (2010), <www.airah.org.au/imis15_prod/Content_Files/ProfessionalDevelopment2/Trainingcourses/Ammonia_COP2011.pdf> (10.05.2013)

- Blokeeritud kurnad või filtrid
- Kompressori koormuse regulaator ei tööta korralikult
- Süsteemi ventiilide vale asend

- Madala temperatuur väljalülitused või rikked
 - Aurusti või jahuti jäätunud või külmunud
 - Blokeeritud veekurnad või -filtrid jahutusvee või -glükooli süsteemis
 - Kompressori koormuse regulaator ei tööta korralikult
 - Süsteemi juhtimisseade ei tööta korralikult

- Kõrge ammoniaagi taseme vead
 - Liigne vedel ammoniaak mahutis/ kompressoris
 - Vigased vedeliku ventiilid
 - Vigane kontroll ujuk
 - Vedelik kinni isoleeriva ja/või kontrollventiili vahel

- Kompressori funktsionaalsed häired
 - Kompressori ohutuse kontroll, kõrge rõhk/madal rõhk, õlirõhk, õli või väljavoolu temperatuur, õli taseme lüliti, voolulüliti.
 - Kompressori madal õlitase
 - Kompressori õlifiltrid blokeeritud
 - Kompressori õlijahuti blokeeritud või vigane jahutuse toitepump / kurn
 - Kompressor ületab normaalse tööõhu
 - Süsteemi turvalisuse kontrolli peatab kompressor
 - Mootori või starteri funktsionaalsed probleemid

- Ammoniaagi vabanemise põhjused
 - Korrosioon
 - Hüdrauliline löök
 - Mitte testitud kaitseklapid
 - Tihendi leke
 - Keermesliitmiku leke
 - Toru väljalaske ventiilid

Levinud ammoniaagi külmutussüsteemi õnnetuste stsenaariumid⁴⁵:

- Lekkiv ventiil, äärik või tihend
- Mahuti ületäitmine või tühjendamine solenoid ventiil rikke tõttu
- Kaitseklappi rike
- Vale isolatsiooni paigaldamine torustikule või seadmetele
- Torustiku või seadmete korrodeerumine
- Tõstuki õnnetus sise- või välistingimustes
- Õliäravoolu tõrge
- Torustiku rike hüdraulilise löögi läbi
- Pesemistsükli viga/ülerõhk
- Ülekandevooliku tõrge mahalaadimise ajal
- Vale voolikuühendus maha laadimise ajal

Võimalikud stsenaariumid ammoniaagi vabanemiseks⁴⁶:

- Levinud ammoniaagi vabanemise stsenaarium sisaldab jahutit, kus kasutatakse ammoniaaki toiduainete jahutamiseks, kus ettevõtja ei katkesta vedel ammoniaagi voolu enne puhastamise tsüklil aktiveerimist. Puhastamise tsüklil võimaldab kuumal leeliselisel lahusel siseneda jahutisse, kus soojus on vahetatub ammoniaagia. Tulemuseks on rõhu kasv süsteemis, mis tekitab surveohutuse kaitseklapi avanemise. Seeläbi toimuks ammoniaagi vabanemine keskkonda.
- Teine stsenaarium sisaldab vabanemist inimliku eksimuse tõttu, kus tõstuki juht tabab jahuti torustikku või külmruumi. Asetades kaupa jahutisse, tabab kahveltõstuki juht kogemata vedeliku toru, mis toob kaasa ammoniaagi vabanemise ruumis.
- Kolmas stsenaarium sisaldab ammoniaagi maha laadimist ammoniaagi tarnija sõidukist ammoniaagi jahutussüsteemi. Ülekande ajal, stsenaariumid võivad sisaldada ülekande vooliku riket, mitte korralikku süsteemiga ühendamist või sõiduk kogemata tabab torustik ja põhjustab ammoniaagi vabanemise.

⁴⁵ Moore, D.A., Aleksandrich, L., Youngerman, C., „Scenario-Based Emergency Planning for Ammonia Release“, *guideline*, AcuTech Consulting Inc (1998), p 8.

⁴⁶ *Ibid*, p 7.

- Neljas tõenäoline stsenaarium sisaldab leket jahuti spiraalidest, millel pole kunagi või on valesti kasutatud veepuhastuskemikaale korrosiooni vältimiseks. Selle tulemusena tekitab korrosioon väikse lekke.

Ammoniaagi õnnetuste kõige levinumaks põhjusteks peetakse inimlikku eksimust ja seadme riket.⁴⁷

1.5. Külmhoonete õnnetusi ennetavad ja tagajärgi leevendavad meetmed

Järgnevalt toob autor välja kirjanduses ära toodud võimalikud külmhoonete õnnetusi ennetavaid ja tagajärgi leevendavaid meetmeid.

Ammoniaagi külmutus ettevõtted peaksid olema teadlikud võimalikest ammoniaagi vabanemisega seotud ohtudest ning sammudest, mida teha selle ennetamiseks. Nad peaksid olema ette valmistunud asjakohaseks käitumiseks võimaliku ammoniaagi vabanemise korra. Siin on sammud, mida ammoniaagi külmutus ettevõtted saavad teha, et ennetada ammoniaagi vabanemist ning vähendada aset leidnud eraldumiste tagajärgi⁴⁸:

- Treeningprogrammid ammoniaagi külmutussüsteemide töö ja hoolduse eest vastutavale haritud personalile.
- Külmutusõli eemaldamine külmutussüsteemist regulaarselt. Õli eemaldamine otse külmutussüsteemist seda enne alla pumpamata ning seda korralikult isoleerimata on keelatud.
- Külmutusseadmete kaitsmine barjääridega alades, kus kasutatakse tõstukeid.

⁴⁷ WorkSafe, „Victorian Code of practice, *supra nota* 44.

⁴⁸ United States Environmental Protection Agency, „Hazard of ammonia release“, *supra nota* 28, p 3-6 ; Gangopadhyay ja Das, „Ammonia Leakage“, *supra nota* 2, p 18 ; Department of Occupational Safety and Health, „Gas Leak from the Ammonia Refrigeration Plant“ (2012) <www.myoshforum.net.my/index.php?option=com_content&view=article&id=479:gas-leak-from-the-ammonia-refrigeration-plant&catid=460&Itemid=691&lang=en> (10.05.2013)

- Kirjalik hooldusprogramm ja –graafik, mis baseeruvad tootja soovitudel kõigile külmutusseadmetele. See hooldusprogramm peaks hõlmama (aga mitte ainult nendega piirduma) järgmist:
 - kompressorid
 - pumbad
 - aurustid
 - kondensaatorid
 - regulatsiooniventilid
 - kõik elektroonilised seadmed
 - kõrge rõhu väljalülitus
 - kõrge temperatuuri väljalülitus
 - madala rõhu väljalülitus
 - madala temperatuuri väljalülitus
 - madala õli rõhu väljalülitus
 - automaatne puhastussüsteem
 - ammoniaagi indikaatorid/andurid
 - hädaolukorra varustus seal hulgas
 - õhu jälgimise varustus
 - hingamisaparaadid
 - Kaitse riietus
 - õhku puhastavad respraatorid
- Kompressorite regulaarne vibratsiooni testimine. Tulemuste dokumenteerimine ja tulemuste muutumise analüüsimine.
- Lekkevaba ammoniaagi külmutussüsteemi säilitamine. Kõikide ammoniaagi lõhna eraldumise juhtumite uurimine ning lekete kohene parandamine. Kõigil torudel, klappidel, tihenditel, äärikutel kontrollida lekkesid regulaarselt vähemalt neli korda aastas. Lekete kontrollimiseks on sobilikud väävlipulgad, lakmuspaber või kaasaskantavad monitorid, mis on varustatud paindliku indikaatoriga.
- Ammoniaagi detektorite installeerimine kohadesse kus võib esineda mahukaid lekkesid või mis ei ole 24 tundi ööpäevad mehitatud. Ammoniaagi detektorite

regulaarne kalibreerimine. Ammoniaagi sensorite ja alarmsüsteemide funktsionaalsuse regulaarne kontrollimine.

- Surve vähendamise klappide asendamine regulaarse graafiku alusel ja selle dokumenteerimine.
- Ühekordse surve vähendamise klappide asendamine kahekordse väljalaskega kaitseventiilidega. Kahekordse väljalaskega kaitseventiilide installatsioon hõlbustab surve vähendamise klappide asendamist, hooldamist või kontrollimist. Selline paigaldus võimaldab igat surve vähendamise klappi regulaarselt kontrollida ja hooldada ilma kogu süsteemi tühjendamata.
- Ammoniaagi külmutussüsteemide igapäevane jälgimine. Andmete salvestamine igapäevaselt masinaruumis (nagu temperatuur ja rõhu tase) ning nende regulaarne analüüsimine peainseneri ja külmutustehniku poolt. Uute süsteemide kavandamisel või taasseadistamisel võiks toimuda arvutiseeritud protsessi parameetrite kontroll.
- Külmutussüsteemi jaoks ostetud ammoniaagi täpse koguse ning selle koguse, mis asendatakse, dokumenteerimine. Arve pidamine süsteemi lisatud ning eemaldatud määrideõlist.
- Kompressoriruumis korrektsete protseduuride järgmine.
- Külmutussüsteemi klappide ja torustike piisav eristatavus (näiteks värvikoodide või siltide alusel)
- Hädaolukorra puhul toimuva töö lõpetamise protseduurid ning juhised elektrikatkestuse korral ning järgseks käitumiseks.
- Solenoidklapi installeerimine peaklapile, mida juhitakse kompressoriruumist väljas olevast lülitist.
- Ammoniaagi plakatite ja hoiatusmärkide paigaldamine aladesse kus ammoniaaki kasutatakse jahutusainena või seda hoiustatakse (näiteks kompressoriruumi uksele). Torustikus olevad kemikaalid märgistamine sildiga (näiteks torustik, mis sisaldab ammoniaaki „AMMONIAAK“). Sildil peavad olema mustad tähed kollasel taustal.
- Ammoniaagi külmutussüsteemi torustiku regulaarne uurimine, et tuvastada võimalikku isolatsiooni rikkeid, roostet ja korrosiooni. Vajadusel kogu

kahjustatud torustiku asendamine. Kogu isoleerimata torustiku kaitsmine rooste ja korrosiooni eest seda puhastades, kruntides ja sobiva kattega värvides.

- Regulaarsed hädaabi varustuse ülevaatused ning respiraatorite, sealhulgas õhku puhastavate respiraatorite ning hingamisaparaatide ja ülejäänud varustuse hoidmine heas seisukorras. Personal koolitamine nende seadmete kasutamiseks. Vajadusel õhku puhastavate respiraatorite padrunite/kassetide vahetamine ning aegumistähtaegade kontrollimine.
- Kompessoriruumi ammoniaagi detektorite kasutamine ventilatsiooni kontrollimiseks.
- Peaklapi ja teiste hädaolukorra klappide tähistamine suure sildiga, et neid oleks õnnetuse korral kerge eristatavad.
- Hädaabi protseduurid ning instruktsioonid ammoniaagi vabanemise korral tegutsemiseks.
- Regulaarne hädaolukorra õppuste läbi viimine. Ohtlike ainetega töötamise personali regulaarne oskuste täiendamine õnnetuse korral käitumiseks.
- Realistlikke lekke õnnetusjuhtumite lavastamine koos Päästeametiga.
- Kompessoriruumist väljapoole kompressoriruumi ventilatsiooni manuaalse lüliti paigaldamine ning selle tähistamine sildiga, mida saab tuvastada õnnetuse korral. Ventilatsiooni lülitid võiksid olla kompressoriruumi igast uksest sees ning väljaspool.
- Sobivatesse kohtadesse tuulelippude paigaldamine. Lisaks õnnetuse korral käitumise manuaalile on mõttekas lisamaterjalide välja töötamine (plakatid, märgid jne), kust töötajad ning Päästeamet saaks õnnetuse korral vajalikku informatsiooni.
- Torustiku ja seadmete skeemide, protsessi voolu skeemide ja tehniliste skeemide hoidmine ajakohastena ja koolitusprogrammi lisamine. Torustiku ja seadmete skeemide ja tehniliste skeemid paigaldamine seadmete lähedale.

1.6. Ohualade arvutamine

Järgnevas peatükis tutvustab autor üht võimalust ohualade arvutamiseks. Lähtudes sellest toob autor välja põhilised keskkonna tegurid, mis mõjutavad ohuala suurust ning kirjeldab nende mõju ohuala suurusele.

Mürgiste kemikaalide, sealhulgas ammoniaagi leviku võimalike ohualade arvutamiseks sobib väga hästi USA Keskkonnameti poolt koostatud arvutiprogramm ALOHA. Tegemist on vabatarkvaraga, mis on üks osa CAMEO nimelisest tarkvarapaketist. ALOHA võimaldab leida välistingimuste korral konkreetse aine ja mahuti õnnetusel juhtunud plahvatuse või gaasipilve ohuala.⁴⁹

Programmi kasutamiseks on vaja paika panna objekti asukoht, selleks on vaja teada objekti koordinaate, kõrgust merepinnast ja ajavööndit. Tuleb valida aine, mille suhtes hakatakse ohuala arvutama. Ilmastiku tingimuste juures tuleb määrata tuule tugevus ja suund, tuule mõõtmise kõrgus, asustustihedus, pilvisus, õhutemperatuur, ilmastiku stabiilsus, inversiooni olemus ja kõrgus ning õhuniiskus. Aine vabanemise allikana saab valida nelja variandi vahel: otsene allikas, loik, mahuti ja toru. Ohualade arvutamiseks on vaja määrata ohualade parameetrid.⁵⁰

Keskkonna tegurite mõju välja selgitamiseks ohualadele tegi autor ALOHA-ga ohuala modelleerimised. Katsete läbiviimise käigus võrdles autor erinevate ilmastiku tingimuste mõju ohualale ammoniaagi lekke korral. Katsete tulemusel selgusid järgmised tulemused:

- Tuule – Ammoniaagi puhul on tuulel ohuala vähendav roll. Suurema tuule korral ohuala suurused vähenevad.
- Temperatuur – Temperatuuri tõustes ohuala suurused suurenevad.
- Inversioon – Inversiooni olemus suurendab ohuala ning mida madalamal ta esineb seda suuremaks kujuneb ohuala.

⁴⁹ Sisekaitseakadeemia, „Arvutiprogramm ALOHA tutvustus“, <stud.sisekaitse.ee/Kull/ALOHA> (10.05.2013)

⁵⁰ Sisekaitseakadeemia, „Arvutiprogramm ALOHA õppevideo“ <stud.sisekaitse.ee/Kull/ALOHA/ppevideo.html> (10.05.2013)

- Asustustihedus – Tiheastus aladel on ohuala suurus väiksem kui hajaasustusega alal, sest tiheastusalal on füüsilised barjäärid, mis takistavad ammoniaagi levikut.
- Pilvisus – Pilvisema ilmaga eriti ohtlik ala väheneb, väga ohtlik ala suureneb.
- Õhuniiskus – Õhuniiskuse olemus ei muutnud ohuala suuruseid.

Inversiooniks nimetatakse sellist nähtust, kui temperatuur tõuseb atmosfääris kõrguse kasvades. Selline olukord takistab vertikaalsete õhuvoolude arengut atmosfääris. Inversiooni ulatus on paarist meetrist kuni 2-3 kilomeetrini ning temperatuuri kasv võib ulatuda 10 °C ja rohkem.⁵¹

Tabel 3. Inversiooni esinemise tõenäosus Tallinnas ja Tartus 2005-2009 aastal⁵²

Aeg \ Asukoht	12 GMT (keskpäev)	00 GMT (öösel)
Tallinn 8-2m	28,1%	93,9%
Tartu 8-2m	24,6%	84,4%
Tallinn 20-8m	18,6%	88,9%
Tartu 20-8m	41%	87,8%

Tabel 3 toob välja, et inversiooni esinemise võimalus Eestis on suurem ööseti. Ning inversioon esineb sel ajal 2-20m ulatuses. Päeval ajal on inversioon esinenud ligikaudu veerand ajast. Sellest tegi autor järelduse, et Eestis esineb inversioon suuremal osal ajast.

⁵¹ Tooming, H., *Rakendusmeteoroloogia*, loengukonspekt, Sisekaitseakadeemia, 2001, lk 50.

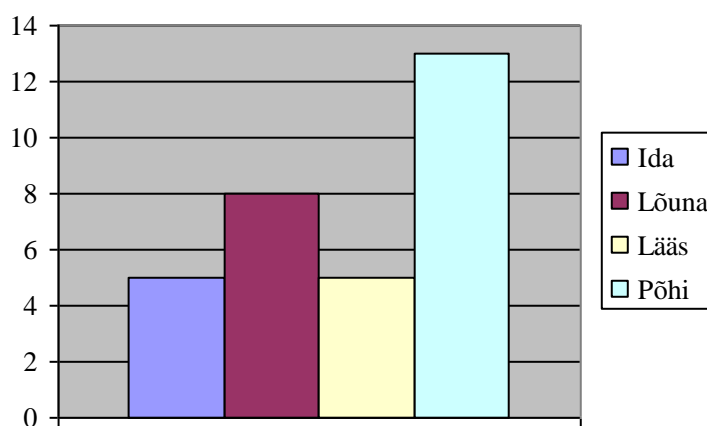
⁵² Kerner, E.-S., Kaasik, M., Männik, A. ja Traud, S., „Accumulation of pollutants in the atmospheric surface layer“, uurimustöö, Tartu Ülikool (2013), lk 3.

2. AMMONIAAKI KASUTAVAD KÜLMHOONED EESTIS JA NENDE RISKID

2.1. Külmhoonete paiknemine

Eestis on 31 külmhoonet, mis kasutavad oma külmutussüsteemides ammoniaaki.⁵³

Nende paiknemist regiooniti kirjeldab järgnev joonis.



Joonis 10. Külmhoonete paiknemine piirkonniti (autori joonis)

2.2. Külmhoonete tüübid/liigid

Riskianalüüsidest külmutusseadme ehituse kajastatuse kohta käib tabel 4, kus ettevõtete anonüümsuse tagamiseks on nende nimetused asendatud tähtedga (A, B, C, D jne). Antud tabelist võib näha, et pooltes riskianalüüsidest oli kirjeldatud külmutusseadme ehitust, ning neist kahe kirjeldus oli piisav, et süsteemist ning tööpõhimõttest aru saada. Ülejäänud kolme külmutusseadme kirjeldused olid ebapiisava informatsiooni hulgaga.

⁵³ „Ohtlike ettevõtete nimekiri“, supra nota 1.

Tabel 4. Külmutusseadmete ehituse tuvastatavus külmhoonetes (autori tabel)

Külkhoone Ehitus	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Kajastamata	x	x			x	x	x			
Arusaamatu			x	x					x	
Arusaadav								x		x

2.3. Külmhoonete riskid

Tabel 5 kajastab riskianalüüsidest välja toodud võimalikke õnnetuskohti külmhoones. Võimalike õnnetustena võivad esineda neli varianti – mahuti leke, torustiku leke (sh klapid, ventiilid ja muu armatuur), seadme leke (kompressor, aurusti, kondensaator jne) ja plahvatus/tulekahju. Kõikides riskianalüüsidest peeti võimalikuks torustiku ja seadme leket. Mahuti leke oli võimalik kuues riskianalüüsi. Plahvatus või tulekahju toimumist peeti võimalikuks viies ettevõttes. Kümnest ettevõttest kolm kajastasid oma riskianalüüsis kõiki õnnetuseliike.

Tabel 5. Võimalikud õnnetused külmhoones (autori tabel)

Külkhoone Õnnetused	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Mahuti leke	x			x	x	x		x	x	
Torustiku leke	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Seadme leke	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Plahvatus/tulekahju		x	x	x	x	x				

Tabel 6 kirjeldab külmhoonete võimalike õnnetuste põhjuseid. Välja on toodud kümme erinevat põhjust. Enam levinumateks põhjusteks olid mehaaniline vigastus, amortisatsioon, tehniline rike ja inimlik eksimus, mis oli märgitud vähemalt seitsmes riskianalüüsis. Vähemalt pooltes riskianalüüsidest toodi ära õnnetuste põhjustena vandalism, nõuete mitte täitmine ja hoones toimunud tulekahju või plahvatus.

Tabel 6. Õnnetuste põhjused (autori tabel)

Külmoone Põhjused	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Mehaaniline vigastus	x	x	x	x	x	x	x		x	x
Hüdrauliline löök		x	x			x				
Vandalism		x	x	x	x		x			
Inimlik eksimus		x	x		x	x		x	x	x
Amortisatsioon		x	x	x	x		x	x	x	x
Tehniline rike		x	x	x	x	x	x	x	x	
Tulekahju/plahvatus		x	x	x		x				x
Nõuete mittetäitmine		x			x	x		x		x
Vee elektrikatkestus			x							
Ilmastik	x			x						

Tabelis 7 tuuakse välja võimalikud õnnetuse kohad. Võimalike õnnetuse kohtadena tuuakse välja riskianalüüsisdes kümme võimalust. Kõige ohtlikuma kohana süsteemis näevad ettevõtted torustikku, mille märkisid oma riskianalüüsis ära üheksa ettevõtet. Pooltes riskianalüüsisdes toodi võimaliku õnnetuse kohana välja mahuti, aurusti ja armatuur. Kolmes riskianalüüsis peeti võimalikuks õnnetuse kohaks kogu süsteemi

Tabel 7. Õnnetuse kohad külmoonetes (autori tabel)

Külmoone Õnnetuse koht	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Torustik	x		x	x	x	x	x	x	x	x
Mahutid	x			x	x	x		x		
Kompressor				x	x	x			x	
Kogu süsteem		x				x				x
Aurusti	x				x	x	x		x	
Seadmed			x	x						
Ühenduskohad			x		x		x			
Ressiver				x	x					
Kondensaator				x	x	x			x	
Armatuur			x			x	x	x	x	

2.4. Riski maandamise meetmed

Tabelis 8 on välja toodud, milliseid meetmeid on ettevõtte rakendanud riskide maandamiseks külmahoones. Kõige enam on kasutatavateks meetmeteks on monitooring, kaitsevarustus, õnnetuse korral tegutsemise koolitus, häiresüsteem, süsteemi automaatne seiskamine ja külmahoone territooriumi valvamine. Ülejäänud meetmed leiavad kasutust vähem kui pooltes autori poolt analüüsitud külmahoonetes.

Tabel 8. Külmahoonetes kasutatavad meetmed riskide maandamiseks (autori tabel)

Külmahoone \ Meetmed	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Monitooring	x	x	x	x	x	x		x	x	
Külmakeskus eraldamine	x				x	x			x	
Kaitsevarustus	x	x	x	x	x	x		x		
Õnnetuse korral tegutsemise koolitus	x	x	x		x	x			x	x
Ohtlike kohtade märgistus	x				x					
Häiresüsteem ja süsteemi automaatne seiskamine	x	x	x	x		x			x	
Külmakeskusesse piiratud ligipääs	x									
Lekke sulgemise varustus ja koolitus	x	x								
Ülevool ohutusse kohta	x									
Territooriumi valve			x	x	x	x		x		
Süsteemi regulaarne visuaalne kontroll	x		x		x			x		
Ventilatsioon			x			x			x	
Kaitsebarjäärid								x		x
Spetsialist valves								x		
NH ₃ neutraliseerimise süsteem								x		
Kaitseklapid						x	x	x	x	

2.5. Külmhoonete ohualad ja arvutamise tingimused

Külmhoonete ohualade suuruste ja nende arvutamise tingimuste kohta on koostatud tabel 9 (vt lisa 1). Antud tabel kirjeldab külmhoonete ohualade suuruseid ja tingimusi, mille juures on need arvutatud.

Riskianalüüdes kajastatud ohualad on suurte erinevustega. Võrdsete ammoniaagi kogustega on külmhooned E, G ja I. Antud külmhoonete ohualadeks on vastavalt 456 meetrit, 74 meetrit ja 351 meetrit. Sellised erinevused on tekkinud ohualade arvutamisel erinevate tingimuste kasutamisel. Erisused esinevad ilmastiku tingimustes nagu tuule kiirus ja õhu temperatuur. Tuule kiiruse minimaalseks väärtuseks on märgitud 1 m/s ja maksimaalseks 12 m/s. Õhu temperatuuri madalaim väärtus on 5,4 °C ja suurim 20 °C. Ammoniaagi lekete suurused varieeruvad 1cm läbi mõõduga august kuni 15x2cm auguni.

3. TULEMUSTE ANALÜÜS JA ETTEPANEKUD RISKIANALÜÜSI KOOSTAMISEKS

Järgnevalt on toodud töö tulemuste analüüs ja sellest tulenevad ettepanekud riskianalüüsi koostamiseks. Autori poolt tööst tulenevalt koostatud külmhoone riskianalüüsi koostamise juhend on toodud lisades (vt lisa 2).

3.1. Külmutusseadmete ehitus

Kirjanduse põhjal saab öelda, et õnnetuse riski osas ei tulene külmutusseadmete erinevast ehitusest olulisi erinevusi. Süsteem sisaldab rõhu all olevat ammoniaaki ja on seega üks terviklik riskiallikas. Suurema riski põhjustajaks saab lugeda veel süsteemis lisaseadmete ühenduskohti, mis võivad põhjustada ammoniaagi lekkeid.

Läbitöötatud riskianalüüsidest kajastati külmutusseadme ehituslikku osa ainult pooltes. Kajastatud külmutusseadme ehituse kirjelduste põhjalikkus ja arusaadavus võimaldas ainult kahel juhul leida vaste kirjanduses kirjeldatud külmutusseadmele. Analüüsides puudusid skeemid külmutusseadme ehitusest ja paiknemisest ettevõttes.

Külmutussüsteem sealhulgas ammoniaagi mahuti kui külmhoonete riskiallikas peab olema riskianalüüsidest skemaatiliselt ära toodud ja lahti seletatud. See annab nii ettevõtjale kui pädevatele asutustele selge arusaamise võimalikest õnnetuse toimumise kohtadest.

3.2. Võimalikud õnnetused ja toimumise kohad

Kirjanduses tuuakse võimaliku õnnetusena leket, mis võib kaasa tuua ka tulekahju või plahvatuse, aga seda ainult siseruumides. Plahvatuse võimalus on üsna väike, aga

võimalus on siiski olemas, sealjuures tuleb arvestada, et külmutusseadmete määrideõlide mõju, mis võib ammoniaagi süttimisohtlikku vahemikku laiendada ja süttivust suurendada.

Õnnetus võib toimuda kõikjal süsteemis, kuid suurema tõenäosusega kohtadeks nimetatakse ventiilide ja klappide tihendeid, äärikuid, jahuteid, torustikku ja süsteemi täitmiskohta.

Võimalike õnnetustena on läbitöötatud riskianalüüsides välja toodud neli varianti. Torustiku leket ja seadme leket pidasid kõik võimalikuks. Mahuti leket pidasid võimalikuks kuus ettevõtet ning plahvatust või tulekahju viis ettevõtet. Analüüsides olid õnnetuste täpsemad kohad erinevalt välja toodud. Mõnes riskianalüüsis on võetud kogu süsteem õnnetuse toimumise kohana, teistes analüüsides on õnnetuse kohad detailsemalt kirjeldatud. Kõikide analüüsides peale kokku on mainitud enamusi kirjanduses toodud õnnetuskohti, mainimata on jäänud täitmiskoha võimalik õnnetus. Riskianalüüsides on lisaks toodud õnnetus ressiivriga. Õnnetuskohtade seostamine süsteemiga oli teostatud umbmääraselt.

Külmhoone riskianalüüsis tuleb kogu külmutusseade detailselt läbi käia ja tuua kõik selles asuvad kohad, kus ammoniaagi leke võib aset leida. Lisaks ammoniaagi levimise ja mürgistuse ohule, tuleb siseruumides arvestada ka lekkest põhjustatud plahvatuse ja põlenguga.

3.3. Õnnetuste põhjused

Kirjandusest tuli välja, et suurimaks õnnetuse põhjuseks on inimese eksimus või seadme tehniline rike. Sagedaste põhjustena tuuakse välja hooletus, kontrollimata ja hooldamata seadmed, korrosioon, mehaanilised vigastused, lekked, amortisatsioon ja hüdrauliline löök.

Riskianalüüsides tuuakse enim välja süsteemi mehaanilist või tehniliste riket, süsteemi amortiseerumist ning inimlikku eksimist. Pooltes riskianalüüsides on arvestatud

õnnetuse põhjusena vandalismi, nõuete mittetäitmist ja tulekahju või plahvatuse tekkimist hoones. Lisaks kirjanduses toodud põhjustena mainitakse riskianalüüsides põhjustena vee ja elektri katkestust ning ilmastikku.

Lekete ja tulekahju/plahvatuse põhjused tuleb välja tuua iga võimaliku lekke koha osas seletades eraldi lahti, milline inimlik eksimus või tehniline rike võib konkreetses kohas leket või tulekahju/plahvatust põhjustada. Detailne põhjuste kirjeldamine on vajalik konkreetsete riski maandamismeetmete planeerimiseks.

3.4. Riski maandamismeetmed

Kirjandusest leitud riskide maandamise meetmeteks on süsteemi monitooring, süsteemi regulaarne kontrollimine ja hooldamine, kaitseklappide paigaldamine, avarii lülite paigaldamine, skeemide ja märgituse paigaldamine, kaitsebarjäärade paigaldamine, töötajatele standardprotseduuride välja töötamine, koolitamine ja õppuste korraldamine.

Riskianalüüsides mainitud meetmete seas oli palju sarnasusi kirjanduse meetmetega, aga oli ka erinevusi, kuigi mitmed neist ainult ühes analüüsis. Riskianalüüsides toodi täiendavalt välja süsteemi eraldamine ja sellele ligipääsu piiramine, pidev spetsialisti kohalolek, lekke sulgemise varustus ja koolitus, territooriumi valve, ventilatsiooni kasutamine ruumides, ammoniaagi neutraliseerimise süsteem, süsteemi automaatne seiskumine häire korral.

Riski maandamismeetmed saavad olla nii üldised, kui ka konkreetse lekkekohaga seotud. Iga välja selgitatud lekkekoha jaoks tuleb tuua konkreetsed meetmed, mis seda õnnetust ennetavad või tagajärgi leevendavad. Meetme mõju peab olema arusaadavalt ära toodud.

3.5. Ohuala

Kõigi antud külmhoonete riskianalüüsides ohuala arvutuste juures oli kasutatud ALOHA-t, kuid esitatud ohualade suurused on väga erinevad. Väikseim ohuala on

(külkhoone G) 74 meetrit ja suurim ohuala on (külkhoone D) 1100m. Sellised suured erinevused on tingitud erinevatest tingimustest, mis on arvutustes kasutatud. Suurt mõju avaldab tuule kiirus, mis antud analüüsidest olid suurte erinevustega, ja inversioon, mida oli arvestatud ühes analüüsis. Mõningased erinevused analüüsidest olid ka õhutemperatuuril ja ammoniaagi temperatuuril süsteemis, kuid nende mõju ei ole väga suur. Väga suured erinevused esinesid lekete suuruste juures, mis on samuti oluliseks põhjuseks ohualade erinevates suurustes ja seetõttu erinevad vabaneva ammoniaagi kogused, näiteks külkhoone H ammoniaagi kogus on 5000kg, aga sellest vabaneb 406kg.

Omavahel võrreldavate tulemuste jaoks on vajalik paika panna ühtsed tingimused, mida ohuala arvutamisel arvestada. Riskianalüüsis tuleb ära tuua vähemalt kõige suurema võimaliku õnnetuse ohuala. Modelleerimistingimustes tuleb lähtuda külkhoone asukohas valdavaks olevast tuule kiirusest ja õhutemperatuurist ning valida inversiooni tingimused, kuna EMHI andmetel on see Eestis arvestatav nähtus.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli luua ülevaade ammoniaagi baasil töötavatest külmutusseadmetest ja nende riskidest, ning juhiste väljatöötamine ammoniaaki kasutavate külmhoonete riskianalüüside koostamiseks. Selleks analüüsiti teoreetiliselt ammoniaagi külmutusseadmete tööpõhimõtteid võimalike õnnetuste aspektist, anti ülevaade külmhoone riskidest ja võimalikest meetmetest nende leevendamiseks. Külmhoonete riskianalüüsides uuriti külmutusseadmete ehitust, riske ja nende maandamismeetmeid ja ohualade arvutusi. Eesmärgi saavutamiseks kasutati uurimismeetodina teoreetilist uurimust ehk dokumendianalüüsi.

Uurimuse tulemusena selgus, et külmutusseadme erinevast tööpõhimõttest ei tulene olulisi erinevusi riskide osas, kui siis ainult rohkemate lisaseadmetega süsteemides on rohkem ühenduskohti, mis võivad lekkida. Võimalikuks õnnetuseks ammoniaaki kasutavates külmhoonetes on ammoniaagi leke või ammoniaagi aurude süttimine või plahvatus. Võimalike õnnetuste peamiste põhjustena saab välja tuua inimliku eksimuse, tehnilise rikke, mehaanilise vigastamise ja amortisatsiooni. Riskianalüüsides leidnud külmutussüsteemide kirjeldused olid 50% kordadel koostatud korrektselt ja ülejäänutel kordadel umbmääraselt. Riskianalüüsides uurimise käigus tulid välja probleemkohad ohualade arvutuste juures.

Lõputöö tulemusena selgunud probleemkohtade osas töötas autor välja juhised riskianalüüsides koostamiseks. Esiteks tuleb koostada külmhoone ja selles kasutatava külmutusseadme kirjeldus koos skeemidega. Teiseks tuleb kirja panna kõik võimalikud õnnetuse stsenaariumid, mille täitmiseks koostas autor vastava tabeli. Kolmandaks tuleb koostada õnnetusi ennetavate ja tagajärgi leevendavate meetmete tabel vastavalt lekkele. Ning neljandaks vastavalt lekkele tuleb läbi viia arvutus õnnetuse ulatuse leidmiseks kasutades sealjuures valdavaid ilmastikutingimusi ja arvestades inversiooniga.

Autor leiab, et lõputöös püstitatud eesmärk sai täidetud ning uurimisülesanded lahendatud.

SUMMARY

The topic of this thesis is „Risks of cold storage plants using ammonia”. The length of the main body of the thesis is 40 pages. The thesis contains 11 tables and 10 figures. The paper is written in Estonian. The purpose of this thesis was to create a review of ammonia-powered refrigeration and its risks. Also develop guidelines for the use of cold storage plants using ammonia risk analyzes.

The goal of the thesis was to create an overview of the ammonia-based working refrigerators and their risks, and to develop guidelines for ammonia based cold storage risk analyzes. In order to achieve that, the author analyzed the operations of ammonia refrigeration from the possible disasters point of view theoretically. The author gave an overview of the cold storage plants risks and of potential mitigation measures. The refrigerator construction, risks, their mitigation measures and calculations of risk areas were studied in the risk analysis of Estonian cold storage plants. Data analysis was used in order to achieve the goal for this thesis.

The author developed guidelines for the construction of risk analysis, in order to solve the problems that emerged from the thesis. Firstly, one must prepare the description with schematic drawings of the cold storage plants and the refrigerators. Secondly, one must put down all the possible accident scenarios that may occur. In order to do so the author has created a table. Third, one must create a table, according to the leakage, consisting of accident prevention and the consequences mitigation measures. And fourthly, one must carry out calculation in order to find the extent of the accident according to a leak using dominating weather conditions and taking into account of inversion.

VIIDATUD ALLIKATE NIMEKIRI

Albri, R., *Külmatehnika [I osa]*, Tallinn, Eesti Mereakadeemia, 2011

Department of Occupational Safety and Health, „Gas Leak from the Ammonia Refrigeration Plant“ (2012)

www.myoshforum.net.my/index.php?option=com_content&view=article&id=479:gas-leak-from-the-ammonia-refrigeration-plant&catid=460&Itemid=691&lang=en
(10.05.2013)

Gangopadhyay, R.K. ja Das, S.K., „Ammonia Leakage from Refrigeration Plant and the Management Practice“, *Process Safety Progress* (2007), vol.27, No.1, 15-20

Karik, H. ja Truus, K., *Elementide keemia*, Tallinn, AS Kirjastus Ilo, 2003

Kerner, E.-S., Kaasik, M., Männik, A. ja Traud, S., „Accumulation of pollutants in the atmospheric surface layer“, uurimustöö, Tartu Ülikool (2013)

Lindborg, A., „Probability in Ammonia Refrigeration Risk Assessment“, Technical Papers, International Institute of Ammonia Refrigeration (2009)

Moore, D.A., Aleksandrich, L., Youngerman, C., „Scenario-Based Emergency Planning for Ammonia Release“, *guideline*, AcuTech Consulting Inc (1998)

Nydal, R., *Külmutustehnika alused: praktiline käsiraamat*, Tallinn, The Swedish Society of Refrigeration, 1997

„Ohtlike ettevõtete nimekiri“, andmebaas, Päästeameti kriisireguleerimise osakond (2013)

Sisekaitseakadeemia, „Arvutiprogramm ALOHA tutvustus“, <stud.sisekaitse.ee/Kull/ALOHA> (10.05.2013)

Sisekaitseakadeemia, „Arvutiprogramm ALOHA õppevideo“ <stud.sisekaitse.ee/Kull/ALOHA/ppevideo.html> (10.05.2013)

Talvari, A., *Ohtlikud ained*, teine, täiendatud trükk, Sisekaitseakadeemia, 2006

Tooming, H., *Rakendusmeteoroloogia*, loengukonspekt, Sisekaitseakadeemia, 2001

United States Environmental Protection Agency, „Hazard of ammonia release at ammonia refrigeration facilities“, *Chemical Safety Alert*, 2001

WorkSafe, „Victorian Code of practice - Ammonia refrigeration“ (2010),
<www.airah.org.au/imis15_prod/Content_Files/ProfessionalDevelopment2/Trainingcourses/Ammonia_COP2011.pdf> (10.05.2013)

TABELITE JA JOONISTE LOETELU

Tabel 1. Ammoniaagi kontsentratsioonid ja sümptomid	15
Tabel 2. Teada olevad surmaga lõppenud õnnetuse ammoniaagi külmutusseadmetega antud riikides	16
Tabel 3. Inversiooni esinemise tõenäosus Tallinnas ja Tartus 2005-2009 aastal	26
Tabel 4. Külmutusseadmete ehituse tuvastatavus külmhoonetes (autori tabel).....	28
Tabel 5. Võimalikud õnnetused külmhoones (autori tabel)	28
Tabel 6. Õnnetuste põhjused (autori tabel)	29
Tabel 7. Õnnetuse kohad külmhoonetes (autori tabel).....	29
Tabel 8. Külmhoonetes kasutatavad meetmed riskide maandamiseks (autori tabel).....	30
Tabel 9. Külmhoonete ohualad ja arvutamise tingimused (autori tabel)	42
Tabel 10. Näidistabel võimalike lekete kohta (autori tabel)	45
Tabel 11. Näidistabel meetmete kohta (autori tabel)	47
Joonis 1. Auru-kompressor külmutusseadme ehitus	6
Joonis 2. Mittetäieliku vahejahutusega kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade	7
Joonis 3. Täieliku vahejahutusega kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade	8
Joonis 4. Täieliku vahejahutusega (siugtoru-vaheanumaga) kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade	9
Joonis 5. Siugtoru-ökonomaiseriga kruvikompressor-külmutusseade.....	9
Joonis 6. Siugtoruta ökonomaiseriga kruvikompressor-külmutusseade	10
Joonis 7. Kaheastmelise komprimeerimisega auruežektor-külmutusseade	11
Joonis 8. Kolmeastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade.....	11
Joonis 9. Kaskaadkülmutusseade	12
Joonis 10. Külmhoonete paiknemine piirkonniti (autori joonis)	27

LISA 1. KÜLMHOONETE OHUALADE JA ARVUTAMISE TINGIMUSED

Tabel 9. Külkhoonete ohualad ja arvutamise tingimused (autori tabel)

Külkhoone	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Ohtlik ala (m)	419	461	398	1100	456	321	74	90	351	400
Väga ohtlik ala (m)	149	187	206	610	183	133	32	23	172	240
Eriti ohtlik ala (m)	49	67	80	328	63	40	28	23	68	70
Tuule kiirus (m/s)	2	12	1,1	1	10	4	5	1	1	1
Inversioon	-	ei	ei	jah	ei	ei	ei	ei	-	-
Temperatuur (°C)	14	13	5,4	15	14	15	15	12	20	20
NH ₃ Temperatuur (°C)	-14	-33	-	15	-25	-	15	-33,4	-	-
Lekke suurus (cm ²)	0,8	20	-	30	78,5	-	4,9	1,2	-	-
NH ₃ kogus süsteemis (kg)	770	1500	450	2200	300	2500	300	5000	300	500
Vabaneva NH ₃ kogus (kg)	300	1500	450	2200	214	2500	48	406	300	500

LISA 2. JUHISED AMMONIAAKI KASUTAVATE KÜLMHOONETE RISKIANALÜÜSIDE KOOSTAMISEKS

1. Käitise ja selles kasutatava külmutusseadme kirjeldus

Tuua ära skeemina ja selgitustega käitis ja selles paiknev külmutussüsteem. Sealjuures oluline, et selguks, millises hoones või väljaspool hoonet mingi osa süsteemist sh ammoniaagi mahuti asub.

Võimalikud külmutusseadmed:

- Aurukompressor-külmutusseade
- Mittetäieliku vahejahutusega kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade
- Täieliku vahejahutusega kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade
- Täieliku vahejahutusega (siugtoru-vaheanumaga) kaheastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade.
- Siugtoru-ökonomaiseriga kruvikompressor-külmutusseade
- Siugtoruta ökonomaiseriga kruvikompressor-külmutusseade
- Kaheastmelise komprimeerimisega auruežektor-külmutusseade
- Kolmeastmelise komprimeerimisega aurukompressor-külmutusseade
- Kaskaadkülmutusseade

2. Õnnetuste stsenaariumid

Tuua ära kõik võimalikud lekke kohad külmutussüsteemis. Siduda need eespool kirjeldatud skeemiga. Kirjutada lahti iga lekke jaoks õnnetuse stsenaarium: mis võib õnnetuse põhjustada, kui suur on võimalik lekkiva ammoniaagi kogus, ammoniaagi levimise võimalused ning tule- ja plahvatusohu suurus.

Võimalikud üldised lekke kohad süsteemis:

- Torustik
- Mahutid
- Kompressor
- Kondensaator
- Aurusti
- Ressiiver
- Ühenduskohad
- Armatuur
- Tihendid

Nimekiri võimalikest õnnetuse põhjustest, millega arvestada

- Mehaaniline vigastus (Tingituna mehaanilisest löögist)
- Hüdrauliline löök (Süsteemi sulgemisel ja avamisel tekkiv reaktsioon)
- Inimlik eksimus (Töötajate/hooldajate eksimus oma töö käigus)
- Amortisatsioon (Süsteemi väsimine ja kulumine aja möödudes)
- Tehniline rike (Süsteemi tehnilist laadi rike)
- Korrosioon (Süsteemi osade, eelkõige torustiku korrodeerumine)
- Tulekahju/plahvatus (Külmhoones toimub tulekahju või plahvatus)
- Nõuete mittetäitmine (Töötajad/hooldajad eiravad ettekirjutatud nõudeid)
- Vandalism (Inimeste pahatahtlik süsteemi vigastamine)
- Vee- /elektrikatkestus (Süsteemi normaalne töö saab häiritud)

Stsenaariumid võib kokku võtta järgmises tabelis:

Tabel 10. Näidistabel võimalike lekete kohta (autori tabel)

	Nr	Lekke nimetus	Koht süsteemis	Põhjused	Lekkida võiva ammoniaagi kogus	Lekke tagajärjed
Selgitus	Järjekorra nr	Nimetada ära, mis koht süsteemis võib lekkida.	Markeerida ära külmutusseadme skeemil vastav koht ja see tähis siia märkida.	Tuua konkreetsed lekkepõhjused.	Tuua välja ammoniaagi kogus, mis võib konkreetse lekke korral süsteemist väljuda koos põhjendusega.	Kirjeldada ammoniaagi levimist ja selle võimalikke mõjusid nii hoones, ettevõtte territooriumil kui väljaspool ettevõtet.
Näide	1.	<i>Leke torustikus aurusti ja kompressori vahel.</i>		<i>Mehaaniline vigastus, korrosioon, amortisatsioon, hüdrauliline löök,</i>	<i>500kg (100%)</i>	<i>Lekke tagajärjel levib ammoniaak külmhoone siseselt ning võib mõjutada sellega töötajate tervist</i>

3. Õnnetuste ennetamise ja tagajärgede leevendamise meetmed

Iga välja selgitatud võimaliku õnnetuse (leke, tulekahju/plahvatus) jaoks tuua välja konkreetsed ennetavad ja tagajärgi leevendavad meetmed. Lisaks tuua ära käitises rakendatavad üldised meetmed.

Nimekiri võimalikest meetmetest, millega arvestada

- Süsteemi skeemide paigaldamine seintele
- Seadme seiskamise lülitid, mida õnnetuse korral kasutada
- Standardprotseduurid igapäevasteks ja regulaarseteks toiminguteks kui ka õnnetuse korral tegutsemiseks
- Kaitseklapid, et õnnetuse korral vabaneks vähem ammoniaaki
- Ammoniaagi neutralisatsiooni süsteem, et tervise kahjustuse õnnetuse korral
- Spetsialist pidevalt valves külmhoones, et oleks õnnetuse korral kiirem reageerimine
- Kaitsebarjäärid külmutussüsteemi kaitseks alades, kus liigutakse tõstukitega, autodega või on muu oht
- Ventilatsioon, mis õnnetuse korral puhastab ruumi ammoniaagi aurudest
- Süsteemi regulaarne kontrollimine, et avastada ja likvideerida probleemid võimalikult varakult
- Territooriumi valve, et vähendada võõraste ligipääsu külmhoonele
- Ülevool ohutusse kohta (Liigse ammoniaagi kogunemine turvalisse kohta)
- Lekke sulgemise varustus ja koolitus (Külmhoone enda töötajad oleksid võimalised lekkeid sulgema)
- Häiresüsteem ja seadme seiskamine (Töötajate teavitamine õnnetusest ja süsteemi ohutu seiskamine)
- Ohtlike kohtade märgistus (Süsteemi ohtlike kohtade märgistamine silmahakkava märgistusega, et vältida õnnetusi)
- Õnnetuse korral tegutsemise koolitus
- Õppused, et harjutada õnnetuse korral tegutsemist
- Kaitsevarustus (Vahendid töötajatele õnnetuse korral kiireks lekke sulgemiseks)
- Monitooring (Süsteemi töö pidev jälgimine ja tulemuste salvestamine)

Meetmed lekkepõhiselt saab ära tuua järgmises tabelis:

Tabel 11. Näidistabel meetmete kohta (autori tabel)

	Lekke nr: <i>Eelnevas tabelis välja toodud konkreetse lekke järjekorra nr.</i>		
	Meetme nimetus	Meetme kirjeldus ja hooldus/kontroll	Meetme mõju kirjeldus
Selgitus	Meede, mis aitab leket ära hoida või selle tagajärgi leevendada.	Meetme täpsem kirjeldus ja selle töökorras hoidmine.	Kirjeldus, kuidas nimetatud meede lekke ära hoiab või tagajärgi leevendab.
<i>Näide</i>	<i>Kaitseklapid</i>	<i>Kaitseklappide paigaldamine külmutussüsteemi vajalikesse punktidesse. Klappide töökorras olekut jälgib juhtimissüsteem.</i>	<i>Lekke tekkimisel kaitseklapid sulguvad ja ammoniaagi vabanemine peatub. Ammoniaaki vabaneb ainult nii suures koguses, kui kahe kaitseklapi vahel ainet on.</i>

4. Õnnetuse tagajärgede ulatus

Tuua välja õnnetuse (lekke) ohuala. Sealjuures arvestada ammoniaagi kogusega, mis võib maksimaalselt suurima lekke korral vabaneda. Siseruumide korral arvestada, et kogu lekkiv aine ei pruugi välisõhku jõuda. Sellisel juhul arvestada hoones olevaid aine levikut piiravaid süsteeme (neutralisatsioonisüsteemid).

Modelleerimisel tuleb ilmastikutingimustes lähtuda külmhoone asukohas valdavaks olevast tuule kiirusest, õhutemperatuurist, õhuniiskusest, pilvisusest ning valida inversiooni tingimuseks selle esinemine 8 m kõrgusel, kuna EMHI andmetel on see Eestis arvestatav nähtus.

Üks võimalus ohuala modelleerimiseks on kasutada vabavara ALOHA-t, mis on allalaaditav järgnevalt aadressilt - www.epa.gov/oem/content/cameo/aloha.htm

ALOHA kasutamiseks on loodud Sisekaitseakadeemia poolt eesti keelne õppevideo, mis on nähtav aadressil - stud.sisekaitse.ee/Kull/ALOHA/ppevideo.html