

RIVM rapport 620100003/2005

**Afstandentabel ammoniak koelinstallaties**

P.A.M. Uijt de Haag

Contact:  
P.A.M. Uijt de Haag  
Centrum voor Externe Veiligheid  
[paul.ujt.de.haag@rivm.nl](mailto:paul.ujt.de.haag@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat Generaal Milieubeheer, Directie Externe Veiligheid, in het kader van project 620100, "Advisering en ondersteuning beleid externe veiligheid".

## Rapport in het kort

### Afstandentabel ammoniak koelinstallaties

Bedrijven met aanzienlijke hoeveelheden gevaarlijke stoffen, zoals ammoniak, moeten een risicoanalyse maken voor de externe veiligheid. In deze analyse wordt berekend wat de risico's voor de omwonenden zijn ten gevolge van een mogelijk ongeval bij het bedrijf. De resultaten van de risicoanalyse worden vergeleken met de risiconormering en hieruit wordt een acceptabele afstand tussen het bedrijf en de omwonenden bepaald.

In Nederland is een groot aantal ammoniak koelinstallaties in gebruik. Om te voorkomen dat voor elke installatie afzonderlijk een risicoanalyse moet worden gemaakt, zijn voor een aantal representatieve installaties berekeningen uitgevoerd en is een afstandentabel samengesteld. Voor de meest voorkomende ammoniak koelinstallaties worden nu geen aparte risicoberekeningen meer uitgevoerd, maar wordt de acceptabele afstand tot woningen uit de tabel afgelezen.

De afstandentabel is opgesteld voor een ammoniak koelinstallaties met maximaal 10.000 kg systeeminhoud, die voldoen aan de CPR richtlijnen en met een beperkt pompdebiet (minder dan 2 kg/s). Het externe veiligheidsrisico wordt voornamelijk bepaald door de onderdelen van de installatie die buiten liggen. Daarom is er onderscheid gemaakt in verschillende typen installaties, afhankelijk van de onderdelen van de installatie die buiten zijn opgesteld.

De resultaten van de berekeningen laten zien dat de acceptabele afstand tussen een ammoniak koelinstallatie en woningen varieert van nul meter voor een kleine installatie die volledig in een machinekamer is opgesteld tot 95 meter voor een grote installatie die volledig buiten is opgesteld.

De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in de Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen (Staatscourant 23 september 2004, nr 183).

Trefwoorden: externe veiligheid; afstandentabel; ammoniak; koelinstallaties

## Abstract

### **Acceptable distances for refrigerating installations using ammonia as cooling medium**

An operator of an establishment using large quantities of dangerous substances, like ammonia, is obliged to carry out a risk assessment, in which the mortality risk to the surrounding population in the case of an accident has to be calculated. The results of the assessment are used to derive an acceptable distance between the establishment and the neighbouring dwellings.

Such establishments in the Netherlands include refrigerating installations using ammonia as cooling medium. To avoid carrying out large numbers of similar risk analyses, a few representative installations have been defined. Risk analyses were carried out for these installations and results summarized in conversion tables relating the type of installation to the acceptable risk distance.

The conversion table is set up for installations with a maximum of 10,000 kg of ammonia as cooling medium and a limited pump flow of less than 2 kg/s. The installations must also be in compliance with the safety recommendations of the Committee for the Prevention of Disasters. The risk to the surroundings is caused mainly by the installation parts situated outside the engine room. Therefore installations are distinguished into three types with different combinations of installation parts situated outside the engine room.

Calculations show the acceptable distance to vary between zero metres for a small installation completely situated in an engine room to 95 metres for a large installation situated completely in open air. The acceptable risk distances calculated here were implemented in Dutch legislation in 2004.

Keywords: external safety; safety distance; ammonia; refrigerating

# Inhoud

<b>Samenvatting</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Inleiding</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Historie van de afstandentabel</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Installatiekenmerken en de te onderscheiden typen</b> .....	<b>9</b>
3.1 Basisschema ammoniak koelinstallatie.....	9
3.2 Verdeling van de systeeminhoud over de componenten.....	10
3.3 Temperatuur van de ammoniak koelinstallatie .....	10
3.4 Beveiligingen .....	10
3.5 Vloeroppervlak machinekamer .....	11
3.6 Opstelling van de ammoniak koelinstallatie .....	12
3.7 Systeemkenmerken in de afstandentabel .....	13
3.8 Verscheidenheid aan systemen .....	14
<b>4. Voorbeeldberekening afstandentabel</b> .....	<b>15</b>
4.1 Uitgangspunten .....	15
4.2 Scenario's.....	16
4.2.1 <i>Afscheidervat</i> .....	16
4.2.2 <i>Leiding afscheidervat – vloeistofpomp</i> .....	17
4.2.3 <i>Vloeistofpomp</i> .....	18
4.2.4 <i>Leiding vloeistofpomp – verdamper</i> .....	19
4.2.5 <i>Verdamper</i> .....	20
4.2.6 <i>Leiding verdamper – afscheidervat</i> .....	21
4.2.7 <i>Leiding afscheidervat – compressor</i> .....	21
4.2.8 <i>Compressor</i> .....	22
4.2.9 <i>Leiding compressor – condensor</i> .....	22
4.2.10 <i>Condensor</i> .....	23
4.2.11 <i>Leiding condensor – vloeistofvat</i> .....	24
4.2.12 <i>Vloeistofvat</i> .....	24
4.2.13 <i>Leiding vloeistofvat - expansieklep</i> .....	25
4.2.14 <i>Leiding expansieklep - afscheidervat</i> .....	26
<b>5. Resultaten voorbeeldberekening</b> .....	<b>27</b>
<b>6. Resultaten afstandentabel</b> .....	<b>31</b>
6.1 Algemeen .....	31
<b>7. Voorstel afstandentabel ammoniak koelinstallaties</b> .....	<b>34</b>
<b>8. Voorstel afstanden-dichtheden relatie</b> .....	<b>36</b>
<b>Referenties</b> .....	<b>37</b>
<b>Bijlage A Plasverdamping in de machinekamer</b> .....	<b>38</b>
<b>Bijlage B Initiële wolk bij een jet uitstroming</b> .....	<b>39</b>

## Samenvatting

Het Besluit Externe Veiligheid Inrichtingen legt de risiconormen voor de externe veiligheid vast voor bedrijven met gevaarlijke stoffen. Voor de zogenaamde categorale inrichtingen zijn de risiconormen vertaald in afstandentabellen, die op basis van enkele kenmerken van de inrichting de afstand geeft tot het plaatsgebonden risico van  $10^{-5}$  en  $10^{-6}$  per jaar. Ammoniak koelinstallaties behoren tot de categorale inrichtingen waarvoor een afstandentabel is opgesteld.

De afstandentabel is berekend op basis van een generieke systeembeschrijving. Hierbij is een onderverdeling gemaakt naar de systeeminhoud (zes verschillende installatiegroottes, variërend van 400 kg tot 10.000 kg), de bedrijfstemperatuur (drie verschillende temperaturen, namelijk  $-25$  °C,  $-10$  °C en  $5$  °C) en de ligging van de vaten en leidingen (drie verschillende combinaties, namelijk installaties met alle risicobepalende onderdelen in de machinekamer of de te koelen ruimte, installaties met de vloeistofleidingen buiten en installaties met alle risicobepalende onderdelen buiten).

De resultaten van de berekeningen voor de verschillende typen installaties laten zien dat een plaatsgebonden risico van  $10^{-5}$  per jaar niet aanwezig is. De afstand tot het plaatsgebonden risico van  $10^{-6}$  per jaar varieert van nul meter voor een kleine installatie die volledig in een machinekamer is opgesteld tot 95 meter voor een grote installatie die volledig buiten is opgesteld.

Naast de afstandentabel is ook een afstanden-dichtheden relatie opgesteld, die aangeeft welke bevolkingsdichtheid rond een bedrijf is toegestaan zonder dat de oriënterende waarde voor het groepsrisico wordt overschreden. Het groepsrisico is mogelijk van belang voor installaties met meer dan 3500 kg inhoud in combinatie met bevolkingsdichtheden groter dan 100 personen per hectare.

De afstandentabel is opgesteld voor een ammoniak koelinstallatie met maximaal 10.000 kg systeeminhoud, die voldoet aan de CPR richtlijnen en met een beperkt pompdebiet (minder dan 2 kg/s). Installaties met meer dan 10.000 kg systeeminhoud of met een pompdebiet groter dan 2 kg/s vallen niet onder de afstandentabel en voor dergelijke installaties moet een aparte risicoanalyse worden uitgevoerd.

De afstandentabel en de afstanden-dichtheden relaties zijn opgenomen in de Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen (Staatscourant 23 september 2004, nr 183).

# 1. Inleiding

Voor bedrijven met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen moet een kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd worden. In deze analyse wordt berekend wat de risico's voor de omwonenden zijn ten gevolge van een mogelijk ongeval bij het bedrijf. De resultaten van de risicoanalyse worden vergeleken met de risiconormering, dat wil zeggen het plaatsgebonden risico (PR<sup>1</sup>) van  $10^{-5}$  per jaar en  $10^{-6}$  per jaar. Op deze wijze wordt een acceptabele afstand tussen het bedrijf en de omwonenden bepaald.

In Nederland is een groot aantal ammoniak koelinstallaties in gebruik. Om te voorkomen dat voor elke installatie afzonderlijk een risicoanalyse moet worden gemaakt, wordt voor deze categorie bedrijven gewerkt met een afstandentabel. Voor de ammoniak koelinstallaties die onder de afstandentabel vallen worden nu geen aparte risicoberekeningen meer uitgevoerd, maar wordt de acceptabele afstand uit de tabel afgelezen.

De afstandentabel voor ammoniak koelinstallaties is opgenomen in de Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen [1]. Dit rapport beschrijft de berekeningen die ten grondslag liggen aan deze afstandentabel. Ook is voor de ammoniak koelinstallaties een afstanden-dichtheden grafiek<sup>2</sup> voor het groepsrisico berekend. De afstandentabel en de grafiek zijn opgesteld voor ammoniak koelinstallaties met maximaal 10.000 kg systeeminhoud, die voldoen aan de CPR richtlijnen en met een beperkt pompdebiet (minder dan 2 kg/s).

De inhoud van het rapport is tot stand gekomen in overleg met vertegenwoordigers van het Ministerie van VROM en de branche organisaties. Ook hebben verschillende adviesbureau's een bijdrage geleverd. De volgende personen zijn met name betrokken geweest bij de totstandkoming van dit rapport:

- de heer P.H. Bottelberghs (Ministerie van VROM)
- de heer W.J.M. Sprong (Ministerie van VROM),
- de heer J.P.M.M. Meissen (Nekovri),
- de heer J. Hoogkamer (NVKL),
- de heer J. van Rooijen (GEA Grenco),
- de heer P.G.H. Uges (NVVK),
- de heer Van Gerwen (Unilever, VAI)
- mevrouw E.C. Koets (Energie Consult),
- de heer J. Heitink (AVIV),
- de heer L.A.M. Janssen (SAVE)
- de heer J.M. Ham (TNO).

---

<sup>1</sup> Het Plaatsgebonden Risico (PR) is de kans per jaar dat een persoon, die onafgebroken en onbeschermd op die plaats zou verblijven, overlijdt als gevolg van een ongeval in het bedrijf.

<sup>2</sup> In een afstanden-dichtheden grafiek wordt aangegeven welke bevolkingsdichtheid (in personen per hectare) rond een bedrijf toegestaan is zonder dat de oriënterende waarde voor het groepsrisico wordt overschreden.

## 2. Historie van de afstandentabel

De basis voor de afstandentabel voor koel- en vriesinstallaties met ammoniak ligt in de periode 1995 – 1997. Het bureau SAVE voerde in de periode september 1995 – februari 1997 het project “Afstandstabel ammoniak koelinstallaties” uit. Dit project is begeleid door een commissie bestaande uit vertegenwoordigers van de overheid en vertegenwoordigers van de branche. Het project resulteerde uiteindelijk in het rapport ‘Voorstel voor mogelijke opzet afstandentabel ammoniak koelinstallaties’ [3]. In het rapport is een afstandentabel (vanaf nu de SAVE-afstandentabel genoemd) opgenomen voor ammoniak koelinstallaties waarbij een opsplitsing is gemaakt naar een aantal parameters, te weten het keuringsregime, de aanwezigheid van een inblikvoorziening, de opstelling van het vloeistofvat, de aanwezigheid van een opvangbak en de temperatuur van het vloeistofvat. Verschillende concepten van het rapport zijn besproken in de begeleidingscommissie en er was overeenstemming over de beschrijving van de installaties en de scenario’s. Het eindrapport is echter niet formeel vastgesteld in de begeleidingscommissie. Uiteindelijk is het SAVE-rapport met de SAVE-afstandentabel in maart 1999 als eindrapportage geleverd ter afronding van het project.

In de begeleiding van de SAVE-afstandentabel heeft het RIVM met het model SAFETI een aantal controleberekeningen uitgevoerd. Omdat er een aanzienlijk verschil was tussen de resultaten van het RIVM en de resultaten van SAVE is eind 1997 nog een expertbijeenkomst geweest, specifiek over de verspreidingsmodellering. De resultaten van de expertbijeenkomst zijn vastgelegd in de notitie ‘Risicomodellering ammoniak koelinstallaties voor de afstandentabel en de afstanden dichtheden grafiek’ [4]. De notitie bevat een aantal aanbevelingen:

- De afstandentabel en de afstanden-dichtheden grafiek (= dichthedentabel) in de AMvB worden beperkt tot installaties kleiner dan 10.000 kg.
- Voor de afstanden-dichtheden grafiek wordt onderscheid gemaakt in de opstelling van het vloeistofvat en de aanwezigheid van een inblikvoorziening.
- Voor de afstandentabel in de AMvB ( $PR = 10^{-6}$  per jaar) wordt de relatie in de SAVE-afstandentabel aangehouden.
- Voor de afstandentabel in de AMvB ( $PR = 10^{-5}$  per jaar) wordt voor onbeschermd installaties van 3000 – 10.000 kg een afstand van 15 – 20 meter aangehouden.

De afstanden-dichtheden grafiek is berekend bij het RIVM en beschreven in een notitie [5]. Conform de aanbevelingen van de expertbijeenkomst is de afstanden-dichtheden grafiek berekend voor drie typen installaties, namelijk onbeschermd installaties, installaties met inblikvoorziening rond het vloeistofvat en installaties met het vloeistofvat binnen. Tevens zijn in de betreffende notitie ook de bij het RIVM berekende afstanden tot de  $PR = 10^{-5}$  per jaar en  $PR = 10^{-6}$  per jaar gegeven voor deze installaties.

Uit de berekeningen blijkt dat alleen voor onbeschermd installaties buiten een overschrijding van het groepsrisico mogelijk is; voor installaties binnen of installaties met inblikvoorziening wordt geen overschrijding van het groepsrisico gevonden. Daarom is de afstanden-dichtheden grafiek indertijd beperkt tot bovengenoemde drie typen installaties en zijn er voor de afstanden-dichtheden grafiek geen berekeningen gedaan voor bijvoorbeeld een installatie binnen met inblikvoorziening.

De resultaten van de afstanden-dichtheden berekeningen van het RIVM en de bijbehorende afstanden zijn uiteindelijk gepubliceerd in het ‘Ontwerp-besluit vaststelling

milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichtingen' [2]. In het ontwerpbesluit worden drie typen installaties onderscheiden, namelijk een onbeschermd installatie, een installatie met inblikvoorziening en een installatie waarbij het vloeistofvat binnen staat, in overeenstemming met de berekeningen voor de afstanden-dichtheden grafiek .

De branche organisaties gaven na publicatie van het Ontwerp-besluit te kennen dat de verdeling in drie typen installaties niet goed overeenkomt met de praktijksituatie. In een overleg van het Ministerie van VROM met vertegenwoordigers van de branche organisaties is daarom afgesproken dat het Centrum voor Externe Veiligheid van het RIVM met een nieuw voorstel komt voor een afstanden- en dichtheden tabel. Dit rapport beschrijft het voorstel en de onderliggende berekeningen.

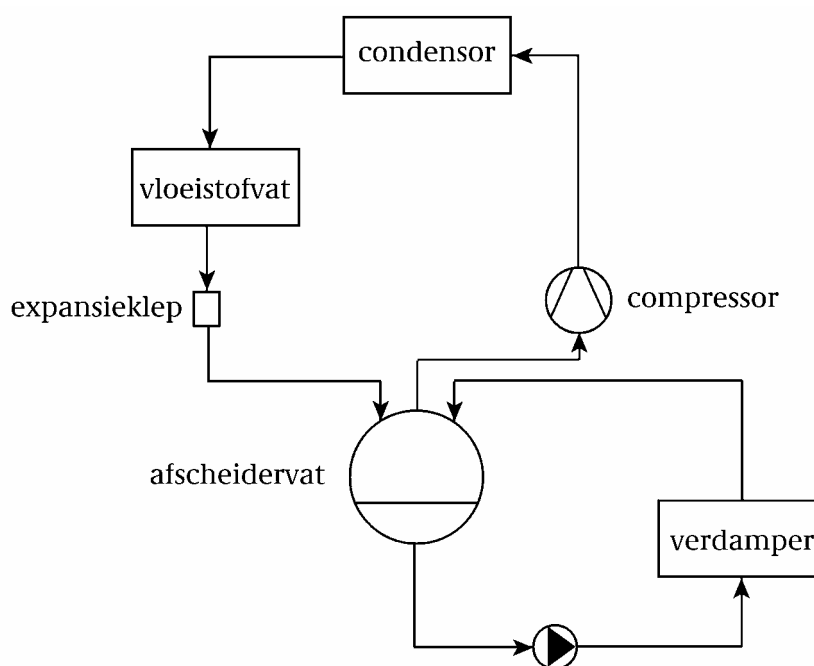


### 3. Installatiekenmerken en de te onderscheiden typen

Voor het berekenen van een afstandentabel ammoniak koelinstallaties dienen eerst de installatiekenmerken bepaald te worden die van belang zijn voor de risico's. In overleg met de branche is een basisschema voor een ammoniak koelinstallatie gemaakt. Vervolgens is een onderscheid gemaakt naar verschillende typen installaties.

#### 3.1 Basisschema ammoniak koelinstallatie

Het basisschema<sup>3</sup> van een ammoniak koelinstallatie is weergegeven in Figuur 1 [6].



Figuur 1 Schema van een ammoniak koelinstallatie

De dimensies van de leidingen zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 *Representatieve afmetingen van de leidingen voor een ammoniak koelinstallatie*

	≤ 3000 kg	> 3000 kg
Vloeistofleiding, lage druk zijde	DN 32 (20 m)	DN 50 (75 m)
Dampleiding, lage druk zijde	DN 125 (20 m)	DN 200 (75 m)
Hoge druk leidingen	DN 80 (10 m)	DN 125 (20 m)
Leiding afscheidervat - pomp	DN 80 (< 10 m)	DN 125 (< 10 m)
Pompaansluiting <sup>4</sup>	DN 50	DN 80

Het doorstroomdebiet in de leidingen naar de verdamper en terug is afhankelijk van de capaciteit van de installatie en ligt in de orde van 1 kg/s. Dit betekent dat installaties met een

<sup>3</sup> In het basisschema van Figuur 1 is, in vergelijking met het schema dat gebruikt is voor de SAVE-afstandentabel, een vloeistofvat toegevoegd tussen de condensor en de expansieklep.

<sup>4</sup> De leiding van het afscheidervat naar de pomp heeft een grotere diameter dan de pompaansluiting om cavitatie te voorkomen.

aanzienlijk groter doorstroomdebiet, zoals ijsbanen, niet voldoen aan het basisschema en dus apart beoordeeld moeten worden.

### 3.2 Verdeling van de systeeminhoud over de componenten

De verdeling van de inhoud van de installatie over de verschillende systeemonderdelen is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 *Verdeling van de inhoud van de ammoniak koelinstallatie over de verschillende onderdelen*

Onderdeel	Inhoud
Afscheidervat	50 %
Verdamper	20 %
Vloeistofvat	15 %
Vloeistofleidingen	7,5 %
Condensor	7,5 %

### 3.3 Temperatuur van de ammoniak koelinstallatie

Een ammoniak koelinstallatie (of warmtepomp<sup>5</sup>) kan op verschillende temperaturen worden bedreven. Zo is de temperatuur van het afscheidervat in een installatie voor een vrieshuis anders dan voor een koelhuis of een warmtepomp. Voor de temperatuur van het afscheidervat wordt de indeling van Tabel 3 gehanteerd, waarbij de laagste temperatuur representatief wordt geacht voor een vrieshuis, de middelste temperatuur voor een koelhuis en de hoogste temperatuur voor overige systemen zoals warmtepompen.

Tabel 3 *Representatieve temperaturen voor een ammoniak koelinstallatie*

Temperatuur afscheidervat	Representatieve temperatuur afscheidervat
$T \leq -25 \text{ °C}$	$T = -25 \text{ °C}$
$-25 \text{ °C} < T \leq -5 \text{ °C}$	$T = -10 \text{ °C}$
$-5 \text{ °C} < T$	$T = 5 \text{ °C}$

De temperatuur van de verdamper en de vloeistofleidingen is gelijk aan de temperatuur van het afscheidervat. De temperatuur van het vloeistofvat is gelijk gesteld aan 25°C en de temperatuur van de condensor is gelijk gesteld aan 35 °C.

### 3.4 Beveiligingen

Voor de aanwezige beveiligingen wordt uitgegaan van de CPR 13-2 richtlijn. Conform CPR 13-2 moeten de volgende voorzieningen aanwezig zijn voor een installatie met een inhoud groter dan 400 kg.

- *Automatische inblokbeveiliging*: in ieder geval in de vloeistofleiding na het afscheidervat. De inblokker is dan meestal na de pomp geplaatst.

<sup>5</sup> Een warmtepomp werkt op dezelfde wijze als een koelinstallatie, maar dient voor het verwarmen van een ruimte.

- *Ontlastorgaan*: bij te hoge druk wordt de ammoniak overgestort van de perszijde naar de zuigzijde. Deze beveiliging is tegendrukonafhankelijk.
- *Veiligheidsklep*: bij te hoge druk in de drukvaten wordt de ammoniak afgeblazen naar de buitenlucht.
- *Pressostaten*<sup>6</sup>: hoge druk – en lage druk-pressostaten op de compressor.
- *Noodstop- en alarmeringssystemen*
- *Automatisch detectiesysteem*
- *Opvangvoorziening* onder vaten met een inhoud > 400 kg
- *Niveau-beveiliging* in de afscheider

De effectiviteit van een opvangvoorziening is beperkt wanneer deze als een eenvoudige opvangbak is uitgevoerd. Bij uitstroom van een grote hoeveelheid ammoniak onder druk wordt de vloeistofplas verspreid over de gehele machinekamer. Daarom wordt voor de verdamping het volledige oppervlak van de machinekamer meegenomen.

Naast de voorgeschreven CPR 13-2 beveiligingen kunnen additionele beveiligingen aanwezig zijn. In de berekeningen wordt de aanwezigheid van beveiligingen van de vloeistofpomp in rekening gebracht. Het betreft beveiligingen die ertoe leiden dat de vloeistofpomp stopt wanneer een breuk in de leiding naar en van de verdamper optreedt. De beveiligingen zijn:

- *Drukverschilbewaking*
- *Thermistor (temperatuur) beveiliging*
- *Thermische motorbeveiliging*

Daarnaast kan een additionele lekdetectie voor het hoge druk gedeelte worden toegepast door middel van een *drukbewaking op circa 2 bar(a)*. Deze drubbewaking kan lekkages voor de (buiten gelegen) hoge druk delen van de installatie detecteren. In de berekeningen wordt daarom onderscheid gemaakt in een systeem met deze pompbeveiligingen en drubbewaking en een systeem zonder deze beveiligingen.

### 3.5 Vloeroppervlak machinekamer

Bij uitstroming van koud ammoniak vormt zich een vloeistofplas. Omdat een opvangvoorziening in de vorm van een eenvoudige opvangbak ineffectief is voor een uitstroming van een grote hoeveelheid ammoniak onder druk, wordt de grootte van de vloeistofplas alleen beperkt door het vloeroppervlak van de machinekamer. Voor de verschillende systeeminhouden wordt het oppervlak aangehouden zoals gegeven in Tabel 4.

---

<sup>6</sup> Een pressostaat is een drukschakelaar die in werking treedt wanneer de druk afwijkt van een voorafgaand ingestelde waarde en die het drukverhogend of drukverlagend onderdeel uitschakelt als die waarde wordt bereikt

Tabel 4 *Representatief vloeroppervlak van de machinekamer voor de verschillende systeeminhouden*

Vulling ammoniak	Oppervlakte machinekamer
400 kg	60 m <sup>2</sup>
1000 kg	80 m <sup>2</sup>
2500 kg	100 m <sup>2</sup>
5000 kg	120 m <sup>2</sup>
7500 kg	150 m <sup>2</sup>
10.000 kg	180 m <sup>2</sup>

### 3.6 Opstelling van de ammoniak koelinstallatie

Er zijn zes typen opstellingen van de ammoniak koelinstallaties [7], zoals weergegeven in Figuur 2.

Type A: Alle ammoniakvoerende onderdelen zijn opgesteld in de machinekamer of in de te koelen ruimte.

Type B: Alle ammoniakvoerende onderdelen zijn opgesteld in de machinekamer of in de te koelen ruimte, met uitzondering van de leidingen naar en van de verdamper. Deze zijn buiten opgesteld<sup>7</sup>.

Type C: Alle ammoniakvoerende onderdelen zijn opgesteld in de machinekamer of in de te koelen ruimte, met uitzondering van de condensor met verbindend leidingwerk. De condensor is buiten opgesteld.

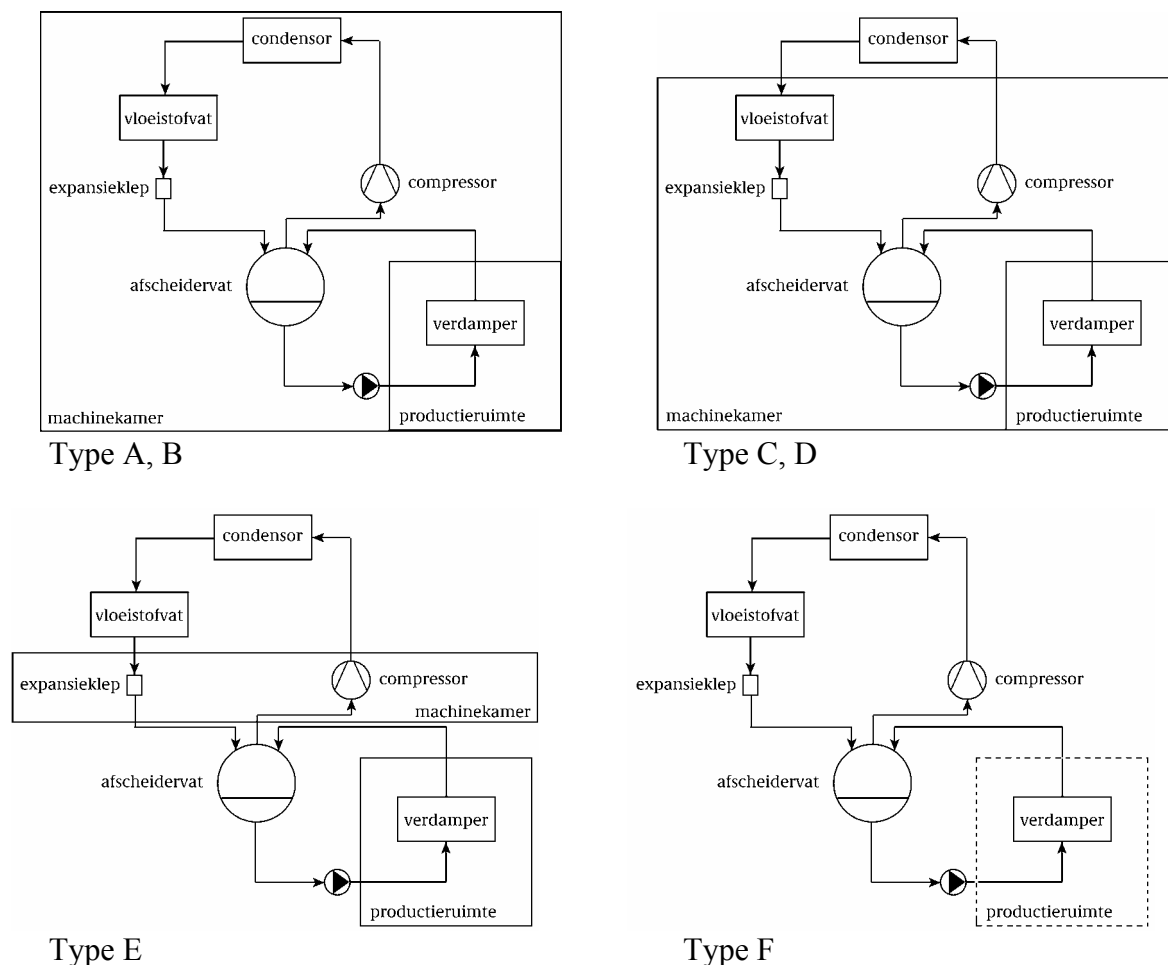
Type D: Alle ammoniakvoerende onderdelen zijn opgesteld in de machinekamer of in de te koelen ruimte, met uitzondering van de condensor met verbindend leidingwerk en de leidingen naar en van de verdamper. Deze zijn buiten opgesteld.

Type E: Alle ammoniakvoerende onderdelen zijn buiten opgesteld, met uitzondering van de expansieklep, de compressor en de verdamper. Deze zijn opgesteld in de machinekamer of in de te koelen ruimte.

Type F: Alle ammoniakvoerende onderdelen zijn buiten opgesteld, eventueel met uitzondering van de verdamper. Deze kan opgesteld zijn in de te koelen ruimte.

Voor alle installaties wordt een beveiliging conform CPR 13-2 aangenomen. De CPR 13-2 richtlijn staat toe dat er in een machinekamer geen geforceerde ventilatie is, maar alleen natuurlijk geventileerd wordt. Indien de machinekamer alleen natuurlijke ventilatie heeft, wordt de installatie als type F beschouwd. Voor de typen A tot en met E wordt geforceerde ventilatie van de machinekamer aangenomen volgens CPR 13-2.

<sup>7</sup> In de praktijk zijn er veel installaties waarbij de vaten zijn opgesteld in de machinekamer, maar de vloeistofleidingen over het dak naar de verdamper gaan. Daarom wordt onderscheid gemaakt tussen de typen A en B en de typen C en D, waarbij de leidingen naar en van de verdamper binnen (A, C) dan wel buiten (B, D) zijn opgesteld.



Figuur 2 Overzicht van de zes typen opstellingen van de ammoniak koelinstallaties

### 3.7 Systemkenmerken in de afstandentabel

In de berekeningen voor de afstandentabel wordt onderscheid gemaakt in de systeemkenmerken zoals weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 *Systemkenmerken van een installatie voor de afstandentabel*

Systemkenmerk	Mogelijkheden
Inhoud van het systeem	Massa tussen 200 kg en 10.000 kg
Type opstelling	A, B, C, D, E, F
Temperatuur afscheidervat	$T \leq -25 \text{ }^\circ\text{C}$ of $-25 \text{ }^\circ\text{C} < T \leq -5 \text{ }^\circ\text{C}$ of $-5 \text{ }^\circ\text{C} < T$
Pompbeveiliging en Drukbeveiliging hoge druk zijde	Aanwezig of afwezig

Daarnaast wordt uitgegaan van een pompcapaciteit van circa 1 kg/s.

### **3.8 Verscheidenheid aan systemen**

Het voorgestelde basisschema is een vereenvoudigde weergave van een koelinstallatie. In de praktijk bestaat er een grote verscheidenheid aan systemen, zoals cascadesystemen en indirecte systemen. Voor cascadesystemen wordt vooralsnog aangenomen dat de risico's niet significant verschillen van een systeem volgens het basisschema. Bij indirecte systemen is er geen ammoniak buiten de machinekamer, zodat deze als type A of C beschouwd worden. Aangenomen wordt dat lekkage van de tweede koudedragers of lekkage van ammoniak in het secundaire systeem niet leidt tot externe risico's.

## 4. Voorbeeldberekening afstandentabel

### 4.1 Uitgangspunten

De afstandentabel wordt hier uitgewerkt voor een installatie van 5000 kg ammoniak die voldoet aan de beschrijving van hoofdstuk 3. De berekening is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- De berekening is zo realistisch mogelijk; bij een aantal keuzes is een veilige benadering gekozen die leidt tot een lichte overschatting van het risico.
- De berekening is zo veel mogelijk conform de standaard methodiek voor het uitvoeren van een QRA zoals vastgelegd in het Paarse Boek [8].
- In de berekening wordt geen rekening gehouden met de invloed van de gebouwen op de verspreiding van ammoniak.
- De locatie voor de emissies is voor alle scenario's de locatie van de machinekamer, met uitzondering van de leidingen naar en van de verdamper: deze zijn gedefinieerd als lijnbronnen van 75 meter lengte (of 20 meter lengte, afhankelijk van de grootte van de installatie), vanaf de machinekamer.
- Voor de omgeving is een ruwheidslengte van één meter aangenomen.
- De meteorologische omstandigheden zijn gemiddeld over Nederland, waarbij de windrichting uniform over de windroos genomen is. De zes standaard weerklassen (B3, D1,5, D5, D9, E5 en F1,5) zijn gebruikt.
- De geforceerde ventilatie van de machinekamer voldoet aan CPR 13-2 en bedraagt  $Q = 50 \times M^{2/3} = 15000 \text{ m}^3/\text{h}$  (M is de totale vulinhoud van het grootste koelsysteem dat (gedeeltelijk) in de te ventileren ruimte is geplaatst, dat wil zeggen 5000 kg).
- De lozingshoogte is voor alle emissies gelijk aan vijf meter.
- Lozingen in de buitenlucht zijn gemodelleerd als horizontale uitstroming. Emissies vanuit de machinekamer zijn verticaal omhoog gericht met een snelheid gelijk aan 20 m/s.
- De geforceerde ventilatie van de machinekamer treedt direct in werking bij een lekkage, zodat de emissie vanuit de machinekamer volledig via de afvoer van de ventilatie in de buitenlucht komt.
- In een aantal scenario's is het uitstroomdebiet van ammoniak groter dan het ventilatiedebiet van de machinekamer. In dat geval wordt aangenomen dat het volledige uitstroomdebiet van ammoniak via de afvoer van de ventilatie in de buitenlucht komt.

De voorbeeldberekening is uitgevoerd voor een installatie met een temperatuur van het afscheidervat gelijk aan  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  (253 K). Deze waarde ligt tussen de rekentemperatuur voor een vrieshuis ( $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) en de rekentemperatuur voor een koelhuis ( $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

De berekeningen zijn uitgevoerd met het model SAFETI versie 6.21 [9].

## 4.2 Scenario's

Voor de standaard installatie dienen conform CPR 18E faalscenario's meegenomen te worden voor de volgende onderdelen:

- Afscheidervat (§ 4.2.1)
- leiding afscheidervat – vloeistofpomp (§ 4.2.2)
- vloeistofpomp (§ 4.2.3)
- leiding vloeistofpomp – verdamper (§ 4.2.4)
- verdamper (§ 4.2.5)
- leiding verdamper – afscheidervat (§ 4.2.6)
- leiding afscheidervat – compressor (§ 4.2.7)
- compressor (§ 4.2.8)
- leiding compressor – condensor (§ 4.2.9)
- condensor (§ 0)
- leiding condensor – vloeistofvat (§ 4.2.11)
- vloeistofvat (§ 4.2.12)
- leiding vloeistofvat – afscheidervat (§ 4.2.13 en § 4.2.14)

In de volgende paragrafen is voor elk van deze onderdelen aangegeven hoe de scenario's gemodelleerd zijn voor de verschillende typen installaties. Voor elk scenario wordt de hoeveelheid ammoniak gegeven die vrijkomt in de buitenlucht en op basis waarvan de verspreiding wordt berekend.

- Voor de scenario's in de machinekamer wordt op basis van de uitstroomgegevens berekend wat de hoeveelheid is die uiteindelijk via de ventilatie vrij komt in de buitenlucht; hierbij wordt rekening gehouden met het gegeven dat een gedeelte van het ammoniak uitregent en als vloeistofplas achterblijft in de machinekamer. In de bronterm wordt ook rekening gehouden met de invloed van de ventilatie op de (tijdsafhankelijke) emissie uit de machinekamer.
- Voor de scenario's buiten de machinekamer is de volledige bronterm weergegeven; het gebruikte rekenpakket, SAFETI, berekent vervolgens op basis van een 'druppel traject model' de fractie die in de wolk terecht komt, de fractie die in een plas terecht komt en de bijdrage van de plasverdamping.

### 4.2.1 Afscheidervat

De inhoud van het afscheidervat is gelijk aan 2500 kg (50 % van de systeeminhoud, zie Tabel 2) en de temperatuur is  $-20^{\circ}\text{C}$ . Voor de installatietypen A, B, C, D is het afscheidervat opgesteld in de machinekamer, voor de typen E en F is het afscheidervat buiten opgesteld. Er zijn drie scenario's die meegenomen moeten worden.

#### 4.2.1.1 Instantaan falen afscheidervat – $5 \times 10^{-7}$ per jaar

Voor de installatietypen A, B, C, D komt 2500 kg in één keer vrij in de machinekamer. Op basis van de flashfractie (0,043) wordt de fractie damp gelijk gesteld aan twee keer de flash fractie, 0,086 (220 kg). Voor de plasverdamping is gekeken naar de bijdrage van een vloeistofplas met een oppervlak van  $120\text{ m}^2$  (zie Tabel 4) gedurende 1800 s. De berekening is beschreven in Bijlage A en is gelijk aan 310 kg. De totale bronterm is 530 kg. Deze is gemodelleerd als een 10 minuten emissie in de machinekamer<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Het zwaartepunt van de emissie ligt bij het eerste deel van de emissie, namelijk de flash fractie en de eerste minuten van de plasverdamping. Daarom is gekozen voor een kortere tijd dan de 1800 s.



Voor de installatietypen E, F komt 2500 kg in één keer buiten vrij.

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D	0,88 kg/s	600 s	Machiniekamer
E, F	2500 kg	Instantaan	Buiten

#### 4.2.1.2 10 minuten uitstroming afscheidervat – $5 \times 10^{-7}$ per jaar

Voor de installatietypen A, B, C, D komt 2500 kg in 600 s vrij in de machiniekamer. De fractie in de plas is berekend door uit te gaan van jet uitstroming met een gereduceerde impuls, om rekening te houden met de wanden van de machiniekamer (zie Bijlage B). De fractie die uit regent is gelijk aan 0,8 (2000 kg), zodat de fractie in de wolk gelijk is aan 0,2 (500 kg). Voor de plasverdamping wordt uitgegaan van dezelfde hoeveelheid als de instantane emissie, 310 kg, zodat de totale bronterm gelijk is aan 810 kg. Deze is gemodelleerd als een 10 minuten emissie in de machiniekamer, waarbij de gehele bronterm als damp vrijkomt.

Voor de installatietypen E, F is het scenario gemodelleerd als het vrijkomen van 2500 kg in 600 s.

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D	1,4 kg/s	600 s	Machiniekamer
E, F	4,2 kg/s	600 s	Buiten

#### 4.2.1.3 10 mm gat afscheidervat – $1 \times 10^{-5}$ per jaar

Voor de installatietypen A, B, C, D komt 0,5 kg/s vrij in de machiniekamer. De fractie in de plas is berekend door uit te gaan van jet uitstroming met een gereduceerde impuls, om rekening te houden met de wanden van de machiniekamer. De fractie die uit regent is gelijk aan 0,63, zodat de fractie in de wolk gelijk is aan 0,37, dat wil zeggen 330 kg. Voor de plasverdamping wordt uitgegaan van dezelfde hoeveelheid als de instantane emissie, 310 kg, zodat de totale bronterm gelijk is aan 640 kg. Deze is gemodelleerd als een 30 minuten emissie in de machiniekamer, waarbij de gehele bronterm als damp vrijkomt.

Voor de installatietypen E, F komt 0,5 kg/s buiten vrij.

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D	0,36 kg/s	1800 s	Machiniekamer
E, F	0,5 kg/s	1800 s	Buiten

## 4.2.2 Leiding afscheidervat – vloeistofpomp

Voor het leidingstuk afscheidervat – vloeistofpomp (DN125) wordt een lengte<sup>9</sup> van 10 meter aangehouden. Er zijn twee standaard scenario's die moeten worden meegenomen, namelijk breuk van de leiding en lekkage. De frequentie van het breukscenario voor de leiding (125 mm) is  $10 \text{ m} \times 3 \times 10^{-7}$  per meter per jaar =  $3 \times 10^{-6}$  per jaar, de frequentie van het lekkage scenario is  $2 \times 10^{-5}$  per jaar.

Bij breuk van de leiding zal het afscheidervat leeglopen omdat de inlokafsluiter achter de pomp is geplaatst. Dit is gemodelleerd als een leiding aan de vloeistoffase van een vat met inhoud 2500 kg.

<sup>9</sup> In werkelijkheid is de lengte van het leidingstuk afscheidervat – vloeistofpomp slechts enkele meters. Conform CPR 18E is voor de faalfrequentie uitgegaan van een minimumlengte van 10 meter.

#### 4.2.2.1 Breuk leiding afscheidervat – pomp – $3 \times 10^{-6}$ per jaar

Voor de installatietypen A, B, C, D komt 2500 kg vrij in de machinekamer in ongeveer 130 s. De fractie in de plas is berekend door uit te gaan van jet uitstroming met een gereduceerde impuls, om rekening te houden met de wanden van de machinekamer. De fractie die uitregent is gelijk aan 0,86, zodat de fractie in de wolk gelijk is aan 0,14, dat wil zeggen 350 kg. Voor de plasverdamping wordt uitgegaan van dezelfde hoeveelheid als de instantane emissie, 310 kg, zodat de totale bronterm gelijk is aan 660 kg. Deze is gemodelleerd als een emissie in de machinekamer gedurende 130 s, waarbij de gehele bronterm als damp (met kleine vloeistofdruppels) vrijkomt.

De bronterm bedraagt in dit geval 5,1 kg/s, hetgeen groter is dan het ventilatiedebiet van de machinekamer. In dit geval komt de volledige bronterm zonder inmenging direct vrij via de ventilatie-opening.

Voor de installatietypen E, F komt 2500 kg vrij in de buitenlucht in 130 s.

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A,B,C,D	5,1 kg/s	130 s	Machinekamer
E,F	19 kg/s	130 s	Buiten

#### 4.2.2.2 Gat leiding afscheidervat – pomp – $2 \times 10^{-5}$ per jaar

Dit scenario is gemodelleerd als een gat met een diameter van 12,5 mm in een vat. Hierbij komt 0,8 kg/s ammoniak vrij. Voor de installatietypen A, B, C, D komt deze hoeveelheid in de machinekamer vrij. De fractie in de plas is berekend door uit te gaan van jet uitstroming met een gereduceerde impuls, om rekening te houden met de wanden van de machinekamer. De fractie die uit regent is gelijk aan 0,68, zodat de fractie in de wolk gelijk is aan 0,32, dat wil zeggen 0,26 kg/s. Voor de plasverdamping wordt uitgegaan van dezelfde hoeveelheid als de instantane emissie, 310 kg, zodat de totale bronterm gelijk is aan 0,43 kg/s. Deze is gemodelleerd als een emissie in de machinekamer gedurende 1800 s, waarbij de gehele bronterm als damp vrijkomt. De fractie die uitregent is verwaarloosd.

Voor de installatietypen E, F komt 0,8 kg/s buiten vrij.

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D	0,43 kg/s	1800 s	Machinekamer
E, F	0,8 kg/s	1800 s	Buiten

### 4.2.3 Vloeistofpomp

Er zijn twee standaard scenario's die moeten worden meegenomen, namelijk breuk van de grootste aansluiting (80 mm) en lek. Voor de frequentie wordt uitgegaan van gesloten pompen. De frequentie van het breukscenario is  $1 \times 10^{-5}$  per jaar, de frequentie van het lekkage scenario is  $5 \times 10^{-5}$  per jaar.

Voor de installatietypen A, B, C, D komt 2500 kg vrij in de machinekamer in ongeveer 330 s. De fractie in de plas is berekend door uit te gaan van jet uitstroming met een gereduceerde impuls, om rekening te houden met de wanden van de machinekamer. De fractie die uit regent is gelijk aan 0,83, zodat de fractie in de wolk gelijk is aan 0,17, dat wil zeggen 425 kg. Voor de plasverdamping wordt uitgegaan van dezelfde hoeveelheid als de instantane emissie, 310 kg, zodat de totale bronterm gelijk is aan 735 kg. Deze is gemodelleerd als een emissie in de machinekamer gedurende 330 s, waarbij de gehele bronterm als damp (met kleine vloeistofdruppels) vrijkomt.

Voor de installatietypen E, F komt 2500 kg vrij in de buitenlucht in 330 s.

#### 4.2.3.1 Breuk pomp – $1 \times 10^{-5}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D	2,2 kg/s	330 s	Machiniekamer
E,F	7,7 kg/s	330 s	Buiten

#### 4.2.3.2 Gat pomp – $5 \times 10^{-5}$ per jaar

Dit scenario is gemodelleerd als een gat met een diameter van 8 mm in een vat. Hierbij komt 0,3 kg/s ammoniak vrij. Voor de installatietypen A, B, C, D komt deze hoeveelheid in de machiniekamer vrij. De fractie in de plas is berekend door uit te gaan van jet uitstroming met een gereduceerde impuls, om rekening te houden met de wanden van de machiniekamer. De fractie die uit regent is gelijk aan 0,58, zodat de fractie in de wolk gelijk is aan 0,42, dat wil zeggen 0,126 kg/s. Voor de plasverdamping wordt uitgegaan van dezelfde hoeveelheid als de instantane emissie, 310 kg, zodat de totale bronterm gelijk is aan 0,3 kg/s. Deze is gemodelleerd als een emissie in de machiniekamer gedurende 1800 s, waarbij de gehele bronterm als damp vrijkomt.

Voor de installatietypen E, F komt 0,3 kg/s buiten vrij.

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D	0,3 kg/s	1800 s	Machiniekamer
E, F	0,3 kg/s	1800 s	Buiten

#### 4.2.4 Leiding vloeistofpomp – verdamper

Voor de leiding van de vloeistofpomp naar de verdamper (DN50) wordt een lengte van 75 meter aangehouden, zodat de breukfrequentie gelijk is aan  $75 \text{ m} \times 10^{-6}$  per meter per jaar. Het pompdebiet is in de orde van 1 à 2 kg/s, en is voor de berekening gelijkgesteld aan 1,5 kg/s. De uitstroomlocaties zijn verdeeld over de gehele lengte van de leiding.

##### 4.2.4.1 Breuk leiding vloeistofpomp – verdamper $7,5 \times 10^{-5}$ per jaar

Afhankelijk van de ligging van de leiding en de aanwezige beveiligingen zijn verschillende systeemreacties mogelijk.

- Indien de leiding in de machiniekamer ligt (typen A, C) wordt de lekkage gedetecteerd en vindt inblokking plaats. De reactietijd van het systeem wordt twee minuten verondersteld, zodat 180 kg vrijkomt. Bij deze hoeveelheid wordt nog de inhoud van de vloeistofleiding<sup>10</sup> (100 kg), en 20%<sup>11</sup> van de inhoud van de verdamper opgeteld ( $0,2 \times 0,2 \times 5000 \text{ kg} = 200 \text{ kg}$ ). De totale hoeveelheid is daarom 480 kg. Dit is gemodelleerd door uit te gaan van het debiet van 1,5 kg/s en de uitstroomduur te berekenen aan de hand van de totale uitgestroomde hoeveelheid. De fractie die uit regent

<sup>10</sup> Het volume van de leiding (DN50) naar de verdamper is gelijk  $75 \text{ m} \times 0,25 \times \pi \times 0,05^2 \text{ m}^2 = 0,15 \text{ m}^3$ . De dichtheid van vloeibaar ammoniak is gelijk aan  $665 \text{ kg/m}^3$ , zodat de inhoud gelijk is aan 100 kg.

<sup>11</sup> Vanuit de verdamper stroomt een deel van de inhoud uit naar de leidingbreuk. Deze hoeveelheid is beperkt omdat de magneetklep dicht zal vallen omdat er geen 'positieve stroom' is. De magneetklep kan wel open gedrukt worden bij voldoende verschilddruk (minimaal 0,2 bar) tegen de normale stromingsrichting in. De doorstroomcapaciteit zal sterk beperkt worden doordat over de klep expansie plaatsvindt. Daarnaast is er in een aantal gevallen een terugslagklep na de magneetklep gemonteerd. Aangenomen wordt dat ongeveer 20% van de hoeveelheid koudemiddel in de verdamper uitstroomt.

- wordt verwaarloosd, mede omdat deze via plasverdamping weer in de dampfase komt; aangenomen is dat de volledige bronterm vrijkomt via de ventilatie.
- Indien de leiding buiten loopt (typen B, D, E, F) vindt geen detectie plaats. Afhankelijk van de aanwezigheid van pompbeveiligingen zijn er twee mogelijkheden:
    - Pompbeveiligingen ontbreken, zodat de pomp blijft werken. Het afscheidervat stroomt leeg tot de laag niveau-beveiliging in werking treedt. Aangenomen wordt dat 80% van de inhoud van het afscheidervat (2000 kg) + 20% van de inhoud van de verdamper (200 kg) + de inhoud van de vloeistofleiding (100 kg) op deze wijze uitstroomt, in totaal 2300 kg. Dit is gemodelleerd door uit te gaan van een debiet van 1 kg/s en de uitstroomduur te berekenen aan de hand van de totale uitgestroomde hoeveelheid. Het debiet is lager dan het standaard pompdebiet van 1,5 kg/s doordat gasbellen worden gevormd die de uitstroming ‘hinderen’.
    - Pompbeveiligingen zijn aanwezig, zodat de pomp uitvalt na (effectief<sup>12</sup>) 120 s. De uitgestroomde hoeveelheid is de som van het pompdebiet gedurende 120 s (180 kg), de uitstroming van de inhoud van het afscheidervat ten gevolge van het drukverschil tussen het afscheidervat en atmosferische druk (geschat op  $0,10^{13} \times 2500 \text{ kg} = 250 \text{ kg}$ ), 20% van de inhoud van de verdamper (200 kg) en de inhoud van de vloeistofleiding (100 kg), in totaal 730 kg. Dit is gemodelleerd door uit te gaan van het debiet van 1 kg/s en de uitstroomduur te berekenen aan de hand van de totale uitgestroomde hoeveelheid.

Type	Bronterm	Duur	Locatie	Pompbeveiliging
A, C	1,5 kg/s	320 s	Machiniekamer	
B, D, E, F	1 kg/s	1800 s	Buiten	Nee
B, D, E, F	1 kg/s	730 s	Buiten	Ja

#### 4.2.4.2 Gat leiding vloeistofpomp – verdamper $37,5 \times 10^{-5}$ per jaar

Uitgegaan is van een 5 mm gat in de leiding.

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, C	0,13 kg/s	1800 s	Machiniekamer
B, D, E, F	0,13 kg/s	1800 s	Buiten

#### 4.2.5 Verdamper

De verdamper bevindt zich in het algemeen in de machiniekamer (indirect systeem) dan wel de te koelen ruimte (direct systeem). Conform het Paarse Boek dient uitgegaan te worden van breuk van 10 pijpen, breuk van één pijp en een lek. In het algemeen zijn de diameter van de pijpen van de verdamper zeer klein, zodat geen externe effecten te verwachten zijn voor dit scenario.

<sup>12</sup> Een effectieve tijd wordt genomen om rekening te houden met een aantal keren dat de pomp opnieuw gestart wordt.

<sup>13</sup> De waarde voor de uitstroming uit het afscheidervat na het uitvallen van de pomp is moeilijk te bepalen. Door de pompweerstand en de vorming van bellen is de waarde aanzienlijk minder dan het gewone pompdebiet. Er is gekozen voor een pragmatische invulling, namelijk 35% van de inhoud van het afscheidervat voor 5 °C, 17% van de inhoud voor –10 °C en 0% van de inhoud voor –25 °C. Voor de voorbeeldberekening is uitgegaan van 10% van de inhoud.

#### 4.2.6 Leiding verdamper – afscheidervat

Voor de leiding van de verdamper naar het afscheidervat (DN200) wordt een totale lengte van 75 meter aangehouden, met breukfrequentie  $75 \text{ m} \times 10^{-7}$  per meter per jaar. Het pompdebiet is 1 – 2 kg/s, en gelijkgesteld aan 1,5 kg/s. De uitstroomblocaties zijn verdeeld over de gehele lengte van de leiding. Afhankelijk van de ligging van de leiding zijn verschillende systeemreacties mogelijk.

##### 4.2.6.1 Breuk leiding verdamper - afscheidervat - $7,5 \times 10^{-6}$ per jaar

Bij breuk van de leiding verdamper – afscheider worden de volgende systeemreacties in rekening gebracht.

- Wanneer detectie en pompbeveiligingen ontbreken wordt aangenomen dat 80% van de inhoud van het afscheidervat (2000 kg) vrijkomt. Bij aanwezigheid van detectie en/of pompbeveiliging wordt de reactietijd van het systeem (effectief) twee minuten verondersteld. De hoeveelheid die in twee minuten vrijkomt is 180 kg. Daarnaast is er een bijdrage van de flashverdamping van het afscheidervat, 108 kg.
- De inhoud van de verdamper komt vrij. De snelheid waarmee de inhoud van de verdamper vrij komt loopt terug in de tijd ten gevolge van de steeds kleiner wordende vloeistofinhoud in de verdamper. Aangenomen wordt dat gemiddeld de verdamper leegstroomt met een kwart van het normale debiet, d.w.z. 0,4 kg/s, gedurende 1800 s (totaal 720 kg).

Voor installaties met detectie en/of pompbeveiliging bedraagt de totale bronterm daarom  $180 \text{ kg} + 110 \text{ kg} + 720 \text{ kg} = 1010 \text{ kg}$ ; voor installaties zonder detectie of beveiliging is de totale bronterm gelijk aan  $2000 \text{ kg} + 720 \text{ kg} = 2720 \text{ kg}$ . Deze brontermen komen vrij in maximaal 1800 s, waarbij voor de installatie zonder beveiliging uit is gegaan van een debiet van 1 kg/s.

Type	Bronterm	Duur	Locatie	Pompbeveiliging
A, C	0,56 kg/s	1800 s	Machinekamer	
B, D, E, F	1 kg/s	1800 s	Buiten	Nee
B, D, E, F	0,56 kg/s	1800 s	Buiten	Ja

##### 4.2.6.2 Gat leiding verdamper - afscheidervat – $37,5 \times 10^{-6}$ per jaar

Uitgegaan is van een 20 mm gat in de leiding (dampfase).

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, C	0,085 kg/s	1800 s	Machinekamer
B, D, E, F	0,085 kg/s	1800 s	Buiten

#### 4.2.7 Leiding afscheidervat – compressor

Voor het leidingstuk afscheidervat – compressor (DN200) wordt de minimumlengte van 10 meter aangehouden. Er zijn twee standaard scenario's die moeten worden meegenomen, namelijk breuk leiding en lek leiding. De frequentie van het breukscenario voor de leiding (200 mm) is  $10 \text{ m} \times 1 \times 10^{-7}$  per meter per jaar =  $1 \times 10^{-6}$  per jaar, de frequentie van het lekkage scenario is  $5 \times 10^{-6}$  per jaar. De scenario's zijn gelijk aan de scenario's voor de leiding verdamper – afscheidervat<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> De bronterm is iets lager omdat van de eerste 120 s alleen de dampfractie vrijkomt (120 kg in plaats van 180 kg). Deze correctie is klein en niet meegenomen.

#### 4.2.7.1 Breuk leiding afscheidervat – compressor – $1 \times 10^{-6}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie	Pompbeveiliging
A, B, C, D	0,56 kg/s	1800 s	Machiniekamer	
E, F	1 kg/s	1800 s	Buiten	Nee
E, F	0,56 kg/s	1800 s	Buiten	Ja

#### 4.2.7.2 Gat leiding afscheidervat – compressor – $5 \times 10^{-6}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D	0,085 kg/s	1800 s	Machiniekamer
E, F	0,085 kg/s	1800 s	Buiten

### 4.2.8 Compressor

Er zijn twee standaard scenario's die moeten worden meegenomen, namelijk breuk leiding en lek leiding. Uitgegaan is van een gesloten compressor: de frequentie van het breukscenario is  $1 \times 10^{-5}$  per jaar, de frequentie van het lekkage scenario is  $5 \times 10^{-5}$  per jaar. De scenario's zijn identiek aan breuk / lek van de leiding naar de compressor.

#### 4.2.8.1 Breuk compressor – $1 \times 10^{-5}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie	Pompbeveiliging
A, B, C, D, E	0,56 kg/s	1800 s	Machiniekamer	
F	1 kg/s	1800 s	Buiten	Nee
F	0,56 kg/s	1800 s	Buiten	Ja

#### 4.2.8.2 Gat compressor – $5 \times 10^{-5}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D, E	0,085 kg/s	1800 s	Machiniekamer
F	0,085 kg/s	1800 s	Buiten

### 4.2.9 Leiding compressor – condensor

Voor het leidingstuk compressor – condensor (DN125) wordt een lengte van 20 meter aangehouden. Er zijn twee standaard scenario's die moeten worden meegenomen, namelijk breuk leiding en lek leiding. De frequentie van het breukscenario voor de leiding is  $20 \text{ m} \times 3 \times 10^{-7}$  per meter per jaar =  $6 \times 10^{-6}$  per jaar, de frequentie van het lek scenario is  $4 \times 10^{-5}$  per jaar.

Bij breuk van de leiding vindt uitstroming plaats vanaf de condensor en het vloeistofvat en vanaf de compressor.

- De inhoud van de condensor is 7,5% van de systeeminhoud, dat wil zeggen 375 kg. Een aanzienlijke fractie van de inhoud van de condensor zal verdampen. Aangenomen wordt dat de warmtetoevoer aan de condensor voldoende is voor het verdampen van de gehele inhoud van de condensor<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Een aanzienlijk deel van de inhoud van de condensor zal verdampen; de statische capaciteit van een luchtgekoelde condensor is ongeveer 20%, maar het temperatuurverschil is nu groter, namelijk tussen het kookpunt van ammoniak en de omgevingslucht. Aangenomen is daarom dat 100% verdampt.

- De inhoud van de hoge drukleidingen (van condensor naar vloeistofvat en van vloeistofvat naar expansieorgaan) levert een flashfractie van ongeveer 1% van de systeeminhoud, d.w.z. 50 kg.
- De inhoud van het vloeistofvat is 15% van de systeeminhoud, dat wil zeggen 750 kg. De uitstroming van het vloeistofvat wordt gelijkgesteld aan één keer de flash fractie. Bij een temperatuur van 298 K is de flash fractie gelijk aan 0,19, zodat de vrijkomende hoeveelheid gelijk is aan  $0,19 \times 750 \text{ kg} = 140 \text{ kg}$ .
- De compressor levert een continu debiet van 1 kg/s. Indien beveiligingen en detectie ontbreken wordt aangenomen dat de compressor gedurende 1800 s blijft doorlopen (1800 kg)
- Bij detectie en/of pompbeveiligingen en hoge-druk-lekbewaking zal de compressor uitschakelen, zodat de uitstroming vanuit de compressor beperkt is tot maximaal 120 s (120 kg). Hierbij komt nog de flashfractie van de afscheider, 108 kg.

De totale bronterm bedraagt dan 2365 kg (geen detectie of beveiligingen) dan wel 793 kg (wel detectie en beveiligingen). Initieel is het uitstroomdebiet hoog maar door afkoelen van de inhoud in de condensor en het vloeistofvat zal het uitstroomdebiet snel afnemen. Dit is gemodelleerd als  $1,5^{16} \text{ kg/s}$  gedurende 1580 s (geen detectie) of gedurende 530 s (wel detectie of beveiliging). De uitstroming in de machinekamer betreft damp; plasvorming wordt niet aangenomen.

Een gat in de leiding wordt gemodelleerd als een 12,5 mm gat in een vat met temperatuur 308 K. Het uitstroomdebiet is 0,26 kg/s, hetgeen lager is dan het pompdebiet van de compressor. Aangenomen is daarom dat deze bronterm gedurende 1800 s in stand blijft bij uitstroming buiten. Bij detectie en/of compressorbeveiliging wordt aangenomen dat de compressor stopt na 120 s. De inhoud van de condensor en de flash bijdragen van het vloeistofvat en de leidingen zijn voldoende om de bronterm van 0,26 kg/s gedurende 1800 s in stand te houden.

#### 4.2.9.1 *Breuk leiding compressor - condensor – $6 \times 10^{-6}$ per jaar*

Type	Bronterm	Duur	Locatie	Compressor-beveiliging
A, B	1,5 kg/s	530 s	Machinekamer	
C, D, E, F	1,5 kg/s	1580 s	Buiten	Nee
C, D, E, F	1,5 kg/s	530 s	Buiten	Ja

#### 4.2.9.2 *Gat leiding compressor - condensor – $4 \times 10^{-5}$ per jaar*

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B	0,26 kg/s	1800 s	Machinekamer
C, D, E, F	0,26 kg/s	1800 s	Buiten

### 4.2.10 Condensor

De condensor bevindt zich in het algemeen in de machinekamer of op het dak. Conform het Paarse Boek dient uitgegaan te worden van breuk van 10 pijpen, breuk van één pijp en een lek. In het algemeen zijn de diameter van de pijpen van de condensor zeer klein, zodat geen externe effecten te verwachten zijn voor dit scenario.

<sup>16</sup> De keuze van 1,5 kg/s is enigszins arbitrair gezien het hoge initiële uitstroomdebiet. Gekozen is voor een waarde die in de orde is van het debiet van de compressor.

#### 4.2.11 Leiding condensor – vloeistofvat

Voor het leidingstuk condensor – vloeistofvat (DN125) wordt een lengte van 10 meter aangehouden. Er zijn twee standaard scenario's die moeten worden meegenomen, namelijk breuk leiding en lek leiding. De frequentie van het breukscenario voor de leiding (125 mm) is  $10 \text{ m} \times 3 \times 10^{-7}$  per meter per jaar =  $3 \times 10^{-6}$  per jaar, de frequentie van het lekkage scenario is  $2 \times 10^{-5}$  per jaar. Aangenomen wordt dat de uitstroomhoeveelheden en uitstroomdebieten dezelfde zijn als bij de leiding compressor – condensor.

##### 4.2.11.1 Breuk leiding condensor - vloeistofvat – $3 \times 10^{-6}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie	Compressor-beveiliging
A, B	1,5 kg/s	530 s	Machinekamer	
C, D, E, F	1,5 kg/s	1580 s	Buiten	Nee
C, D, E, F	1,5 kg/s	530 s	Buiten	Ja

##### 4.2.11.2 Gat leiding condensor - vloeistofvat – $2 \times 10^{-5}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B	0,26 kg/s	1800 s	Machinekamer
C, D, E, F	0,26 kg/s	1800 s	Buiten

#### 4.2.12 Vloeistofvat

Voor het vloeistofvat moeten drie standaard scenario's worden meegenomen, namelijk instantaan falen, 10 minuten emissie en 10 mm gat.

##### 4.2.12.1 Instantaan falen vloeistofvat – $5 \times 10^{-7}$ per jaar

Bij instantaan falen van het vloeistofvat zal uitstroming vanuit het verbindend leidingwerk plaatsvinden totdat de lage druk-beveiliging, laag niveau of een andere beveiliging in werking treedt. Naast de volledige inhoud van het vloeistofvat wordt aangenomen dat dezelfde hoeveelheid uitstroomt als bij het scenario *breuk leiding condensor – vloeistofvat*. De totale bronterm bedraagt dus:

- De inhoud van het vloeistofvat, 750 kg. In de machinekamer treedt plasvorming op; daarom wordt in de machinekamer gerekend met twee keer de flashfractie (280 kg) + de plasverdamping (310 kg), dat wil zeggen 590 kg.
- De inhoud van de condensor, 375 kg
- De inhoud van de hoge drukleidingen (van condensor naar vat en vat naar expansieorgaan), flashfractie 50 kg.
- De bijdrage van de compressor, 1800 kg (geen detectie en/of pompbeveiligingen) of 228 kg (wel detectie, pompbeveiligingen).

De uitgestroomde hoeveelheid is daarom gelijk aan 2975 kg (geen detectie en/of pompbeveiligingen) dan wel 1403 kg (met detectie en/of pompbeveiligingen, buiten) of 1243 kg (met detectie en/of pompbeveiligingen, binnen). Dit is gemodelleerd door het uitstroomdebiet van het scenario *breuk leiding condensor – vloeistofvat* evenredig te verhogen.



Type	Bronterm	Duur	Locatie	Compressor-beveiliging
A, B, C, D	2,3 kg/s	530 s	Machinekamer	
E, F	1,9 kg/s	1580 s	Buiten	Nee
E, F	2,6 kg/s	530 s	Buiten	Ja

#### 4.2.12.2 10 minuten emissie vloeistofvat – $5 \times 10^{-7}$ per jaar

Bij 10 minuten emissie van de inhoud van het vloeistofvat is het uitstroomdebiet gelijk aan 750 kg in 600 s, d.w.z. 1,25 kg/s. De uitgestroomde hoeveelheden zijn gelijk aan de hoeveelheden van het scenario instantaan falen vloeistofvat, namelijk 2975 kg (geen detectie en/of pompbeveiligingen) dan wel 1403 kg (met detectie en/of pompbeveiligingen): plasvorming in de machinekamer wordt voor dit scenario niet meegenomen.

De uitstroomduur is beperkt tot maximaal 1800 s.

Type	Bronterm	Duur	Locatie	Compressor-beveiliging
A, B, C, D	1,25 kg/s	1120 s	Machinekamer	
E, F	1,25 kg/s	1800 s	Buiten	Nee
E, F	1,25 kg/s	1120 s	Buiten	Ja

#### 4.2.12.3 10 mm gat vloeistofvat – $1 \times 10^{-5}$ per jaar

Bij een 10 mm gat is de bronterm gelijk aan 1,5 kg/s. De uitgestroomde hoeveelheid is gelijk aan het scenario instantaan falen vloeistofvat, dat wil zeggen 2975 kg (geen detectie en/of pompbeveiligingen) dan wel 1403 kg (met detectie en/of pompbeveiligingen).

De uitstroomduur is beperkt tot maximaal 1800 s.

Type	Bronterm	Duur	Locatie	Compressor-beveiliging
A, B, C, D	1,5 kg/s	935 s	Machinekamer	
E, F	1,5 kg/s	1800 s	Buiten	Nee
E, F	1,5 kg/s	935 s	Buiten	Ja

### 4.2.13 Leiding vloeistofvat - expansieklep

Voor het leidingstuk vloeistofvat – expansieklep (DN125) wordt de minimumlengte van 10 meter aangehouden. Er zijn twee standaard scenario's die moeten worden meegenomen, namelijk breuk leiding en lek leiding. De frequentie van het breukscenario voor de leiding is  $10 \text{ m} \times 3 \times 10^{-7}$  per meter per jaar =  $3 \times 10^{-6}$  per jaar, de frequentie van het lekscenario is  $2 \times 10^{-5}$  per jaar.

Bij breuk van de leiding tussen vloeistofvat en expansieklep stroomt dezelfde hoeveelheid uit als bij het instantaan falen van het vloeistofvat. Het scenario is daarom op dezelfde wijze gemodelleerd als instantaan falen van het vloeistofvat. Voor het lekscenario is uitgegaan van het debiet behorende bij een lek in de leiding condensor – vloeistofvat.

#### 4.2.13.1 Breuk leiding vloeistofvat- expansieklep $3 \times 10^{-6}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie	Compressor-beveiliging
A, B, C, D	2,3 kg/s	530 s	Machinekamer	
E, F	1,9 kg/s	1580 s	Buiten	Nee
E, F	2,6 kg/s	530 s	Buiten	Ja

#### 4.2.13.2 Gat leiding vloeistofvat- expansieklep $2 \times 10^{-5}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D	0,26 kg/s	1800 s	Machinekamer
E, F	0,26 kg/s	1800 s	Buiten

#### 4.2.14 Leiding expansieklep - afscheidervat

Voor het leidingstuk expansieklep - afscheidervat (DN50) wordt de minimumlengte van 10 meter aangehouden. Er zijn twee standaard scenario's die moeten worden meegenomen, namelijk breuk leiding en lek leiding. De frequentie van het breukscenario voor de leiding is  $10 \text{ m} \times 1 \times 10^{-6}$  per meter per jaar =  $1 \times 10^{-5}$  per jaar, de frequentie van het lekkage scenario is  $5 \times 10^{-5}$  per jaar.

Bij breuk van de leiding tussen expansieklep en afscheidervat treden dezelfde scenario's op als bij breuk van de leiding van de verdamper naar het afscheidervat.

##### 4.2.14.1 Breuk leiding expansieklep – afscheidervat $1 \times 10^{-5}$ per jaar

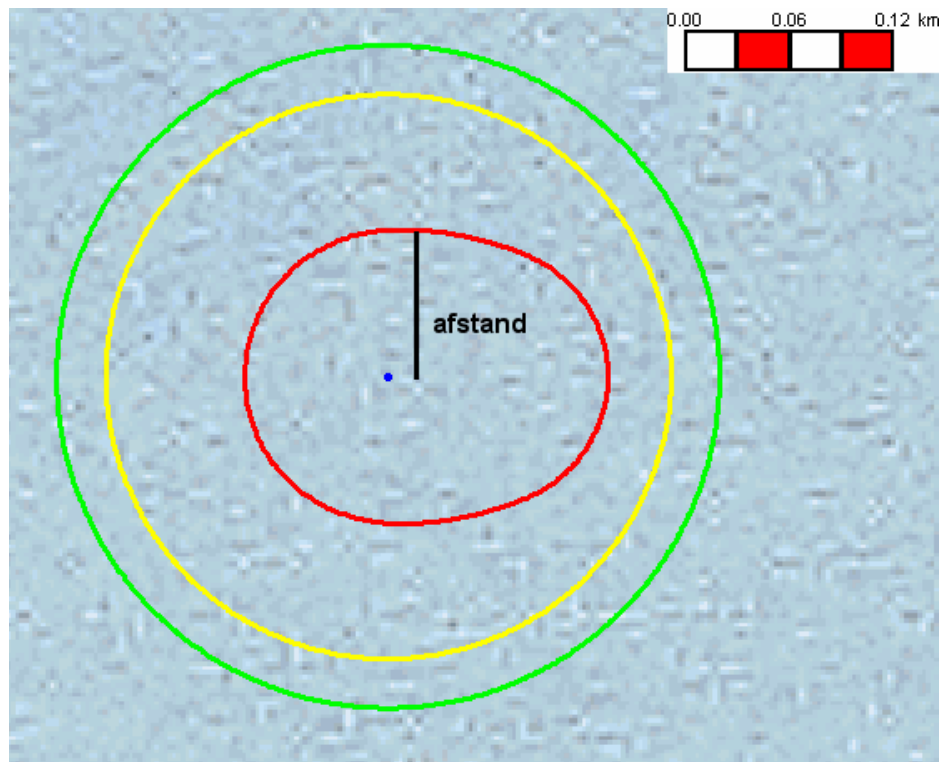
Type	Bronterm	Duur	Locatie	Pompbeveiliging
A, B, C, D	0,56 kg/s	1800 s	Machinekamer	
E, F	1 KG/s	1800 s	Buiten	Nee
E, F	0,56 kg/s	1800 s	Buiten	Ja

##### 4.2.14.2 Gat leiding expansieklep – afscheidervat – $5 \times 10^{-5}$ per jaar

Type	Bronterm	Duur	Locatie
A, B, C, D	0,085 kg/s	1800 s	Machinekamer
E, F	0,085 kg/s	1800 s	Buiten

## 5. Resultaten voorbeeldberekening

Een voorbeeld van het resultaat van een risicoberekening voor een installatie met 5000 kg systeeminhoud en temperatuur  $T = -20\text{ °C}$  is gegeven in Figuur 3. De asymmetrie in de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar wordt veroorzaakt doordat de leidingen naar en van de verdamer als lijnbronnen zijn ingevoerd.



*Figuur 3 Risicocontouren voor een installatie met 5000 kg systeeminhoud en temperatuur  $T = -20\text{ °C}$ , type F zonder beveiligingen. Weergegeven zijn de PR contouren van  $10^{-6}$  (rood),  $10^{-7}$  (geel), en  $10^{-8}$  (groen) per jaar, de locatie van de machinekamer (blauwe punt) en de afstand zoals opgenomen in de afstandentabel.*

De afstanden tot de PR contour van  $10^{-6}$  per jaar zijn voor de voorbeeldinstallatie met 5000 kg systeeminhoud en  $T = -20\text{ °C}$  gegeven in Tabel 6. Een PR contour van  $10^{-5}$  per jaar is niet gevonden voor deze installatie.

Tabel 6 De afstanden tot de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar voor een installatie met 5000 kg systeeminhoud en temperatuur  $T = -20$  °C voor alle typen.

Type	Beveiliging	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper
A	Ja	-	-
	Nee	-	-
B	Ja	50 m	45 m
	Nee	65 m	65 m
C	Ja	-	-
	Nee	-	-
D	Ja	50 m	45 m
	Nee	65 m	65 m
E	Ja	75 m	45 m
	Nee	80 m	65 m
F	Ja	75 m	45 m
	Nee	80 m	65 m

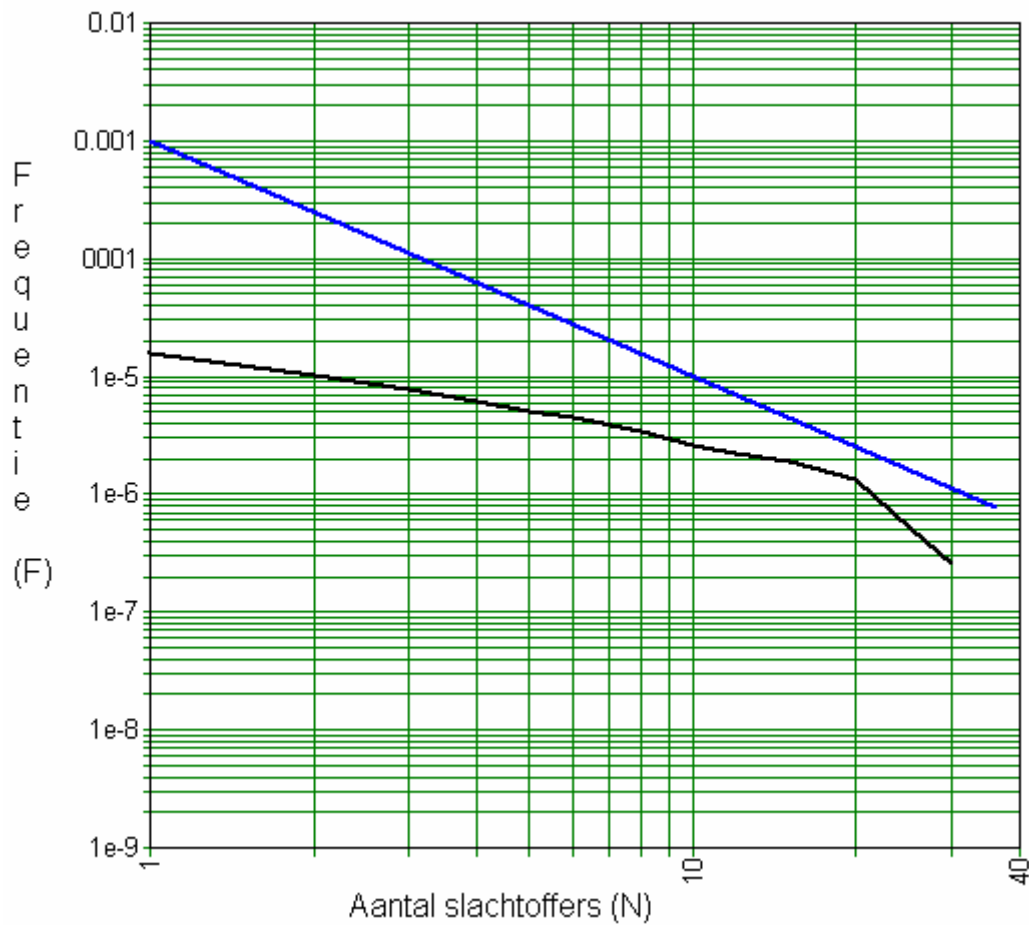
In de afstandentabel is voor de afstand tot de machinekamer minimaal de afstand tot de leidingen naar en van de verdamper genomen.

De belangrijkste scenario's zijn voor de verschillende typen weergegeven in Tabel 7. De relatieve bijdrage van de scenario's is bepaald op de  $10^{-6}$  contour ter hoogte van de machinekamer. Het risicobepalende scenario is breuk van de leiding naar de verdamper voor de typen B en D, en breuk van de pomp voor de typen E en F.

Tabel 7 *De relatieve bijdragen van de scenario's aan de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar ter hoogte van de machinekamer voor een installatie met 5000 kg systeeminhoud en temperatuur  $T = -20$  °C.*

Type	Scenario	Bijdrage
B en D, met beveiliging	leiding verdamper – breuk	75%
	leiding pomp – breuk	10%
	pomp – breuk	5%
	Leiding afscheidervat – breuk	5%
B en D, zonder beveiliging	Leiding verdamper – breuk	80%
	Leiding afscheidervat – breuk	10%
	Leiding pomp – breuk	5%
	pomp – breuk	5%
E en F, met beveiliging	Pomp – breuk	60%
	Leiding pomp – breuk	20%
	Leiding pomp – gat	5%
	Afscheidervat – instantaan	5%
	Vloeistofvat – gat	5%
	Afscheidervat – continu	5%
E en F, zonder beveiliging	Pomp – breuk	50%
	Leiding pomp – breuk	15%
	Vloeistofvat – gat	10%
	Leiding verdamper – breuk	10%
	Afscheidervat – instantaan	5%
	Leiding pomp – gat	5%

Voor het groepsrisico is een populatie gedefinieerd rond de installatie. Aan alle zijden van de machinekamer en de vloeistofleidingen is een afstand van 10 meter vrijgehouden van populatie. Bij een populatiedichtheid van 300 personen per hectare wordt voor type F zonder beveiligingen het groepsrisico gevonden zoals weergegeven in Figuur 4. Omdat een dichtheid van 300 personen per hectare als de hoogst mogelijke dichtheid in Nederland wordt genomen, betekent dit dat voor deze installatie geen overschrijding van de oriënterende waarde voorkomt.



*Figuur 4 Groepsrisico (frequentie  $F$  per jaar voor een ongeval met meer dan  $N$  slachtoffers) voor een installatie met 5000 kg systeeminhoud en temperatuur  $T = -20^{\circ}\text{C}$ , type  $F$  zonder beveiligingen. De populatiedichtheid is gelijk aan 300 personen per hectare.*

## 6. Resultaten afstandentabel

### 6.1 Algemeen

De afstanden tot de PR =  $10^{-5}$  per jaar contour en PR =  $10^{-6}$  per jaar contour zijn berekend voor verschillende typen installaties (A t/m F), drie temperaturen ( $-25\text{ °C}$ ,  $-10\text{ °C}$  en  $5\text{ °C}$ ) en verschillende installatiegroottes (400 kg, 1000 kg, 2500 kg, 5000 kg, 7500 kg en 10.000 kg).

De uitstroomhoeveelheden zijn analoog aan het voorbeeld in hoofdstuk 4 berekend. Hierbij is gecorrigeerd voor:

- verschillen in de uitstroomhoeveelheid ten gevolge van verschillen in systeeminhoud;
- verschillen in de bronterm uit de machinekamer ten gevolge van (1) verschillen in de flash fractie voor de instantane emissie, (2) verschillen in de fractie die uitregent voor de continue uitstromingen en (3) verschillen in de plasverdamping afhankelijk van de grootte van de machinekamer;
- verschillen in de fractie die in de plas terechtkomt bij uitstroming buiten ten gevolge van verschillen in de temperatuur.

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Tabel 8 tot en met Tabel 15. De risicoberekeningen leiden voor geen enkele installatie tot een plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-5}$  per jaar. Voor een installatie van 400 kg wordt ook geen plaatsgebonden risicocontour van PR =  $10^{-6}$  per jaar contour gevonden.

*Tabel 8 De afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar voor een installatie met 1000 kg systeeminhoud.*

Type	Beveiliging	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = $-25\text{ °C}$	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = $-10\text{ °C}$	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = $5\text{ °C}$
A t/m D	Ja/Nee	-	-	-
E	Ja	-	-	-
	Nee	30 m	-	-
F	Ja	-	-	-
	Nee	30 m	-	-

*Tabel 9 De afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar voor een installatie met 2500 kg systeeminhoud.*

Type	Beveiliging	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = $-25\text{ °C}$	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = $-10\text{ °C}$	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = $5\text{ °C}$
A t/m D	Ja/Nee	-	-	-
E	Ja	35 m	45 m	-
	Nee	45 m	60 m	-
F	Ja	35 m	45 m	-
	Nee	45 m	60 m	-

Tabel 10 De afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar voor een installatie met 5000 kg systeeminhoud.

Type	Beveiliging	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = -25 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = -10 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = 5 °C
A	Ja	-	-	-
	Nee	-	-	-
B	Ja	30 m	60 m	70 m
	Nee	50 m	70 m	75 m
C	Ja	-	-	-
	Nee	-	-	-
D	Ja	30 m	60 m	70 m
	Nee	50 m	70 m	75 m
E	Ja	65 m	75 m	85 m
	Nee	70 m	85 m	90 m
F	Ja	65 m	75 m	85 m
	Nee	70 m	85 m	90 m

Tabel 11 De afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar voor de leiding naar de verdamper voor een installatie met 5000 kg systeeminhoud.

Beveiliging	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper T = -25 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper T = -10 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper T = 5 °C
Ja	25 m	55 m	50 m
Nee	50 m	70 m	65 m

Tabel 12 De afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar voor een installatie met 7500 kg systeeminhoud.

Type	Beveiliging	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = -25 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = -10 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = 5 °C
A	Ja	-	-	-
	Nee	-	-	-
B	Ja	30 m	65 m	80 m
	Nee	50 m	70 m	85 m
C	Ja	-	-	-
	Nee	-	-	-
D	Ja	30 m	65 m	80 m
	Nee	50 m	70 m	85 m
E	Ja	75 m	85 m	90 m
	Nee	80 m	90 m	95 m
F	Ja	75 m	85 m	90 m
	Nee	80 m	90 m	95 m



Tabel 13 De afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar voor de leiding naar de verdamper voor een installatie met 7500 kg systeeminhoud.

Beveiliging	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper T = -25 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper T = -10 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper T = 5 °C
Ja	30 m	60 m	60 m
Nee	50 m	70 m	65 m

Tabel 14 De afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar voor een installatie met 10.000 kg systeeminhoud.

Type	Beveiliging	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = -25 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = -10 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer T = 5 °C
A	Ja	-	-	50 m
	Nee	-	-	50 m
B	Ja	30 m	70 m	85 m
	Nee	50 m	70 m	85 m
C	Ja	-	-	50 m
	Nee	-	-	50 m
D	Ja	30 m	70 m	85 m
	Nee	50 m	70 m	85 m
E	Ja	85 m	90 m	95 m
	Nee	85 m	95 m	95 m
F	Ja	85 m	95 m	95 m
	Nee	85 m	95 m	95 m

Tabel 15 De afstand tot de plaatsgebonden risicocontour van  $10^{-6}$  per jaar voor de leiding naar de verdamper voor een installatie met 10.000 kg systeeminhoud.

Beveiliging	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper T = -25 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper T = -10 °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de leiding naar de verdamper T = 5 °C
Ja	30 m	65 m	60 m
Nee	50 m	70 m	65 m

## 7. Voorstel afstandentabel ammoniak koelinstallaties

Op basis van de rekenresultaten van hoofdstuk 6 blijkt dat de verschillen in afstand tussen de typen A en C, de typen B en D en de typen E en F beperkt zijn. Daarom wordt voorgesteld voor de afstandentabel deze typen samen te voegen (typen A en C tot type 1, typen B en D tot type 2 en typen E en F tot type 3) en de grootste afstand op te nemen.

De invloed van de aanwezigheid van pompbeveiligingen varieert van 30 meter (installatie 1000 kg, type E, F voor  $T = -25\text{ °C}$ ) tot geen verschil (installatie 10.000 kg, type E en F voor  $T = 5\text{ °C}$ ). Om de afstandentabel zo eenvoudig mogelijk te houden, wordt voorgesteld in de afstandentabel uit te gaan van de aanwezigheid van pompbeveiligingen. Indien pompbeveiligingen en drukkewaking ontbreken, moet een vaste afstand van 30 meter opgeteld worden bij de afstanden in de afstandentabel.

Tenslotte zijn er enkele installaties, waarvoor de afstand voor  $T = 5\text{ °C}$  kleiner is dan de afstand voor  $T = -10\text{ °C}$ . Voorgesteld wordt dat voor  $T = 5\text{ °C}$  minimaal de afstand voor  $T = -10\text{ °C}$  moet worden aangehouden.

Een voorstel voor afstandentabel voor ammoniak koelinstallaties, die voldoen aan CPR 13-2, is gegeven in Tabel 16. Bij het opstellen van de afstandentabel zijn de volgende representatieve systeeminhouden en temperaturen gebruikt:

- 400 kg representatief voor de inhoud tot 400 kg,
- 1000 kg representatief voor de inhoud tussen 400 kg en 1500 kg,
- 2500 kg representatief voor de inhoud tussen 1500 kg en 3500 kg,
- 5000 kg representatief voor de inhoud tussen 3500 kg en 6000 kg,
- 7500 kg representatief voor de inhoud tussen 6000 kg en 8000 kg,
- 10.000 kg representatief voor de inhoud tussen 8000 kg en 10000 kg,
- $-25\text{ °C}$  representatief voor een temperatuur kleiner dan  $-25\text{ °C}$ ,
- $-10\text{ °C}$  representatief voor een temperatuur tussen  $-25\text{ °C}$  en  $-5\text{ °C}$ ,
- $5\text{ °C}$  representatief voor een temperatuur groter dan  $-5\text{ °C}$ .

Voor de typen koelinstallaties is de volgende indeling gehanteerd:

Type 1: Alle ammoniakvoerende onderdelen zijn opgesteld in de machinekamer of in de te koelen ruimte, eventueel met uitzondering van de condensor met verbindend leidingwerk. Deze kunnen buiten zijn opgesteld.

Type 2: Idem als type 1, maar de leidingen naar en van de verdamper zijn buiten opgesteld.

Type 3: Idem als type 2, maar het afscheidervat of het vloeistofvat zijn ook buiten opgesteld.

Wanneer de verdamperleiding buiten ligt (typen 2 en 3) dient ook een minimale afstand tot de verdamperleiding te worden aangehouden. Deze is weergegeven in Tabel 17. Als criterium wordt aangehouden dat een leiding als binnen beschouwd kan worden wanneer detectie plaatsvindt en de emissie verticaal afgevoerd wordt met een snelheid van minimaal 20 m/s.

Tabel 16 Voorstel voor een afstandentabel voor ammoniak koelinstallaties, die voldoen aan CPR 13-2.

Type	Inhoud	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer <sup>17</sup> $T \leq -25$ °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer $-25$ °C < $T \leq -5$ °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de machinekamer $-5$ °C < $T$
1	$\leq 8000$ kg	-	-	-
	8001 – 10000 kg	-	-	50 m
2	$\leq 3500$ kg	-	-	-
	3501 – 6000 kg	30 m	60 m	70 m
	6001 – 8000 kg	30 m	65 m	80 m
	8001 – 10000 kg	30 m	70 m	85 m
3	$\leq 1500$ kg	-	-	-
	1501 – 3500 kg	35 m	45 m	45 m
	3501 – 6000 kg	65 m	75 m	85 m
	6001 – 8000 kg	75 m	85 m	90 m
	8001 – 10000 kg	85 m	95 m	95 m

Tabel 17 De afstand die aangehouden moet worden tot de buitenliggende leiding naar de verdamper.

Inhoud	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de verdamperleiding $T \leq -25$ °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de verdamperleiding $-25$ °C < $T \leq -5$ °C	PR $10^{-6}$ per jaar t.o.v. de verdamperleiding <sup>18</sup> $-5$ °C < $T$
$\leq 3500$ kg	-	-	-
3501 – 6000 kg	25 m	55 m	55 m
6001 – 8000 kg	30 m	60 m	60 m
8001 – 10000 kg	30 m	65 m	65 m

#### Geldigheid van de tabel

- De berekeningen voor de afstandentabel zijn gebaseerd op een pompdebiet van 1,5 kg/s. Wanneer de verdamperleiding buiten ligt (typen 2 en 3) is het pompdebiet een belangrijke parameter. Wanneer het pompdebiet significant groter is dan 1,5 kg/s geeft de afstandentabel te kleine afstanden. Voorgesteld wordt dat de afstandentabel alleen geldig is wanneer het pompdebiet lager is dan 2 kg/s.
- In de praktijk kunnen systemen voorkomen met meerdere temperatuurniveaus (multi-temperatuursystemen). Voor de koelinstallatie kan een conservatieve benadering gevolgd worden door de afstand te kiezen die hoort bij de hoogste temperatuur en de totale systeeminhoud.

Wanneer pompbeveiligingen en drukbewaking ontbreken, moet een vaste afstand van 30 meter opgeteld worden bij de afstanden in de afstandentabel.

<sup>17</sup> Indien de installatie buiten staat dient gerekend te worden tot het afscheidervat en de vloeistofpomp.

<sup>18</sup> Voorgesteld wordt voor  $T = 5$  °C minimaal de afstand voor  $T = -10$  °C aan te houden

## 8. Voorstel afstanden-dichtheden relatie

In een afstanden-dichtheden relatie wordt aangegeven welke bevolkingsdichtheid (in personen per hectare) rond een bedrijf is toegestaan zonder dat de oriënterende waarde voor het groepsrisico wordt overschreden. Deze relatie wordt bepaald tot een dichtheid van 300 personen per hectare, omdat deze dichtheid als de hoogst mogelijke dichtheid in Nederland wordt breschouwd. Voor de drie typen installaties uit hoofdstuk 7 zijn berekeningen uitgevoerd voor het bepalen van de afstanden-dichtheden relatie. Het resultaat is weergegeven in Tabel 18.

Tabel 18 *Afstanden-dichtheden relaties voor ammoniak koelinstallaties.*

Type	Inhoud	T	Toegestane dichtheid vanaf installatie <sup>19</sup>	Toegestane dichtheid vanaf PR 10 <sup>-6</sup> per jaar <sup>19</sup>	Grootste afstand tot 1% letaliteit
1, 2	≤ 8000 kg	Alle T	-	-	n.v.t.
1, 2	8001 – 10000 kg	T ≤ -25 °C	-	-	n.v.t.
		-25 °C < T ≤ -5 °C	-	-	n.v.t.
		-5 °C < T	220 ha <sup>-1</sup>	-	200 m
3	≤ 3500 kg	Alle T	-	-	n.v.t.
3	3501 – 6000 kg	T ≤ -25 °C	-	-	n.v.t.
		-25 °C < T ≤ -5 °C	220 ha <sup>-1</sup>	260 ha <sup>-1</sup>	260 m
		-5 °C < T	270 ha <sup>-1</sup>	-	360 m
3	6001 – 8000 kg	T ≤ -25 °C	-	-	n.v.t.
		-25 °C < T ≤ -5 °C	160 ha <sup>-1</sup>	200 ha <sup>-1</sup>	280 m
		-5 °C < T	170 ha <sup>-1</sup>	210 ha <sup>-1</sup>	400 m
3	8001 – 10000 kg	T ≤ -25 °C	240 ha <sup>-1</sup>	-	310 m
		-25 °C < T ≤ -5 °C	100 ha <sup>-1</sup>	130 ha <sup>-1</sup>	300 m
		-5 °C < T	110 ha <sup>-1</sup>	130 ha <sup>-1</sup>	400 m

<sup>19</sup> Waar geen toegestane dichtheid is opgegeven (-) zijn geen beperkingen aan de dichtheid opgelegd, dat wil zeggen dat dichtheden tot 300 per hectare geen overschrijding van het groepsrisico geven.

## Referenties

- [1] Regeling Externe Veiligheid Inrichtingen. Staatscourant 23 september 2004, nr 183.
- [2] Ontwerp-besluit vaststelling milieukwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichtingen. Staatscourant 22 februari 2002, nr. 38.
- [3] SAVE. Voorstel voor mogelijke opzet afstandentabel ammoniak koelinstallaties, februari 1997.
- [4] P. Uijt de Haag. Risicomodellering ammoniak koelinstallaties voor de afstandentabel en de afstanden dichtheden grafiek. RIVM notitie kenmerk 919/97 LSO Uijt/pv, december 1997
- [5] G. Laheij. RIVM notitie kenmerk 828/99 LSO La/pbz, oktober 1999.
- [6] J.P.M.M. Meissen. Antwoorden op de vragen gesteld door P.Uijt de Haag (RIVM) per memo d.d. 3 juni 2003.
- [7] J. van Rooijen, Grenco B.V. Memo Externe Veiligheid NH<sub>3</sub> installaties (4) van 27 juni 2003
- [8] Commissie Preventie van Rampen door Gevaarlijke Stoffen. Guidelines for Quantitative Risk Assessment. CPR 18E. Den Haag: Sdu, 1999
- [9] DNV. SAFETI V6.21. Londen, 2003.
- [10] Commissie Preventie Rampen. Methoden voor het berekenen van fysische effecten (het 'Gele boek'). Den Haag: SDU, 1997<sup>3</sup>

## Bijlage A Plasverdamping in de machinekamer

Bij uitstroming van koud ammoniak in de machinekamer wordt een koude vloeistofplas op de grond gevormd. Bij plasverdamping spelen verschillende processen een rol, zoals de warmte-overdracht vanuit de ondergrond, de massa-overdracht door diffusie, de warmte-overdracht vanuit de lucht en warmte-instraling. De standaardberekening in SAFETI, waarin met al deze processen rekening wordt gehouden, is niet geschikt voor het berekenen van de plasverdamping in een machinekamer, omdat de snelheid van de lucht in de machinekamer zeer klein is (bij een ventilatievoud van 15× per uur en een lengte van de vloeistofplas van 10 meter is de snelheid van de lucht in de orde van  $10 \text{ m} / 240 \text{ s} = 0,04 \text{ m/s}$ ) en buiten de geldigheid van de modellen valt.

In de eerste fase van de plasverdamping zal de grootste bijdrage geleverd worden door de warmte-overdracht vanuit de ondergrond. Daarom wordt voor de plasverdamping in de machinekamer gebruik gemaakt van het eenvoudige model voor de verdamping van kokende vloeistoffen, zoals beschreven in hoofdstuk 3.5.5.1 van het Gele Boek [10].

$$q_v(t) = A \times H_c(t) / L_v(T_b)$$

met

$$H_c(t) = \lambda_s \times (T_{s,0} - T_b) \times (a_s \times \pi \times t)^{-1/2}$$

en

$Q_v$	Verdampingsnelheid van de plas (kg/s)
$A$	Oppervlak van de plas ( $\text{m}^2$ )
$H_c$	Warmte-overdracht van de ondergrond ( $\text{J}/(\text{m}^2 \text{ s})$ )
$L_v(T_b)$	Verdampingswarmte ammoniak bij temperatuur $T_b$ ( $\text{J}/\text{kg}$ )
$\lambda_s$	Thermische geleidbaarheid van de ondergrond ( $\text{J}/(\text{m s K})$ )
$T_{s,0}$	Initiële temperatuur van de ondergrond (K)
$T_b$	Atmosferisch kookpunt ammoniak (K)
$a_s$	Thermische diffusie van de ondergrond ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$t$	Tijd (s)

De plasverdamping in 1800 s is berekend met de volgende waarden:

$A$	120 $\text{m}^2$
$L_v(T_b)$	1381 kJ/kg
$\lambda_s$	1,3 $\text{J}/(\text{m s K})$ ; zwaar beton [10]
$T_{s,0}$	285 K
$T_b$	239,7 K
$a_s$	$5,9 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ; zwaar beton [10]

Dit leidt tot 310 kg plasverdamping.

## Bijlage B      Initiële wolk bij een jet uitstroming

Bij uitstroming van ammoniak uit een gat in een vat wordt een jet met druppels ammoniak gevormd. De hoeveelheid die in een plas op de grond terecht komt kan berekend worden met een druppel traject model, zoals beschreven in paragraaf 2.5.3.7 van het Gele Boek [10]. Deze methode is van toepassing voor een vrije, onbelemmerde uitstroming. Bij een uitstroming in de machinekamer spelen verschillende factoren een rol.

- Doordat de jet botst tegen de wanden van de machinekamer, komen de druppels in de jet minder ver en regent een grotere fractie uit.
- Door het botsen van de jet tegen de relatief warme muren van de machinekamer en de daarin opgestelde apparatuur vindt extra verdamping plaats.

Voor het berekenen van de fractie die uitregent in het geval van een belemmerde uitstroming wordt aangesloten bij de voorschriften van het Parse Boek (paragraaf 4.3 noot 13 [8]) en wordt gerekend met een jet met een gereduceerde impuls (factor 4). De uitstroomhoogte is gelijkgesteld aan één meter en de uitregenfractie is berekend met het druppeltrajectmodel van SAFETI voor meteoklasse F, 1 m/s. Voor de tien minuten uitstroming uit het afscheidervat wordt met dit model berekend dat een fractie 0,8 in de plas terechtkomt, zodat een fractie 0,2, dat wil zeggen 500 kg, direct verdampt. Deze waarde is gebruikt in de bronterm berekening (zie paragraaf 4.2.1.2).

Om na te gaan of de berekende waarde van 500 kg een realistische waarde is, is een inschatting gemaakt van de beschikbare hoeveelheid warmte in de machinekamer. Beschikbaar is (1) de warmte voor het afkoelen van 2500 kg ammoniak van de temperatuur in het afscheidervat tot het kookpunt, (2) de warmte van de lucht in de machinekamer, (3) de toegevoerde lucht met de ventilatie en (4) de warmte van compressoren, wanden e.d.:

1. De bijdrage van het afkoelen van ammoniak is in de orde van  
 $(253 - 240) \text{ K} \times 4,474 \text{ kJ}/(\text{kg K}) \times 2500 \text{ kg} = 145 \text{ MJ}$ .
2. De bijdrage van de lucht in de machinekamer is berekend op basis van een machinekamer met een inhoud van  $600 \text{ m}^3$ , een dichtheid van lucht gelijk aan  $1,25 \text{ kg}/\text{m}^3$ , een temperatuur van  $19^\circ\text{C}$  in de machinekamer en een warmtecapaciteit (stikstof) van  $1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ . Dit levert een bijdrage van 39 MJ.
3. De bijdrage van de ventilatie in 600 s is  $15000 \text{ m}^3/\text{uur} \times 0,167 \text{ uur} = 2500 \text{ m}^3$ . Dit geeft een bijdrage gelijk aan 163 MJ. Daarnaast levert de condensatie van water in  $600 + 2500 = 3100 \text{ m}^3$  lucht met een luchtvochtigheid van 83% een bijdrage van 60 MJ. Deze waarde is als volgt berekend:
  - Bij  $10^\circ\text{C}$  is de verzadigingsdruk van water gelijk aan 0,012 bar.
  - De hoeveelheid water in  $3100 \text{ m}^3$  lucht is dan gelijk aan  
 $3100 \text{ m}^3 \times (0,012 \text{ bar} / 1 \text{ bar}) \times 0,83 \times (18/29) \times 1,25 \text{ kg}/\text{m}^3 = 24 \text{ kg}$ .Condensatie levert een bijdrage van  $24 \text{ kg} \times 2500 \text{ kJ}/\text{kg} = 60 \text{ MJ}$ .

De som van deze drie bijdragen is gelijk aan 407 MJ. Met een verdampingswarmte van  $1381 \text{ kJ}/\text{kg}$  levert dit voldoende energie voor het verdampen van ongeveer 300 kg ammoniak. Daarnaast is er nog een bijdrage aan de verdamping van de wanden en apparatuur in de machinekamer. De bijdrage van de wanden van de machinekamer is berekend door uit te gaan van een oppervlak van  $120 \text{ m}^2$  (dat wil zeggen twee keer het vloeroppervlak) en de plasverdamping gedurende tien minuten te berekenen. Dit is gelijk aan 180 kg. De totale hoeveelheid die direct verdampt is daarmee  $300 \text{ kg} + 180 \text{ kg} = 480 \text{ kg}$ . Deze waarde is vergelijkbaar met de in de berekening gebruikte waarde van 500 kg. Gezien de verschillende benaderingen is de inschatting acceptabel te noemen.