

Uitbreiding van de haven van Tuticorin

Deel A: Fysische effecten bij de import van LPG

Afstudeerverslag van: Erwin L. Ploeger
T.U. Delft
Faculteit der Civiele Techniek
Vakgroep Waterbouwkunde

oktober 1991

Onder begeleiding van: Prof.Ir. H. Velsink

 **TU Delft**

Technische Universiteit Delft

 **Faculteit der Civiele Techniek**

Voorwoord

Voor U ligt het eerste deel van het rapport over de uitbreiding van de haven van Tuticorin, India. Deze studie is verricht in het kader van mijn afstudeerwerk aan de Technische Universiteit Delft, Faculteit der Civiele Techniek. De vakgroep waarbinnen ik heb gekozen af te studeren is de vakgroep Waterbouwkunde, sectie Havens.

Het onderwerp dat is behandeld komt uit de praktijk en is op het moment dat ik dit schrijf actueel. Prof.Ir. H. Velsink heeft mij gevraagd de uitbreiding van de haven in Tuticorin te bestuderen, als alternatief op een eerder onderzoek dat verricht is door T. Janakaraj Thomas, Superintendenting Engineer of the Tuticorin Port Trust. Om geen bevooroordeeld beeld van een mogelijke oplossing te krijgen heb ik de resultaten van zijn werk niet onder ogen genomen. Wel heb ik gebruik gemaakt van de basisgegevens over de huidige haven en de prognoses over de toekomstige verkeersontwikkelingen die in zijn rapport beschreven staan.

Een bijzonder aspect van deze studie vormt het onderzoek naar de gevaren die gepaard gaan met de import van LPG. Deel A van mijn afstudeerwerk gaat in op dit vraagstuk. Gezien mijn aanvankelijk beperkte kennis op dit specifieke terrein was het noodzakelijk mij te verdiepen in deze materie. Ik wil mijn dank uitspreken aan alle mensen die mij hierbij hebben geholpen, zonder wie het mij onmogelijk was geweest dit werk te verrichten. In het bijzonder wil ik Dhr. H. van Loenhout van Shell Nederland Chemie B.V. bedanken voor zijn herhaaldelijke steun.

Tenslotte wil ik Prof.Ir. H. Velsink bedanken voor de vakkundige begeleiding die hij mij gedurende mijn onderzoek gegeven heeft.

Erwin Ploeger.

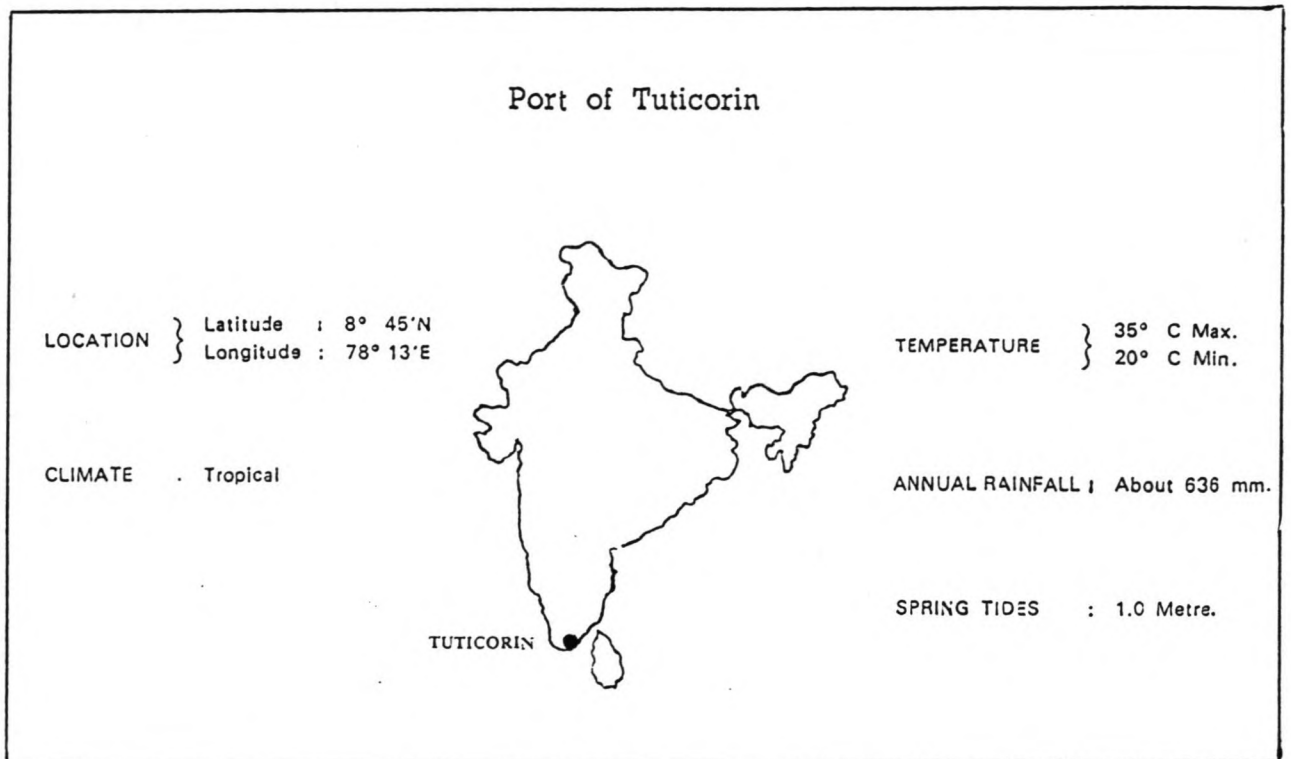
Inhoudsopgave

Hoofdstuk I	: Probleemstelling.....	1
Hoofdstuk II	: Een stukje geschiedenis.....	2
Hoofdstuk III	: Uitgangspunten.....	5
Hoofdstuk IV	: Mogelijke fysische effecten.....	6
Hoofdstuk V	: De parameters.....	10
V.1	: Wat is LPG?.....	10
V.2	: Het klimaat in Tuticorin.....	11
V.3	: Het begrip bodemruwheid.....	14
Hoofdstuk VI	: De invloed van de parameters.....	15
VI.1	: Instantane dispersie, variërend klimaat.....	17
VI.2	: Continue dispersie, variërend klimaat.....	17
VI.3	: Instantane dispersie, variërende bronsterkte....	18
VI.4	: Continue dispersie, variërende bronsterkte....	18
VI.5	: BLEVE bij variërende bronsterkte.....	18
VI.6	: Fakkelfbrand bij variërende bronsterkte.....	19
VI.7	: Plasbrand bij variërende plasgrootte.....	19
VI.8	: Flash-verdamping versus temperatuur.....	20
VI.9	: Plasverdamping bij variërende plasgrootte....	20
VI.10	: Uitstroming bij variërende gatgrootte.....	21
VI.11	: Conclusies.....	22
Hoofdstuk VII	: Bepaling opslagvorm en capaciteit.....	24
VII.1	: Capaciteit van de opslag.....	25
VII.2	: Type opslag.....	26
Hoofdstuk VIII	: De LPG-installatie.....	28
VIII.1	: Het tankschip.....	29
VIII.2	: De transportleiding naar het tankpark.....	33
VIII.3	: De gekoelde opslagtanks.....	41
VIII.4	: De druk-opslagtanks.....	44
Hoofdstuk IX	: Richtlijnen voor de locatiekeuze.....	49
IX.1	: Overzicht van de effect-afstanden.....	49
IX.2	: Het belang van de risico-analyse.....	49
IX.3	: De TNO-studie.....	50
IX.4	: Interpretatie van de TNO-studie inzake Tuticorin.....	52
IX.5	: De richtlijnen.....	53
Literatuurlijst	55

- Bijlage I** : Windroos van Tuticorin
- Bijlage II** : Overzichtskaart Zuid-Oost India
- Bijlage III** : Tabel met de relatie tussen de temperatuur en de dampdruk voor enkele vloeibaar getransporteerde gassen
- Bijlage IV** : Conclusies van het TNO-onderzoek naar de kans van optreden van ongevallen met een LPG-schip in het Rijnmond-gebied
- Bijlage V** : Lijst van mogelijke ongewenste gebeurtenissen met bijbehorende uitstroming en kans van optreden bij de overslag
- Bijlage VI** : Normstelling t.b.v. de veiligheid van LPG
Bron: Ministerie van VROM
-

Hoofdstuk I: Probleemstelling

Onderwerp van deze studie is de haven van Tuticorin, India. Deze haven bevindt zich aan de golf van Mannar, in het zuid-oostelijke puntje van het Indiase sub-continent.



figuur 1: locatie Tuticorin

Gezien de voorspelde toename aan goederen die via Tuticorin getransporteerd zullen worden zal de haven binnenkort kampen met capaciteitsproblemen. Eén van die problemen vloeit voort uit de wens om vanaf 1992 LPG te importeren. De installaties hiervoor zijn niet aanwezig. Het begin van deze studie zal zich daarom richten op het onderzoek naar de benodigde voorzieningen en het zoeken naar een geschikte locatie hiervoor.

Aangezien LPG beschouwd wordt als een gevaarlijke stof vanwege de brand- en explosiegevaaren die met de verwerking gepaard gaan, zal aanvankelijk gezocht worden naar mogelijke ongevallen-scenario's. Daarna wordt gekeken naar de afstanden waarbinnen deze ongevallen invloed hebben op de omgeving. Hiermee valt uiteindelijk te bepalen welke gebieden in aanmerking komen voor de plaatsing van de verschillende onderdelen van de LPG-installaties.

Hoofdstuk II: Een stukje geschiedenis

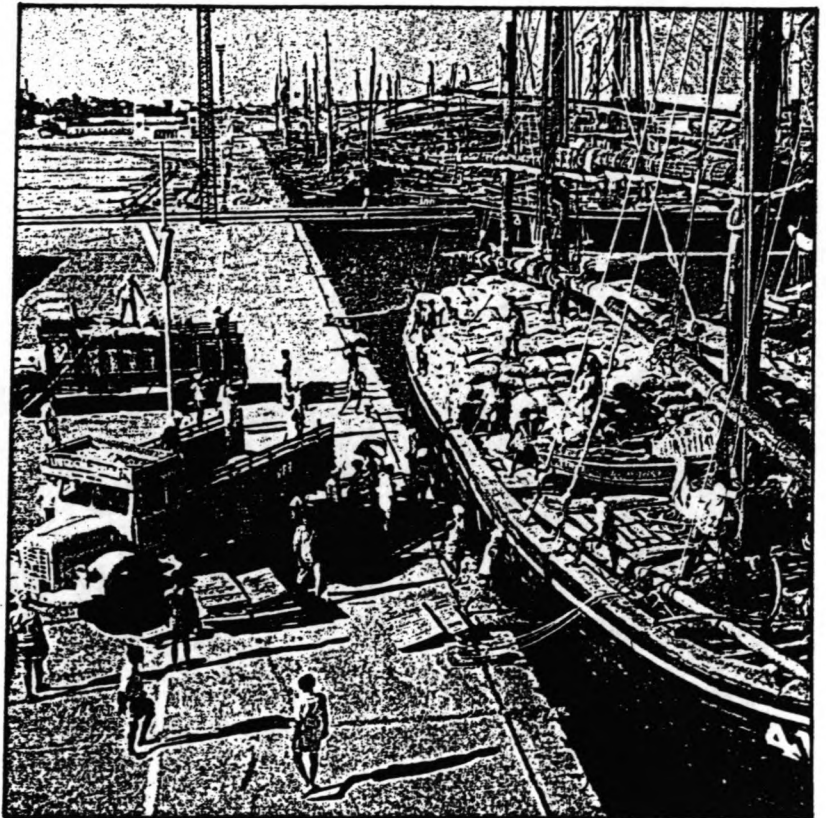
De eerste tekens van het bestaan van Tuticorin dateren uit het jaar 123 na Christus. Sosikourai, zoals het toen genoemd werd, was een centrum voor parelvisserij. Pas veel later, rond 1400, ontwikkelde Tuticorin zich tot een echte havenplaats met overzeese handel. Na bezetting door de Portugezen (1532) en de Nederlanders (1649) nam de English East India Company de macht in 1825 over. De haven zou vanaf dat moment een commerciële bloei kennen.

Trading activity at Zone 'B'



Lighthouse on Hare Island

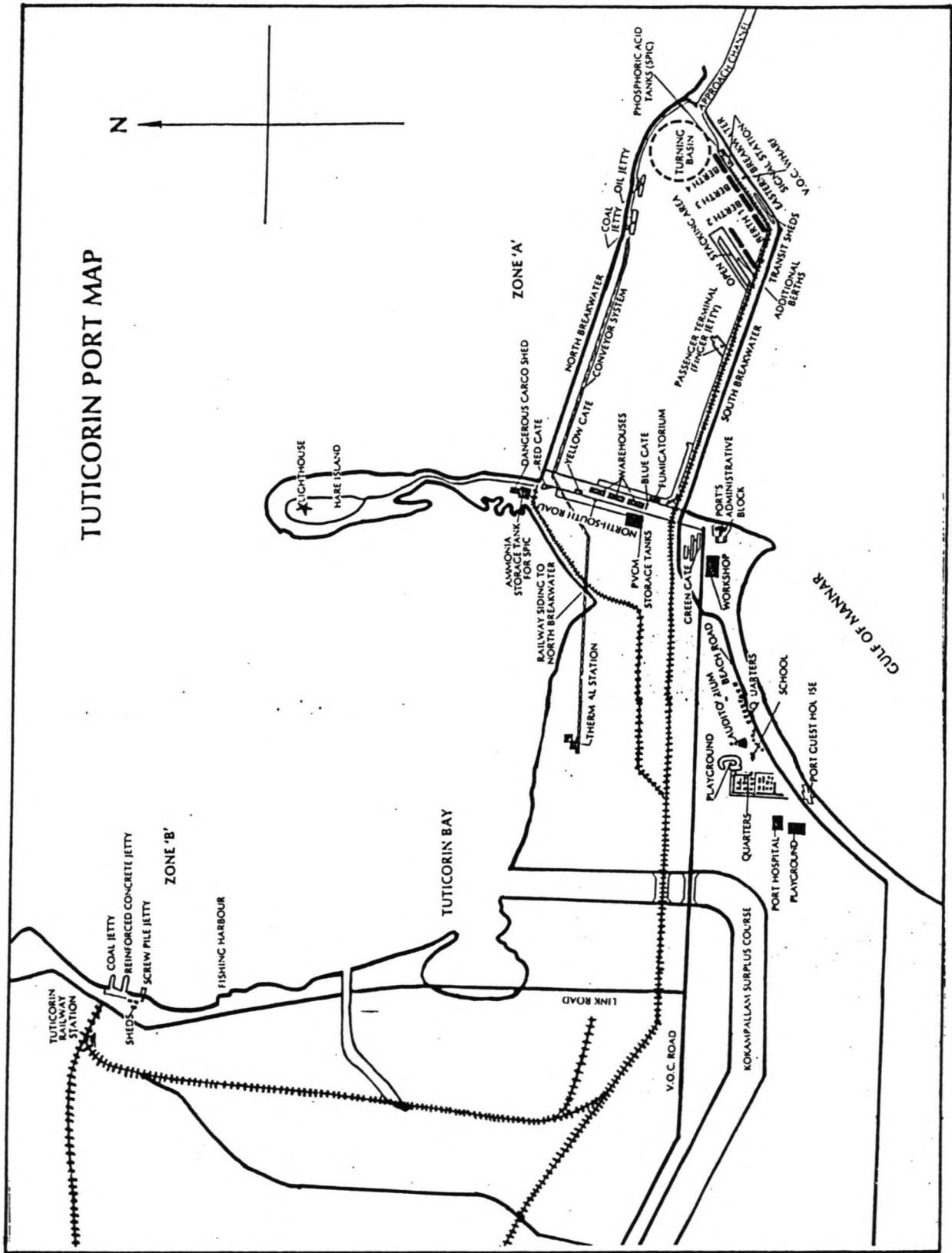
vuurtoren



Minor Port

figuur 2

De natuurlijke haven en de rijkdom van het achterland waren aanleiding voor een verdere uitbreiding van de haven. De vuurtoren, die in 1842 werd gebouwd, vormt het symbool van de nieuwe ontwikkelingen. In 1881 werd Tuticorin aangesloten op het spoorwegennet. De groei van de economie, die werd ingeleid door de onafhankelijkheid van India, benadrukte het belang van goede havenvoorzieningen. Er werd hard gebouwd aan een nieuwe haven, iets ten zuiden van de oude. Op 11 juli 1974 werd de nieuwe Tuticorin Port uitgeroepen tot tiende haven van India.



figuur 3

Vandaag de dag zijn twee delen van de haven te onderscheiden. Het eerste gedeelte is de oude vissershaven (Anchorage of Minor Port) en het tweede is het nieuw aangelegde havenbekken (Major Port). Samen vormen ze sinds 1979 de "Tuticorin Port Trust".

Zie voor een overzicht de kaart van de haven in figuur 3 (pagina-nummer 3).

In de Major Port strekken twee lange golfbrekers over een afstand van vier kilometer in zee en bieden bescherming aan de afgemeerde schepen. De voorzieningen bestaan uit zes general cargo ligplaatsen, een olie terminal en een kolen terminal. Er wordt jaarlijks meer dan vijf miljoen ton aan goederen overgeslagen. Handel wordt o.a. gedreven met de Sovjet-Unie, de Verenigde Staten, Australië, Europa en Sri Lanka. Belangrijke industrieën in Tuticorin zijn de Petrochemical Industries Corporation (kunstmest), Tuticorin Thermal Power Station (energie) en andere chemische bedrijven.

Hoofdstuk III: Uitgangspunten

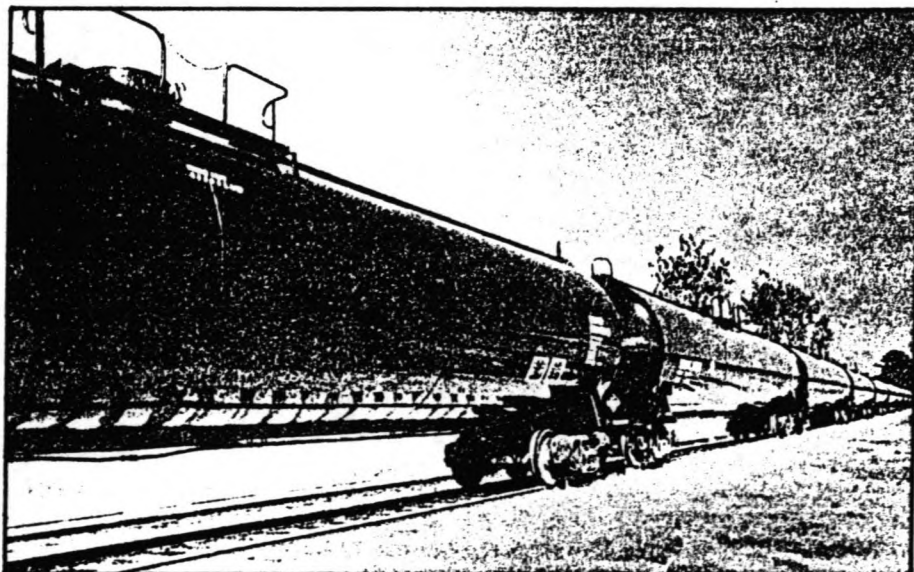
Bij de meest recente ideeën ter uitbreiding van de haven kwam de wens naar voren LPG te importeren. Uit prognoses blijkt dat er tot het jaar 2000 behoefte zal zijn aan een jaarlijkse hoeveelheid van 200.000 ton.

In een eerder onderzoek naar het type schip dat de LPG naar Tuticorin zal brengen (lit. 6) wordt gesteld dat uit kan worden gegaan van een schip gelijkwaardig aan de bestaande "Andegas"-Chilean. Hieronder volgen de voornaamste gegevens betreffende deze LPG-tanker:

DWT	18 280 m ³
Koeling	10 660 ton propaan
Lengte (LOA)	-51°C (222 K)
Length between perpendiculars (LBP)	166,40 m
Breedte (extern)	152,35 m
Diepte (tot opperdek)	22,68 m
Diepgang	14,00 m
Tanks	9,22 m
	4 stuks, rechthoekig

Met het aangenomen laadvermogen van de tanker komen we uit op een frequentie van zo'n 19 vrachten per jaar, hetgeen overeen komt met één schip om de 20 dagen.

Een tweede aanname is dat de opgeslagen LPG per trein en/of vrachtwagen naar het binnenland wordt doorgevoerd. De stelling is dat dit gebeurt met een regelmaat van gelijke hoeveelheden iedere dag, dus dagelijks ongeveer 914 m³.



figuur 4: transport landinwaarts

Hoofdstuk IV : Mogelijke fysische effecten

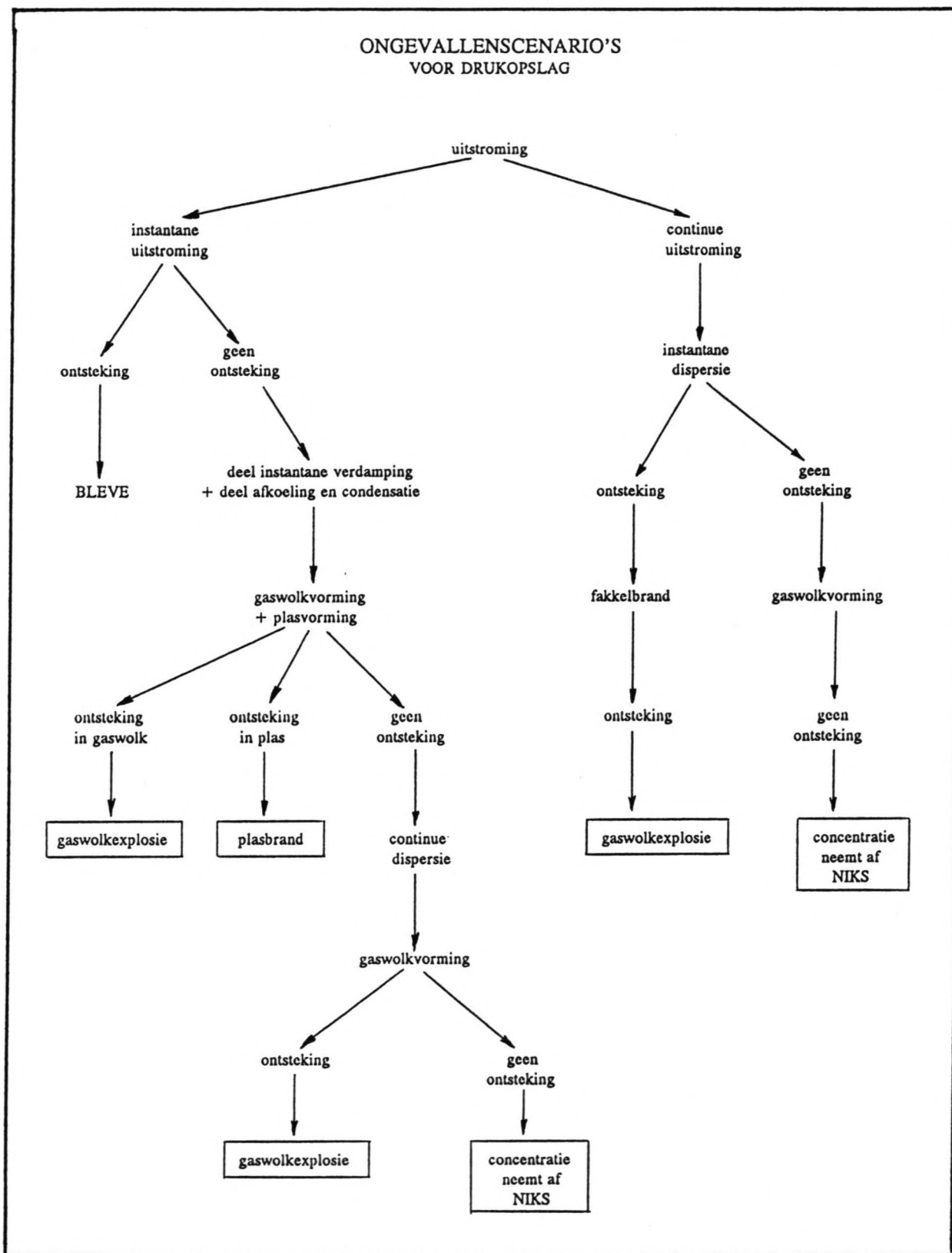
Tussen aan- en afvoer van LPG volgt de stof een vastgestelde gewenste route van het schip naar de tanks en vervolgens naar de transportmiddelen landinwaarts. De situatie wordt nu voor-gelegd dat er bij een reservoir of pijpleiding een breuk onstaat. De LPG blijft dan niet gevangen in het circuit waarin het thuis hoort, maar ontsnapt hieruit.

De hiervolgende gebeurtenissen kunnen dan optreden:

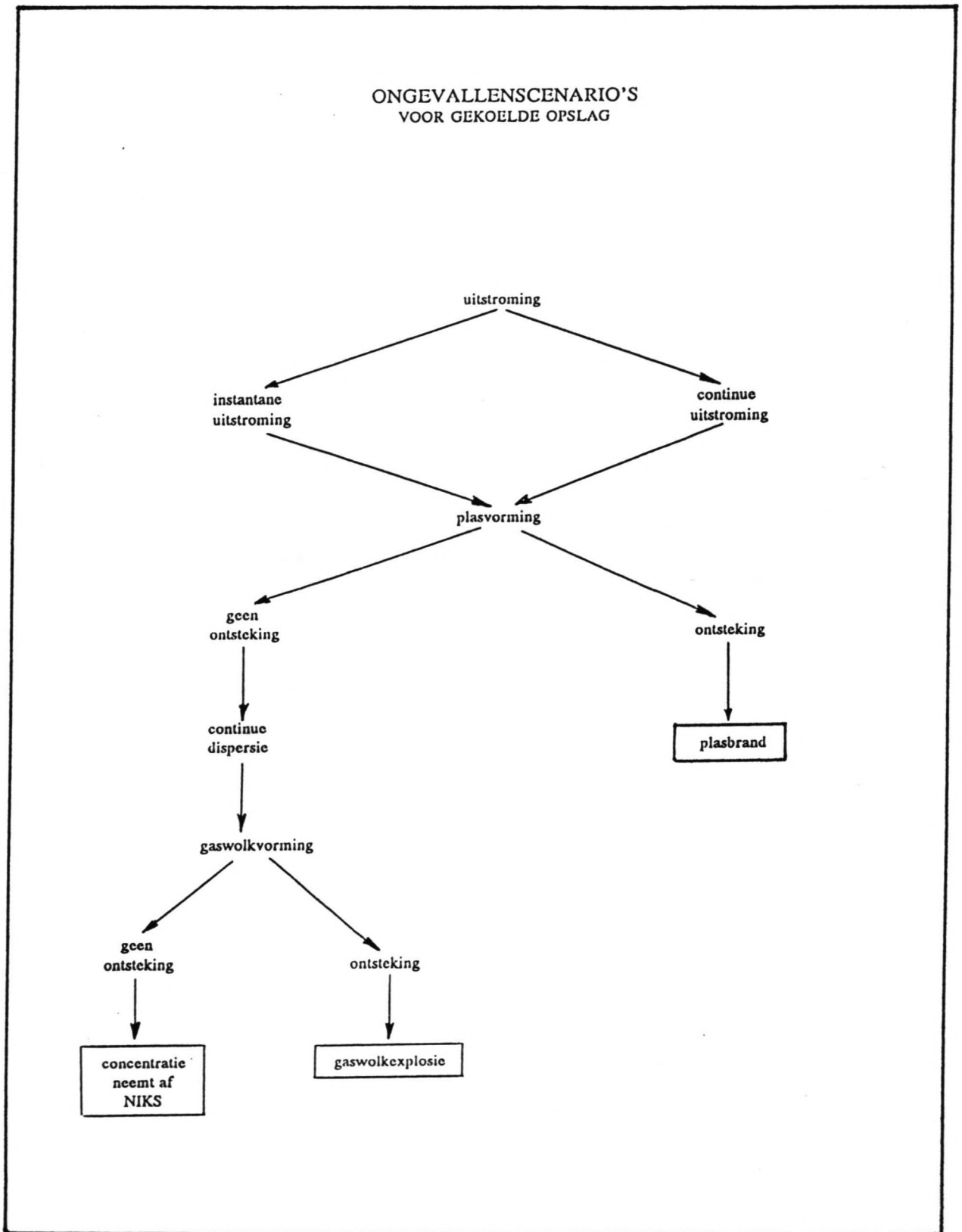
1. De uitstroming: Deze kan plaatsvinden in gas- of damp-
vorm, als vloeistof en als combinatie van beide (tweefa-
sen-uitstroming).
2. De verdamping: Wanneer een vloeistof ontsnapt die onder
atmosferische condities gasvormig is zal verdamping
optreden. Bij onder druk opgeslagen LPG zal een deel van
de vloeistof zich snel aanpassen aan zijn omgeving door
middel van "flash-verdamping". Het onttrekt warmte aan
zichzelf. Het overige deel koelt daardoor af tot onder
het kookpunt en gedraagt zich verder als LPG dat gekoeld
is opgeslagen. Het heeft een ander medium nodig waaruit
het warmte kan onttrekken. Hiervoor gebruikt het de
ondergrond. De vloeistof spreidt zich uit over de grond,
er ontstaat een plas, waarna het proces "plasverdamping"
in gang treedt. Door de afkoeling van de ondergrond zal
het proces geleidelijk aan langzamer verlopen.
3. De dispersie: Onder deze term wordt verstaan de
verspreiding van gassen en dampen door turbulente
stroming. Twee vormen van dispersie worden
onderscheiden: Continue en instantane dispersie. In het
eerste geval wordt uitgegaan van een hoeveelheid stof
die per tijdseenheid vrijkomt, in het tweede geval wordt
geschematiseerd dat de stof op één tijdstip massaal
vrijkomt.
4. De warmte-uitstraling: Wanneer kort na de ontsnapping
van het gas (al dan niet in vloeibare vorm) een
ontsteking optreedt, zal er brand ontstaan. Drie
scenario's zijn denkbaar:
 - a) BLEVE (boiling liquid expanding vapor explosion):
Bij dit verschijnsel ontstaat er een vuurbal nadat
een onder druk vloeibaar gemaakt gas instantaan is
ontsnapt.
 - b) De fakkelbrand: Wanneer een onder druk bewaard gas
ontsnapt en de uitstroming is (semi-)continu dan
zal er in geval er een ontsteking plaatsvindt een
brand ontstaan die gevoed wordt zolang de lek
blijft bestaan.

- c) De plasbrand: Een plasbrand ontstaat als een vloeibaar gemaakt gas (onder druk of gekoeld) na de lek een plas vormt en er vervolgens een ontsteking plaatsvindt.
5. De gaswolkexplosie: Als na het uitstromen van een brandbaar gas of damp geen directe ontsteking plaatsvindt, mengt deze stof zich met de lucht. Aldus ontstaat een gaswolk met explosieve eigenschappen. Het explosieve deel kenmerkt zich door de concentratie brandbare stof, die hier ligt tussen de grenswaarden LEL (lower explosion limit) en UEL (upper explosion limit). Twee explosies kunnen zich voordoen:
- a) Deflagratie: Een hittebron zorgt voor een zichzelf onderhoudende reactie in de gaswolk. Het is een subsone reactie waarbij de vlam als een zuiger werkt en compressiegolven opwekt in het nog niet gereageerde brandbare mengsel. Als de vlamsnelheid groot genoeg is halen de compressiegolven elkaar in en ontstaat er een schokgolf. Een rekenmodel voor deflagratie is ontwikkeld door TNO en zal in deze studie gebruikt worden wanneer het gaat om het bepalen van de schade-afstanden ten gevolge van gaswolk-explosies.
- b) Detonatie: Wanneer er in de gaswolk een temperatuurs- verhoging optreedt door een schokgolf i.p.v. door warmte-overdracht en het gas voldoende snel tot reactie komt achter het schokgolffront, dan zal de vrijgekomen verbrandingsenergie de schokgolf ondersteunen en in stand houden. Het gaat hier om een supersoon verschijnsel dat slechts optreedt in een gesloten ruimte.

Een overzicht van de ongevallen-scenario's wordt gegeven in de figuren 5a en 5b (pagina's 8 en 9).



figuur 5a



figuur 5b

Hoofdstuk V : De parameters

Om een volledig overzicht te krijgen van de effecten die de verschillende ongevallen-scenario's op de omgeving hebben is het van belang eerst de parameters die invloed hebben op de processen te onderkennen. Uit de eerder gemaakte case study "Ennore" (lit. 8) blijken van belang te zijn (voor zowel gekoeld- als onderdruk vloeibaar gemaakte gassen):

- 1 de eigenschappen van de stof
- 2 de hoeveelheid stof die vrijkomt
- 3 of de bron instantaan of continu is
- 4 de klimaatklasse
- 5 de windsnelheid
- 6 de omgevingstemperatuur
- 7 de bodemruwheid
- 8 de relatieve vochtigheid

Enkele parameters verdienen enige toelichting:

V.1 Wat is LPG?

LPG is een mengsel van hoofdzakelijk twee gassen. Deze gassen zijn butaan en propaan. Beide gassen hebben ieder bepaalde eigenschappen zodat door samenvoegen in bepaalde percentages het gas aan zekere gestelde eisen voldoet.

Propaan en butaan worden beide verkregen uit aardolie. Ruwe aardolie bestaat uit een groot aantal verschillende koolwaterstoffen. Deze koolwaterstoffen hebben alle verschillende verdampingstemperaturen, zij zijn dus ook vluchtig bij verschillende temperaturen. Bij de winning van de aardolie wordt het mengsel van olie en gas geleidelijk onder steeds lagere druk gebracht om zo veel mogelijk de lichtere fracties te bewaren. Bij deze drukverlaging komen eerst de meest lichte gassen vrij (ethaan en methaan) en pas later de zwaardere gassen propaan en butaan. Ook in het distillatieproces zijn de diverse koolwaterstoffen afzonderlijk "los te maken". Aardolie wordt hierbij verhit in een fornuis of buisoven tot een temperatuur van maximaal 360°C. De aardolie gaat hierdoor koken en verandert in damp. Koelt men nu de damp af, dan condenseert deze waardoor weer vloeistof ontstaat. De eerste koolwaterstoffen die vrij komen zijn weer de lichte fracties: Eerst ethaan en methaan, dan propaan en butaan. De hoeveelheid gas die bij distillatie verkregen wordt hangt af van de samenstelling van de ruwe aardolie. Het percentage varieert van 2 tot 10. Ook bij verdere bewerkingen als reformeren en kraken ontstaan propaan en butaan.

Propaan en butaan zijn onder atmosferische omstandigheden gas-vormig. Beide zijn zwaarder dan lucht en blijven daarom aan het aardoppervlak zweven. Bij overdruk gaan ze over in vloeibare toestand. Een andere manier om deze stoffen vloeibaar te maken is door ze tot onder hun kookpunt te

koelen. De gassen zijn reukloos. Voor de herkenbaarheid worden wel reukstoffen toegevoegd.

Karakteristieke grootheden van beide stoffen zijn:

BUTAAN		
molgewicht	58.0	g/mol
vloeistof dichtheid	601	kg/m ³ bij 273 K
kookpunt	273	K
kritische druk kritische temperatuur	3.8 426	MPa bij 426 K K
verbrandingswarmte verdampingswarmte soortelijke warmte	45.8 363 2300	MJ/kg kJ/kg bij 298 K J/kgK bij 273 K
onder-explosiegrens LEL boven-explosiegrens UEL	1.5 8.5	% %

PROPAAN		
molgewicht	44.0	g/mol
vloeistof dichtheid	585	kg/m ³ bij 228 K
kookpunt	231	K
kritische druk kritische temperatuur	4.2 370	MPa bij 370 K K
verbrandingswarmte verdampingswarmte soortelijke warmte	47.5 345 2600	MJ/kg kJ/kg bij 290 K J/kgK bij 290 K
onder-explosiegrens LEL boven-explosiegrens UEL	2.1 9.5	% %

V.2 Het klimaat in Tuticorin

In algemene termen kan gezegd worden dat het klimaat in Tuticorin weinig variatie kent. De maximale middagtemperaturen schommelen tussen 28°C 's winters en 38°C zomers. De minima liggen tussen 20°C en 26°C. Over de jaren 1979-1988 zijn de hoogste en laagste gemeten temperaturen respectievelijk 40°C en 18.9°C.

Jaarlijks valt er gemiddeld 640 mm regen, waarvan het overgrote deel gedurende de moesson (november tot februari) uit het Noord-Oosten wordt aangevoerd.

De overheersende windrichting in de maanden november tot en met februari is Noord tot Oost-Noord-Oost (gem. windsnelheid van 7.6 m/s) en in de maanden mei tot en met augustus West-Noord-West tot West-Zuid-West (8.05 m/s). Zie voor meer informatie de windroos (bijlage I).

Een belangrijk gegeven is dat de haven slechts heel incidenteel last heeft van stormen. Door de gunstige ligging aan de golf van Mannar wordt Tuticorin "beschermd" door enerzijds het Indiase sub-continent en anderzijds Sri Lanka. Bovendien kunnen in de moessonmaanden, wanneer de meeste stormen te verwachten zijn, geen hoge golven gegenereerd worden omdat ten Noord-Oosten van de havenplaats de Adams Bridge een natuurlijke barrière vormt. Dit is te zien op de kaart in bijlage II.

Om een indruk te geven van de weersomstandigheden in het gebied is de klimaattabel van Pambam (120 km ten Noord-Oosten van Tuticorin) weergegeven. Bij gebrek aan identieke gegevens over Tuticorin worden hiermee enkele berekeningen uitgevoerd. De volledige klimaattabel is weergegeven in bijlage III, de vereenvoudigde tabel staat hier afgedrukt:

PAMBAM	wind		aantal	afwijking		kans
	knopen	m/s		knopen	m/s	
Noord	8.86	4.56	317	0.90	0.46	0.132
NO	8.59	4.42	414	0.92	0.47	0.173
Oost	8.15	4.19	136	0.93	0.48	0.057
ZO	8.65	4.45	316	1.01	0.52	0.132
Zuid	8.97	4.61	515	0.98	0.50	0.215
ZW	9.26	4.76	392	0.92	0.47	0.163
West	9.11	4.69	100	0.95	0.49	0.042
NW	8.92	4.59	113	0.90	0.46	0.047
Windstil			97			0.040
Totaal			2400			1.000

Toelichting bij de tabel:

- * In de kolom "aantal" is de som van de frequentie-percentages waarmee de verschillende windrichtingen voorkomen (per maand, 's ochtends en 's middags) weergegeven. Gedeeld door het "totaal" levert het "aantal" de kansverdeling op.
- * De kolom "afwijking" geeft de standaard-afwijking van de gemiddelde windsnelheid over het gehele jaar.

Uitgaande van de tabelgegevens kan geconcludeerd worden dat er weinig verschil in windsnelheden is over de richtingen. Toch wordt uit de kansverdeling duidelijk dat overheersende stromen afkomstig zijn uit Noord/Noord-Oost en uit Zuid/Zuid-West. Ook dient rekening gehouden te worden met windstil weer (gemiddeld 14 dagen in het jaar). Volgens de KNMI-voorschriften zijn dit windsnelheden tot 1 m/s.

Uitgaande van het bovenstaande lijkt het verstandig de effect-berekeningen uit te voeren voor windsnelheden van 1 m/s (windstil), 5 m/s (matige wind) en 10 m/s (vrij krachtige wind).

Temperaturen die bij de invoer gebruikt zullen worden zijn 20°C, 30°C en 40°C (resp. 293, 303 en 313 Kelvin).

Naast de windsnelheid en de temperatuur is het van belang de stabiliteit van de atmosfeer in beschouwing te nemen. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de zes Pasquill-klassen:

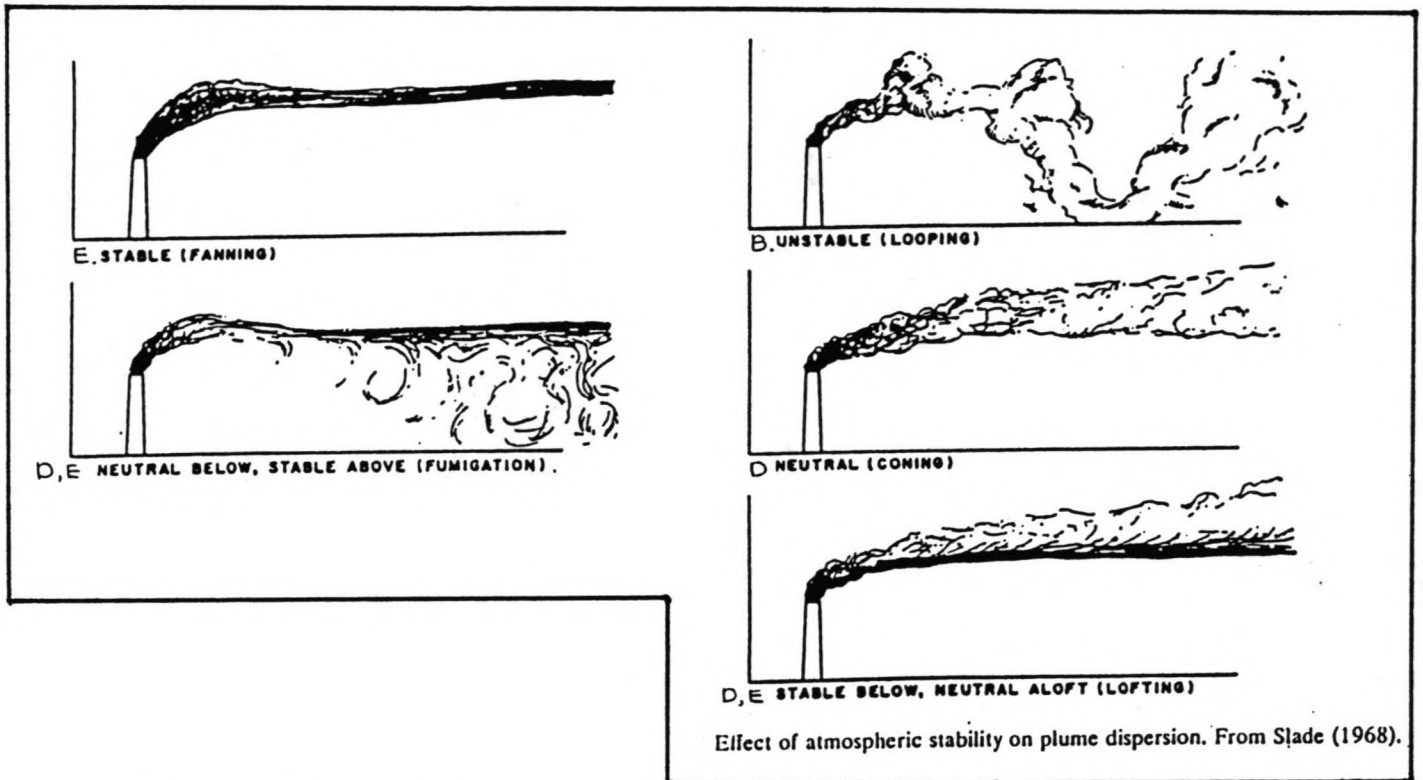
- A = zeer instabiel
- B = instabiel
- C = licht instabiel
- D = neutraal
- E = stabiel
- F = zeer stabiel

De stabiliteit is van invloed op de verspreiding van een gas in de lucht. Zeer stabiel houdt in dat de concentratie lang hoog blijft binnen een beperkte ruimte (weinig turbulentie) terwijl zeer instabiel weer het gas snel spreidt over een groter gebied (grote turbulentie).

De grootste schade-afstanden zijn te verwachten bij stabiele weersomstandigheden, d.w.z. bij de klimaatklasse F, omdat de wind de explosieve gaswolk over een langere afstand kan transporteren voordat de concentratie gas in de lucht binnen de explosieve grenzen valt. Deze klasse zal daarom telkens in de berekening ingevoerd worden. Ook zal de klimaatklasse D (neutraal) doorgerekend worden omdat dit de meest voorkomende is.

Globaal liggen de verhoudingen als volgt:

D in 60% van de tijd
 F in 25% van de tijd
 A in 10% van de tijd



figuur 6: Pasquill-
 klassen

V.3 Het begrip bodemruwheid

Met de toekenning van een waarde voor de bodemruwheid wordt een maat gegeven voor de weerstand die een gaswolk ondervindt bij zijn verplaatsing over een bepaald oppervlak. Onderscheid wordt gemaakt tussen:

Vlak land	Z = 0.03 meter
Bouwland	Z = 0.10
Cultuurland	Z = 0.30
Woongebied	Z = 1.00
Stedelijk gebied	Z = 3.00

Gezien het feit dat er in Tuticorin sprake is van een industrieel gebied wordt met een bodemruwheid van $Z = 1.00$ gerekend.

Hoofdstuk VI: De invloed van de parameters

In de case study "Ennore" (lit. 8) is reeds onderzoek gedaan naar de invloed van de parameters op de fysische effecten. Het onderzoek was daar gericht op de stoffen etheen, propane en butadieen. De conclusies van dat rapport zullen hier eerst genoemd worden en vervolgens zal getoetst worden of ze eveneens geldig zijn voor de bestanddelen van LPG, te weten butaan en propaan.

De conclusies luiden:

1. Er zijn geen significante verschillen tussen de effectafstanden van de stoffen onderling.
2. Bij een instantane bron heeft het klimaat weinig invloed op het ontstaan van de maximale hoeveelheid explosieve stof.
3. Bij een instantane bron blijkt dat bij vergroten van de bron met een factor 10 de schade-afstanden met een factor 2 toenemen.
4. Bij een continue bron blijkt dat bij het vergroten van de bron met een factor 10 de schade-afstanden met een factor 3.5 toenemen.
5. Er blijkt een zuiver lineair verband te bestaan tussen de schade-afstanden en de overdrukken. Dit is terug te voeren op de gehanteerde modellen van TNO ("Het Gele Boek").
6. De verandering van de relatieve vochtigheid heeft weinig invloed op de resultaten van de berekeningen.
7. De BLEVE is niet afhankelijk van het klimaat, de windsnelheid of temperatuur.
8. De BLEVE is in het gehanteerde rekenprogramma onafhankelijk van de soort stof.
9. De flash-verdamping moet berekend worden voor de verschillende temperaturen.
10. De fakkelbrand is in alle gevallen niet maatgevend.
11. Het ernstigste effect is de plasbrand. De effecten blijven echter beperkt tot bij de plas en de omgeving ondervindt hierdoor weinig schade. Wel moet gelet worden op het domino-effect.
12. De vloeistofuitstroming van een gas onder druk gaat tien keer sneller dan die van een gekoeld gas.

13. De tweefasenuitstroming van een gas onder druk gaat tien keer sneller dan die van een gekoeld gas.
14. De gasuitstroming van een gas onder druk gaat ongeveer 5000 keer sneller dan die van een gekoeld gas.

Opmerkingen:

Alle berekeningen die tot bovenstaande conclusies hebben geleid zijn uitgevoerd met het computer-programma FYSEFF, dat gebruik maakt van rekenmethodes zoals beschreven in het "Gele Boek" (lit. 7). Dit is echter niet geheel terecht. Het programma FYSEFF is niet ontwikkeld voor de berekening van effecten die voortkomen uit ongevallen met cryogene vloeistoffen. Met name is in FYSEFF geen module ingebouwd voor de berekening van de verdampingssnelheid van gekoeld vloeibaar gemaakte gassen. De modules voor continue dispersie en gaswolkexplosie kunnen wel voor cryogene vloeistoffen worden gebruikt, mits men zich realiseert dat een overschatting van de effectafstanden het gevolg is.

In deze studie zal eveneens met FYSEFF gewerkt worden. De verdamping van gekoeld LPG zal echter afgeleid worden uit formules uit het Gele Boek en op de effectafstanden van gaswolk-explosies wordt een correctiefactor toegepast.

Voor de berekening van de effecten van een gaswolkexplosie wordt gebruik gemaakt van het door TNO ontwikkelde deflagratie-model. De effecten ten gevolge van detonatie zullen niet behandeld worden omdat dit verschijnsel slechts optreedt binnen een gesloten ruimte.

Schade-afstanden ten gevolge van een explosie worden uitgedrukt in de straal vanuit de kern van de explosie waarbinnen bepaalde overdrukken waar te nemen zijn. De volgende grenswaarden worden hierbij aangehouden:

- afstand tot 0.3 bar: Zware schade aan gebouwen en levensgevaar.
- afstand tot 0.1 bar: Herstelbare schade aan gebouwen en levensgevaar.
- afstand tot 0.03 bar: ruitbreuk met levensgevaarlijke scherfwerking.
- afstand tot 0.01 bar: incidentele ruitbreuk.

De berekende schade-afstanden zijn maximale afstanden waarop de fysische effecten invloed kunnen hebben. Aangenomen wordt dat de ontsteking bij een explosieve wolk plaatsvindt op het moment dat de maximale hoeveelheid explosieve massa aanwezig is. Bovendien vindt in de berekening de ontsteking plaats in het zwaartepunt van de gaswolk.

VI.1 Instantane dispersie, variërend klimaat

instantane dispersie 1000 kg	F - 1		D - 5		D - 10	
	butaan	propaan	butaan	propaan	butaan	propaan
max expl massa (kg) op afstand (m)	679 200	619 210	673 100	619 110	673 100	619 110
deflagratie						
straal schadecirkels						
0.3 bar (m)	34	33	34	33	34	33
0.1 bar (m)	102	99	101	99	101	99
0.03 bar (m)	339	330	338	330	338	330
0.01 bar (m)	1016	990	1013	990	1013	990

Duidelijk wordt dat een verandering in de klimaatgegevens slechts marginale invloed heeft op de schade-afstanden. De klimaatklasse bepaalt enkel de afstand waar het zwaartepunt van de explosieve massa ligt. Hoe stabiel het weer, hoe groter deze afstand.

VI.2 Continue dispersie, variërend klimaat

continue dispersie 100 kg/s	F - 1		D - 5		D - 10	
	butaan	propaan	butaan	propaan	butaan	propaan
max expl massa (kg) afstand tot LEL (m) afstand tot UEL (m)	90621 2206 701	80574 2120 782	2009 247 84	1785 238 93	652 160 54	580 154 60
deflagratie						
straal schadecirkels						
0.3 bar (m)	173	167	49	47	33	32
0.1 bar (m)	519	501	146	141	100	97
0.03 bar (m)	1730	1672	486	470	334	323
0.01 bar (m)	5190	5016	1458	1409	1002	968

De schade-afstanden verschillen bij een continue bron aanzienlijk wanneer het klimaat verandert. Wanneer de wind in kracht toeneemt worden de schade-afstanden fors gereduceerd. Bovendien neemt het gevaar af met een verhoogde turbulentie (klimaatklasse D). De kritieke afstanden zullen berekend moeten worden voor stabiel weer met lage windsnelheden.

VI.3 Instantane dispersie, variërende bronsterkte

instantane dispersie D - 5	100 kg		1000 kg		10 000 kg	
	butaan	propaan	butaan	propaan	butaan	propaan
max expl massa (kg) op afstand (m)	66 40	57 40	673 100	619 110	6800 250	6173 260
deflagratie						
straal schadecirkels						
0.3 bar (m)	16	14	34	33	73	71
0.1 bar (m)	47	45	101	99	219	213
0.03 bar (m)	156	149	338	330	730	710
0.01 bar (m)	467	447	1013	990	2189	2131

Wanneer de bronsterkte toeneemt met een factor tien, nemen de effect-afstanden toe met een factor twee.

VI.4 Continue dispersie, variërende bronsterkte

continue dispersie F - 1	10 kg/s		100 kg/s		1000 kg/s	
	butaan	propaan	butaan	propaan	butaan	propaan
max expl massa (kg) afstand tot LEL (m) afstand tot UEL (m)	1978 482 153	1759 463 171	90621 2206 701	80574 2120 782	4151127 10106 3211	3690899 9711 3581
deflagratie						
straal schadecirkels						
0.3 bar (m)	48	47	173	167	619	598
0.1 bar (m)	145	140	519	501	1857	1795
0.03 bar (m)	484	467	1730	1672	6190	5981
0.01 bar (m)	1450	1402	5190	5016	18569	17945

De effect-afstanden vergroten 3.5 keer wanneer de bron toeneemt met een factor 10. Dit is eveneens gecontroleerd voor een klimaat D-5, waaruit blijkt dat ondanks de veel kleinere schade-afstanden, de verhoudingen gelijk blijven.

VI.5 BLEVE bij variërende bronsterkte

BLEVE is onafhankelijk van het klimaat. De uitleg wordt gevonden in het feit dat het effect binnen enkele seconden voltrokken is. De wind heeft de tijd niet vat te krijgen op het proces. Eveneens

kan gezegd worden dat de BLEVE in het gebruikte rekenprogramma voor alle stoffen hetzelfde is. In de realiteit is het effect afhankelijk van de verbrandingswarmten van de beschouwde stoffen maar gezien ze niet ver uiteenlopen heeft men deze waarden niet in rekening gebracht. Een variërende hoeveelheid ontsnapte stof levert de volgende tabel op:

brandbare stof (kg)	100	1 000	10 000	100 000
diameter vuurbal (m)	29	61	129	273
brandduur (s)	3	5	9	17
afstand tot 50% doden (m)	20	40	100	250
afstand tot 1% doden (m)	30	60	130	320
1e graads brandwonden (m)	40	80	210	550

De effect-afstanden nemen met een factor 2 à 2.5 toe wanneer de hoeveelheid ontsnapte stof met een factor 10 wordt vergroot.

VI.6 Fakkelflam bij variërende bronsterkte

Fakkelflam			
bronsterkte (kg/s)	10	100	1000
afstand tot 50% doden (m)	24	51	109
afstand tot 1% doden (m)	31	67	143
1e graads brandwonden (m)	59	127	273

Wanneer de bronsterkte toeneemt met een factor 10, nemen de effect-afstanden toe met een factor 2. Vergeleken met dispersie, gevolgd door deflagratie, zijn de effect-afstanden klein te noemen.

VI.7 Plasbrand bij variërende plasgrootte

Plasbrand		
plasdiameter (m)	50	150
afstand tot 50% doden (m)	34	84
afstand tot 1% doden (m)	59	144
1e graads brandwonden (m)	143	346

De plasbrand is een effect waarbij de schade binnen een beperkt gebied blijft. Binnen dit gebied is de schade echter aanzienlijk.

VI.8 Flash-verdamping versus temperatuur

Flash-verdamping	butaan	propaan
293 K	12 %	30 %
303 K	18 %	35 %
313 K	24 %	40 %

De flash-verdamping neemt evenredig toe met de temperatuur. Respectievelijk 5 % en 6 % voor propaan en butaan. Net als bij de BLEVE wordt dit effect niet beïnvloed door windsnelheden of klimaat-klassen. De totale hoeveelheid stof die vrijkomt verdampt instantaan.

VI.9 Plasverdamping bij variërende plasgrootte

Wanneer een gekoeld vloeibaar gemaakt gas uit een vat loopt zal het snel een temperatuurstijging ondergaan. De vloeistof gaat koken en verdampt vervolgens. In het geval van LPG hebben de twee fracties butaan en propaan aanvankelijk dezelfde temperatuur, namelijk die waaronder ze gekoeld worden (222 K). Bij uitstroming stijgt de temperatuur in het mengsel en zal de propaan-fractie als eerste zijn kookpunt bereiken (bij 231 K). Het propaan verdampt dus in eerste instantie alleen. Later, wanneer de vloeistof het kookpunt van butaan heeft bereikt (273 K), zal deze stof ook meedoen.

De benodigde warmte om het verdampingsproces in werking te stellen wordt onttrokken uit de ondergrond. De wind en de temperatuur van de lucht hebben geen invloed op het proces.

$$m_s'' = \frac{\theta_s (T_s - T_k)}{h_v \sqrt{(\pi \cdot a_s)}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \quad \text{in} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$

Met als parameters:

- m_s'' = verdampingssnelheid ; (kg/s.m²)
- T_s = temperatuur van de grond ; (K)
- T_k = kooktemperatuur van propaan ; (K)
- h_v = verdampingswarmte van propaan ; (J/kg)
- θ_s = warmtegeleidingscoëfficiënt van droog zand ; (W/m.K)
- a_s = temperatuurvereffeningscoëf. van droog zand ; (m²/s)
- t = tijdstip na begin uitstroming ; (s)

Uit de formule is op te maken dat bij eenzelfde ondergrond en voor eenzelfde stof, de plasverdamping rechtevenredig is met het oppervlak van de plas.

De waarden van h_v en T_k bepalen het verschil in verdampings-snelheid van verschillende stoffen. Deze waarden zijn voor butaan en propaan als volgt:

Butaan: $h_v = 3,9 \cdot 10^5$ j/kg $T_k = 273$ K
 Propaan: $h_v = 4,3 \cdot 10^5$ j/kg $T_k = 231$ K

Tussen beide stoffen is het verschil in $T_s - T_k$ vrij groot. De lage kooktemperatuur van propaan verklaart dat deze fractie sneller zal verdampen.

VI.10 Uitstroming bij variërende gatgrootte

Zoals eerder vermeld is, kan de opslag en het transport van LPG in twee vormen voorkomen. Beide vormen, gekoeld en druk, zullen in deze paragraaf beschouwd worden:

Gekoelde opslag: - temperatuur van 222 K (gelijk aan die waarmee de LPG per schip wordt aangevoerd)
 - atmosferische druk.

Drukopslag: - omgevingstemperatuur van 40°C.
 - druk van 10.5 atm.

De druk ter waarde van 10.5 atm vloeit voort uit de dampspanning van een mengsel van 50% propaan en 50% butaan bij een temperatuur van 50°C. Wanneer de uitstroming van de twee componenten van LPG afzonderlijk bekeken worden zal het butaan onder een druk staan die in vergelijking met zijn eigen dampspanning veel te hoog is. Butaan heeft namelijk een dampspanning van 4.75 atm bij 50°C. Dit vormt een uitleg waarom met name bij de twee-fasen uitstroming het butaan veel sneller wil uitstromen dan het propaan. Andersom geldt voor het propaan hetzelfde: Bij 50°C heeft de dampspanning voor propaan een waarde van 16 atm. De uitstroming zal daarom in dit model onderschat worden. Interpolatie van de waarden behorende bij de twee bestanddelen van LPG zal een goede benadering opleveren.

Het programma FYSEFF berekent de volgende waarden:

Uitstroming (kg/s) BUTAAN	vloeistof		twee-fasen	gas of damp
	222 K	10.5atm	10.5 atm	10.5 atm
diameter van het gat:				
0.05 m	8	39	27	4
0.10 m	31	156	110	15
0.15 m	71	351	247	34
0.20 m	125	624	439	60
0.25 m	196	975	687	94

Uitstroming (kg/s) PROPAAN	vloeistof		twee-fasen	gas of damp
	222 K	10.5atm	10.5 atm	10.5 atm
diameter van het gat:				
0.05 m	7	35	7	3
0.10 m	28	139	28	13
0.15 m	63	312	63	30
0.20 m	113	555	111	52
0.25 m	176	866	174	82

De uitstroming van de onder druk staande vloeistof geschiedt 5 maal sneller dan van de gekoelde vloeistof. Het gedrag van butaan en propaan verschillen aanzienlijk bij een twee-fasen uitstroming.

Verder is te zien dat de drie vormen van uitstroming lineair toenemen met het oppervlak van het gat, ofwel kwadratisch met de diameter.

VI.11 Conclusies

Het merendeel van de conclusies uit de case study "Ennore" blijven ook hier overeind staan. Enkele verschillen en aanvullingen worden hieronder beschreven:

- ad 1) Ofschoon bij de meeste ongevallen de verschillen in effect-afstanden voor butaan en propaan klein zijn, moet geconstateerd worden dat de resultaten bij de twee-fasen uitstroming een ander beeld vertonen. De reden is besproken in paragraaf VI.10.
- ad 5) Naast het feit dat de BLEVE niet wordt beïnvloed door klimaat, wind of temperatuur, kan gezegd worden dat de effect-afstanden met een factor twee à twee-en-een-half toenemen bij een toename van de hoeveelheid brandbare stof met een factor tien.
- ad 9) De flash-verdamping varieert niet bij veranderende klimaatklassen of windsnelheden, wel neemt het percentage met 5 à 6% toe bij een temperatuurstijging van 10°C.
- ad 12) De vloeistof-uitstroming gaat niet tien keer, maar vijf keer sneller bij druk-opslag dan bij gekoelde opslag. Dit verschil is te verklaren doordat er hier is uitgegaan van een reële druk in een opslagtank (10.5 atm) in plaats van de kritische druk van de beschouwde stof (± 40 atm voor butaan en propaan).

- ad 13) De twee-fasen uitstroming van een gas onder druk gaat bijna twee keer sneller (niet tien keer) dan die van gekoeld gas. Ook hier ontstaat het verschil door een andere aanname van de heersende druk in de tank.
- ad 14) De gas-uitstroming gaat ongeveer duizend (in plaats van vijftuizend) keer sneller bij een gas onder druk dan bij een gekoeld gas. Het verschil is wederom verklaarbaar door de uiteenlopende aannames voor de druk in de opslagtank.

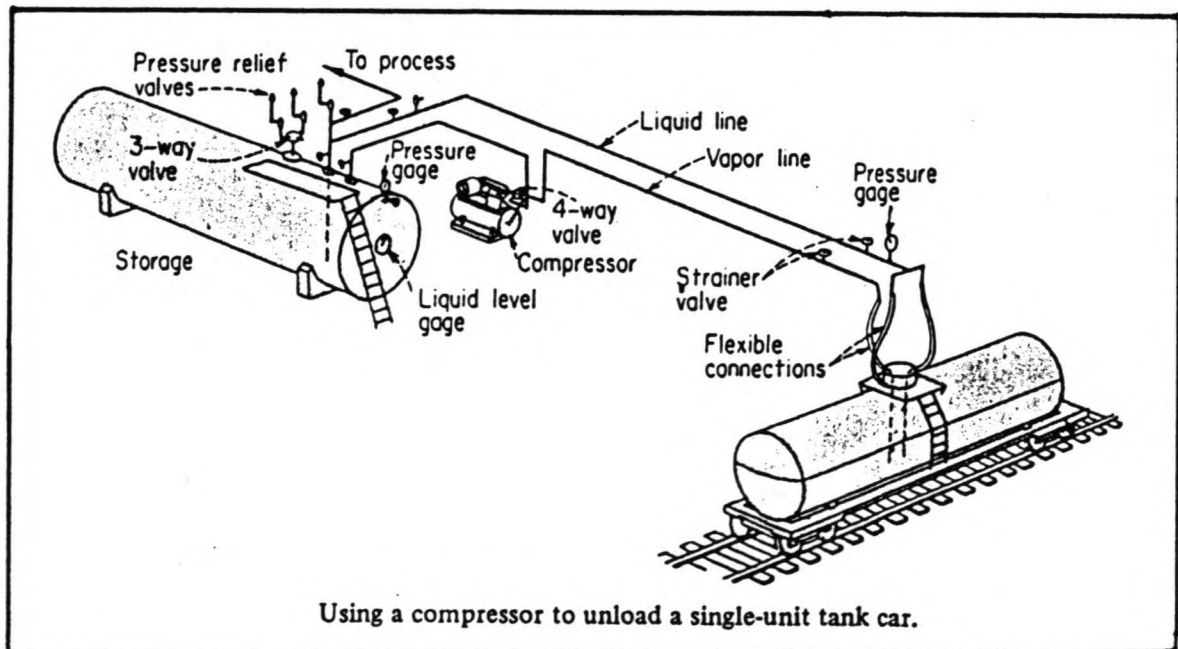
De verschillen in de berekende waarden van de effect-afstanden bij ongevallen-scenario's waarbij propaan en butaan zijn betrokken zijn zo klein dat in het vervolg van deze studie de effecten nog slechts berekend zullen worden met propaan. Ten aanzien van een berekening van de uitstroming uit tanks met drukopslag kan gezegd worden dat interpolatie tussen de gevonden waarden voor butaan en propaan noodzakelijk is.

Hoofdstuk VII: Bepaling opslagvorm en capaciteit

Met de conclusies uit hoofdstuk VI en de uitgangspunten uit hoofdstuk III wordt nu bepaald welke opslag in Tuticorin de meeste voordelen biedt.

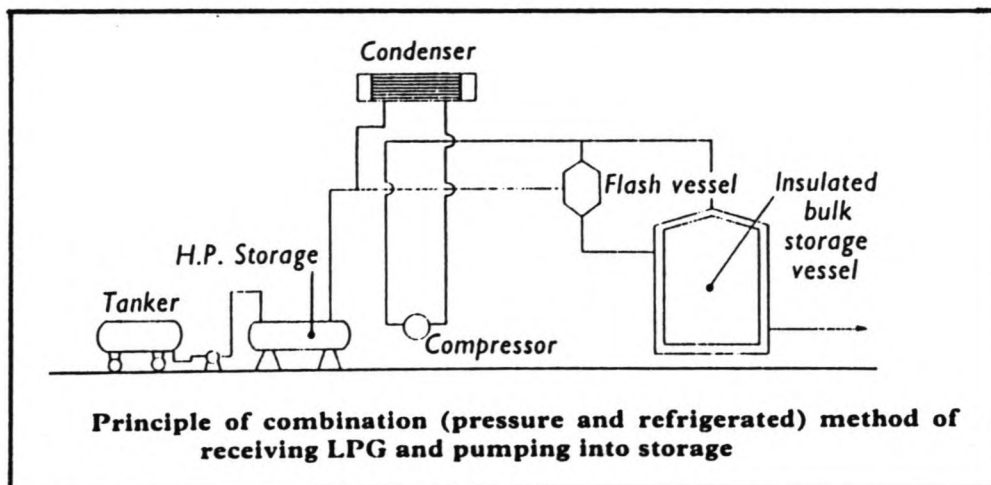
Zoals vermeld onder de uitgangspunten, wordt de LPG in gekoelde vorm aangevoerd met een hoeveelheid van 18 280 m³ iedere 20 dagen. De vloeistof bevindt zich onder atmosferische druk. Gezien de frequentie waarmee de tankers de haven aandoen, ligt het voor de hand dat één aanlegplaats voor LPG-tankers voldoende is.

Het landinwaardse vervoer per trein of vrachtwagen kan alleen onder druk plaatsvinden. De LPG heeft dan een temperatuur gelijk aan de omgevingstemperatuur en een druk die ongeveer tien keer zo groot is als de atmosferische. Deze druk vloeit voort uit de dampspanning van het gasmengsel bij een temperatuur van +50°C. In bijlage III wordt het verloop van de dampspanning met de temperatuur gegeven. Een gemiddelde hoeveelheid onder druk vloeibaar gemaakte LPG van 914 m³ wordt per dag afgevoerd.



figuur 7: overslag van drukopslag naar tankwagen

Gezien de twee verschillende toestanden waarin de stof zich bevindt bij aan- en afvoer, is het duidelijk dat omzetting nodig is van gekoelde- naar drukopslag.



figuur 8: principe van gecombineerde opslag (cryogeen en onder druk)

VII.1 Capaciteit van de opslag

Onnodige opslag van goederen is duur. Een grote reserve opbouwen betekent het vastleggen van kapitaal en daarmee rentederving. Anderzijds kan het voor huishoudens en industrieën erg vervelend zijn om tijdelijk zonder brandstof te zitten.

Bij de bepaling van de capaciteit van de opslag dient rekening gehouden te worden met de frequentie waarmee de tankers Tuticorin aandoen en de consequentie van een mogelijke vertraging. Bij een groot aantal schepen dat met regelmaat een nieuwe lading aanvoert kan volstaan worden met relatief weinig reserve-opslag. Het dreigende tekort kan dan opgevangen worden door het volgende schip. In Tuticorin komt er echter slechts om de 20 dagen een LPG-carrier de haven binnen en betekent een onvoorzien oponthoud direct een tekort wanneer er geen buffer aanwezig is.

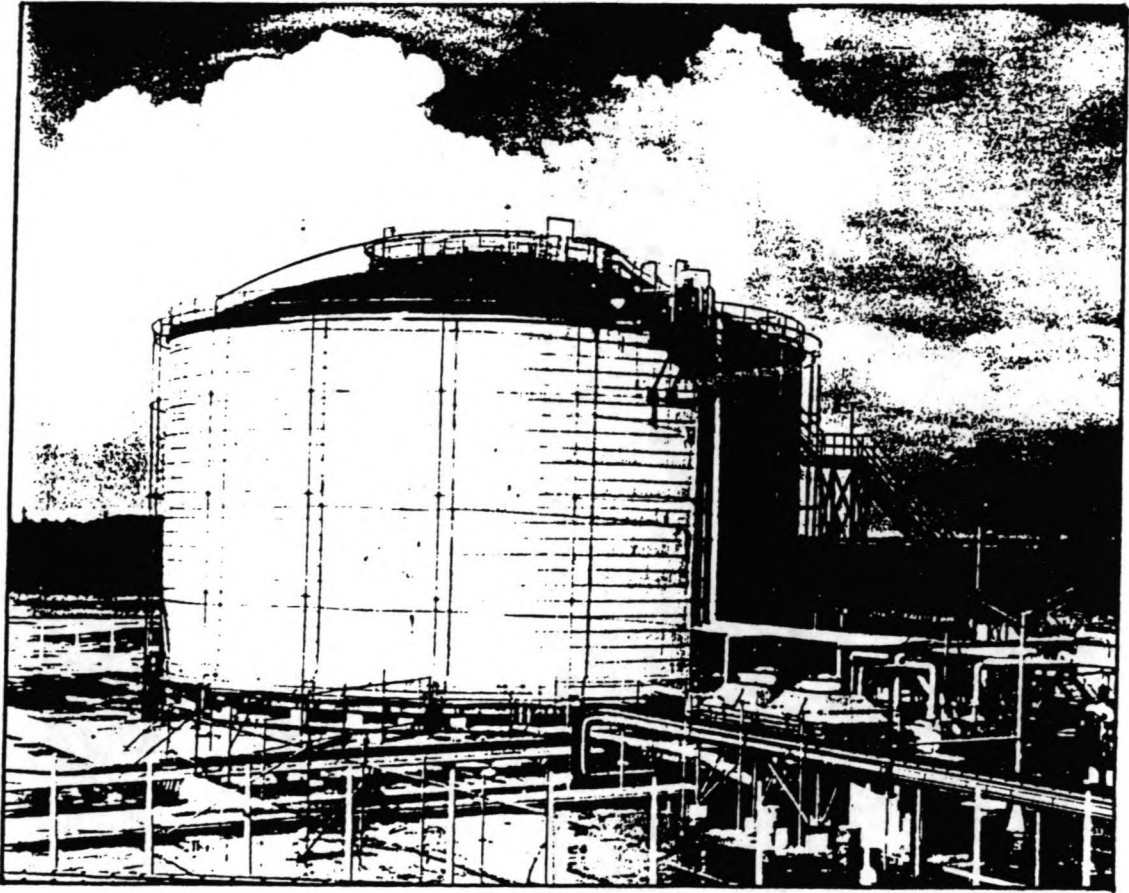
Om te voorkomen dat het uitblijven van de binnenkomst van één tanker schade berokkent aan de consument wordt een strategische reserve van 20 dagen (de omlooptijd van het schip) aangelegd. Uitgaande van dit gegeven, moet de haven van Tuticorin voorzien zijn van een opslag-capaciteit van 36 600 m³.

VII.2 Type opslag

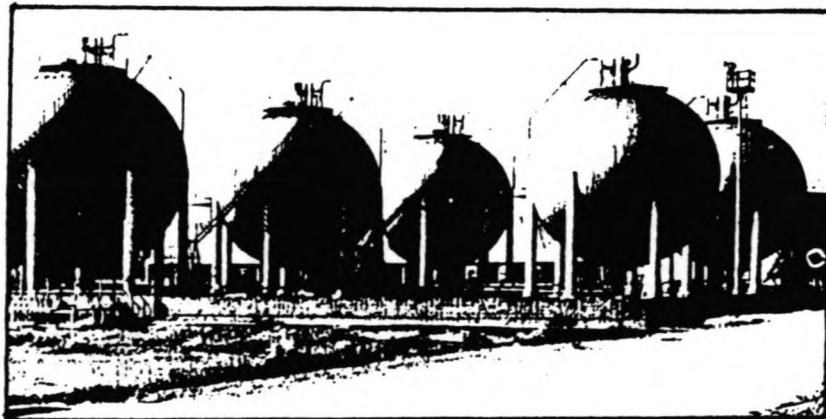
De keuze tussen gekoelde- en drukopslag wordt gemaakt aan de hand van verschillende criteria:

1. De hoeveelheid stof: Tanks voor drukopslag hebben een beperkte omvang. Al kunnen ze theoretisch een inhoud van 10 000 m³ hebben, in Nederland leggen de voorschriften een maximale capaciteit van 4 000 m³ op. Tanks ten behoeve van gekoelde opslag kunnen daarentegen enkele tienduizenden kubieke meters vloeistof bevatten.
2. De kosten: Hoe groter het aantal tanks, hoe duurder de installatie. De bolvormige tanks voor drukopslag vereisen een aparte constructie die relatief duur is. Daarentegen zijn de kosten voor energie groter bij gekoelde opslag. Uit een onderzoek dat verricht is door de American Gas Association blijkt dat gekoelde opslag economisch haalbaar kan zijn bij een opslag groter dan 4 000 m³.
3. De fysische vorm van de stof: Het kost een grote hoeveelheid energie om een gekoeld vloeibaar gemaakt gas te verwarmen tot de omgevings-temperatuur (het product is dan gasvormig) en om het vervolgens onder hoge druk weer samen te persen tot een vloeistof. Andersom geldt hetzelfde.
4. De veiligheid tegen rampen: Het ligt voor de hand dat hoe meer opslagtanks aanwezig zijn, hoe meer gevaar er dreigt voor een defect. De gevolgen zijn groter na mate de omvang van de tanks toeneemt. In het algemeen kan gezegd worden dat drukopslag minder veilig is dan gekoelde opslag.
5. Flexibiliteit: Het is gebruikelijk om de aanwezige voorzieningen minimaal tweevoudig uit te voeren (dus niet één grote opslagtank, maar liever twee kleinere). Dit in verband met mogelijke defecten of periodiek onderhoud.

In het geval van Tuticorin zien we dat de LPG in hoeveelheden wordt aangevoerd die in overeenstemming zijn met een gekoelde opslagvorm. Drie tanks met een inhoud van ieder ruim 12 000 m³ zijn dan voldoende. Naast deze tanks is het noodzakelijk een kleinere hoeveelheid LPG onder druk op te slaan om het transport landinwaarts te voorzien. Hiervoor worden twee tanks met een individuele inhoud van 1 000 m³ gebruikt. De ene tank kan dan gevuld worden terwijl de andere in gebruik is voor de overslag.



figuur 9: gekoelde tank
voor de opslag van butaan



figuur 10: bolvormige tanks
voor drukopslag van butaan/propan

Hoofdstuk VIII: De LPG-installatie

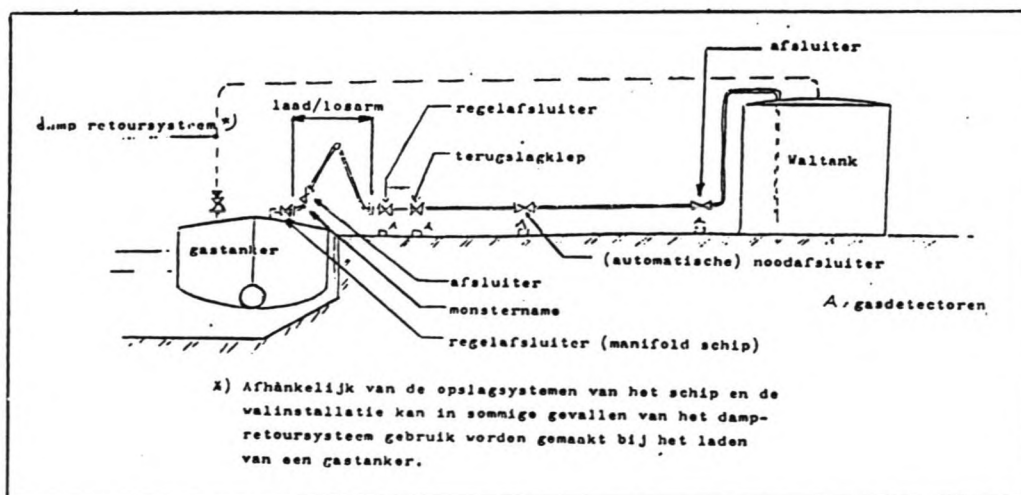
Nu de eigenschappen van de componenten van LPG bekeken zijn en het type en de capaciteit van de opslag bekend zijn, is het van belang de weg te bewandelen die deze stof volgt. De verschillende onderdelen van de route kunnen apart beschouwd worden en bepaald kan worden wat de specifieke problemen zijn bij ieder onderdeel.

De LPG wordt aangevoerd per tankschip. Vervolgens zal het getransporteerd worden naar het tankpark waar het in eerste instantie bewaard zal worden in gekoelde vorm. De LPG wordt dan met kleinere hoeveelheden verwarmd en onder druk gebracht om in hoge-druk tanks tijdelijk te wachten op het vervoer landinwaarts. Per trein en/of tankwagen wordt de stof tenslotte afgevoerd.

De te onderscheiden onderdelen in het circuit zijn:

1. het tankschip
2. de transportleiding naar het tankpark
3. de gekoelde opslag tanks
4. de transportleidingen met re-heaters tussen gekoelde en hoge-druk tanks
5. de druk-opslag tanks
6. de overslagleidingen tussen drukopslag en landtransport
7. de landtransportmiddelen

De essentiële componenten voor de bepaling van de locatie van de installaties worden gevormd door die componenten die een grote hoeveelheid LPG in korte tijd verwerken of gedurende lange tijd deze stof bevatten.



figuur 11: overslag-installatie

Achtereenvolgens zal onderzocht worden welke ongevallen kunnen plaatsvinden bij:

1. het tankschip
2. de transportleiding naar het tankpark
3. de gekoelde opslagtanks
4. de druk-opslagtanks

VIII.1 Het tankschip

Voor de bepaling van een veilige aanvaarroute en een geschikte locatie voor de aanlegplaats is het van belang inzicht te hebben in mogelijke effect-afstanden bij ongevallen waarbij het schip betrokken is. Twee scenario's zijn hierbij denkbaar:

- het schip strand op de kust
- het schip is betrokken bij een aanvaring

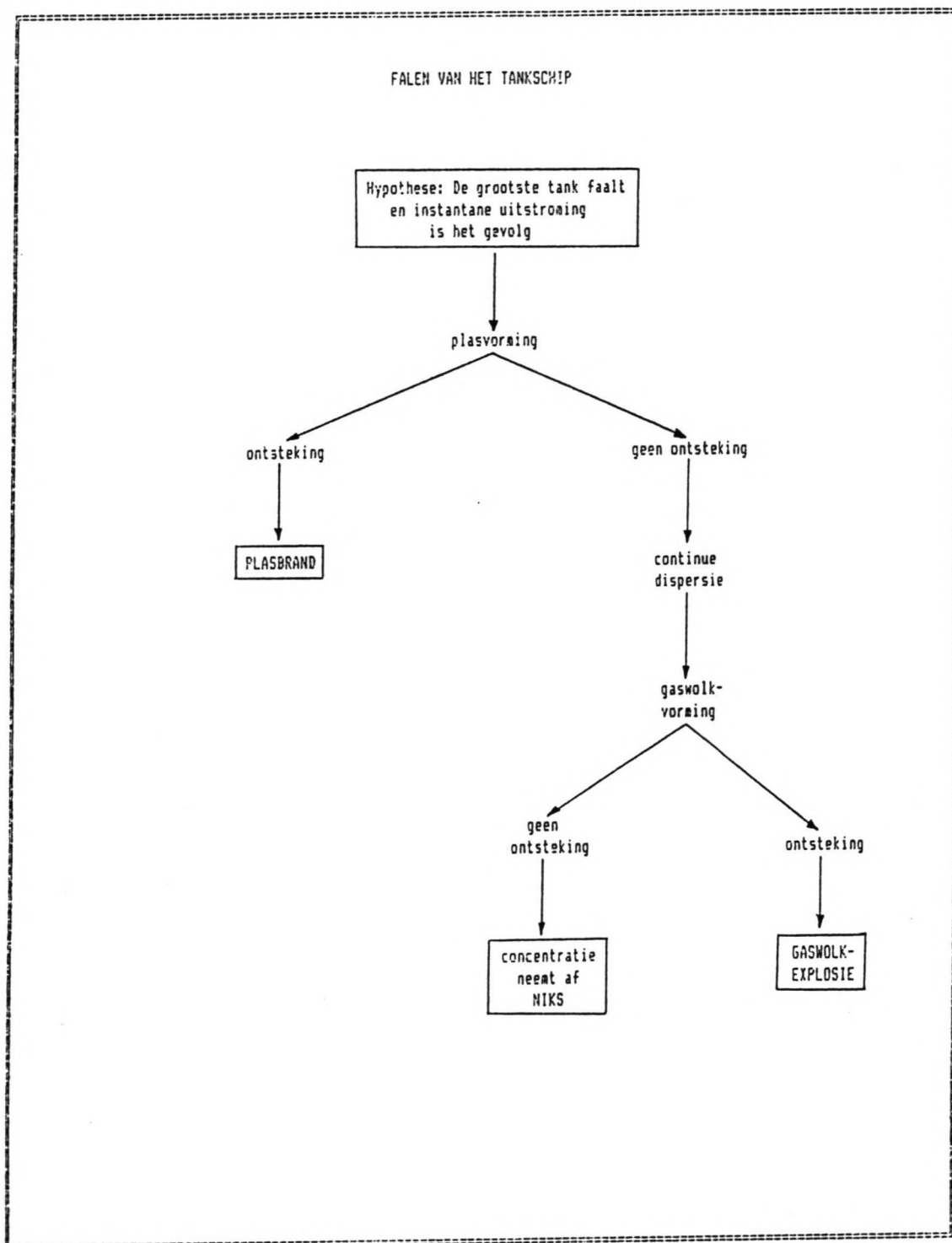
In beide gevallen moet rekening gehouden worden met het falen van één van de tanks met gekoelde LPG. De grootste tank is maatgevend en wordt daarom in de berekening meegenomen. Uit een eerder onderzoek naar de gevaren van de import van LPG in Nederland (lit. 2) blijkt dat de vaarsnelheid van het schip niet wezenlijk hoger hoeft te liggen bij een ongeluk die het falen van een tank tot gevolg heeft dan bij een ongeluk waarbij slechts schade aan de romp van het schip optreedt. Gesteld wordt dat in het eerste geval een gat van 10 m² of groter kan ontstaan.

Drie gevallen kunnen zich voordoen:

1. Directe ontsteking, er moet in dit geval met een plasbrand rekening gehouden worden. Dit effect is echter niet maatgevend voor gekoelde gassen (lit. 8).
2. Indirecte ontsteking, de gekoelde stof spreidt zich uit over het water waaruit het verdampt. Deze damp vormt een explosieve wolk die bij ontsteking gevaar oplevert.
3. Geen ontsteking, de gekoelde stof verdampt en de concentratie neemt geleidelijk af door dispersie.

Figuur 12 geeft op pagina 30 een overzicht van de bovenstaande scenario's.

Geval 2 is maatgevend voor de effect-afstanden en zal doorgerekend worden. Uitgangspunten voor de berekening zijn de ondervindingen uit een onderzoek naar de gevaren van de import van LPG in Nederland (lit. 2), aangevuld met de inhoud van de grootste tank van het maatgevende schip en een schatting van de uitstroomsnelheid met behulp van het programma FYSEFF.



figuur 12

- de grootste tank van het schip faalt
- de tank bevat 5000 m³ propaan
- er ontstaat een gat van 10 m² in de tankwand
- de uitstroomsnelheid bedraagt 44 m³/s

Eerst wordt een schatting gemaakt van de omvang van de plas die zich op het water zal vormen. Met behulp van dit gegeven kan berekend worden hoe groot de verdampingssnelheid is. Formules uit Het Gele Boek (lit. 7) zijn hiervoor gehanteerd:

De straal van de plas op het tijdstip dat de uitstroming ten einde is gekomen ($t_s = 114$ s) bedraagt:

$$r_{\text{plas}}(t_s) = \left[\frac{4 C'' g \delta_w V_i}{3 \pi} \right]^{1/4} t_s^{3/4} = 123 \text{ m}$$

Iteratief kan worden bepaald dat de het verdampingsproces en daarmee de spreiding van de plas is afgelopen op $t = 352$ s. De straal van de plas is dan:

$$r_{\text{plas}}(t = 340) = r_{\text{plas}}(t_s) \left[\frac{3t}{2t_s} - \frac{1}{2} \right]^{1/2} = 248 \text{ m}$$

In deze vergelijkingen komen de volgende parameters voor:

C'' = correctiefactor voor het in rekening brengen van het feit dat de vloeistof, waarop de traagheidskracht werkt, een gedeelte van de totale massa is.

g = versnelling van de zwaartekracht

δ_w = relatieve dichtheid tussen vloeistof en water

V_i = constante uitstroomsnelheid van de vloeistof

t = tijd na begin uitstroming

Aangenomen dat de plasstraal regelmatig aangroeit van 0 meter tot 248 m, kan er gerekend worden met een gemiddelde plasstraal van 124 m.

Omdat de module "plasverdamping" van FYSEFF niet toepasbaar is voor cryogene vloeistoffen wordt de verdampingssnelheid met de hand berekend. Als invoer voor de dispersie-berekening wordt de gemiddelde verdamping over de totale verdampingstijd genomen (bron: Dhr Roodbol, Bureau Lucht en Veiligheid van de DCMR).

$$\text{gem. verdampingssnelheid} = \frac{5000 \times 585}{352} = 8\,309 \text{ kg/s}$$

Deel A: Fysische effecten bij import van LPG

Met deze invoer wordt vervolgens met FYSEFF de dispersie en de gaswolkexplosie berekend. Het programma is echter ontwikkeld voor neutrale gassen. Dit wil zeggen dat het gewicht van de gaswolk ongeveer gelijk is aan het gewicht van de lucht waarin het zich verplaatst. In het geval van verdamping van een cryogene vloeistof hebben we te maken met een zware gaswolk. Door de lage temperatuur stort de wolk ineen waardoor turbulentie ontstaat. De verdunning van de wolk geschiedt daarom sneller. Doordat in FYSEFF geen rekening wordt gehouden met dit verschijnsel krijgen we een overschatting van de effect-afstanden van 20% à 30%. De gevonden resultaten worden daarom met 25% gereduceerd.

PROPAAN D - 5	uitstroming, verdamping, dispersie, explosie	
tankinhoud (m ³)	5 000	
straal gat (m)	1.8	
continue bron (m ³ /s)	44	
opslagtemperatuur (K)	222	
gem plasoppervlak (m ²)	48 305	
gem straal plas (m)	124	
plasverdamping (kg/s)	8 309	
afstand tot LEL (m)	4 050	
afstand tot UEL (m)	1 423	
max expl massa (kg)	2 731 000	
Explosie	excl. drift	incl. drift
afstand tot 0.3 bar (m)	541	3 277
0.1 bar	1 623	4 360
0.03 bar	5 410	8 147
0.01 bar	16 231	18 968
Na reductie 25 %		
afstand tot 0.3 bar (m)	406	2 458
0.1 bar	1 217	3 270
0.03 bar	4 058	6 110
0.01 bar	12 173	14 226

PROPAAN F - 1	uitstroming, verdamping, dispersie, explosie	
tankinhoud (m ³)	5 000	
straal gat (m)	1.8	
continue bron (m ³ /s)	44	
opslagtemperatuur (K)	222	
gem plasoppervlak (m ²)	48 305	
gem straal plas (m)	124	
plasverdamping (kg/s)	165	
afstand tot LEL (m)	40 696	
afstand tot UEL (m)	15 256	
max expl massa (kg)	1.30 E8	
Explosie	excl. drift	incl. drift
0.3 bar (m)	1 961	29 937
0.1 bar	5 883	33 859
0.03 bar	19 610	47 587
0.01 bar	58 832	86 807
Na reductie 25 %		
0.3 bar (m)	1 470	22 453
0.1 bar	4 412	25 394
0.03 bar	14 708	35 690
0.01 bar	44 124	65 105

Bij klimaatklasse F met lage windsnelheden ontstaan de grootste problemen. Grote schade kan optreden tot op een afstand van 25 kilometer. De maximale hoeveelheid explosieve massa is bij stabiele weersomstandigheden erg groot en de wind zorgt ervoor dat de concentratie gas in de lucht pas op grote afstand een explosief mengsel vormt.

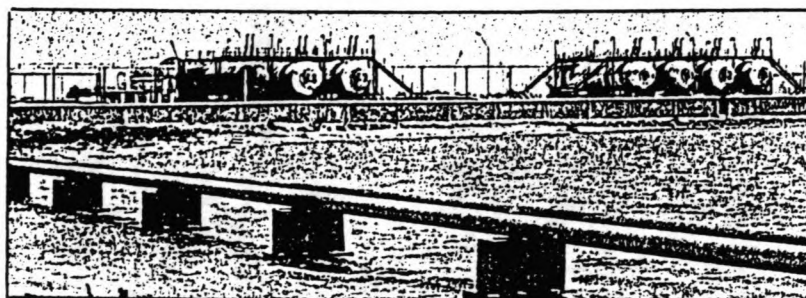
VIII.2 De transportleiding naar het tankpark

Om de LPG van het schip naar het tankpark over te slaan is een leiding nodig, gekoppeld aan een pomp-installatie. Ongevallen kunnen enerzijds voorkomen door een technisch mankement bij de overslag-installatie, anderzijds kan er over het traject van schip naar opslag leidingbreuk optreden. Alvorens in te gaan op de ongevallen-scenario's, wordt eerst een omschrijving gegeven van het systeem.

De benodigde pomp-capaciteit wordt bepaald op basis van het uitgangspunt dat het schip binnen 24 uur alle havenhandelingen moet hebben verricht. Dit houdt in dat de overslag van de LPG maximaal 20 uur in beslag mag nemen.

Voor een schip met een lading van 18 280 m³ betekent dit een hoeveelheid van 914 m³/uur. Gebruikelijke pomp-capaciteiten voor dergelijke schepen liggen tussen de 600 en 1200 m³/uur. De ontwerp-capaciteit wordt voor Tuticorin gesteld op 1000 m³/uur. Als bij een ongeval de leiding breekt, valt de druk weg. Dit verschijnsel wordt in rekening gebracht door te rekenen met een pomp-debiet die 15 % hoger ligt.

De diameter van de transportleiding wordt bepaald met de vuistregel dat de vloeistof bij een stroomsnelheid van 5 à 6 m/s een "normaal" gedrag vertoont. Dit wil zeggen dat de turbulente stroming in een bocht nog net geen onderdruk veroorzaakt die omzetting van vloeistof naar dampvorm met zich meebrengt. Een dergelijke omzetting leidt tot cavitatie, hetgeen weer schadelijk is voor het materiaal van de leiding. Een diameter van 10 inch (25,4 cm) is in dit geval voldoende.



figuur 13: overslagleiding

Een ander bepalend element voor de consequenties van een breuk in de leiding zijn de afsluiters. Een keuze dient gemaakt te worden tussen de handbediende en de automatische afsluiter. De tijd waarbinnen beide in werking treden verschilt aanzienlijk. Voor een handbediende afsluiter moet al gauw op enkele minuten gerekend worden, terwijl de automatische afsluiter een reactie-tijd heeft in orde van seconden. Hij wordt geactiveerd zodra de druk in de leiding wegvvalt. Aangenomen zal worden dat gebruik zal worden gemaakt van automatische afsluiters.

Uitgangspunten voor de berekening:

1. Het pomp-debiet bedraagt ten tijde van het ongeval 1150 m³/uur (= 0.319 m³/s). Dit is inclusief 15 % verhoging t.g.v. het wegvallen van de druk.
2. Het duurt 30 seconden voordat de afsluiter dicht is.
3. Afsluiters worden om de 1000 m geplaatst.

De volgende ongewenste gebeurtenissen komen achtereenvolgens ter sprake:

1. Breuk van het manifold, laadarm of leiding met uitstroming op het water.
2. Breuk van de leiding met uitstroming op het land.

ad 1) Ten aanzien van een ongeval bij het manifold of van de leiding in de buurt van het schip kan gezegd worden dat er eenzelfde situatie ontstaat als bij het falen van het schip. De hoeveelheid stof die vrijkomt is in dit geval echter veel kleiner dan bij de uitstroming van de totale inhoud van de grootste tank. Hoewel de schade-afstanden kleiner zijn, is het van belang dit scenario door te nemen omdat de kans van optreden groter is.

Wanneer de leiding over een langere afstand langs het water loopt, bijvoorbeeld over een havendam, kan er op grote afstand van het schip een breuk optreden. Het gekoelde gas kan alsnog in het water stromen, verdampen en schade aanrichten na ontsteking. Dit geval dient doorgerekend te worden.

ad 2) Om een leiding ten behoeve van transport van gekoeld gas kunnen dijken aangelegd worden. Dit beperkt in grote mate het oppervlak waaruit het gas verdampst en daarmee de fysische effecten. Hetzelfde wordt bereikt wanneer de leiding in een goot geplaatst wordt.

In beide gevallen zal de hoeveelheid uitstromende LPG bij totale breuk van de leiding gelijk zijn aan de inhoud van 1000 meter leiding vermeerderd met de hoeveelheid die de afsluiter passeert gedurende de reactietijd:

$$V = (1000 * \frac{1}{4} * \pi * 0.254^2) + (0.319 * 30) = 60 \text{ m}^3$$

$$M = 60 * 585 = 35 \text{ 100 kg}$$

In figuur 14 (pagina 37) wordt een overzicht gegeven van de gebeurtenissen die op kunnen treden.

Uitstroming op water:

De Dienst Centraal Beheer Rijnmond gaat ervan uit dat er na een incident bij de overslag een plas ontstaat met een oppervlakte van 40 bij 40 meter. Ook in deze studie zal deze waarde aangehouden worden. De plasverdamping wordt berekend met behulp van de verdampingssnelheid van propaan op open water, zoals gegeven in het Gele Boek (lit. 7). Deze snelheid bedraagt 0.094 kg/s.m².

Deel A: Fysische effecten bij import van LPG

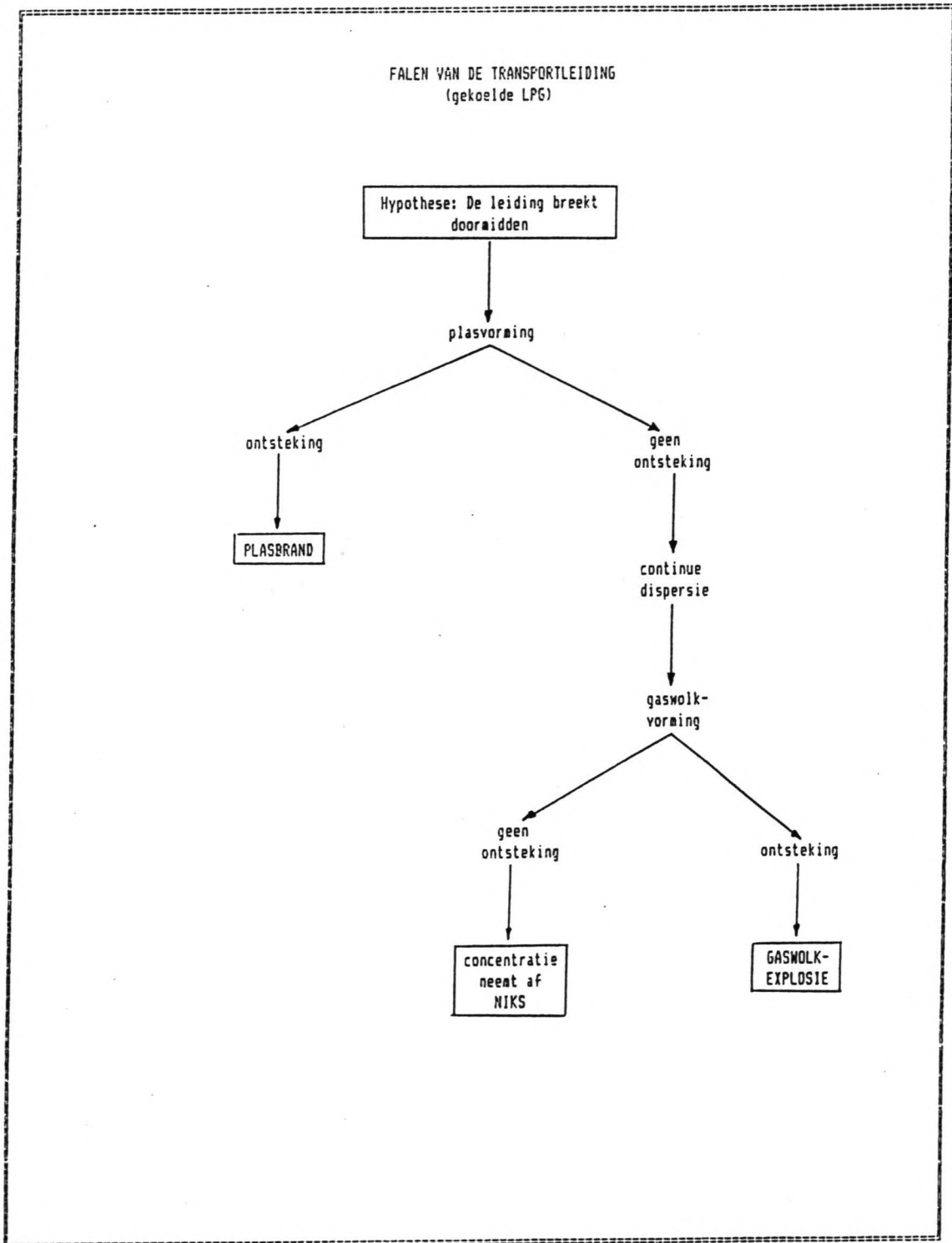
De totale plasverdamping wordt nu: $0.094 * 40^2 = 150 \text{ kg/s}$

De dispersie- en deflagratie-berekeningen worden wederom met FYSEFF uitgevoerd. Dit leidt tot effectafstanden die overschat worden (zie hoofdstuk VIII.1). Een reductiecoëfficiënt van 25 % wordt daarom ook hier gehanteerd.

Uitstroming op water	Propan D - 5	
opslagtemperatuur (K)	222	
plasbreedte (m)	40	
plaslengte (m)	40	
plasverdamping (kg/s)	150	
afstand tot LEL (m)	305	
afstand tot UEL (m)	120	
max expl massa (kg)	3 446	
Explosie	excl. drift	incl. drift
0.3 bar (m)	58	271
0.1 bar	175	388
0.03 bar	585	798
0.01 bar	1 754	1 967
Na reductie 25 %		
0.3 bar (m)	43	203
0.1 bar	131	291
0.03 bar	439	598
0.01 bar	1 315	1 475

Bij de dispersie-berekening voor klimaatklasse F-1 doet zich een probleem voor. Met een plasverdamping van 150 kg/s geeft het programma een maximale explosieve massa van 158 000 kg. De hoeveelheid LPG die ontsnapt is bij leidingbreuk echter nooit meer dan 35 100 kg. Ook bij het falen van het manifold of van de laadarm zal geen grotere hoeveelheid ontsnappen (zie bijlage V, extrapolatie van de hoeveelheden voor een kleiner tankschip).

Een correctie van de maximale explosieve massa wordt daarom ingevoerd (max expl massa = 35 100 kg) alvorens de berekening van de gaswolkexplosie wordt uitgevoerd.



figuur 14

Deel A: Fysische effecten bij import van LPG

Uitstroming op water	Propanaan F - 1	
opslagtemperatuur (K)	222	
plasbreedte (m)	40	
plaslengte (m)	40	
plasverdamping (kg/s)	150	
afstand tot LEL (m)	2 772	
afstand tot UEL (m)	1 022	
max expl massa (kg)	35 100	
Explosie	excl. drift	incl. drift
0.3 bar (m)	127	2 024
0.1 bar	380	2 277
0.03 bar	1 268	3 164
0.01 bar	3 802	5 699
Na reductie 25 %		
0.3 bar (m)	95	1 518
0.1 bar	285	1 707
0.03 bar	951	2 373
0.01 bar	2 852	4 274

Uit bovenstaande tabellen blijkt dat de gevaarlijkste situatie optreedt bij kalm en stabiel weer. Bij explosie zal de schade groot zijn tot op 285 meter buiten de kern van de gaswolk. De wind zorgt voor de verplaatsing van het effect en, afhankelijk van de richting, kan dit nadelig zijn tot op een afstand van 1 700 meter van de plaats van het incident.

Uitstroming op land:

Er kan een bedijking toegepast worden in segmenten van 4 m breed en 50 m lang. Een dijkhoogte van ongeveer 0.4 m is dan voldoende. De verdamping is wederom te bepalen met formules uit het Gele Boek (lit. 7). Omdat de verdamping van een cryogene vloeistof gedichteerd wordt door de warmte die het kan onttrekken uit het medium waarover het zich spreidt, spelen de volgende eigenschappen van dit medium een rol in de verdampingssnelheid:

- de grondsoort (zand, klei, grind, hout....)
- de indringbaarheid van de grond
- het vochtgehalte van de grond

De berekening van de verdampingssnelheid wordt eerst uitgevoerd voor een niet indringbare ondergrond.

$$m_s'' = \frac{\theta_s (T_s - T_k)}{h_v \sqrt{\pi \cdot a_s}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} = 0,0673 \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$

Hierin zijn:

- m_s'' = verdampingssnelheid (kg/s.m²)
- T_s = temperatuur van de grond ; (313 K)
- T_k = kooktemperatuur van propaan ; (231 K)
- h_v = verdampingswarmte van propaan ; (4,3 . 10⁵ J/kg)
- θ_s = warmtegeleidingscoëfficiënt van droog zand ;
(0,3 W/m.K)
- a_s = temperatuurvereffeningscoëfficiënt van droog zand
(2,3 . 10⁻⁷ m²/s)
- t = tijdstip na begin uitstroming (s)

Bij de breuk van de leiding stroomt de LPG uit in een plas met een afmeting van 50 * 4 m². De verdampingssnelheid over de gehele plas is dus: 50 * 4 * 0,0673 * t^{-1/2} = 13,5 t^{-1/2} kg/s.

Experimenteel is bepaald dat de verdamping op een droge indringbare grond een factor 8 groter is dan op niet-indringbare grond. Voor de verdamping uit onze plas moet daarom worden uitgegaan van 108 t^{-1/2} kg/s. Wel moet men zich realiseren dat de geschetste situatie de meest ongunstige toestand weergeeft. Namelijk, wanneer de grond vochtig is, neemt de verdampingssnelheid aanzienlijk af doordat bevriezing optreedt van het in de grond aanwezige water. De warmte-overdracht verloopt daardoor langzamer.

Voor de berekening van de dispersie met behulp van FYSEFF moet een constante waarde voor de verdampingssnelheid worden ingevoerd. De berekende waarde is echter tijdsafhankelijk. Om dit probleem op te lossen wordt de gemiddelde verdamping over de eerste 30 minuten ingevoerd (gebruikelijk bij de berekening van fysische effecten ten gevolge van de ontsnapping van toxische stoffen). De gedachte hierachter is dat bij het optreden van een gaswolkexplosie de mensen in de gevarezone binnen dit termijn of zijn getroffen, of een veilige schuilplaats hebben kunnen vinden (bron: DCMR).

De berekende gemiddelde verdampingssnelheid over 30 minuten uit een plas van 50 * 4 m² bedraagt 4,6 kg/s.

Deel A: Fysische effecten bij import van LPG

Uitstroming op land	Propanaan D - 5	
opslagtemperatuur (K)	222	
plasbreedte (m)	4	
plaslengte (m)	50	
plasverdamping (kg/s)	4.6	
afstand tot LEL (m)	35	
afstand tot UEL (m)	14	
max expl massa (kg)	12	
Explosie	excl. drift	incl. drift
0.3 bar (m)	9	33
0.1 bar	27	50
0.03 bar	89	113
0.01 bar	266	290
Na reductie 25 %		
0.3 bar (m)	7	25
0.1 bar	20	38
0.03 bar	67	85
0.01 bar	200	217

Uitstroming op land	Propanaan F - 1	
opslagtemperatuur (K)	222	
plasbreedte (m)	4	
plaslengte (m)	50	
plasverdamping (kg/s)	4.6	
afstand tot LEL (m)	277	
afstand tot UEL (m)	102	
max expl massa (kg)	484	
Explosie	excl. drift	incl. drift
0.3 bar (m)	30	220
0.1 bar	91	280
0.03 bar	304	494
0.01 bar	912	1 101
Na reductie 25 %		
0.3 bar (m)	22	165
0.1 bar	68	210
0.03 bar	228	370
0.01 bar	684	825

Duidelijk is dat door het beperkte oppervlak van de plas, de verdamping en de schade-afstanden relatief klein blijven. In het ergste geval, bij een ongunstige windrichting, zullen de effecten op 210 meter ernstige gevolgen hebben.

VIII.3 De gekoelde opslagtanks

Drie dubbelwandige cilindrische tanks met een individuele inhoud van 12 000 m³ worden toegepast. De diameters bedragen 34 meter en een vloeistofhoogte 13 meter. De afstand tussen beide tanks bedraagt wettelijk minimaal één tot anderhalf maal de diameter van de grootste tank, in dit geval dus 34 à 51 meter. Om iedere tank worden dijken aangelegd zodat bij een eventuele tankbreuk de inhoud binnen deze begrenzing blijft.

Analoog aan de aanpak in de case study "Ennore" (lit. 8) wordt bekeken met welke ongevallen rekening moet worden gehouden. Twee scenario's worden in beschouwing genomen:

1. De buiten- en binnentank worden doorboord. Dit kan slechts het geval zijn wanneer er een grote hoeveelheid energie aan te pas komt. Om die reden wordt verondersteld dat directe ontsteking zal plaatsvinden en een plasbrand het gevolg zal zijn. Aangezien een plasbrand voor gekoeld vloeibaar gemaakte gassen niet maatgevend is wordt dit scenario niet doorgerekend.
2. Het dak van de tank bezwijkt. Als dit gebeurt zal de koeling wegvallen en zal de LPG verdampen uit een plas die zo groot is als het oppervlak van de tank.

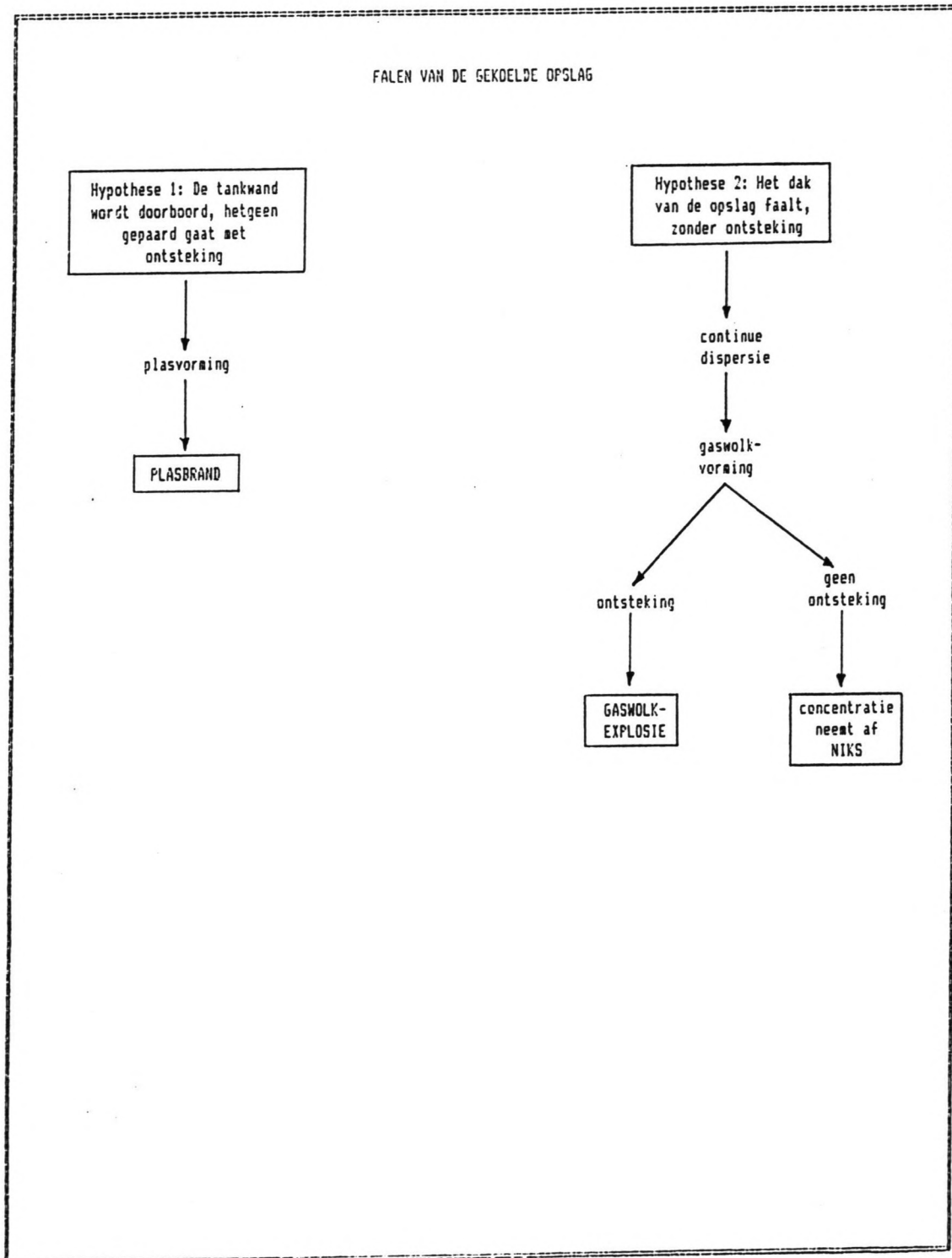
Zie voor een overzicht figuur 15 (pagina 42).

De verdamping wordt weer berekend met de formule:

$$m_s'' = \frac{\theta_s (T_s - T_k)}{h_v \sqrt{(\pi \cdot a_s)}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} = 0,6966 \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \frac{kg}{s \cdot m^2}$$

Nu verdampt de vloeistof echter uit een plas op een niet-indringbare ondergrond van koolstofstaal. Dit brengt de volgende wijzigingen van de invoer met zich mee:

$$\begin{aligned} T_s &= 273 \text{ K} \\ \theta_s &= 45 \text{ W/m.K} \\ a_s &= 127 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \end{aligned}$$



figuur 15

Deel A: Fysische effecten bij import van LPG

De oppervlakte van de tank, en dus ook van de plas, bedraagt 908 m². De verdampingssnelheid over de gehele plas wordt dan 632 t^{1/2} kg/s.

Bepalen we weer de tijdsgemiddelde verdamping over de eerste 30 minuten, dan resulteert dit in een verdampingssnelheid van 26,9 kg/s.

Dak opslag bezwijkt	Propan D - 5	
opslagtemperatuur (K)	222	
plasstraal (m)	17	
plasoppervlak (m ²)	908	
plasverdamping (kg/s)	26.9	
afstand tot LEL (m)	105	
afstand tot UEL (m)	41	
max expl massa (kg)	212	
Explosie	excl. drift	incl. drift
0.3 bar (m)	23	96
0.1 bar	69	142
0.03 bar	231	304
0.01 bar	692	765
Na reductie 25 %		
0.3 bar (m)	17	72
0.1 bar	52	106
0.03 bar	173	228
0.01 bar	519	574

Dak opslag bezwijkt	Propan F - 1	
opslagtemperatuur (K)	222	
plasstraal (m)	17	
plasoppervlak (m ²)	908	
plasverdamping (kg/s)	26.9	
afstand tot LEL (m)	890	
afstand tot UEL (m)	328	
max expl massa (kg)	9 100	
Explosie	excl. drift	incl. drift
0.3 bar (m)	80	690
0.1 bar	242	852
0.03 bar	808	1 417
0.01 bar	2 424	3 034
Na reductie 25 %		
0.3 bar (m)	60	517
0.1 bar	181	639
0.03 bar	606	1 063
0.01 bar	1 818	2 275

Zonder de invloed van de wind in rekening te brengen lijkt een gevaren-zone van 200 meter een veilig uitgangspunt. Ten gevolge van drift kan de explosie echter grote schade aanrichten over een afstand van ruim 600 meter buiten de bron van het ongeval.

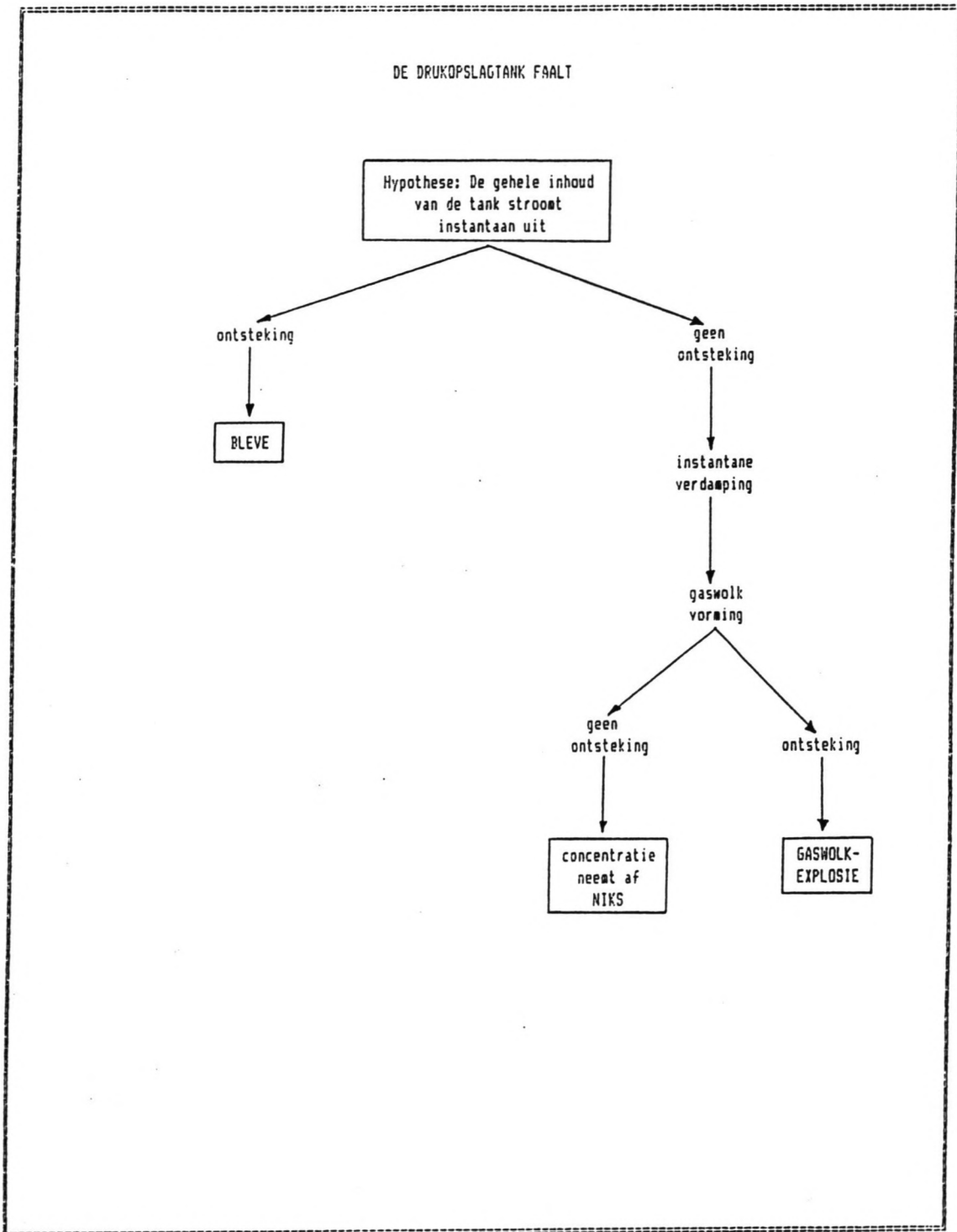
VIII.4 De druk-opslag tanks

Zoals reeds eerder vermeld is, wordt de LPG voor korte tijd opgeslagen onder druk om het in gereedheid te brengen voor transport landinwaarts. Dit geschiedt in twee tanks met elk een inhoud van 1000 m³ LPG. De tanks zijn bolvormig en mogen slechts voor ongeveer 50 % gevuld zijn om thermische expansie mogelijk te maken. De diameters van de tanks bedragen daarom 15 meter. Het is niet gebruikelijk om dijkjes om dergelijke tanks aan te leggen. Om te voorkomen dat bij een lek de vloeistof over een groot oppervlak verspreidt, wordt onder een flauwe helling een betonnen vloer gestort met daar omheen een grindbak (1 meter diep, 1 meter breed). Het verdampingsproces wordt hiermee gestimuleerd. De afstand die minimaal in acht moet worden genomen tussen twee druk-opslag tanks bedraagt een kwart van de som van de diameters van beide tanks. Hier komt dit overeen met 7.5 meter. De afstand tussen een druktank en een gekoelde tanks moet minimaal gelijk zijn aan de diameter van de gekoelde tank, te weten in dit geval 34 meter.

De volgende ongevallen kunnen zich bij drukopslag voordoen (zie ook figuur 16 (pagina 46)):

1. Er ontstaat een lek in de tankwand en de ontsteking vindt direct plaats. Er ontstaat dan een vuurbal, de zogenaamde BLEVE.
2. Er ontstaat een lek in de tankwand maar de ontsteking blijft in eerste instantie uit, zodat een deel van de LPG instantaan via flash-verdamping de lucht in verdwijnt. Er vormt zich dan een gaswolk die bij indirecte ontsteking voor een explosie zorgt. Het deel dat zich als vloeistof over de grond verspreidt verdampt eveneens maar is niet maatgevend voor de effect-afstanden omdat het verdampingsproces veel geleidelijker verloopt.

Ten aanzien van beide scenario's kan gezegd worden dat het klimaat er geen invloed op heeft, voor zover het gaat om de effect-afstanden vanuit de kern van het ongeval. De enige invloed van het weer wordt bepaald door de wind, die de kern van de explosieve gaswolk doet verplaatsen.



figuur 16

Deel A: Fysische effecten bij import van LPG

Drukopslag bezwijkt	Propan		
tankinhoud (m ³) (ton)	1 000 585		
flash-verdamping (%) instantane bron (kg)	35 205 378		
max explosieve massa (kg)	127 069		
Explosie	excl. drift	+ drift D-5	+ drift F-1
0.3 bar	195	854	1 545
0.1 bar	584	1 244	1 934
0.03 bar	1 946	2 606	3 296
0.01 bar	5 838	6 498	7 189
BLEVE			
diameter vuurbal (m) brandduur (s)	345 20		
afstand tot 50 % doden (m)	340		
afstand tot 1 % doden (m)	430		
1e graads brandwonden (m)	740		

Geconstateerd wordt dat ten aanzien van de BLEVE een veiligheids-zone van meer dan 400 meter in acht moet worden genomen om de ergste ongevallen te voorkomen. Explosiegevaar dreigt binnen een straal van 600 meter grote schade aan te richten. Afhankelijk van de wind kan de schade zich uitbreiden tot een gebied dat 2000 meter van de bron verwijderd is, met dien verstande dat een lage windsnelheid de grootste schade-afstanden oplevert.

Hoofdstuk IX: Richtlijnen voor de locatiekeuze

IX.1 Overzicht van de effect-afstanden

In het voorgaande hoofdstuk is uitgebreid aandacht besteed aan de schade-afstanden die bij de verschillende onderdelen van de LPG-installatie kunnen optreden. Deze afstanden zijn berekend voor de klimaatcondities D-5 en F-1.

Zoals eerder vermeld komt D-5 veruit het meeste voor en is F-1 de meest kritieke weersgesteldheid wanneer explosiegevaar dreigt. Toelaatbare afstanden worden bepaald met het criterium dat er geen levensgevaar aanwezig mag zijn. Schade toegebracht in de vorm van ruitbreuk wordt acceptabel geacht. Dit relatierend aan de gegevens zoals die in het vorige hoofdstuk gegeven zijn, komt overeen met een acceptabele afstand behorende bij de grenswaarde voor de overdrukken van 0.1 bar bij explosie, en met de afstand tot 1% doden bij warmte-uitstraling.

Hier volgt nogmaals een overzicht van de maatgevende schade-afstanden:

SCHADE-AFSTANDEN (m)		klimaat	gaswolk-explosie		BLEVE
			excl drift	incl drift	
tankschip		D - 5	1 217	3 270	
		F - 1	4 412	25 394	
transport-leiding	uitstroming op water	D - 5	131	291	
		F - 1	285	1 707	
	uitstroming op land	D - 5	20	38	
		F - 1	68	210	
gekoelde opslag		D - 5	52	106	
		F - 1	181	639	
drukopslag		D - 5	584	1 244	430
		F - 1	584	1 934	430

IX.2 Het belang van de risico-analyse

Het doel van het eerste deel van dit afstudeerverslag is te bepalen welke veiligheids-zones rond de verschillende onderdelen van de LPG-installatie wenselijk zijn en vervolgens adviezen te geven bij de bepaling van de locatie van de installatie. Naast de afstanden waarover de fysische effecten schade aanrichten is het van belang inzicht te hebben in de kans van voorkomen van de ongevallen-scenario's.

De kennis op het gebied van de risico-analyse is nog vrij beperkt en de betrouwbaarheid van de resultaten is onzeker. De onderzoeken die tot nog toe zijn uitgevoerd voor het transport van LPG beperken zich tot een specifieke locatie. Ongevallen die bij de overslag en de opslag plaatsvinden zijn niet zozeer locatie-afhankelijk, maar daarentegen bepalen de omgevingsparameters in grote mate de kans op falen van een schip door een aanvaring of een aanstranding.

In Nederland is een veiligheids-studie verricht door de Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO, in opdracht van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne (lit. 2). TNO heeft naast de eerder in dit rapport gebruikte methoden voor het berekenen van effect-afstanden, eveneens de kans van optreden van de fysische effecten onderzocht. Er dient voorzichtig met de kansschattingen omgesprongen te worden. De begeleidingscommissie, die advies heeft uitgebracht over de uitkomsten van de TNO-studie in de Integrale Nota LPG (lit. 11), beoordeelde de kansschatting als het zwakste punt in het onderzoek. TNO vindt zelf dat "het gebruik van de resultaten in absolute zin problematisch is".

De bevindingen van TNO zullen beknopt weergegeven worden om een kwalitatief inzicht te geven in de wijze waarop de risico's zich ten opzichte van elkaar verhouden en in de wijze waarop de risico's beperkt kunnen worden. Vooraf dient gezegd te worden dat de studie geen betrekking heeft op de opslaginstallaties van de import terminals. Een ander belangrijk gegeven is dat er in Nederland nog nooit een ernstig ongeluk heeft plaatsgevonden met een LPG-tanker zodat de kans op ongevallen gebaseerd is op ongevallen met andere (vergelijkbare) type schepen.

IX.3 De TNO-studie

a) Ongevallen met het tankschip

Vastgesteld is, dat de kans op falen van een tank van het schip, door interne problemen aan boord, te verwaarlozen is. Het zijn altijd externe factoren die een tankbreuk veroorzaken.

De kans dat een tanker betrokken is bij een aanvaring of aanstranding, onafhankelijk van de toegebrachte schade, wordt in hoofdzaak beïnvloed door:

- de weersomstandigheden
 - . de zichtcondities (meer of minder dan 1500 m.)
 - . de windsnelheid (meer of minder dan Beaufort 7)
- het tijdstip (dag of nacht)
- de scheepsgrootte

Is de aanvaring of stranding een feit, dan zijn er een aantal factoren die bepalend zijn voor de consequenties. Of het ongeval een kritieke breuk van tenminste één tank tot gevolg heeft hangt af van:

- de sterkte van de tank
- de elasticiteit en de vervormbaarheid van de tank
- de snelheid van het schip
- de hoek waaronder de aanvaring plaatsvindt
- of de tanker vrij in het water ligt of aan de wal
- het obstakel dat geraakt wordt

De kans op een ongeluk kan verkleind worden door aan de hierboven genoemde aspecten aandacht te besteden. Maatregelen die door de haven-autoriteiten getroffen kunnen worden zijn:

- Een verbod opleggen voor de binnenkomst van de gas-tanker bij een windsnelheid van Beaufort 7 of meer.
- Een verbod opleggen voor de binnenkomst van de gas-tanker bij een beperkt zicht van 1500 meter of minder.
- Zorg dragen voor stringente verkeersregulerende maatregelen als een walradarbegeleidingssysteem.
- Bijtijds een loods aan boord brengen.
- Op kritieke punten een passeerverbod opleggen.
- Het handhaven van een ruimte rondom de LPG-tanker door escorte vaartuigen.
- Vooraf nagaan of bij aankomst van de tanker de ligplaats vrij is, zodat het schip zonder oponthoud tot de ligplaats door kan varen.

Bij de toepassing van alle bovengenoemde risico-reducerende maatregelen verwacht TNO dat 90 % van de gevallen met zware schade en 80 % van de gevallen met lichte schade voorkomen kunnen worden. Als praktisch haalbaar wordt een reductiepercentage van 50 % gehanteerd.

Van de onderzochte gebieden is de Maasvlakte bij Rotterdam het beste te vergelijken met situatie in Tuticorin. Voordat de schepen bij hun ligplaats aankomen hoeven zij slechts de vaargeul te passeren op open water. Voor de overige locaties geldt dat ook binnenwateren bevaren moeten worden.

In de huidige situatie geldt voor het Rijnmond-gebied een kans op een kritieke aanvaring van rond de 10^{-6} . De kans op doden per scheepsbeweging is lager dan 10^{-8} . Per 1 miljoen ton ingevoerd produkt ligt deze kans rond de 10^{-7} . In bijlage IV staan de conclusies over het Rijnmond-gebied genoemd.

b) Ongevallen bij de overslag

Bij de overslag van LPG zijn een groot aantal scenario's denkbaar die de ongewenste uitstroom van het vloeibare gas tot

gevolg hebben. Niet alle scenario's hebben even ernstige gevolgen en zijn daarom moeilijk vergelijkbaar.

In bijlage V wordt een overzicht gegeven van de mogelijke ongewenste gebeurtenissen met de bijbehorende uitstroming en kans van optreden. Opvallend is dat het afblazen van de veiligheid veruit de grootste kans op voorkomen heeft. De uitstroming is echter zeer gering.

Het verdient aanbeveling bij de overslag nabij het manifold van het schip en op de wal nabij de laadarmen voorzieningen te treffen waarmee de overslag kan worden stopgezet en het schip geïsoleerd kan worden van de wal.

Uitwijking van het schip van de wal kan ontstaan door het niet juist vullen van de ballasttanks van het schip, golf-indringing, seiches, het langsvaren van andere schepen of het afbreken van trossen. Indien een te grote uitwijking ontstaat moet het mogelijk zijn de overslag automatisch te stoppen. Moderne overslag-installaties zijn reeds voorzien van een "automatic-disconnect" systeem.

c) Ongevallen bij de opslagtanks

Over de opslag van LPG zegt het rapport slechts dat die over het algemeen plaatsvindt op voor zware industrie bestemde terreinen, die doorgaans op ruime afstand van woongebieden zijn gelegen. Hoewel bij calamiteiten aanzienlijke hoeveelheden LPG kunnen vrijkomen, zijn bij het aanwezig zijn van voldoende afstand tot de woonomgeving en met het in acht nemen van de voor deze installaties gebruikelijke voorzieningen, op zich beschouwd weinig problemen te verwachten.

IX.4 Interpretatie van de TNO-studie inzake Tuticorin

a) Ongevallen met het tankschip

De planologische situatie van de haven van Tuticorin is vanuit het veiligheidsoogpunt gunstig te noemen. De haven is uitgebouwd in zeewaartse richting, waardoor de schepen nooit in de buurt komen van woongebieden. Er hoeven geen ondieptes gepasseerd te worden alvorens bij de vaargeul aan te komen. Een minpunt is dat de bodem en oever uit rotsachtig materiaal bestaan. De kans dat woongebieden getroffen worden door fysische effecten blijft echter uiterst klein. Daarvoor is de afstand te groot en zijn specifieke klimaat-condities vereist (lage windsnelheid in ongunstige richting en een stabiele atmosfeer). In vergelijking met de havens op de Maasvlakte kan gesteld worden dat de situatie in Tuticorin daardoor gunstiger is.

Vergelijken we de kans op dodelijke ongevallen per scheepsbeweging in het Rijnmond-gebied met de normstelling t.b.v. de veiligheid van LPG, opgesteld door het ministerie van VROM, dan constateren we dat het risico binnen het aanvaardbare gebied valt. In bijlage VI is deze normstelling weergegeven. Door het treffen van de eerder genoemde risico-reducerende maatregelen kan de kans op een ongeval nog met 50 % verkleind worden.

De conclusie luidt dat er derhalve geen rekening gehouden dient te worden met het scenario "het tankschip faalt" bij de planning van de layout van de haven-uitbreiding. Wel moet aandacht besteed worden aan een eenvoudige bereikbaarheid van de gas-terminal voor de tankers en moeten de maatregelen ter voorkoming van ongevallen doorgevoerd worden.

b) Ongevallen bij de overslag

Zoals eerder gesteld is er een veelvoud aan mogelijkheden voor het falen van een onderdeel van de LPG-installatie bij de overslag. Duidelijke richtlijnen voor het ontwerp van een terminal ten behoeve van de import van LPG worden in het TNO-rapport niet gegeven. Wel is bekend dat de Dienst Centraal Beheer Rijnmond een maatgevend scenario aanhoudt waarbij na een incident een LPG-plas met een oppervlak van 40 bij 40 meter zich uitspeidt over het water. Dit scenario is in paragraaf VIII.2 doorgerekend en wordt in deze studie gebruikt als uitgangspunt voor het maken van een veilig ontwerp. De suggesties in het TNO-rapport omtrent risico-bepalende maatregelen worden meegenomen.

c) Ongevallen bij de opslagtanks

Opslagtanks behoren op veilige afstand van overige installaties te staan. Ofschoon de kans op een ernstig ongeval uiterst klein wordt geacht, zal zoveel mogelijk rekening gehouden worden met de berekende waarden van de effect-afstanden. De eerder gevonden waarden worden aangehouden bij het ontwerp van het haventerrein.

IX.5 De richtlijnen

Met in acht neming van de interpretatie van het TNO-rapport voor de situatie in Tuticorin kunnen nu ontwerp-veiligheidsafstanden bepaald worden voor de afzonderlijke onderdelen van de LPG-installatie. Een onzekerheidsfactor bij het optreden van fysische effecten vormt de weersgesteldheid op het moment van optreden. Tot nu toe zijn de effect-afstanden apart beschouwd voor de klimaatcondities D-5 en F-1. De berekeningen tonen grote verschillen voor beide klimaatcondities.

Een tweede factor die bepalend is voor de omvang van de schade in het gebied rondom het ongeval is de windrichting. Afhankelijk van die richting zal de explosieve kern in een gunstige of ongunstige richting getransporteerd worden. Uit de klimaatgegevens die van Tuticorin beschikbaar zijn is gebleken dat, afhankelijk van het seizoen, de wind overheersend uit Noord tot Oost-Noord-Oost en West-Noord-West tot West-Zuid-West komt. Met de keuze van de locatie moet rekening gehouden worden met deze windrichtingen. In veel gevallen zullen de fysische effecten veroorzaakt door ongevallen positief beïnvloed kunnen worden door een gunstige ligging van de installaties.

Voor de bepaling van de uiteindelijk wenselijke veiligheidsafstanden zal er van uit gegaan worden dat de combinatie van "het gebeuren van een ongeval", "klimaatklasse F-1" en "ongunstige windrichting" zeer onwaarschijnlijk is. De gehanteerde veiligheidsafstanden zullen zodoende gebaseerd worden op het maximum van klimaatklasse D-5, inclusief de invloed van de wind, en van klimaatklasse F-1, zonder de ongunstige invloed van de verplaatsing van de effecten door de wind.

Dit levert de volgende tabel op:

VEILIGHEIDSAFSTANDEN (m)		gaswolk-explosie		BLEVE
		excl drift	incl drift	
terminal		285	291	
transport-leiding met uitstroming op:	water	285	291	
	land	68	38	
gekoelde opslag		181	106	
drukopslag		584	1 244	430

Opmerkingen:

Gezien de drukke bezetting van het huidige havenbekken (de Major Port) en de verwachte toename van de haven-activiteiten, lijkt het wenselijk een apart havenbekken aan te leggen voor de overslag van LPG. Mogelijk kan dit bekken ook worden gebruikt voor andere uitbreidingen van de haven en kan de gas terminal, naast LPG, ook andere chemische stoffen die in de nabije toekomst in Tuticorin verwerkt zullen worden ontvangen.

Ongelukken ten gevolge van het falen van het tankschip zijn zo onwaarschijnlijk geacht dat niet met de daarbij optredende effect-afstanden rekening gehouden is. Extra attentie moet daarom uitgaan naar het voorkomen van dergelijke ongelukken. De toegangsgeul en de haveningang moeten in het ontwerp aandacht krijgen en de risico-reducerende maatregelen zoals genoemd in paragraaf IX.3 moeten nageleefd worden.

Bij een breuk van de transportleidingen is er een aanzienlijk grotere veiligheidsafstand nodig wanneer de LPG vrij kan uitstromen. Het is aan te bevelen de leidingen in goten te plaatsen of dijkjes te leggen om de pijpen. Op die wijze worden de effect-afstanden met een factor drie verkleind.

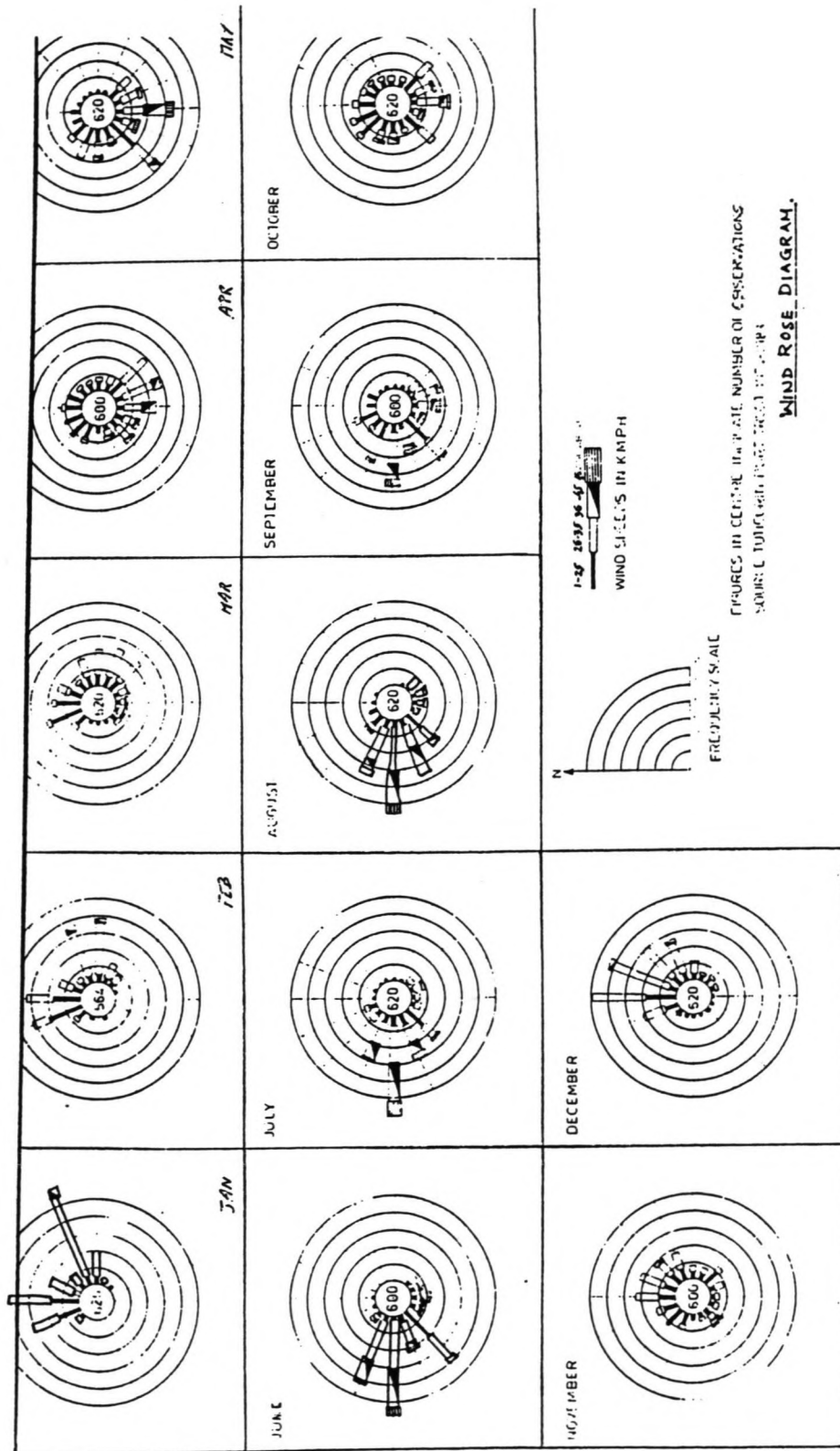
De gekoelde opslag is betrekkelijk veilig. Schade treedt op binnen een afstand van 200 meter. De kans op het domino-effect (d.w.z. dat een ongeval op één plaats elders weer tot een nieuw ongeval leidt) is zeer gering en zal slechts bij ongunstige weersomstandigheden optreden.

De drukopslag zorgt voor de grootste risico's. Het domino-effect is hier waarschijnlijk omdat de onderlinge afstand tussen de tanks vele malen kleiner is dan de effect-afstanden bij een ongeval. Dit geldt bij een explosie als ook in geval van BLEVE. De plaatsing van de tanks ten behoeve van drukopslag zal om deze reden grote aandacht moeten krijgen en zal uiteindelijk bepalend zijn voor de locatie van het tankpark.

Geraadpleegde literatuur

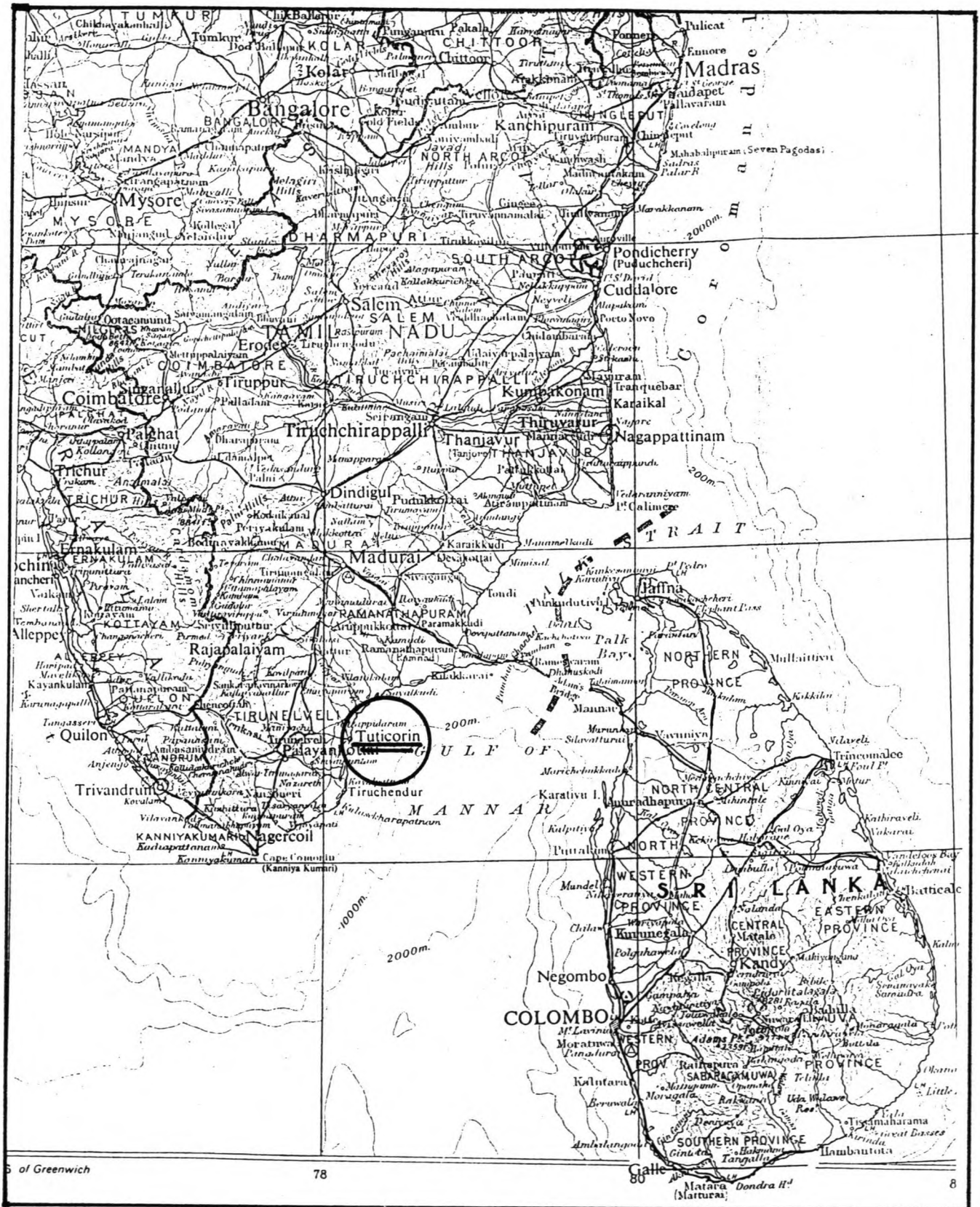
1. Veiligheidsstudie: Onderdeel van de kwaliteitszorg.
Afstudeerrapport van Robert G. de Roos (1990)
2. Analysis of the risk inherent in the importation of LPG in
bulk at four sites in the Netherlands.
Ministry of Health and Environmental Protection (1980)
3. Handbook of compressed gases (second edition, 1981).
Compressed gas association, inc., New York.
4. LPG-Installaties.
H. Berenschot en S. van Nooten
5. West Coast of India Pilot (eleventh edition, 1975).
6. Optimization studies for layout of the development schemes
and planning of a multipurpose berth for the port of Tutico-
rin, India.
T. Janakaraj Thomas (1990)
7. "Het Gele Boek", Methoden voor het berekenen van fysische
effecten (tweede druk, 1988).
Commissie Preventie van Rampen door Gevaarlijke stoffen
8. Case Study "Ennore"
R.G. de Roos (1990)
9. LPG, Transport in de Rijnmond
R. v/d Heiden e.a. (1983)
10. Probabilistisch ontwerpen
T.U. Delft
Ir ACWM Vrouwenvelder / Ir JK Vrijling (1987)
11. Integrale nota LPG
Ministerie van VROM (1984) Hoofdstuk IX: Richtlijnen voor de
locatiekeuze

Deel A: Fysische effecten bij import LPG



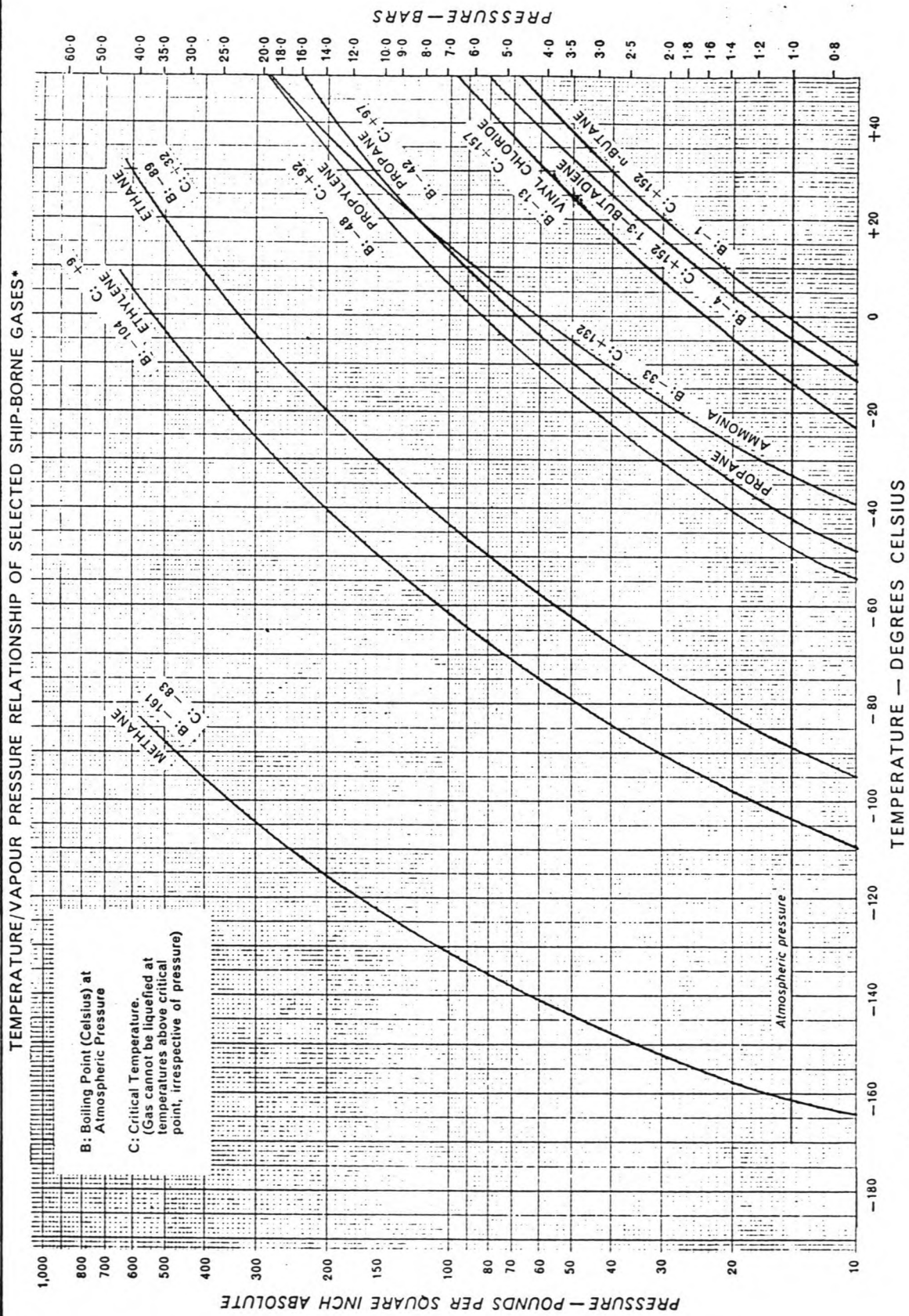
Bijlage I

Deel A: Fysische effecten bij import LPG



Bijlage II

Deel A: Fysische effecten bij import LPG



* Curves constructed by application of Antoine equation, using data from "Selected Values of Properties of Hydrocarbons and Related Compounds", American Petroleum Institute Research Project 44, Thermodynamics Research Centre, Texas A. & M. University, and from "Advances in Chemistry Series; No. 22" (1959) published by the American Chemical Society.

Deel A: Fysische effecten bij import LPG

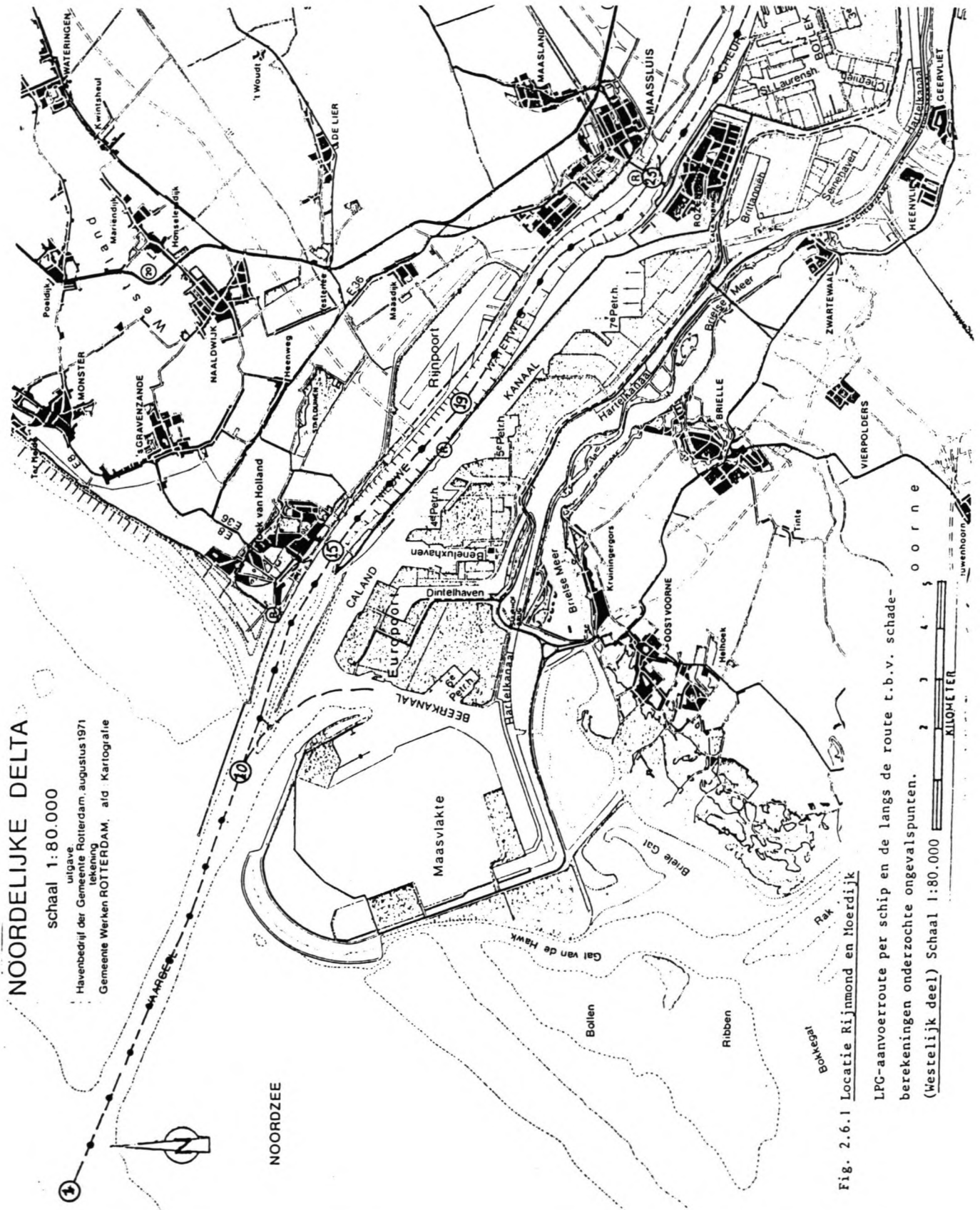
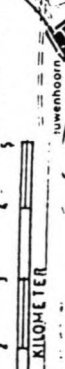


Fig. 2.6.1 Locatie Rijnmond en Moerdijk

LPG-aanvoerroute per schip en de langs de route t.b.v. schade-berekeningen onderzochte ongevals punten. (Westelijk deel) Schaal 1:80.000



Deel A: Fysische effecten bij import LPG

4.3 De locatie Rijnmond (Beerkanaal)

De beschrijving van deze locatie is opgenomen in hoofdstuk 2 en figuur 2.6.1.

4.3.1 Het nautisch gedeelte van de aanlanding

4.3.1.1 De kans op kritieke schade aan de LPG-tanker

Gezien de eigen nautische kenmerken van de gebieden van de route is er aanleiding om de route in te delen in onderstaande deelgebieden en de kans op kritieke schade per deelgebied te bepalen.

Deze deelgebieden zijn:

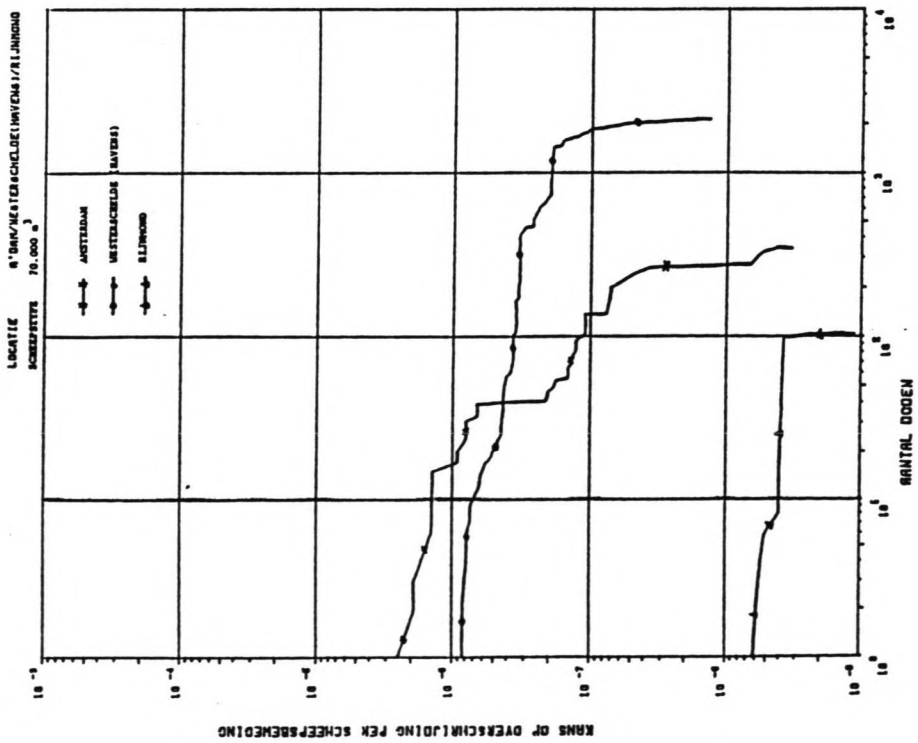
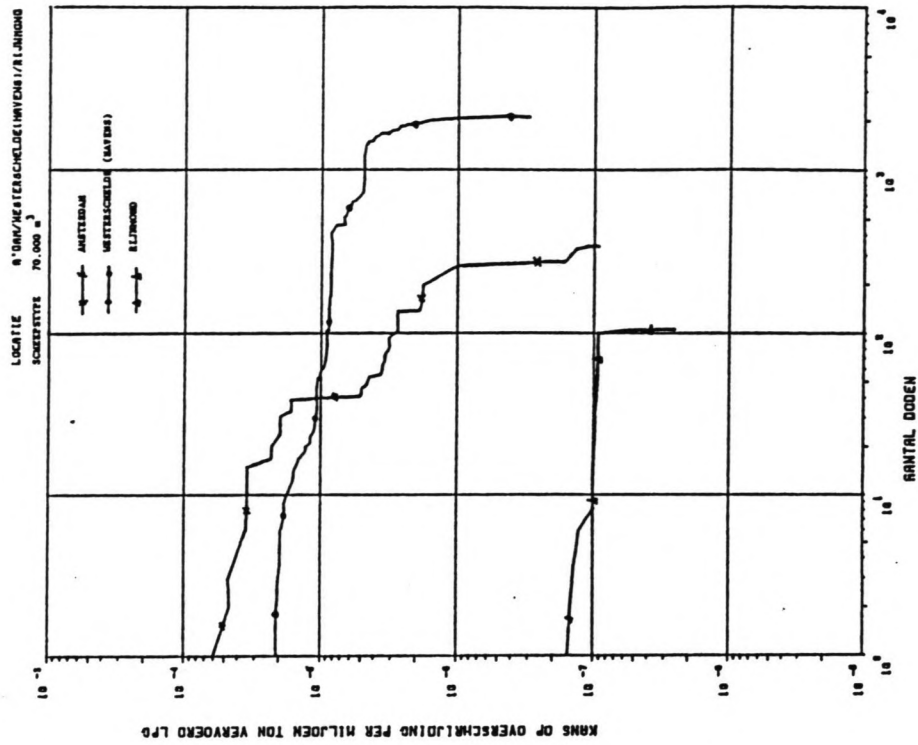
1. Het Redegebied Hoek van Holland tot en met de kop van het Noorderhoofd.
2. De Maasmonden vanaf de kop van het Noorderhoofd tot en met de kop van de Splitsingsdam.
3. Het Calandkanaal en het Beerkanaal, inclusief de aanlegsteigers tot en met het afmeren.

Deelgebied (ongevalspunten)	Kans op kritieke aanvaring per scheepsbeweging bij verschillende weerscondities voor het 70.000 m ³ en het 125.000 m ³ schip		
	Goed zicht, wind BF 0 t/m 6	Goed zicht wind BF 7 of meer	Slecht zicht
1 (1 t/m 8)	$6,8 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
2 (9 t/m 11)	$7,3 \cdot 10^{-7}$	$7,3 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
3	- ¹⁾	- ¹⁾	- ¹⁾

¹⁾ kans op kritieke aanvaring verwaarloosbaar t.o.v. Maasmonden.

Tabel 4.2: Kans op kritieke aanvaring per scheepsbeweging bij verschillende weerscondities voor de 70.000 m³ en 125.000 m³ tanker.

Deel A: Fysische effecten bij import LPG



Verband tussen het aantal doden en de kans op overschrijding daarvan per scheepsbeweging en per miljoen ton in gevoerd product voor het 70.000 m³ schip voor verschillende locaties.

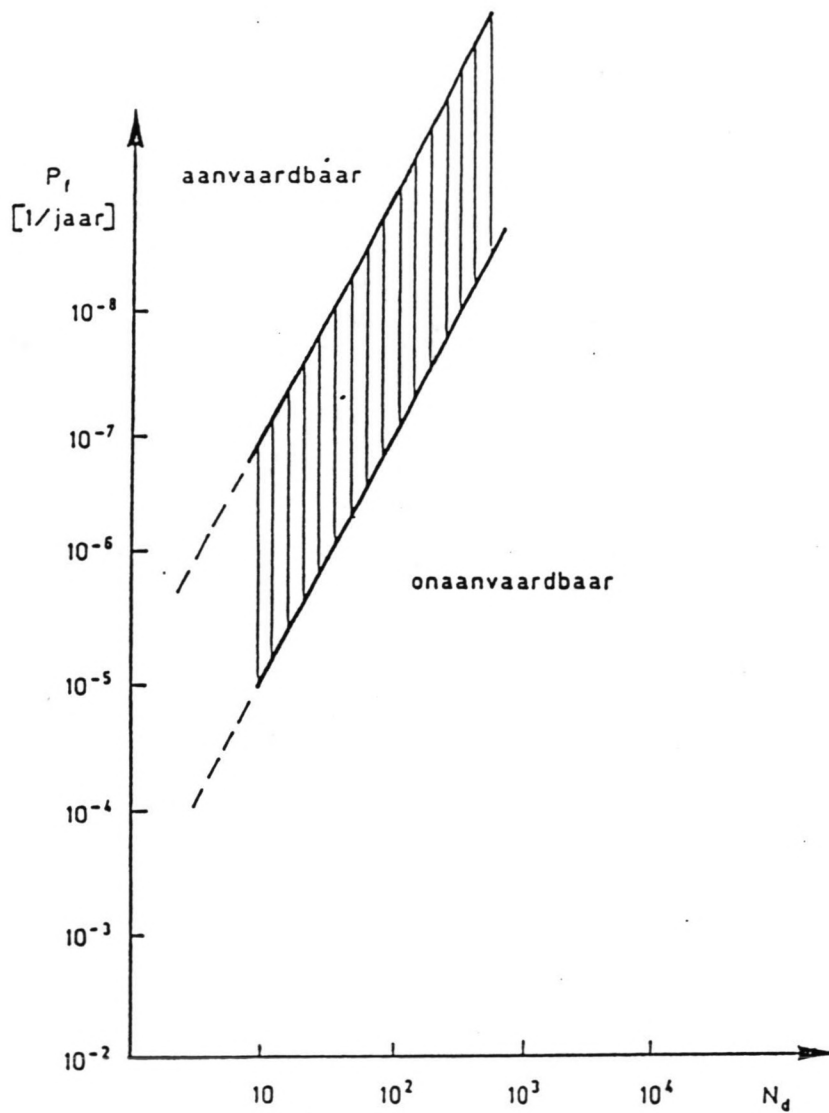
Ongewenste gebeurtenis	Uitstroming	Kans op optreden per geloste scheepslanding	Effectberekening (ja/nee)
1. <u>Opslagsysteem</u>			
- afblazen veiligheid	9 kg/s	1.10^{-3}	ja
2. <u>Overslag</u>			
- falen pompaansluiting			
1. terugslagklep faalt niet	350 kg	2.10^{-9}	ja
2. terugslagklep faalt	10.000 kg	1.10^{-10}	ja
- falen liquid header			
1. (1 laadarm)	2.800 kg	4.10^{-8}	ja
1. (2 laadarmen)	1.400 kg	4.10^{-8}	ja
- falen manifold			
2. (1 laadarm)	57.000 kg	1.10^{-9}	ja
2. (2 laadarmen)	34.000 kg	3.10^{-9}	ja
	68.000 kg	$\ll 1.10^{-9}$	ja
- uitstroming uit stikstofaansluiting	5 kg/s	10^{-12}	nee
- uitstroming bij afkoppelen laadarm (niet drainen)	+ 210 kg	10^{-12}	nee
- uitstroming bij afkoppelen laadarm (niet drainen, niet sluiten afsluiter)	+ 450 kg	10^{-16}	nee

Tabel 3.4 : Overzicht van uitstroomhoeveelheid en kans op optreden daarvan per geloste scheepslanding voor de ongewenste gebeurtenissen bij de 70.000 m³ tanker.

Deel A: Fysische effecten bij import LPG

Ongewenste gebeurtenis	Uitstroming	Kans op optreden per geloste scheepsloading	Effectberekening (ja/nee)
1. Lossen LPG-tanker (70.000 m³)			
- falen laadarm			
2. (1 laadarm)	57.000 kg	$5 \cdot 10^{-6}$	ja
2. (2 laadarmen)	34.000 kg	$1 \cdot 10^{-5}$	ja
	68.000 kg	$5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-8}$	ja
- falen \diamond 2C			
2. (1 laadarm)	57.000 kg	$1 \cdot 10^{-8}$	ja
2. (2 laadarmen)	34.000 kg	$3 \cdot 10^{-8}$	ja
	68.000 kg	$\ll 1 \cdot 10^{-8}$	ja
2. Lossen LPG-tanker (125.000 m³)			
- falen laadarm			
2. (1 laadarm)	85.000 kg	$7 \cdot 10^{-6}$	ja
2. (2 laadarmen)	80.000 kg	$1 \cdot 10^{-5}$	ja
	160.000 kg	$5 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-8}$	ja
- falen \diamond 2C			
2. (1 laadarm)	85.000 kg	$2 \cdot 10^{-8}$	ja
2. (2 laadarmen)	80.000 kg	$3 \cdot 10^{-8}$	ja
	160.000 kg	$\ll 1 \cdot 10^{-8}$	ja
3. Uitstroming bij afkoppelen laadarm (niet drainen, niet sluiten afsluiter)			
	+ 840 kg	10^{-16}	nee

Tabel 3.6 : Overzicht van uitstroomhoeveelheid en kans op optreden daarvan per geloste scheepsloading voor de ongewenste gebeurtenissen bij de walinstallatie gekoelde opslag.



Normstelling van dr. Ale (VROM) t.b.v. de veiligheid van L.P.G. installaties.



