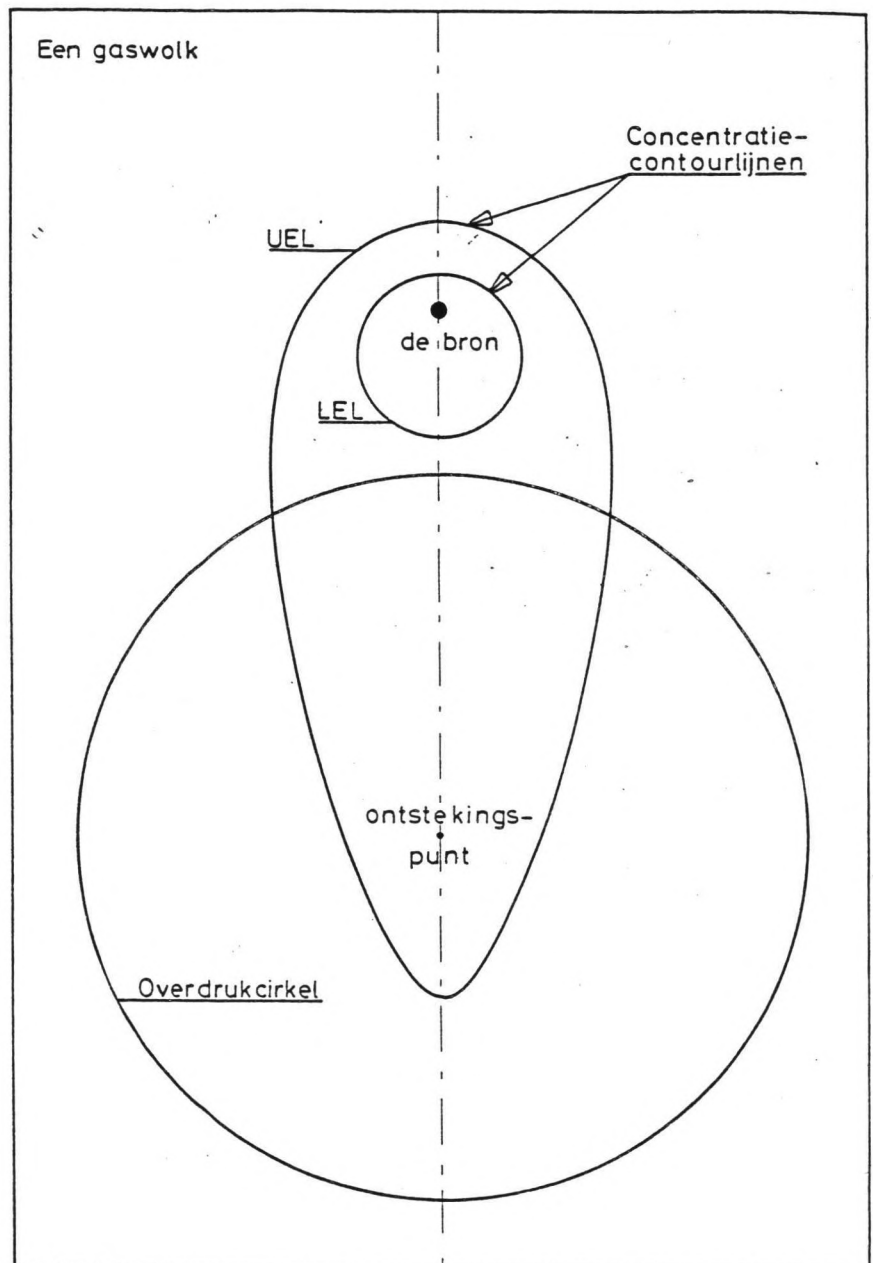


Case-study: "Ennore"

Augustus 1990

R.G. de Roos



2217



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

Case study:
"Ennore"

augustus 1990

afstudeerrapport van:

Robert G. de Roos

Begeleiders:

Prof.ir. H. Velsink
Vakgroep Waterbouwkunde

Dr.ir. L.H.J. Goossens
Vakgroep Veiligheidskunde

Ir. R. Groenveld
Vakgroep Waterbouwkunde

Technische Universiteit Delft
Faculteit der Civiele techniek
Vakgroep Waterbouwkunde

Inhoudsopgave Case-studie.

1 oktober 1990

Inhoudsopgave

1. Inleiding

- 1.1. Probleemstelling, 7
- 1.2. Doelstelling, 7

2. Beschrijving van de omgeving

- 2.1. Ennore bestaande situatie, 8
 - 2.1.1. De geplande haven, 9
- 2.2. Klimatologische condities
 - 2.2.1. Algemene meteorologische data, 10
 - 2.2.2. De windgegevens, 11

3. Chemische stoffen

- 3.1. Inleiding, 13
- 3.2. De hoeveelheid chemische stoffen, 13
- 3.3. De eigenschappen en hoeveelheden
 - 3.3.1. Etheen, 14
 - 3.3.2. Propeen, 15
 - 3.3.3. Butadieen, 16
 - 3.3.4. Benzeen, 17
 - 3.3.5. Benzine, 18
 - 3.3.6. Nafta, 19

4. Referentie tabellen voor fysische-effecten, 20

- 4.1. De instantane bron van 1000 kg, 23
- 4.2. De continue bron van 100 kg/s, 25
- 4.3. De instantane bron, 27
- 4.4. De continue bron, 29
- 4.5. De BLEVE, 30
- 4.6. De verdamping, 32
- 4.7. De uitstroming, 34
- 4.8. De vloeistoffen, 35
- 4.9. Samenvatting van de conclusies, 36

5. Specificatie van de sub-systemen

- 5.1. Inleiding, 38
 - 5.2. De sub-systemen
 - 5.2.1. De etheen fabriek, 38
 - 5.2.2. De transportleiding naar het tankpark, 39
 - 5.2.3. Het tankpark, 45
 - 5.2.4. De overslagleidingen, 52
 - 5.2.5. De tankschepen, 58
-

6. De lokatiekeuze

6.1. Samenvatting van de conclusies, 66

6.1.1. De aannames, 66

6.1.2. De conclusies, 67

6.2. Het aantal ligplaatsen, 75

6.3. Druk versus gekoeld, 76

6.4. De lokatiekeuze

6.4.1. De keuzekriteria, 81

6.4.2. Bespreking van de varianten, 84

bijlagen - de lokaties

- de lokatievarianten I A,B ; II A,B,C en III A,B.

Figuren

- 2.1 Madras en Ennore
- 2.2 Ennore
- 2.3 Klimaattabel

- 3.1 Nafta proces

- 4.2 Continue bron I
- 4.3 Instantane bron
- 4.4 Continue bron II

- 5.1 Kwalitatieve kans I
- 5.2 Tankpark met drukopslag
- 5.3 Kwalitatieve kans II
- 5.4 Tankpark met gekoelde opslag
- 5.5 Kwalitatieve kans III

- 6.1 De kern van een wolk
- 6.2 Directe ontsteking bij uitstroming

Tabellen

- 2.1 Windrichting
 - 2.2 windsnelheden

 - 3.1 Hoeveelheden stof
 - 3.2 Etheen
 - 3.3 Propeen
 - 3.4 Butadieen
 - 3.5 Benzeen
 - 3.6 Benzine
 - 3.7 Nafta

 - 4.* De referentie tabellen

 - 5.2 Transportleidingen
 - 5.3 Drukopslag en gekoelde opslag
 - 5.4 Overslag
 - 5.5 De schepen

 - 6.1 Multikriteria Druk versus Gekoeld
 - 6.2 Multikriteria lokatie tankpark
 - 6.3 Multikriteria lokatie tankschepen
-

1. Inleiding

1.1. Probleemstelling

In de geplande haven van Ennore, India, is een nafta cracker gepland. Voor deze etheen fabriek zal 1.4 miljoen ton nafta per jaar over zee ingevoerd moeten worden. De eindprodukten zullen met relatief kleine coasters over zee verder gedistribueerd worden.

Bij deze produkten gaat het om gevaarlijke stoffen, in dit geval brand- en explosiegevaar. De volgende gassen zullen in vloeibare vorm in een tankpark opgeslagen worden etheen, propeen en butadien. De vloeistoffen nafta, benzine en benzeen kunnen onder atmosferische druk opgeslagen worden.

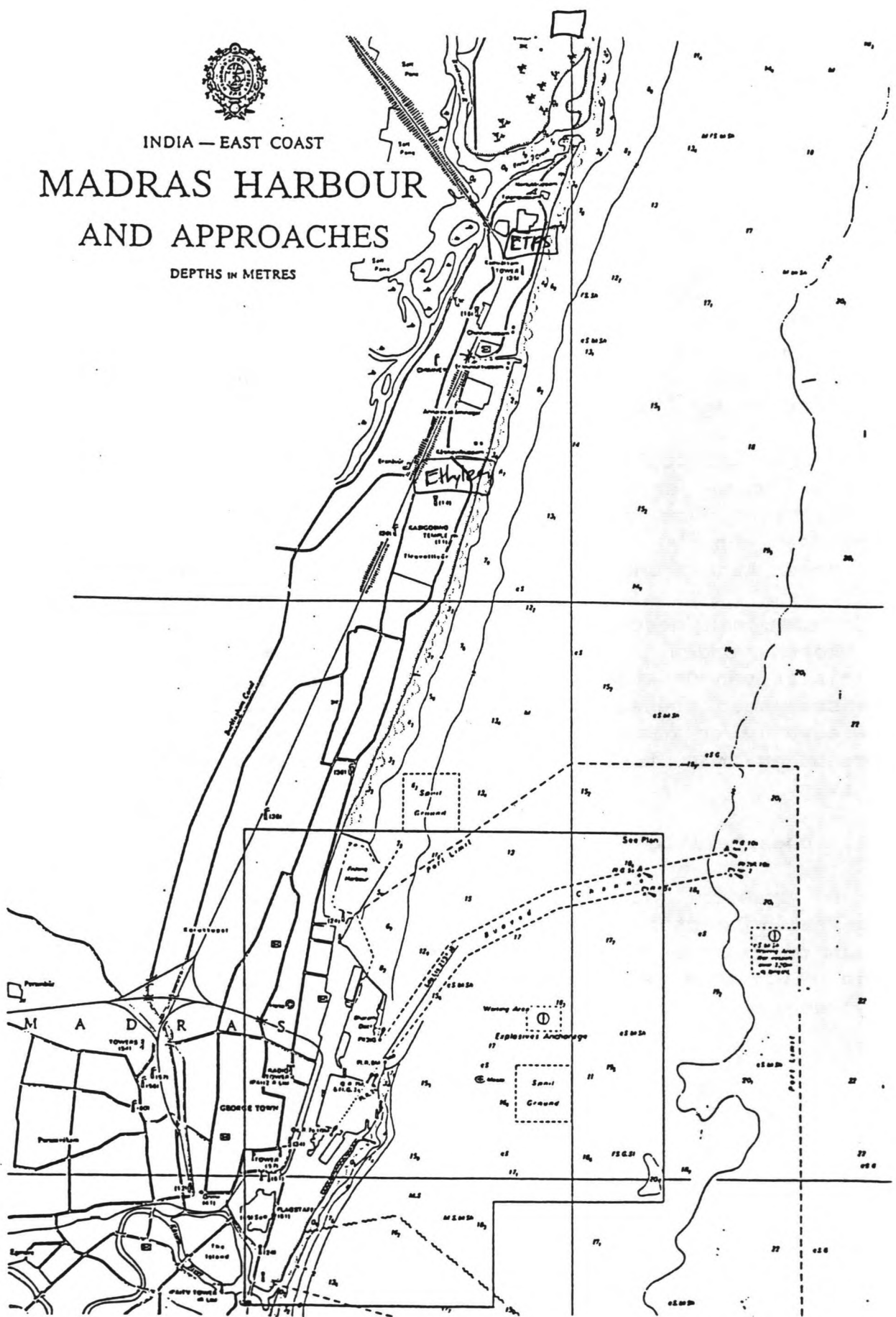
Er moet een geschikte en vooral zo veilig mogelijke lokatie gekozen worden om deze stoffen in de haven op te slaan. De lokatie van de etheen fabriek ten opzichte van de tankfarm zal vastgesteld moeten worden. Al deze faciliteiten moeten in de nieuwe haven gesitueerd worden. Daarbij moet rekening worden gehouden met toekomstige uitbreidingsmogelijkheden van de haven.

1.2. Doelstelling

Het creëren van een aanvaardbaar risiconiveau om deze gevaarlijke stoffen in de haven te kunnen op- en overslaan en van en naar de fabriek te transporteren. Hiervoor zal een in de initiatieffase opgestarte veiligheidsstudie behandeld worden.



INDIA — EAST COAST
**MADRAS HARBOUR
AND APPROACHES**
DEPTHS IN METRES



Figuur 2.1 : Overzicht Madras-Ennore.

2.1.1. De geplande haven

De nieuwe elektriciteitscentrale te Ennore het North Madras Thermal Power Station en de bestaande Ennore Thermal Power Station zullen, in 1997, samen een vraag naar kolen hebben van 9.69 miljoen ton per jaar.

De kolen worden gedolven in het Talcher Coal Field (Orissa State). Per trein worden de kolen naar Paradip vervoerd vanwaar het vervolgens per schip naar Ennore wordt getransporteerd.

Verder staat er in het kader van het nafta Cracker Project een fabriek gepland in de buurt van Ennore. Hiervoor zou met schepen per jaar $1425 \cdot 10^3$ ton nafta ingevoerd en etheen, propeen, butadien, benzeen en benzine uitgevoerd moeten worden.

In de buurt van de centrale respectievelijk de fabriek te Ennore zullen voor deze grondstoffen en halfprodukten overslag- en opslagfaciliteiten moeten worden gecreëerd.

In de huidige haven van Madras zijn er wel mogelijkheden om de groei van het bestaande goederen pakket te plaatsen, maar is het niet mogelijk om deze hoeveelheden extra goederen te verwerken. Niet alleen omdat uitbreiding moeilijk is door de dichte bebouwing om de bestaande haven, maar aanpassing is ook ongewenst omdat de nafta opslag- en overslagfaciliteiten aan speciale veiligheidseisen moeten voldoen.

Er is nu een nieuwe haven in Ennore gepland, deze haven is geschikt voor de op- en overslag van de kolen. Er is rekening gehouden met eventuele haven uitbreidingen. Op het kaartje hiernaast is een ontwerp van de haven te zien. Er zijn meerdere ontwerpen gemaakt. Uit één van die ontwerpen zal een uit veiligheidsoogpunt beste ontwerp gekozen worden. Hiervoor kunnen eventueel veranderingen in het oorspronkelijke ontwerp aangebracht worden.

2. Beschrijving van de omgeving

2.1. Ennore bestaande situatie

De belangrijkste havenstad van de Coromandel kust van Oost-India is Madras, gelegen in de meest zuidelijke staat Tamil Nadu. Vijftien kilometer ten Noorden van Madras ligt het dorpje Ennore. Gelegen aan de Ennore Creek. In de Ennore Creek komt de Kortaliyar rivier van 85 kilometer lengte uit.

Tussen Madras en Ennore liggen enkele vissersdorpjes. De begroeiing is schaars op een paar palmbomen na. De kust is laag en zanderig en staat onder invloed van een hevige branding.

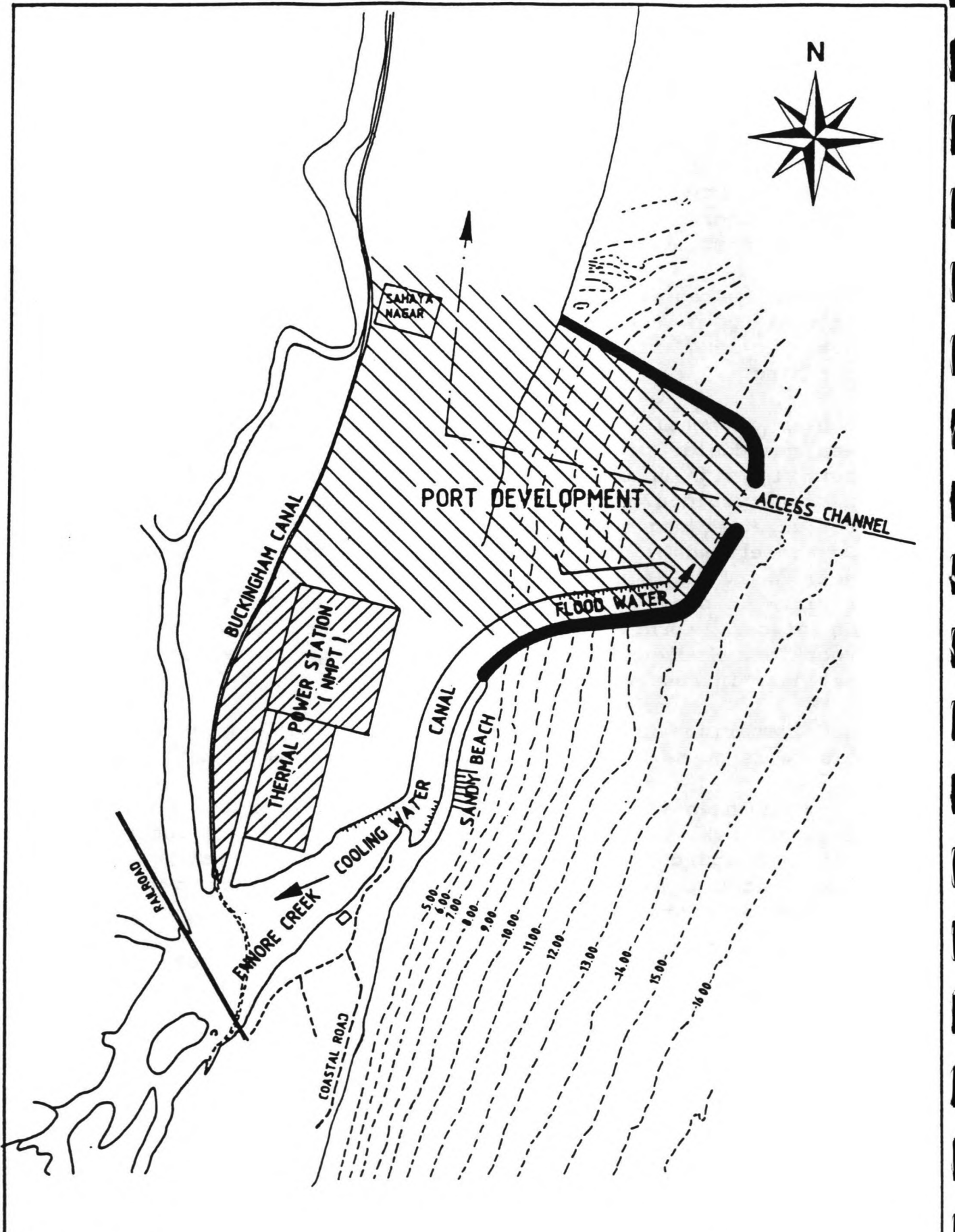
Achter de gehele kuststrook liggen de Ennore Backwaters, met een gemiddelde diepte van een a twee meter. De gevolgen van het tij zijn hier waarneembaar tot maximaal acht kilometer naar het zuiden. Bij de Kortaliyar rivier is dit waarneembaar tot ongeveer negen kilometer vanaf de riviermond.

De riviermond blijft gesloten voor ongeveer negen maanden van het jaar. Alleen tijdens de moesson periode staat de riviermond open voor verse afvoer. De rest van het jaar wordt de afvoer gebruikt om in de water behoefte van Madras te voorzien. Hiervoor wordt het water van de rivier de rest van het jaar in reservoirs opgeslagen.

Het Estuarium van Ennore is ongeveer twee kilometer breed. De diepte is op de meeste plaatsen minder dan een meter.

De zandbanken van Ennore liggen vijf kilometer ten NNO van de Ennore Creek. De kust bestaat voornamelijk uit een toplaag van zand gevolgd door lagen van klei, schelpachtig zand en oolite (kalk achtig materiaal opgebouwd uit fossielen van ± één millimeter doorsnede).

Ten zuiden van de Ennore creek staat een kleine elektriciteits-centrale. Deze Ennore Termal Power Station heeft een vermogen van 450 MW. en betreft zijn koelwater, 23 m³/s, aan de Ennore creek. Hiervoor moet de creek ingang door middel van regelmatig baggeren open gehouden worden om aan de koelwater behoefte te kunnen voldoen.



Figuur 2.2

2.2. Klimatologische condities

2.2.1. Algemene meteorologische data

Gedurende één jaar komen er twee verschillende moessons voor, namelijk de zomer moesson (mei-augustus) en de winter moesson (oktober-december).

Tijdens de zomer moesson komt de wind hoofdzakelijk uit het zuidwesten, die een kracht van zes Beaufort bereikt. De wind tijdens de winter moesson is hoofdzakelijk afkomstig uit het noordoosten met een kracht van zeven Beaufort.

	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	Tot
stormen (>8)	4	1	6	14	21	24	23	16	22	32	39	20	222
stormen (>10)	1	0	3	8	13	3	5	2	7	14	16	5	77

Aantal stormen gedurende de laatste 50 jaar.

De wind waait hoofdzakelijk langs de kust met name vanuit zuid-westelijke richting, nauwelijks van het land of van zee. De periode van de winter moesson is de periode met de meeste regenval. (60% van het totaal).

Mei en juni zijn de maanden met gemiddeld de hoogste maximum en minimum temperatuur.

December en januari zijn de maanden met de laagste maximum en minimum temperatuur.

De hoogst gemeten temperatuur is 43.6°C en de laagste is 15.6°C.

De maximale relatieve vochtigheid ligt boven de 90% gedurende het jaar.

Over het algemeen is het zicht goed, namelijk meer dan 20 kilometer voor het grootste deel van het jaar, vaak echter tot 50 kilometer.

De Indiase kust heeft een regenval van gemiddeld 1223 (mm/jaar). Tijdens een storm kan in een uur zo'n 100 mm vallen.

2.2.2. De windgegevens

Voor de verspreiding van gevaarlijke gassen moeten de volgende gegevens bekend worden:

- de gemiddelde windsnelheid met de spreiding daarvan
- de overheersende windrichting(en)
- het aantal dagen met lage windsnelheden
- eventueel de kans van optreden

De klimaattabel, waar de windgegevens van 28 jaren staan vermeld, zal hiervoor in een bruikbare vorm omgezet worden. Eerst zal met de volgende tabel bekeken worden of er een overheersende windrichting aanwezig is.

	<u>Totaal</u>										
	Noord	NO	Oost	ZO	Zuid	ZW	West	NW	0-1kn	Knopen	m/s
ochtend	4	6	5	3	11	27	26	17	1	7	3.6
middag	7	16	18	34	15	3	5	2	0	9	4.6

tabel 2.1 percentages van de windrichtingen

Uit deze tabel is af te lezen dat de wind uit het noorden minder voorkomt en dat de wind uit het zuiden relatief vaker voorkomt. Dit is gunstig, omdat Madras ten zuiden van Ennore ligt. Maar de verschillen zijn niet zodanig dat één windrichting overheersend is.

	wind		aantal	afwijking		kans
	knopen	m/s		knopen	m/s	
Noord	7.99	4.12	154	1.60	0.82	0.0637
NO	8.08	4.15	270	1.51	0.78	0.1117
Oost	7.83	4.02	271	1.67	0.86	0.1121
ZO	8.68	4.46	427	1.59	0.82	0.1767
Zuid	8.20	4.21	326	1.81	0.93	0.1349
ZW	7.23	4.72	355	1.73	0.89	0.1469
West	7.27	4.74	367	1.79	0.92	0.1518
NW	6.43	3.31	229	1.64	0.84	0.0940
0-1 kn			18			7.45E-3
totaal			2418			1.0000

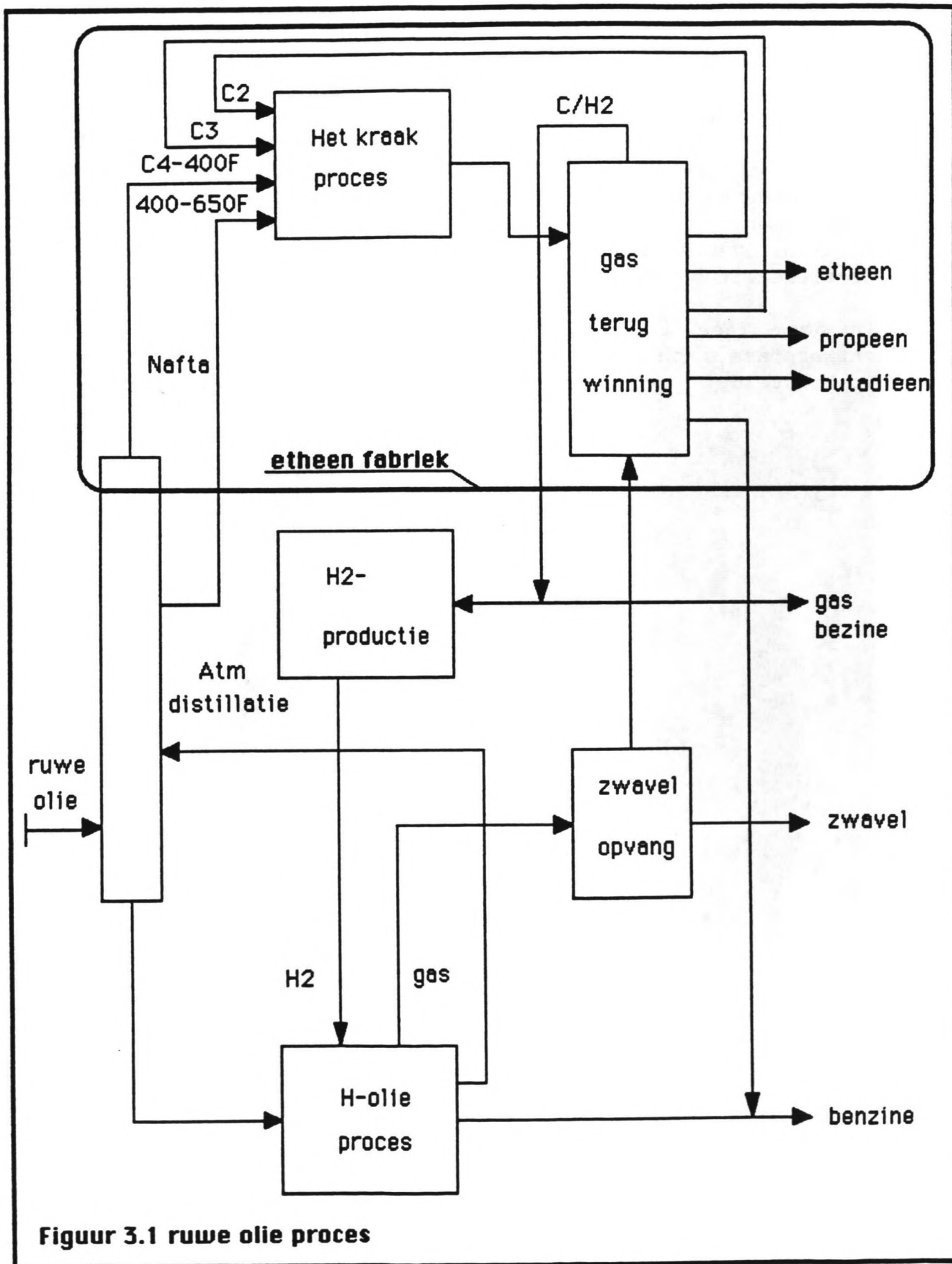
tabel 2.2 optredende windsnelheden

Uit tabel 2.2 is af te lezen dat windstilte (0 - 1 knopen) nauwelijks voorkomt.

Voor deze studie worden de berekeningen uitgevoerd voor 5;3 en 2 m/s. Er wordt in de berekeningen uitgegaan van het ongunstige geval dat de windsnelheid hoger ligt dan de gemiddelde windsnelheid. Voor de lage windsnelheid wordt 2 m/s aangenomen.

In deze studie wordt aangenomen dat in Nederland ongeveer dezelfde windsnelheden voorkomen als in India.

In deze fase is deze indeling meer dan voldoende. In de ontwerpfase zou de windverdeling exacter moeten worden vastgesteld.



Figuur 3.1 ruwe olie proces

3. Chemische stoffen

3.1. Inleiding

Er is in de nabije omgeving van Ennore een etheen fabriek gepland. Hier zal met behulp van nafta-cracking etheen worden geproduceerd.

De nafta zal per schip van verschillende plaatsen van buiten India worden aangevoerd. De basisstof nafta zal gekraakt worden waardoor verschillende stoffen met kortere koolstof ketens zullen ontstaan. Daarna worden de lichte fracties met een distillatie kolom herwonnen (zie schema figuur 3.1, het omliggende gedeelte is het proces van de etheen fabriek).

3.2. De hoeveelheid chemische produkten

Er blijken afgezien van het etheen nog meer stoffen economisch gezien winbaar te zijn. Uit de nafta ontstaan min of meer vastliggende hoeveelheden stoffen die er uit gewonnen kunnen worden, en ook heel goed bruikbaar zijn.

Produkten	Hoeveelheden 10E3 t/jr	per dag	Schepen 10E3 t/schip	aantal/jr
Invoer				
Nafta	1400	4200	<u>60</u>	24
Uitvoer				
Etheen	450	1350	4- <u>5</u>	90
Propeen	225	675	2- <u>3</u> -4	75
Butadieen	80	240	2- <u>3</u> -4	27
Benzeen	100	300	1,5- <u>3</u> -4	34
Benzine	200	600	<u>10</u>	20
	1055			24+269

tabel 3.1 De verschillende hoeveelheden

De onderstreepte scheepsgroottes zijn de meest gangbare.

3.3. De eigenschappen en hoeveelheden

3.3.1. Etheen ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$)

Etheen, ook wel ethyleen genoemd, is een brandbaar gas. De stof is niet giftig maar heeft wel een anesthetische werking. Als halfprodukt wordt het gebruikt in de synthetische industrie. Het kan ook als lasbrandstof of bestanddeel van kunstmest worden gebruikt.

Bij de opslag kan er een normale coating worden gebruikt etheen is niet corrosief. Vervoer kan in speciale schepen in vloeibare vorm.

In de volgende tabel worden de karakteristieke eigenschappen en model gegevens weergegeven van etheen.

Karakteristieke grootheden		
molgewicht	28.1	g/mol
vloeistof dichtheid	570	kg/m ³ bij 171 K
dichtheid	0.793	m ³ /kg
kookpunt	170	K
zelfontbrandingstemperatuur	425	°C
kritische druk	5.07	MPa bij 283 K
kritische temperatuur	170	K
verbrandingswarmte	47.71	MJ/kg
verdampingswarmte	483	kJ/kg bij 169 K
soortelijke warmte	2790	J/kgK bij 203 K
explosiegrenzen LEL	2.7	%
UEL	34.0	%
Modelgegevens		
hoeveelheid stof per jaar	450.000	ton
hoeveelheid in opslag	66.000	m ³ (1 maand)
maatgevend schip	5.000	ton
	8.800	m ³
schepen	1.7	per week
	7.5	per maand
pomp (overslag) capaciteit	0.24	m ³ /s
	880	m ³ /u

tabel 3.2 Etheen

3.3.2. Propeen ($\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$)

Propeen, ook wel propyleen genoemd, is een bestanddeel van de kraakgassen. De stof is brandbaar, kleurloos, niet corrosief en niet giftig.

De stof wordt gebruikt als basis produkt in de synthetische industrie voor het fabriceren van een groot scala aan eind produkten.

Vervoer kan in speciale schepen in vloeibare vorm.

In de volgende tabel worden de karakteristieke eigenschappen en model gegevens weergegeven van proppeen.

Karakteristieke grootheden		
molgewicht	42.0	g/mol
vloeistof dichtheid	609	kg/m ³ bij 226 K
dichtheid	0.554	m ³ /kg bij 294 K
kookpunt	226	K
zelfontbrandingstemperatuur	455	°C
kritische druk	4.54	MPa bij 365 K
kritische temperatuur	226	K
verbrandingswarmte	46.2	MJ/kg
verdampingswarmte	440	kJ/kg bij 226 K
soortelijke warmte	2600	J/kgK bij 250 K
explosiegrenzen LEL	2.0	%
UEL	11.7	%
Modelgegevens		
hoeveelheid stof per jaar	225.000	ton
hoeveelheid in opslag	31.000	m ³ (1 maand)
maatgevend schip	5.000	ton
	8.200	m ³
schepen	0.9	per week
	3.8	per maand
pomp (overslag) capaciteit	0.23	m ³ /s
	828	m ³ /u

tabel 3.3 Propeen

3.3.3. Butadien ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$)

1,3Butadien is een brandbaar en kleurloos gas.

De stof is erg reactief waardoor snel polymerisatie optreedt en kan daardoor alleen opgeslagen en vervoerd worden als er een neutraliserende stof is toegevoegd (bv inert gas).

De stof wordt gebruikt om synthetisch rubber en plastics te maken, maar ook als basis voor Nylon en het is een ingrediënt van raket brandstof.

De stof kan door extreem kleine openingen ontsnappen.

Vervoer kan in speciale schepen in vloeibare vorm.

In de volgende tabel worden de karakteristieke eigenschappen en model gegevens weergegeven van butadien.

Karakteristieke grootheden		
molgewicht	54.0	g/mol
vloeistof dichtheid dichtheid	621	kg/m ³ bij 293 K
	5.9	kg/m ³ bij 203 K
kookpunt	269	K
zelfontbrandingstemperatuur	415	°C
kritische druk kritische temperatuur	4.26	MPa bij 435 K
	269	K
verbrandingswarmte verdampingswarmte soortelijke warmte	44.21	MJ/kg
	420	kJ/kg bij 269 K
	2350	J/kgK bij 269 K
explosiegrenzen LEL UEL	1.1	%
	12.5	%
Modelgegevens		
hoeveelheid stof per jaar hoeveelheid in opslag	80.000	ton
	13.000	m ³ (1 maand)
maatgevend schip	5.000	ton
	8.000	m ³
schepen	0.3	per week
	1.3	per maand
pomp (overslag) capaciteit	0.21	m ³ /s
	756	m ³ /u

tabel 3.4 butadien

3.3.4. Benzeen (C_6H_6)

Benzeen is een kleurloze, brandbare vloeistof. Het wordt op grote schaal gebruikt als oplosmiddel en als basisstof voor een groot aantal produkten. De damp is giftig, hetgeen tot zogenaamde benzeen vergiftiging kan leiden en de stof is kankerverwekkend.

In de volgende tabel worden de karakteristieke eigenschappen en model gegevens weergegeven van benzeen.

Karakteristieke grootheden		
molgewicht	78.1	g/mol
vloeistof dichtheid	879	kg/m ³ bij 293 K
kookpunt	353	K
zelfontbrandingstemperatuur	550	°C
kritische druk	5.01	MPa
kritische temperatuur	570	K
verbrandingswarmte	40.60	MJ/kg
verdampingswarmte	433	kJ/kg bij 298 K
soortelijke warmte	1760	J/kgK bij 306 K
explosiegrenzen LEL	1.0	%
UEL	8.0	%
Modelgegevens		
hoeveelheid stof per jaar	100.000	ton
hoeveelheid in opslag	9.500	m ³ (1 maand)
maatgevend schip	5.000	ton
schepen	5.700	m ³
	0.4	per week
pomp (overslag) capaciteit	1.7	per maand
	0.32	m ³ /s
	1152	m ³ /u

tabel 3.5 Benzeen

3.3.5. Benzine

Benzine is een verzamelnaam voor koolwaterstofmengsels met kooktrajecten tussen 30°C en 200°C, bestaande uit moleculen met 5 tot 10 koolstofatomen.

Men onderscheidt: motorbenzines voor energie-opwekking en speciale kookpuntsbenzines, gebruikt als oplos- en extractiemiddel.

In de volgende tabel worden de karakteristieke eigenschappen en model gegevens weergegeven van benzine.

Karakteristieke grootheden		
molgewicht	115	g/mol
vloeistof dichtheid	750	kg/m ³ bij 293 K
verbrandingswarmte	43.51	MJ/kg
verdampingswarmte	320	kJ/kg bij 293 K
soortelijke warmte	2215	J/kgK bij 293 K
explosiegrenzen LEL	0.6	%
UEL	8.0	%
Modelgegevens		
hoeveelheid stof per jaar	200.000	ton
hoeveelheid in opslag	23.000	m ³ (1 maand)
maatgevend schip	10.000	ton
schepen	13.500	m ³
	0.4	per week
	1.7	per maand
pomp (overslag) capaciteit	0.38	m ³ /s
	1350	m ³ /u

tabel 3.6 Benzine

3.3.6.Solvent nafta

Een ruw aardolie produkt waar de zware fractie is uitgehaald (zie hiervoor het proces in figuur 3.1).

In de volgende tabel worden de karakteristieke eigenschappen en model gegevens weergegeven van solvent nafta.

Karakteristieke grootheden		
vloeistof dichtheid	714	kg/m ³ bij 293 K
kookpunt	403-420	K
zelfontbrandingstemperatuur	280	°C
verbrandingswarmte	42.40	MJ/kg
verdampingswarmte	300	kJ/kg bij 403 K
	340	kJ/kg bij 428 K
explosiegrenzen LEL	1.0	%
UEL	7.5	%
Modelgegevens		
hoeveelheid stof per jaar	1.450.000	ton
hoeveelheid in opslag	170.000	m ³ (1 maand)
maatgevend schip	60.000	ton
	84.000	m ³
schepen	0.5	per week
	2.0	per maand
pomp (overslag) capaciteit	2.33	m ³ /s
	8400	m ³ /u

tabel 3.7 Solvent nafta

4.Referentie tabellen voor de fysische effecten

Deze tabellen moeten een indruk geven van de mogelijke fysische effecten die bij de hiervoor besproken zes stoffen kunnen optreden. De volgende fysische-effecten zullen daarvoor doorgerekend moeten worden:

- De uitstroming,
- De verdamping,
- De dispersie,
- De explosie,
- De warmte uitstraling.

Globaal zijn de stoffen in twee groepen te verdelen de vloeistoffen en de vloeibaar gemaakte gassen. Voor deze twee groepen zal gekeken worden of de fysische-effecten significant veranderen als de volgende grootheden worden gevarieerd:

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

ad.2.

De bron wordt continu genoemd als de effect afstand kleiner is dan 1,8 maal de windsnelheid maal de tijdsduur van de bron. Als de effect-afstand groter is dan 18 maal de windsnelheid maal de tijdsduur van de bron dan wordt de bron instantaan genoemd. In het tussenliggende gebied zal geïnterpoleerd moeten worden.

ad.3.

De volgende klimaatklassen komen voor:

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

ad.4.

De volgende windsnelheden zullen doorgerekend worden 2 m/s, 3 m/s en 5 m/s.

ad.5.

De temperatuur in India ligt tussen de 15 en 45°C. De tabellen zullen als dat zinvol is doorgerekend worden voor 293 K, 303 K en 313 K.

ad.6.

Enkele waarden van de ruwheidslengte voor enkele typen van gebieden:

- vlak land	$z_0 = 0.03$ m
- bouwland	$z_0 = 0.10$ m
- cultuurland	$z_0 = 0.30$ m
- woongebied	$z_0 = 1.00$ m
- stedelijkgebied	$z_0 = 3.00$ m

ad.7.

Uit enkele oriënterende berekeningen blijkt dat variatie van de relatieve vochtigheid weinig zinvol is.

De relatieve vochtigheid wordt op 90% gesteld, conform de klimaattabel van Enno re.

Instantaan 1000 kg D-5	etheen	propeen	butadien
max. explosieve massa (kg)	830	680	809
op afstand (m)	80	100	90
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	37	34	35
0.1 bar (m)	110	102	106
0.03 bar (m)	367	340	355
0.01 bar (m)	1101	1019	1064

tabel 4.1 Instant 1000 kg D-5

Instantaan 1000 kg F-2	etheen	propeen	butadien
max. explosieve massa (kg)	827	687	814
op afstand (m)	150	200	180
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	37	34	36
0.1 bar (m)	110	102	107
0.03 bar (m)	367	341	355
0.01 bar (m)	1100	1023	1066

tabel 4.2 Instant 1000 kg F-2

Instantaan 1000 kg A-3	etheen	propeen	butadien
max. explosieve massa (kg)	794	632	810
op afstand (m)	40	50	40
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	36	33	36
0.1 bar (m)	108	99	106
0.03 bar (m)	362	332	355
0.01 bar (m)	1085	995	1065

tabel 4.3 Instant 1000 kg A-3

4.1. De instantane bron van 1.000 kg

De berekening

Eerst zal een instantane bron van 1000 kg bekeken worden. De gevoeligheid voor de verschillende weerklassen (A-F) en voor de windsnelheid zal berekend worden. Zie tabellen 4.1; 4.2 en 4.3.

De resultaten

Er ontstaat een wolk die eerst tijd nodig heeft om tot de maximale explosieve massa te komen. Als de wolk zich heeft ontwikkeld wordt voor het centrum van de wolk de afstand bepaald. En voor de zogenaamde vertraagde ontsteking zullen de explosie cirkels gegeven worden (0.3 bar zware schade; 0.1 bar lichte schade; 0.03 bar zware glasschade; 0.01 bar lichte glasschade).

De conclusies

Bij een instantane bron blijken de klimaatgegevens niet tot significante veranderingen van de schade-afstanden te leiden. De klimaatklasse D met windsnelheid 5 m/s zal in vervolg gehanteerd worden.

Continu 100 kg/s D-5	etheen	propeen	butadien
afstand tot LEL (m)	55	84	69
afstand tot UEL (m)	269	252	313
max. explosieve massa (kg)	2628	2074	3008
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	54	49	55
0.1 bar (m)	162	148	165
0.03 bar (m)	539	493	550
0.01 bar (m)	1617	1478	1649

tabel 4.4 Continu 100 kg/s D-5

Continu 100 kg/s F-2	etheen	propeen	butadien
afstand tot LEL (m)	286	444	360
afstand tot UEL (m)	1527	1428	1796
max. explosieve massa (kg)	37363	29614	43210
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	131	120	134
0.1 bar (m)	392	385	401
0.03 bar (m)	1305	1195	1336
0.01 bar (m)	3916	3585	4008

tabel 4.5 Continu 100 kg/s F-2

Continu 100 kg/s A-3	etheen	propeen	butadien
afstand tot LEL (m)	21	31	26
afstand tot UEL (m)	94	88	108
max. explosieve massa (kg)	1521	1195	1723
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	45	41	46
0.1 bar (m)	135	123	137
0.03 bar (m)	449	410	457
0.01 bar (m)	1347	1230	1370

tabel 4.6 Continu 100 kg/s A-3

4.2. Continue bron van 100 kg/s

De berekening

Dezelfde procedure volgt nu voor een continue bron van 100 kg/s.

De resultaten

De volgende uitvoergegevens verschillen:

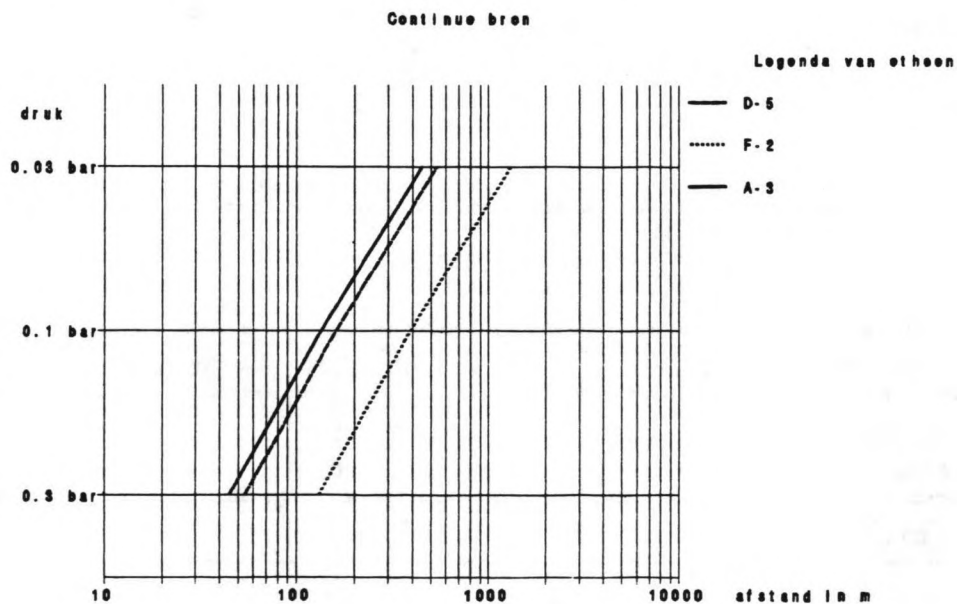
- De afstanden tot de Laagste Explosie Limiet en de hoogste Explosie Limiet wordt berekend.
- De maximale hoeveelheid explosief gas dat zich binnen die grenzen bevind.

Ook hier volgt een gevoeligheidsanalyse voor de verschillende klimaatklassen.

De conclusies

Bij een continue bron blijkt vooral bij zeer stabiele atmosferische condities en een windsnelheid van 2 m/s er een verdubbeling van de schade afstanden te ontstaan. Bij de berekeningen moet hier rekening mee gehouden worden.

Kanttekening hierbij is dat in Nederland D-5 in 60 % van de tijd voorkomt, F-2 in 25 % van de tijd en A-3 in 10 % van de tijd.



figuur 4.2 Continue bron

Instantaan 100 kg D-5	etheen	propeen	butadien
max. explosieve massa (kg)	76	66	80
op afstand (kg)	30	40	40
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	17	16	16
0.1 bar (m)	50	47	49
0.03 bar (m)	166	157	164
0.01 bar (m)	497	470	493

tabel 4.7 Instant 100 kg D-5

Instantaan 1000 kg D-5	etheen	propeen	butadien
max. explosieve massa (kg)	830	680	809
op afstand (kg)	80	100	90
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	37	34	35
0.1 bar (m)	110	102	106
0.03 bar (m)	367	340	355
0.01 bar (m)	1101	1019	1064

tabel 4.8 Instant 1000 kg D-5

Instantaan 10.000 kg D-5	etheen	propeen	butadien
max. explosieve massa (kg)	8299	6878	8139
op afstand (kg)	200	250	220
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	79	73	77
0.1 bar (m)	237	220	230
0.03 bar (m)	791	735	766
0.01 bar (m)	2372	2204	2297

tabel 4.9 Instant 10.000 kg D-5

4.3. De instantane bron

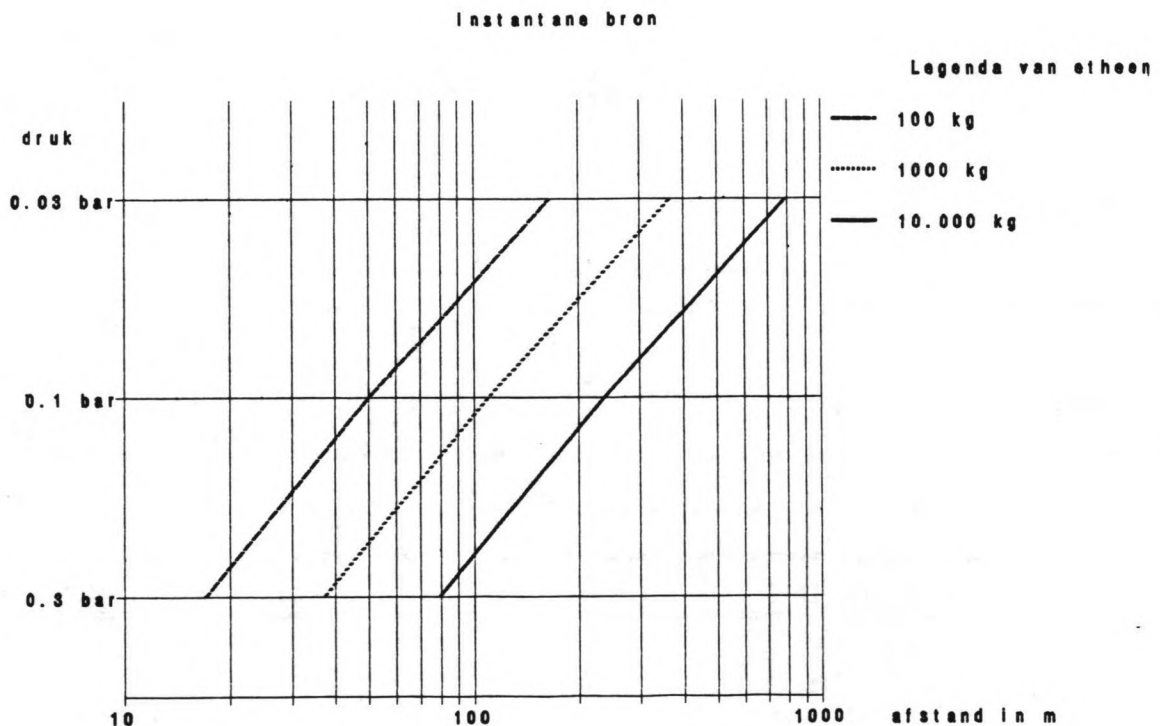
De berekening

Nu bekend is wat de invloed van het klimaat is op de instantane- en continue bron, volgen nu de berekeningen met één standaard klimaatklasse namelijk D-5.

De test zal een instantane bron van 100, 1000 en 10.000 kg vrijgekomen stof bevatten.

De conclusies

Hieruit volgt dat als de bron met een factor 10 verhoogt de effect afstand ongeveer 2 maal zo groot wordt.



figuur 4.3 Instantane bron

Case study "Ennore"

Continu 10 kg/s D-5	etheen	propeen	butadien
afstand tot LEL (m)	13	20	16
afstand tot UEL (m)	64	60	75
max. explosieve massa (kg)	63	49	72
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	16	14	16
0.1 bar (m)	47	43	47
0.03 bar (m)	155	142	158
0.01 bar (m)	465	425	475

tabel 4.10 Continu 10 kg/s D-5

Continu 100 kg/s D-5	etheen	propeen	butadien
afstand tot LEL (m)	55	84	69
afstand tot UEL (m)	269	252	313
max. explosieve massa (kg)	2628	2074	3008
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	54	49	55
0.1 bar (m)	162	148	165
0.03 bar (m)	539	493	550
0.01 bar (m)	1617	1478	1649

tabel 4.11 Continu 100 kg/s D-5

Continu 1000 kg/s D-5	etheen	propeen	butadien
afstand tot LEL (m)	233	352	289
afstand tot UEL (m)	1127	1085	1313
max. explosieve massa (kg)	110224	86978	126161
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	187	171	191
0.1 bar (m)	562	513	573
0.03 bar (m)	1872	1712	1909
0.01 bar (m)	5616	5135	5728

tabel 4.12 Continu 1000 kg/s D-5

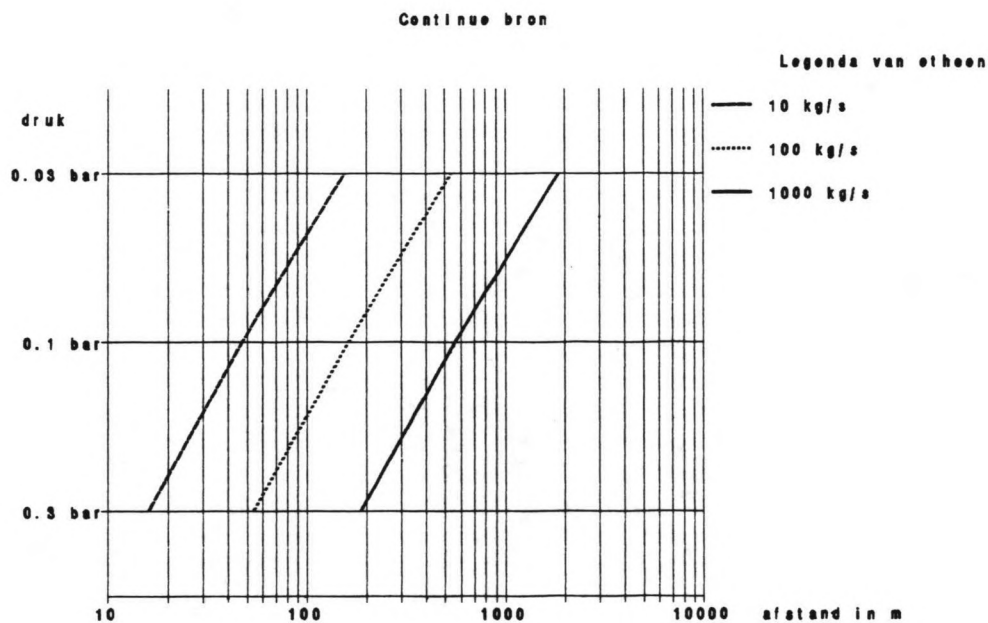
4.4. De continue bron

De berekening

In de volgende test wordt een continue bron berekend waarbij 10, 100 en 1000 kg/s gas vrijkomt.

De conclusie

Hieruit volgt dat als de bron met een factor 10 verhoogt de effect afstand ongeveer 3.5 maal zo groot wordt.



figuur 4.4 continue bron II

4.5. De BLEVE

De berekening

De BLEVE ontstaat als aan tank onder druk bezwijkt en er instantaan een grote hoeveelheid stof ontsnapt, die direct ontsteekt.

De conclusies

Deze uitstroming is niet afhankelijk van het klimaat omdat het in enkele seconden plaatsvindt. Het blijkt dat het niet uit maakt met welke stof (etheen, propeen of butadieen) de berekening wordt uitgevoerd. De berekening is hoofdzakelijk afhankelijk van de verbrandingswarmte (J/kg) en die is bij deze stoffen ongeveer gelijk.

BLEVE hoeveelheden in 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
1° graadsbrandwonden (m)	40	80	210	550

tabel 4.13 BLEVE

Plasverdamping	etheen		propeen		buta- dieen	
temperatuur	170 K	170	226 K	226	269 K	269
windsnelheid	5 m/s	3	5 m/s	3	5 m/s	3
Plasdiameter/ oppervlakte						
10 / 79	8	5	9	6	10	6
20 / 314	29	20	33	22	35	24
30 / 707	62	42	70	47	76	51
50 / 1964	164	110	184	124	199	134
100 / 7854	608	408	683	459	738	495

tabel 4.15 Plasverdamping

4.6. De verdamping

A. De flash-verdamping

De berekening

Flash-verdamping treedt op bij het vrijkomen van een stof onder druk opgeslagen. De bron kan zowel instantaan als continu zijn.

De conclusies

Het klimaat heeft geen invloed op de flash-verdamping. Alleen de temperatuur geeft wel verschillen in het percentage van het gas dat in de korte tijd in de lucht verdampt (flashed).

Flash-verdamping	etheen	propeen	butadieen
293 K	70 %	37 %	14 %
303 K	75 %	43 %	19 %
313 K	80 %	48 %	25 %

tabel 4.14 Flash-verdamping

B. de plasverdamping

De berekening

Plasverdamping (in kg/s) treedt o.a. op bij gekoelde gassen. De berekening is uitgevoerd voor ronde plassen met verschillende diameters. Verder is de gevoeligheid voor de windsnelheid is bekeken.

De conclusies

- De windsnelheid heeft een vergroting van 30% tot gevolg voor de plasverdampingsnelheid.
- De diameter en daarmee de oppervlakte van de plas is van invloed op de verdampingssnelheid. Een verdubbeling van het oppervlak geeft een ook een verdubbeling van de bronsterkte.

Etheen	vloeistof		tweefasen		gas	
	170 K	5.07 Mpa	170 K	5.07 Mpa	170 K	5.07 Mpa
gat					*E-2	
0.05 m	7	90	2	15	0.13	7
0.10 m	27	361	6	60	0.52	28
0.15 m	61	813	13	134	1.16	63
0.20 m	108	1446	24	239	2.00	112
0.25 m	169	2258	37	372	3.22	175

tabel 4.16 Etheen uitstroming

Propeen	vloeistof		tweefasen		gas	
	226 K	4.54 Mpa	226 K	4.54 Mpa	226 K	4.54 Mpa
gat					*E-2	
0.05 m	7	77	3	52	-	16
0.10 m	29	308	10	209	0.10	63
0.15 m	65	694	22	471	2.29	141
0.20 m	116	1234	40	837	4.07	250
0.25 m	181	1929	62	1308	6.63	391

tabel 4.17 Propeen uitstroming

Butadien	vloeistof		tweefasen		gas	
	269 K	4.26 Mpa	269 K	4.26 Mpa	269 K	4.26 Mpa
gat					*E-2	
0.05 m	8	85	2	58	0.27	15
0.10 m	34	341	9	232	1.07	59
0.15 m	75	768	21	521	2.40	134
0.20 m	134	1365	38	924	4.30	237
0.25 m	209	2133	59	1447	6.70	371

tabel 4.18 Butadien uitstroming

4.7. De uitstroming

De berekening

Voor de berekening worden vijf verschillende gatgroottes gekozen. Het klimaat speelt nu nog geen rol. De stof wordt doorgerekend in de gekoelde vorm (atmosferische druk en temperatuur op het kookpunt) en onder druk (kritische druk en omgevingstemperatuur).

Drie uitstromingsvormen zijn nu van belang:

- 1 de vloeistofuitstroming,
- 2 de tweefasenuitstroming,
- 3 de gasuitstroming.

n.b. De eenheid van de resultaten van de uitstroming is kg/s.

De conclusies

De omgevingstemperatuur geeft geen significante verschillen in de berekeningen. In de tabellen is duidelijk te zien dat bij de gassen onder druk er een veel grotere uitstroming optreedt. Uitgesplitst naar de drie uitstroom vormen:

- De uitstroming van vloeistof onder druk gaat tien keer sneller als de gekoelde vloeistof.
- De tweefasenuitstroming laat hetzelfde beeld zien.
- De gasuitstroming die grotendeels de vorming (grootte) van de explosieve wolk bepaald. Deze berekeningen laten zien dat de gekoelde gassen een te verwaarlozen uitstroming hebben vergeleken met de uitstroming van de gassen onder druk. Hier zit in elk geval een factor 5000 tussen.

Kanttekening hierbij is dat als de warme lucht over een gekoelde plas waait de verdamping erg snel gaat.

Als laatste is ook hier weer te zien dat de drie stoffen met de berekeningen elkaar niet zoveel ontlopen.

4.8. De vloeistoffen

De berekening

Om een indruk te krijgen wat een vloeistofplas voor effect op de omgeving heeft, worden hier voor een aantal ronde plassen een plasbrand berekening uitgevoerd.

De conclusies

Het klimaat heeft weinig invloed op zowel de vorming als de verbranding van deze plas.

De temperatuur heeft nagenoeg geen invloed op dit proces.

De afstand tot waar de brand reikt is niet veel groter als de diameter van de plas.

Deze effect-afstanden zijn dan ook zeker niet maatgevend en zullen in de berekeningen in de volgende hoofdstukken buiten beschouwing worden gelaten.

Benzine diameter plas:	20 m	30 m	50 m	100 m
Plasbrand				
afstand tot 50% doden (m)	17	24	36	64
afstand tot 1% doden (m)	30	42	64	112
1° graadsbrandwonden (m)	74	103	156	272

tabel 4.19 Benzine

Benzeen diameter plas:	20 m	30 m	50 m	100 m
Plasbrand				
afstand tot 50% doden (m)	11	15	23	39
afstand tot 1% doden (m)	20	28	43	75
1° graadsbrandwonden (m)	53	79	110	191

tabel 4.20 Benzeen

4.8. Samenvatting van de conclusies

Aan de hand van de berekende gegevens kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- 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 toeneemt.
- 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 toeneemt.
- 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 veranderingen van de relatieve vochtigheid hebben weinig invloed op de resultaten van de berekeningen.
- 7 De BLEVE is niet afhankelijk van het klimaat, de windsnelheid of de temperatuur.
- 8 De BLEVE is in dit rekenprogramma niet afhankelijk van de soort stof.
- 9 De flash-verdamping moet berekend worden met de verschillende temperaturen.
- 10 De fakkelbrand is in alle gevallen niet maatgevend.
- 11 Het ernstigste fysische-effect van deze vloeistoffen is de plasbrand. Maar de effecten blijven beperkt tot bij de plas. De omgeving ondervindt hierdoor weinig schade, wel moet gekeken worden naar het domino-effect.
- 12 De vloeistofuitstroming van een gas onder druk gaat tien keer sneller dan een gekoeld gas.

- 13 De tweefasenuitstroming van een gas onder druk gaat ook tien keer sneller als een gekoeld gas.
- 14 De gasuitstroming van een gas onder druk gaat ongeveer 5000 keer sneller als bij een gekoeld gas.

5. Specificatie van de sub-systemen

5.1. Inleiding

Het totale havensysteem kan het best beschreven worden door de route te volgen die een bepaalde stof doorloopt. Bij de etheen fabriek in Ennore gaat het om de opslag, de overslag en het vervoer van de geproduceerde stoffen. In de paragrafen komen de volgende sub-systemen aan de orde:

- 5.2.1. De etheen fabriek
- 5.2.2. De transportleiding naar het tankpark
- 5.2.3. Het tankpark
- 5.2.4. De overslagleidingen
- 5.2.5. De tankschepen

Het betreft nu nog de initiatieffase, daarom zullen eerst globaal de sub-systeem elementen en grenzen worden bepaald. De relatie(s) tussen de sub-systemen onderling zullen worden vastgelegd, hieruit volgen de input en de output van de sub-systemen.

5.2. De sub-systemen

5.2.1. De etheen fabriek

Het eerste sub-systeem is de etheen fabriek. Deze fabriek wordt als een zogenaamde black-box behandeld. Het valt buiten dit afstudeerwerk om hier een totale uiteenzetting van de fabrieksprocessen te geven.

De sub-systeemgrenzen worden bepaald door de fysieke grenzen van het fabrieksterrein. Het totaal oppervlak van het sub-systeem is ongeveer 120.000 m², dit is inclusief alle faciliteiten van deze fabriek. Daarbij neemt de fabriek zelf een oppervlak van 36.000 m² in. Deze getallen zijn ontleend aan de gegevens van de opdrachtgevers.

Als input in het sub-systeem geldt een constante stroom van de grondstof nafta. De hoeveelheid stof die per tijdseenheid in het sub-systeem verdwijnt is te bepalen door de hoeveelheid stof die per jaar aangevoerd wordt te delen door de gewenste tijdseenheid.

Als output van het sub-systeem wordt verondersteld dat de geproduceerde stoffen in een constante stroom naar de tankfarm worden getransporteerd. Waarbij aangenomen wordt dat er geen stoffen op het fabrieksterrein worden opgeslagen.

5.2.2. De transportleidingen

Als tweede sub-systeem is gekozen voor de leidingen die het tankpark met de fabriek verbinden. Met de in- en output van het sub-systeem "de fabriek" worden de afmetingen van deze leidingen bepaald. Er zal hier uitgegaan worden van een pijpleiding met een diameter van 10 inch (25 cm).

Ongevalsscenario's

Aangenomen wordt dat de breuk in het midden tussen het tankpark en de fabriek en dat deze leiding wordt begrensd door twee op afstand bedienbare afsluiters. Door deze breuk zal de pompcapaciteit met 15 % toenemen. Verder wordt aangenomen, dat deze afsluiters 10 minuten na het ontstaan van de breuk gesloten zullen zijn.

Effectberekeningen

Er kunnen hier twee gevallen voorkomen namelijk de uitgestroomde stof is:

- a een vloeistof
- b een vloeibaar gemaakt gas:
 - 1 onder druk
 - 2 door koeling

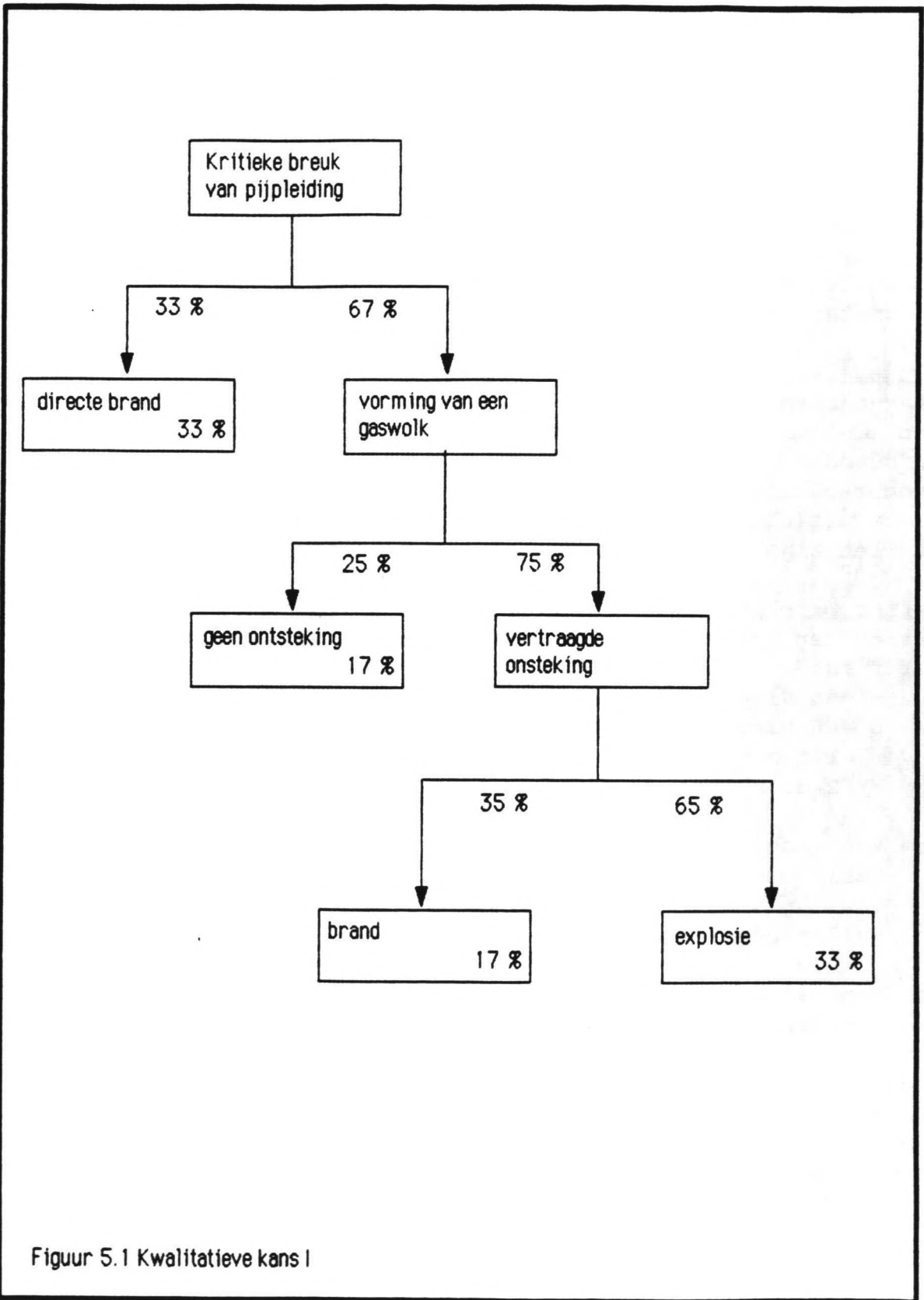
a Een vloeistof:

Zoals in hoofdstuk 4 is gebleken, zijn de fysische-effecten van de vloeistoffen niet maatgevend. Deze fysische-effecten zullen de grenzen van dit sub-systeem niet overschrijden.

b Een vloeibaar gemaakt gas:

- 1 onder druk

Daarvoor wordt eerst de benodigde pompcapaciteit van de fabriek naar het tankpark berekend. De bron wordt als een continue bron opgevat. De tabellen worden doorgerekend voor twee verschillende meteorologische condities. Tabel 5.1 met klimaatklasse D (neutraal) en windsnelheid 5 m/s. En tabel 5.2 met klimaatklasse F (zeer stabiel) en windsnelheid 2 m/s. In tabel 5.3 is bekeken in hoeverre de temperatuur invloed heeft op de verdamping.



Figuur 5.1 Kwalitatieve kans I

In de figuren 5.1, 5.3 en 5.5 wordt de kwalitatieve kans gegeven op het optreden van een bepaald fysisch effect bij een sub-systeem. Deze stroomdiagrammen geven een indicatie en geen uitsluitel over de kans.

Deze tabellen zijn overgenomen uit de L.P.G. Nota en worden geacht representatief te zijn voor de haven van Rotterdam. Deze percentages kunnen nooit exact vastgesteld worden en voor deze studie zijn deze getallen voldoende om de conclusies te ondersteunen met deze percentages.

Continu 303 K D-5	etheen	propeen	butadien
pompcapaciteit (m ³ /h)	90	42	15
+15 % (kg/s)	14.58	8.17	2.98
percentage flashverdamping continue bron (kg/s)	75 10.96	43 3.49	19 0.57
afstand tot LEL (m)	12	10	2.48
afstand tot UEL (m)	65	30	12.29
max. explosieve massa (kg)	73	9	0.69
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	17	8	3
0.1 bar (m)	49	24	10
0.03 bar (m)	163	80	34
0.01 bar (m)	489	241	101

tabel 5.2.1 Transportleidingen I

Continu 303 K F-2	etheen	propeen	butadien
percentage flashverdamping continue bron (kg/s)	75 10.96	43 3.49	19 0.57
afstand tot LEL (m)	59	45	11
afstand tot UEL (m)	347	152	58
max. explosieve massa (kg)	949	112	8
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	38	19	7
0.1 bar (m)	115	56	23
0.03 bar (m)	384	187	76
0.01 bar (m)	1154	560	230

tabel 5.2.2 Transportleidingen II

Etheen	293 K	303 K	313 K
percentage flashverdamping	70	75	80
continue bron (kg/s)	10.15	10.96	11.70
afstand tot LEL (m)	11	12	13
afstand tot UEL (m)	63	65	69
max. explosieve massa (kg)	64	73	81
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	16	17	17
0.1 bar (m)	47	49	51
0.03 bar (m)	156	163	169
0.01 bar (m)	469	489	507

tabel 5.2.3 Transportleidingen III

Conclusies:

- Verschil in temperatuur veroorzaakt geen significante verandering in de effect-afstanden.
- Doordat voor etheen de grootste pompcapaciteit wordt verlangd zijn deze effect-afstanden maatgevend.
- In figuur 5.1 is een stroomschema afgebeeld van een kritieke breuk in een pijpleiding. Uit de figuur is af te lezen dat in 33% van de gevallen de leiding breekt er een explosie optreedt.
- De brand die ontstaat is een fakkel- of een plasbrand en zijn voor deze beschouwing niet relevant.
- De explosie richt op een afstand van ongeveer 50 meter nog aanzienlijke schade aan (0.1 bar schade cirkel).

2 Een vloeibaar gemaakt gas door koeling

Voor de berekening van de effect-afstanden voor gekoelde gassen wordt er uitgegaan van een bepaalde plas waaruit het gas verdampt. Er wordt uitgegaan van een bepaalde bedijking langs de leidingen zodat de plas een beperkte omvang krijgt.

Case study "Ennore"

Door de verdamping die constant wordt gesteld wordt een continue bron gecreëerd. Deze berekening zal met twee klimaatklassen worden berekend namelijk D-5 en F-2. En als laatste zal aangetoond worden hoe belangrijk het is om er voor te zorgen dat de plas een zo klein mogelijk verdampings-oppervlak moet hebben om de effecten te beperken.

D-5	etheen	propeen	butadiëen
opslagtemperatuur	170 K	226 K	269 K
plasbreedte (m)	5	5	5
plaslengte (m)	40	40	40
plasverdamping (kg/s)	5,38	6,05	6,54
afstand tot LEL (m)	6	11	9
afstand tot UEL (m)	40	41	53
max. explosieve massa (kg)	25	22	41
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	11	11	13
0.1 bar (m)	34	32	39
0.03 bar (m)	115	108	131
0.01 bar (m)	344	324	395

tabel 5.2.4 transportleidingen IV

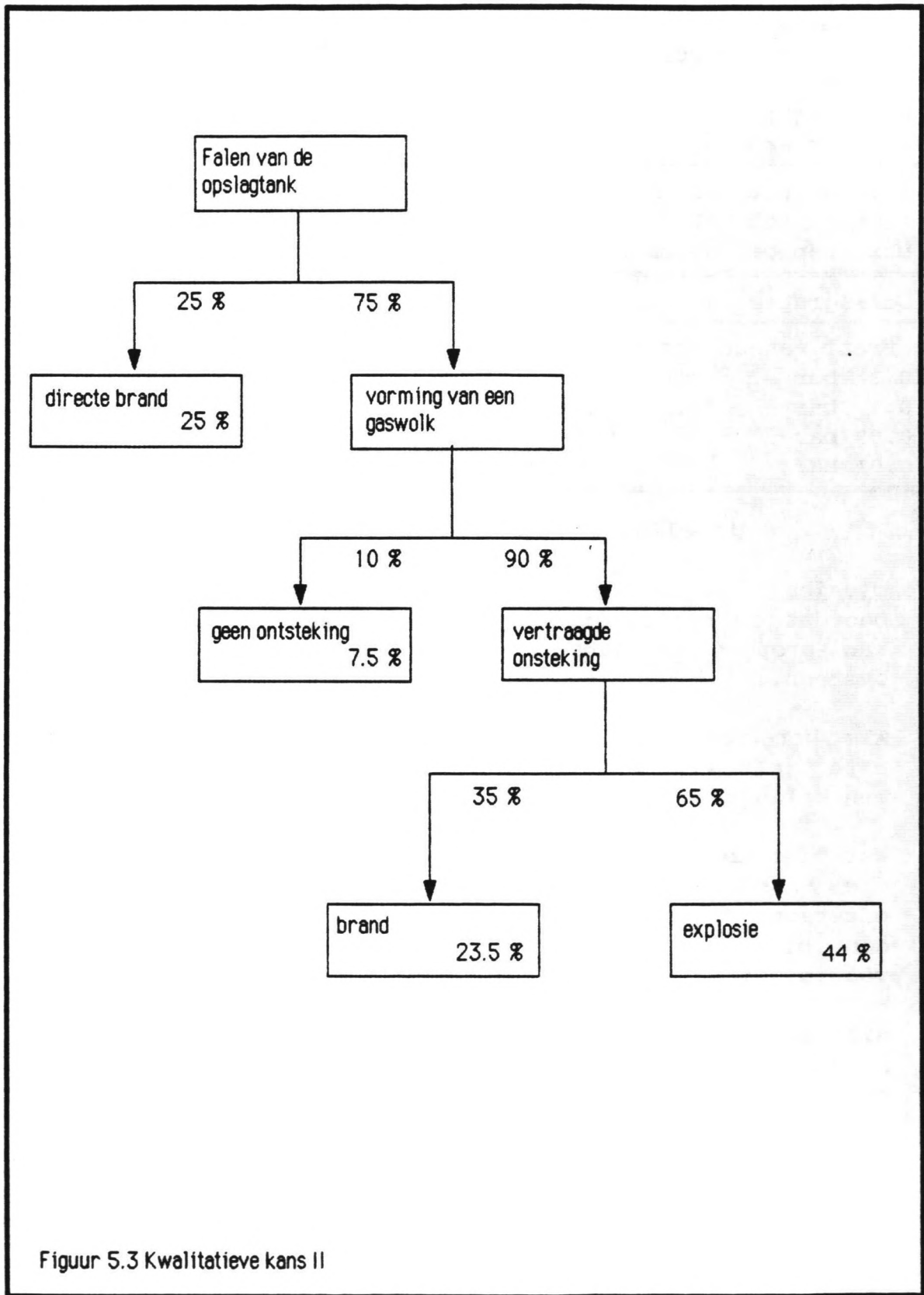
F-2	etheen	propeen	butadiëen
plasverdamping (kg/s)	2,63	2,96	3,20
afstand tot LEL (m)	13	31	24
afstand tot UEL (m)	125	127	172
max. explosieve massa (kg)	93	106	158
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	18	18	21
0.1 bar (m)	53	55	62
0.03 bar (m)	177	183	206
0.01 bar (m)	531	548	617

D-5	etheen	propeen	butadien
opslagtemperatuur	170 K	226 K	269 K
plasbreedte (m)	5	5	5
plaslengte (m)	10	10	10
plasverdamping (kg/s)	1,35	1,51	1,63
afstand tot LEL (m)	2	5	4
afstand tot UEL (m)	17	17	23
max. explosieve massa (kg)	3	2	4
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	5	5	6
0.1 bar (m)	16	15	18
0.03 bar (m)	54	51	59
0.01 bar (m)	162	153	178

tabel 5.2.6 transportleidingen VI

Conclusies:

- Doordat de opslagtemperatuur van etheen veel lager is dan van propaan en butadien, komen de resultaten redelijk overeen.
- Als het verdampingsoppervlak beperkt wordt neemt ook de effect afstand evenredig af. Bij gekoelde gassen blijkt dit een belangrijk punt te zijn.
- Wat niet tot uitdrukking komt in de berekeningen is de tijd die verstrijkt voordat de maximale explosieve wolk is ontstaan. Bij cryogene stoffen is de verdampingstijd groter dan bij de drukopslag waardoor er meer tijd is om voorzorgsmaatregelen te treffen.
- Hier zal ook een veiligheidszone van 50 meter een redelijke keuze kunnen zijn (in hoofdstuk 6 zullen de algemene criteria gegeven worden voor deze bepaling).
- Nadeel van deze berekeningsmethode is dat er van een bepaald plasoppervlak wordt uitgegaan zonder dat daarbij rekening wordt gehouden met de uitstroom snelheid en het tijdstip van ontsteken.



5.2.3. Het tankpark

Bij het sub-systeem "tankpark" is de relatie met andere sub-systemen het belangrijkste aandachtspunt. Als de relaties gedefinieerd zijn kan de lokatiekeuze plaatsvinden.

In het tankpark bestaan de elementen uit de verschillende tanks. Deze kunnen in de volgende hoofdvormen onderverdeeld worden:

1. atmosferische opslag,
2. drukopslag,
3. gekoelde opslag.

Eerst zullen de elementen nader gedefinieerd moeten worden. Hiervoor worden voor de verschillende stoffen geschikte tanks gekozen.

1. Atmosferische opslag.

Als eerste worden de stoffen uitgezocht die onder atmosferische condities kunnen worden opgeslagen, de vloeistoffen. In dit geval zijn dat nafta, benzine en benzeen.

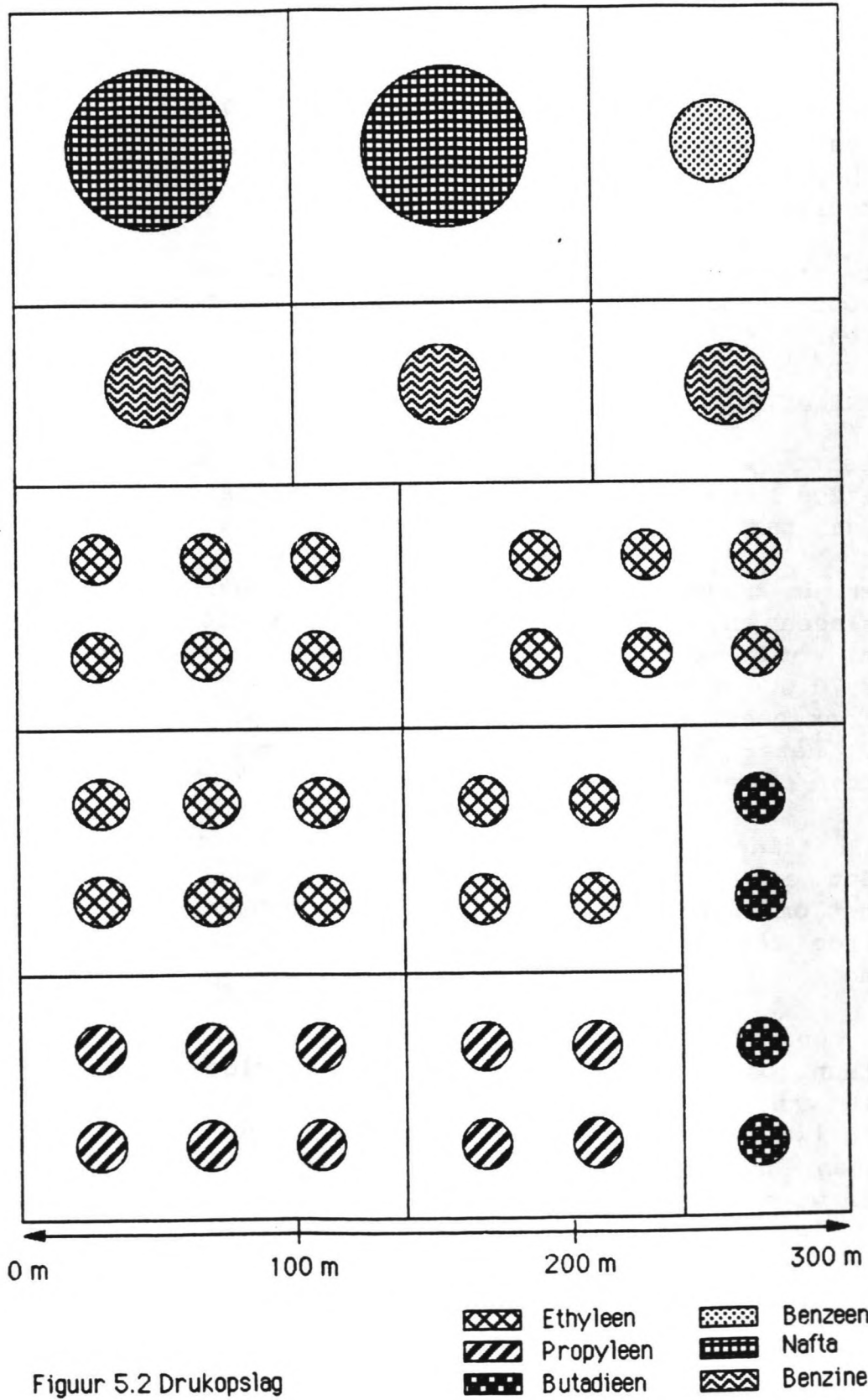
Gezien de hoeveelheid nafta die in 1 maand zou moeten worden opgeslagen en de grootte van de schepen die in de haven aankomen, wordt er in eerste instantie gekozen voor twee tanks die ieder 70.000 m³ vloeistof kunnen bevatten.

Die tank heeft een diameter van ongeveer 65 meter en een hoogte van 20 meter. In dit geval zou een tank met een vast dak en een inwendig drijvend dek op zijn plaats zijn.

Voor benzine zouden er 3 tanks van 10.000 m³ moeten komen. Doordat er minder dan 2 schepen per maand aankomen, is het gewenst om voor 3 schepen in opslag te hebben. Deze tanks zouden dezelfde afmetingen kunnen hebben als de tank voor de benzeen opslag.

Voor benzeen zou met één tank van 10.000 m³ kunnen worden volstaan. Deze tank zou een diameter van globaal 35 meter en een hoogte van 10 meter kunnen voldoen. Omdat de damp van benzeen giftig (kanker verwekkend) is, zal hier afgezien van een vast dak met een inwendig drijvend dek ook aan een dampretour-systeem kunnen worden gedacht.

Tankpark met drukopslag



Figuur 5.2 Drukopslag

de alternatieven

De andere stoffen zijn gassen, het is gebruikelijk om deze stoffen in een vloeibare vorm op te slaan. Het gaat om drie gassen namelijk etheen, propeen en butadieen, er zal gekozen moeten worden tussen drukopslag en gekoelde opslag. De keuze tussen deze twee vormen van opslag zijn onder te verdelen in de volgende keuzekriteria:

- a In welke vorm de stoffen uit de fabriek komen.
- b In welke vorm de stoffen door de schepen vervoer kunnen of moeten worden.
- c De veiligheid van de opslagvormen.
- d De kosten van de opslagvormen.

Eerst zullen beide opslag varianten in twee alternatieven uitgewerkt worden. Beide alternatieven bevatten de drie hierboven gedimensioneerde atmosferische tanks.

2.Drukopslag

het eerste alternatief bestaat uit de variant met drukbollen. Als grootste "tank" zal hier uitgegaan worden van de in Nederland maximaal toegestane maat de 4.000 m³ drukbol.

Gezien de hoeveelheid stof die opgeslagen moet worden zullen er meerdere grote drukbollen nodig zijn. Voor de opslag van propeen worden dat 10 drukbollen, voor butadieen 4 en voor etheen 22 drukbollen, die elk 3.000 m³ groot zullen worden.

Het alternatief is uitgewerkt in figuur 5.2. En in tabel 5.3.2 is gekeken hoeveel het uit maakt als er een grotere tank van 4.000 m³ wordt gekozen. Er zullen dan respectievelijk voor etheen, propeen en butadieen 18, 8 en 3 bollen geplaatst moeten worden. In het geval van de 3000 m³ drukbollen zullen er 36 geplaatst moeten worden en anders 29, dit is een reductie van 20 %.

Effectberekening

Er volgen nu enkele schade-afstanden die bij een explosie of een BLEVE na het totaal falen van drukopslag gelden. Bij een instantane bron is het niet zinvol om de klimaatklasse of de windsnelheid te veranderen. Uit de berekening met de transportleidingen is ook gebleken dat de effect-afstanden niet van de temperatuur afhangen.

303 K D-5	etheen	propeen	butadieen
tankinhoud (m ³)	3.000	3.000	3.000
(ton)	1.710	1.827	1.863
percentage flashverdamping	75	43	19
instantane bron (kg)	1.285.164	781.272	358.626
max. explosieve massa (kg)	1.071.413	537.422	239.508
op afstand (m)	890	1040	680
Explosie			
0.3 bar (m)	400	314	253
0.1 bar (m)	1.199	942	759
0.03 bar (m)	3.995	3.141	2.529
0.01 bar (m)	11.986	9.421	7.589
BLEVE			
diameter vuurbal (m)	627	533	414
brandduur (s)	33	29	24
afstand tot 50% doden (m)	700	570	420
afstand tot 1% doden (m)	900	740	540
1° graadsbrandwonden (m)	1.590	1.300	940

tabel 5.3.1 drukopslag I

Bij klimaatklasse F-2 blijkt dat de kern van de explosieve wolk veel verder van de bron te liggen. Voor etheen, propaan en butadieen gelden respectievelijk de volgende afstanden 1930 m, 2170 m en 1300 m.

n.b. De kern van de wolk ligt in het zwaartepunt van de wolk tussen de LEL en UEL in (zie figuur 6.1).

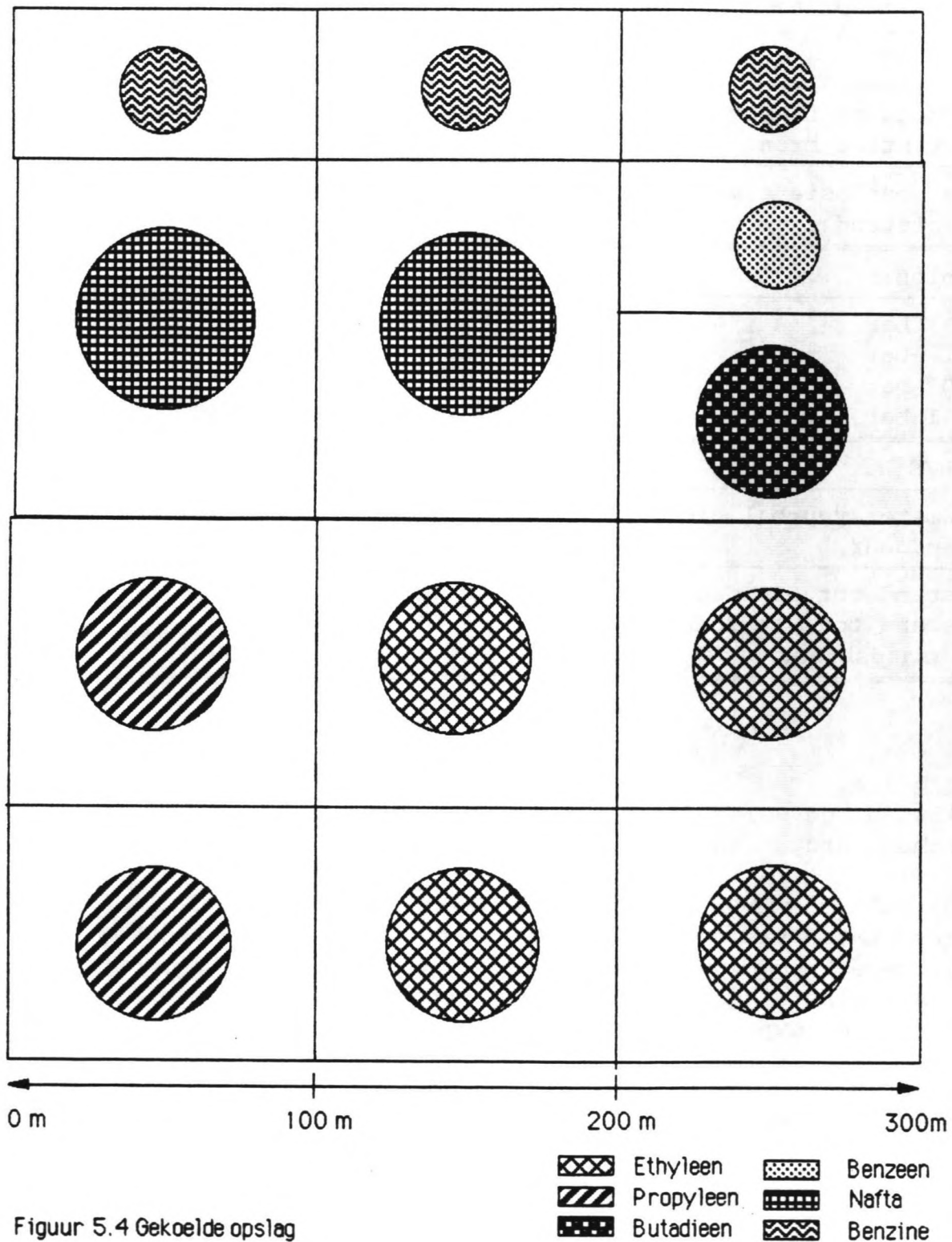
303 K D-5	etheen	propeen	butadieen
tankinhoud (m ³)	4.000	4.000	4.000
(ton)	2.280	2.436	2.484
percentage flashverdamping	75	43	19
instantane bron (kg)	1.713.551	1.041.696	478.168
max. explosieve massa (kg)	1.428.647	716.561	391.338
op afstand (m)	990	1.170	760
Explosie			
0.3 bar (m)	440	346	278
0.1 bar (m)	1.319	1.037	835
0.03 bar (m)	4.397	3.457	2.784
0.01 bar (m)	13.192	10.370	8.353
BLEVE			
diameter vuurbal (m)	688	585	454
brandduur (s)	36	31	26
afstand tot 50% doden (m)	780	640	470
afstand tot 1% doden (m)	1.010	830	610
1° graadsbrandwonden (m)	1.800	1.460	1.060

tabel 5.3.2 drukopslag II

Conclusies:

- Als de hoeveelheid opgeslagen stof met 33 % toeneemt, nemen de schade afstanden in dit geval maar met 10 % toe.
- De schade afstanden moeten bekeken worden in relatie met de resultaten van de gekoelde variant. De afstanden zijn de meest extreme ongelukken en daarbij komt dat de ontsteking plaatsvindt, op het moment dat de meeste explosief gas zich binnen de explosieve grenzen bevindt.
- Zoals in figuur 5.3 te zien is komt de bleve in 25 % van de gevallen voor en een explosie in 44% van de gevallen.

Tankpark met gekoelde opslagtanks



Figuur 5.4 Gekoelde opslag

3. Gekoelde opslag

Zoals in het hoofdrapport naar voren is gekomen kunnen de tanks voor de gekoelde opslag in grotere eenheden voorkomen. Het is gebruikelijk om zo min mogelijk tanks op het terrein te plaatsen. De opslag eenheid wordt hierom zo groot mogelijk gekozen. Er zal gekozen worden voor een soort opslagtank die voor alle stoffen even groot is.

Gezien de hoeveelheid stof die opgeslagen moet worden, is gekozen voor een gekoelde tank met een dubbele wand, met een inhoud van 15.000 m³. Voor de opslag van propaan worden dat er 2, voor butadieen 1 en voor etheen 4 gekoelde tanks. Deze tanks zijn ongeveer 10 meter hoog en 44 meter doorsnede.

De afstand tussen de tanks wordt bepaald op 1.5 à 2 maal de straal van de tank. De verschillende stoffen zullen per stof bij elkaar worden geplaatst. Om de tanks zal een bedijking worden aangebracht waarbinnen ongeveer 120 % van de tankinhoud in opgevangen kan worden. In figuur 5.4 is een indeling van het tankpark gegeven.

Ongevalsscenario's

Het beperkt aantal grote tanks voor gekoelde opslag en de grote verscheidenheid aan constructievormen maken het onmogelijk om op grond van casuïstiek tot verantwoorde ongevalsscenario's te komen. Daarom is gepoogd aan de hand van algemene beschouwingen tot enig inzicht te komen. Bij de uiteindelijke constructie zal aan de veiligheidsaspecten van het definitieve ontwerp gedetailleerde aandacht moeten worden besteed.

Effectberekening

a gaten in de buitentank

Verondersteld is nu dat door een of andere oorzaak zowel de buiten- als de binnentankwand worden gepenetreerd. Tevens is dan op grond van de benodigde energie aan te nemen dat directe ontsteking plaatsvindt. Er kan dan alleen een plasbrand plaatsvinden en deze bleek in hoofdstuk 4 niet maatgevend te zijn.



VAKGROEP
WATERBOUWKUNDE
Afd. Civiele Techniek
TH Delft

- b de verdamping t.g.v. het in de vloeistof vallend dak
 Wanneer het betonnen dak in de tank valt, zal door afkoeling van het dak verdamping van de vloeistof plaatsvinden. Dit effect wordt geschematiseerd als een verdamping uit een ronde plas ter grote van de diameter van de tank.

D-5	etheen	propeen	butadieen
opslagtemperatuur	170 K	226 K	269 K
plasoppervlak (m ²)	1.603	1.603	1.603
plasdiameter (m)	45	45	45
plasverdamping (kg/s)	135	152	164
afstand tot LEL (m)	42	83	69
afstand tot UEL (m)	299	302	401
max. explosieve massa (kg)	4.740	4.081	7.825
Explosie			
0.3 bar (m)	66	62	76
0.1 bar (m)	197	185	227
0.03 bar (m)	656	617	756
0.01 bar (m)	1.968	1.852	2.267

tabel 5.3.3 gekoelde opslag I

F-2	etheen	propeen	butadieen
plasverdamping (kg/s)	66	74	81
afstand tot LEL (m)	113	261	207
afstand tot UEL (m)	1.095	1.071	1.451
max. explosieve massa (kg)	19.789	22.514	33.516
Explosie			
0.3 bar (m)	106	109	123
0.1 bar (m)	317	327	368
0.03 bar (m)	1.056	1.091	1.227
0.01 bar (m)	3.169	3.273	3.682

tabel 5.3.4 gekoelde opslag II

Conclusies

- Bij gekoelde opslag gaat het om 15.000 m³ opgeslagen stof en bij de variant onder druk om eenheden van 3.000 m³. De opslag capaciteit wordt 5 maal zo groot, maar de effectafstand neemt met ongeveer met 5 maal af! (van 2000 meter naar 400 meter). Hier zit een factor vijf tussen, nu kan niet meteen gezegd worden dat de gekoelde variant vijf keer zo veilig is, maar dit is wel een indicatie dat gekoelde opslag veiliger kan zijn.

Enkele kanttekeningen:

- Het aantal tanks is bij de gekoelde opslag (zeven) en bij druk opslag (36). Aangenomen wordt dat elke tank of drukkool even veilig is geconstrueerd. Er zijn 5 maal zo veel drukkollen nodig. De kans dat een bol of een tank faalt is hetzelfde, maar de kans dat een tweede tank of bol faalt is afhankelijk van verschillende factoren. Enkele factoren zijn:
 - a de onderlinge afstand van de tanks,
 - b de sterkte van de tanks,
 - c de aard van de fysische effecten die mogelijk zijn bij een opslag vorm.
- Er is bij de drukopslag gebleken dat bij vergroten van de opslageenheid er geen rechtlijnig verband betaamt tussen het percentage van de vergroting van de opslag capaciteit en de effect-afstanden.
- Ook is het het ongevalsscenario niet hetzelfde. En is de kans op de twee verschillende ongevallen niet hetzelfde.

Wel gaat het in beide gevallen om het grootst denkbare ongeval en in die context zijn deze varianten wel te vergelijken.

4.2.4. De overslagleidingen

Beschrijving van het systeem.

Na het afmeren van de tanker wordt de laadarm van de walinstallatie gekoppeld aan het manifold van het zeeschip. Met de leiding wordt ook de koppeling met het schip bedoeld. De pompcapaciteit is afhankelijk van:

- De grootte van de afgemeerde tanker.
- De maximale capaciteit welke de walinstallatie kan verwerken (ongeveer 5000 m³/h).

Mogelijke ongewenste gebeurtenissen.

Tijdens de overslag van het zeeschip naar de opslagtank kunnen verschillende ongewenste gebeurtenissen optreden. De volgende twee gebeurtenissen worden beschouwd:

- Breuk van het manifold, met als gevolg uitstroming op het water.
- Breuk van de transportleiding in de walinstallatie, met als gevolg uitstroming op land.

Dit zijn de twee gebeurtenissen, waarbij de grootst mogelijke hoeveelheid per tijdseenheid vrijkomt.

Effectberekening

Bij de drukvariant kunnen dezelfde gegevens als bij uitstroming in het water uitgevoerd worden. Dit is geoorloofd om de volgende redenen:

- Bij de drukvariant vindt hoofdzakelijk flash-verdamping plaats waardoor de stof de grond of het water niet bereikt.
- De plas die ontstaat zal snel verdampen ongeacht het medium waarop de stof zich bevindt.

Case study "Ennore"

Aangenomen wordt, dat er 5 minuten verlopen, voordat de pompen gestopt worden, en dat door vermindering van de tegendruk bij de pompen het debiet met 15 % toeneemt.

Continu 303 K D-5	etheen	propeen	butadien
pompcapaciteit (m ³ /h)	880	828	756
+15 % (kg/s)	157	161	150
percentage flashverdamping continue bron (kg/s)	75 % 118	43 % 69	19 % 29
afstand tot LEL (m)	54	59	29
afstand tot UEL (m)	290	193	142
max. explosieve massa (kg)	3435	113	401
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	59	40	28
0.1 bar (m)	177	120	84
0.03 bar (m)	589	403	280
0.01 bar (m)	1768	1208	842

tabel 5.4.1 Overslag I

Continu 303 K F-2	etheen	propeen	butadien
afstand tot LEL (m)	397	329	149
afstand tot UEL (m)	1675	1098	750
max. explosieve massa (kg)	49164	1529	5489
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	143	97	67
0.1 bar (m)	429	292	201
0.03 bar (m)	1430	972	672
0.01 bar (m)	4291	2.916	2.015

tabel 5.4.2 Overslag II

Conclusies:

- Doordat voor etheen de grootste pompcapaciteit wordt verlangd zijn deze effect-afstanden maatgevend.
- Bij de overslag blijkt vaak kleinere en grote fouten te worden gemaakt. Dit komt doordat bij de overslag elke keer opnieuw een verbinding tussen de wal en het schip gemaakt moet worden.
De gevolgen voor de veiligheid zijn tweeledig namelijk:
 - a Men zorgt er voor dat de reactietijd waarin de afsluiters gesloten kunnen worden zo klein mogelijk is. Het beste is in dit geval automatische afsluiting.
 - b Men houdt er rekening mee door de afstand van de kade tot het tankpark zo groot te maken dat er geen domino-effecten kunnen optreden.
- Het zou zinvol zijn om te berekenen hoeveel het uit maakt als de tijd waarin de afsluiters dicht gaan gehalveerd worden. In het computerprogramma is het niet mogelijk om een bepaalde tijdsduur aan een continue bron te geven. Een schatting die naar aanleiding van alle berekeningen gemaakt zou kunnen worden is de volgende:
 - Als de instantane bron met een factor 10 verhoogt, wordt de effect-afstand gehalveerd. Dit is geen instantane bron, maar hier is te zien dat als de bron halveert de effect-afstand ongeveer met 10% afneemt.

Het resultaat is niet zodanig dat er veel geïnvesteerd zou moeten in de apparatuur om de afsluitertijd tot een minimum te beperken. De afsluitertijd wordt aangenomen op 5 minuten na het breken van de manifold.

- De afstand waar geen zware schade kan ontstaan, kan in eerste instantie op 300 meter gesteld worden.
n.b. = afstand van de bron tot de kern (tussen LEL en UEL)
+ de 0.1 bar schade cirkel
klimaat klasse d-5 komt in 85 % van de gevallen voor en F-2 in 15 % van de gevallen daar uit volgt dat $0.85 * \text{de waarde van D-5} + 0.15 * \text{de waarde van F-2}$.

2 Een vloeibaar gemaakt gas door koeling

Falen van het manifold (uitstroming op water).

Bij directe ontsteking van de vrijkomende gekoelde stoffen ontstaat een plasbrand gedurende de uitstroomtijd (5 minuten). Bij vertraagde ontsteking ontstaat een plas waaruit verdamping plaatsvindt, zodat een explosie kan plaatsvinden.

Bij gekoelde gassen of gassen die onder druk vloeibaar zijn gemaakt is afsluiting van een havenbekken weinig zinvol. Alleen bij vrijkomen van olie en andere vloeistoffen kan door middel van afsluiting van de havenbekken een reductie van de plas bereikt worden. Een oppervlak van 400 bij 500 meter (een havenbekken) is voor een olieplas klein te noemen, maar als verdampingsoppervlak van een gekoeld gas heel groot, zoals uit de volgende berekening zal blijken.

Voor de berekening van de effect-afstanden voor gekoelde gassen wordt er uitgegaan van een bepaalde plas waaruit het gas verdampt.

Door de verdamping, die constant wordt gesteld, wordt een continue bron gecreëerd.

Bij deze berekening is een plas 40 bij 40 meter aangenomen. De DCMR (Dienst Centraal Milieubeheer Rijnmond) gebruikt deze waarde als maatgevend voor plassen die ontstaan na kritiek falen van een pijpleiding.

Case study "Ennore"

Deze berekening zullen twee klimaatklassen worden gebruikt namelijk D-5 en F-2.

D-5	etheen	propeen	butadieen
opslagtemperatuur	170 K	226 K	269 K
plasbreedte (m)	40	40	40
plaslengte (m)	40	40	40
plasverdamping (kg/s)	34	38	42
afstand tot LEL (m)	17	35	29
afstand tot UEL (m)	127	128	170
max. explosieve massa (kg)	505	438	836
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	31	29	36
0.1 bar (m)	93	88	108
0.03 bar (m)	311	293	359
0.01 bar (m)	933	880	1.076

tabel 5.4.3 Overslag III

F-2	etheen	propeen	butadieen
opslagtemperatuur	170 K	226 K	269 K
plasbreedte (m)	40	40	5
plaslengte (m)	40	40	40
plasverdamping (kg/s)	17	19	6,54
afstand tot LEL (m)	44	103	95
afstand tot UEL (m)	425	430	597
max. explosieve massa (kg)	2.001	2.277	3.534
Deflagratie			
straal van de schade cirkels			
0.3 bar (m)	49	51	58
0.1 bar (m)	148	152	174
0.03 bar (m)	492	508	580
0.01 bar (m)	1.476	1.525	1.740

tabel 5.4.4 Overslag IV

Conclusies:

- Uit de berekeningen blijkt dat hier geldt dat de schadeafstanden bij gekoelde gassen halveren t.o.v. de afstanden die bij overslag van gassen onder druk gelden. Bij het tankpark is dit verschil groter, namelijk de afstanden worden vijf maal kleiner. Dit is te verklaren doordat er op de kade een grotere plas kan ontstaan waardoor de verdamping versnelt.
- Bij de kade moet een open aanlegconstructie ontworpen worden. Als de stof tussen de wal en het schip raakt kan deze door deze open constructie niet opgesloten worden. Als de stof wordt opgesloten is het fysische-effect sterker, waardoor het schip aanzienlijke schade kan oplopen.
- Hier zal een zone van 150 meter een aanvaardbare keuze kunnen zijn.

4.2.5.Type en aantal schepen

Voor de lokatie keuze van de aanlegplaats voor tankschepen en de aanvaarroute van deze schepen, is het van belang om te weten wat de potentiële effecten zijn. Hiervoor moeten de schepen die in de haven aanleggen nader onderzocht worden.

Voor de ruwe olie zijn 24 schepen van 60.000 DWT nodig. Op de grootte van het schip wordt verder niet ingegaan. Deze schepen zijn niet maatgevend voor de effect berekening.

Wel kan gekeken worden naar de geuldiepte maar die wordt bepaald door de diepgang van de erts carriers, waardoor een geuldiepte van 17.5 meter is bepaald. Als besloten wordt voor schepen van 100.000 DWT kan gedacht worden aan een SBM, waardoor de geul niet uitgediept hoeft te worden. Maar dit ligt buiten het onderwerp van dit afstudeerverslag.

Gezien de hoeveelheid stof hebben de schepen, die geschikt zijn voor het vervoer onder druk vloeibaar gemaakte gassen, een grote aankomst frequentie. Gezien het aantal schepen die nu in India operationeel zijn zullen extra schepen aangekocht moeten worden.

In tabel 3.1 zijn de tonnages onderstreept van schepen die het meest gangbaar zijn. Zoals te zien in de tabel komen er jaarlijks ongeveer 270 schepen van 3.000, 5.000 en 10.000 Ton.

Beschrijving van een 5000 m³ schip (druk tank).

Dit schip wordt aangenomen representatief te zijn voor alle druk tank schepen.

Het schip heeft de volgende basisgegevens:

lengte	107.7	m
breedte	15.4	m
diepgang	7.45	m
verplaatsing	6.035	ton
kruissnelheid	16	knopen
motor vermogen	5.400	pk
pompcapaciteit	500	m ³ /u
minimale ladingtemperatuur	-48	°C
maximale overdruk	7.5	Bar

Het schip heeft drie afzonderlijke ladingtanks:

maximale werkdruk	7.5	Bar
minimale werkdruk	0.2	Bar
capaciteit	tank 1	1.260 m ³
	tank 2	2.100 m ³
	<u>tank 3</u>	<u>2.160 m³</u>
	totaal	5.520 m ³

303 K D-5	etheen	propeen	butadien
tankinhoud (m ³)	2.100	2.100	2.100
(ton)	1.197	1.279	1.304
percentage flashverdamping	75	43	19
instantane bron (kg)	898.111	546.933	251.019
max. explosieve massa (kg)	747.754	376.250	205.398
op afstand (m)	770	910	600
Explosie			
0.3 bar (m)	355	279	225
0.1 bar (m)	1064	837	674
0.03 bar (m)	3545	2789	2246
0.01 bar (m)	10636	8366	6738
BLEVE			
diameter vuurbal (m)	558	475	369
brandduur (s)	30	26	22
afstand tot 50% doden (m)	600	490	360
afstand tot 1% doden (m)	780	640	470
1° graadsbrandwonden (m)	1370	1120	810

tabel 5.5.1 De schepen I

Conclusies:

- De resultaten komen overeen met de resultaten van het tankpark. De drukbollen zijn 33% kleiner en de afstanden nemen met ongeveer 11% af.
- Doordat bij een aanvaring in veel gevallen een ontstekingsbron aanwezig is komt de BLEVE of de fakkel in 75% van de gevallen voor. Het blijkt dat als het schip in brand staat er een kans is van 0.075 bestaat dat een tweede tank door deze brand gaat lekken. De effect afstanden zullen hierdoor niet toenemen wel zal de brand langer duren, waardoor de hitte uitstraling groter wordt.
- De BLEVE heeft effect tot ongeveer op 750 meter. De explosie tot ongeveer 1750 meter.
- De haven is 1 à 1.5 km breed het zou gezien de afstanden van de fysische-effecten wenselijk zijn om een aparte haven bekken voor deze schepen ter beschikking te stellen.
- Aan de kade zullen soms twee schepen aanleggen waardoor de kans op een domino-effect toeneemt. De kans dat een tweede tank lek slaat als gevolg van een brand op dat schip is 0.075 kleiner dan de kans op het eerste ongewenste effect. De kans dat een schip in de buurt hierdoor nog schade ondervindt is daarom nog veel kleiner.

Op twee manieren zou deze kans nog verder gereduceerd kunnen worden:

- a Een restrictie beleid om niet twee druktankers tegelijkertijd af te laten meren.
- b De twee druktankers zo ver van elkaar afmeren zodat de fysische-effecten geen invloed meer op elkaar kunnen hebben.

Een nadeel zijn de kosten die zich in beide gevallen voordoen, respectievelijk wachtkosten en investeringskosten.

beschrijving van een 53.000 m³ schip (met koeling)

Dit schip wordt representatief verondersteld voor de schepen uit deze klasse. Het schip uit deze klasse is geschikt om ammonia, propaan, propeen, butaan, butadien en andere aan deze stoffen gerelateerde ladingen te vervoeren.

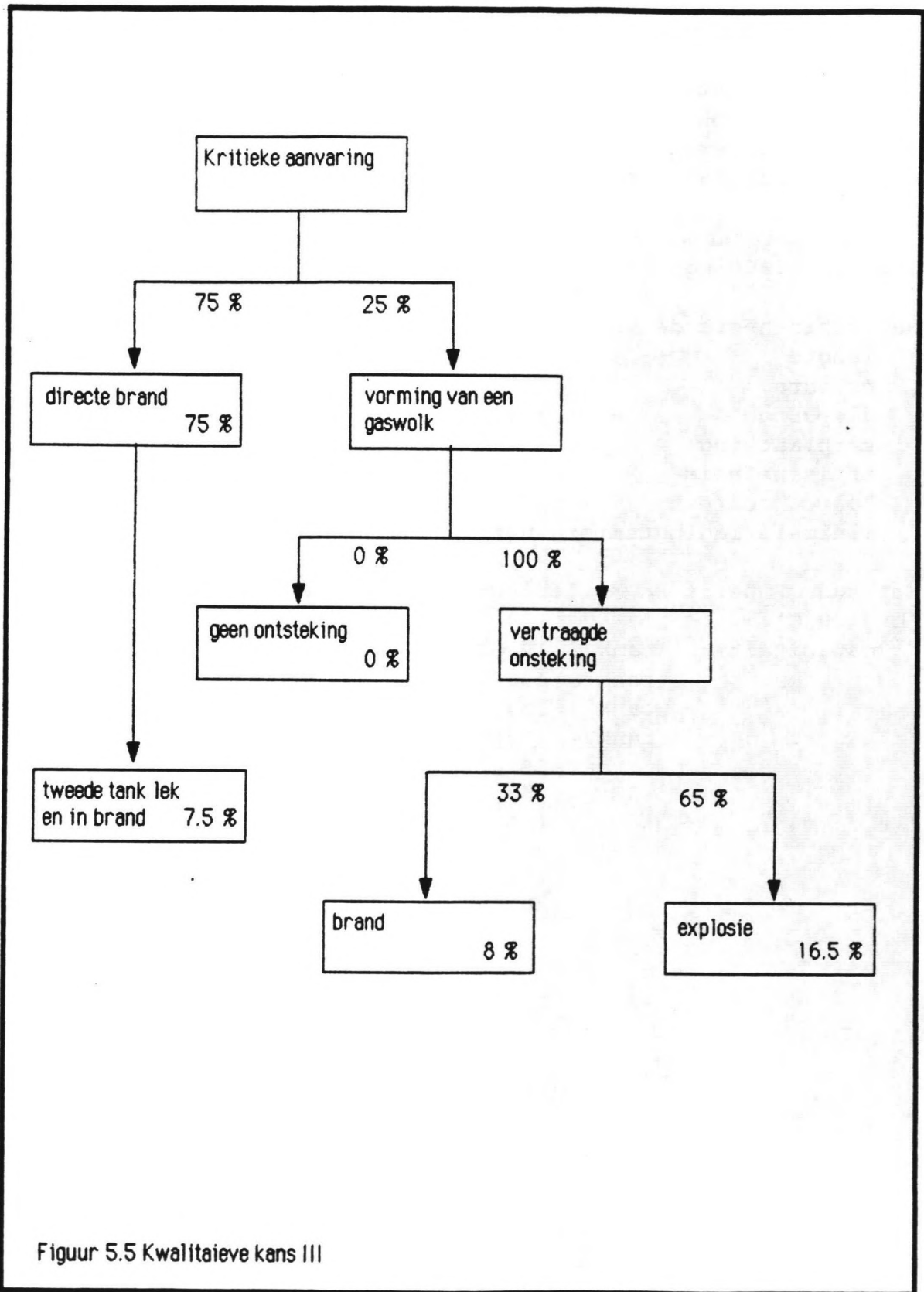
De minimum temperatuur van de lading is -48°C. En de maximale druk is 0.300 kg/cm².

Het schip heeft de volgende basisgegevens:

lengte	216.4	m
breedte	32.3	m
diepgang	18.4	m
verplaatsing	35.824	ton
kruissnelheid	17	knopen
pompcapaciteit	3040	m ³ /u
minimale ladingtemperatuur	-48	°C

Het schip heeft vier ladingtanks met de volgende capaciteiten (bij 20°C):

capaciteit	tank 1	12.888	m ³
	tank 2	13.751	m ³
	tank 3	13.751	m ³
	<u>tank 4</u>	<u>13.034</u>	<u>m³</u>
	totaal	53.424	m ³



Figuur 5.5 Kwalitaieve kans III

Bepaling mogelijke aanvaringsschade

De mogelijke maximale schade aan de omgeving, veroorzaakt door een tankschip die de haven van Ennore nadert, ontstaat na het falen van de ladingomhulling ten gevolge van:

- 1 aanvaring
- 2 stranding

Deze schepen zijn zo geconstrueerd dat ze een bepaalde penetratie kunnen weerstaan voordat de ladingtanks geraakt worden. Onder een kritisch ongeval wordt verstaan:

- grote schade aan de scheepsromp
- gaten met een oppervlak groter of gelijk aan 1 m²
- breken van de romp

Aangezien geen betrouwbaar kwantitatief model beschikbaar is voor de beschrijving van de scheepsschade t.g.v. een stranding, wordt de uitstroming na stranding van gelijke grootte beschouwd als de uitstroming na een aanvaring, t.w. instantane uitstroming van de gehele tankinhoud.

Effectberekening

De effectberekeningen zijn uitgevoerd voor het ongevalsscenario waarbij de inhoud van één ladingtank vrijkomt.

- Directe ontsteking
- Indirecte ontsteking

D-5	etheen	propeen	butadien
tankinhoud (m ³)	13.000	13.000	13.000
uitstromingsgat (m)	0.20	0.20	0.20
continue bron (kg/s)	153	163	176
opslagtemperatuur	170 K	226 K	169 K
plasoppervlak (m ²)	9.613	9.614	9.614
plasdiameter (m)	111	111	111
plasverdamping (kg/s)	736	828	894
afstand tot LEL (m)	120	240	197
afstand tot UEL (m)	859	868	1.152
max. explosieve massa (kg)	73.959	63.637	122.060
Explosie			
0.3 bar (m)	164	154	189
0.1 bar (m)	492	463	566
0.03 bar (m)	1.639	1.542	1.888
0.01 bar (m)	4.917	4.627	5.665

tabel 5.5.2 schepen II

F-2	etheen	propeen	butadien
plasverdamping (kg/s)	361	405	438
afstand tot LEL (m)	334	786	621
afstand tot UEL (m)	3.233	3.265	4.429
max. explosieve massa (kg)	327.804	371.953	554.710
Explosie			
0.3 bar (m)	269	278	312
0.1 bar (m)	808	833	938
0.03 bar (m)	2.692	2.778	3.128
0.01 bar (m)	8.077	8.334	9.383

tabel 5.5.3 schepen III

Conclusies:

- De plas is in dit geval rond en heeft een diameter van 111 meter. Afsluiting van de havenbekken heeft in dit geval weinig nut, een bekken is 3 à 4 honderd meter breed.
- Bij de druk variant doen ongeveer 192 "drukschepen" de haven aan. Bij de gekoelde variant doen ongeveer 31 schepen de haven aan. Dit is een reductie van 84% er komen 6 maal minder "gevaarlijke" schepen de haven binnen. Volgens een ongevallenstudie van het N.M.I. (Nederlands Maritiem Instituut) is de kans dat een groot schip (> 20.000 DWT) een ongeluk krijgt 2.5 à 3 maal groter dan bij kleinere schepen. De totale kans op een ongeluk wordt in ieder geval gereduceerd bij de gekoelde variant (een hele ruwe schatting is dat de kans halveert).
- De effect afstanden liggen tussen de 1000 en 2500 meter voor respectievelijk de klimaatklasse D-5 en F-2. Dit is groot en is vooral te wijten aan het grote verdampingsoppervlak. Hierbij moet vermeld worden dat in 83% van de gevallen (directe) brand uit breekt en die is bij gekoelde gassen niet maatgevend! De explosie komt in 16.5 % van de gevallen voor.

Kanttekening:

- In eerste instantie was er van uitgegaan dat de stoffen onder druk zouden worden opgeslagen en vervoerd (zie gegevens hoofdstuk 3). Ten opzichte van de drukvariant veranderen de volgende gegevens:
 - a Het totaal aantal schepen wordt gereduceerd van 293 naar 109, waardoor kan worden aangenomen dat er nog maar één aanlegplaats nodig is. Waardoor het domino-effect niet meer kan optreden bij schepen.
 - b Er wordt aangenomen dat gecombineerd vervoer mogelijk is. De maandelijkse produktie van propeen en butadieen is namelijk te klein voor afzonderlijk vervoer in één schip.
- Voor het vervoer van gekoelde gassen moet een geheel nieuwe vloot aangeschaft worden. Bij deze schepen is een laadvermogen van 50.000 m³ een geschikte maat. Alleen moet er rekening worden gehouden vooral bij het kostenplaatje dat schepen een diepgang van 10 meter hebben en de geuldiepte in de haven moet hiervoor zeker aangepast moet worden.

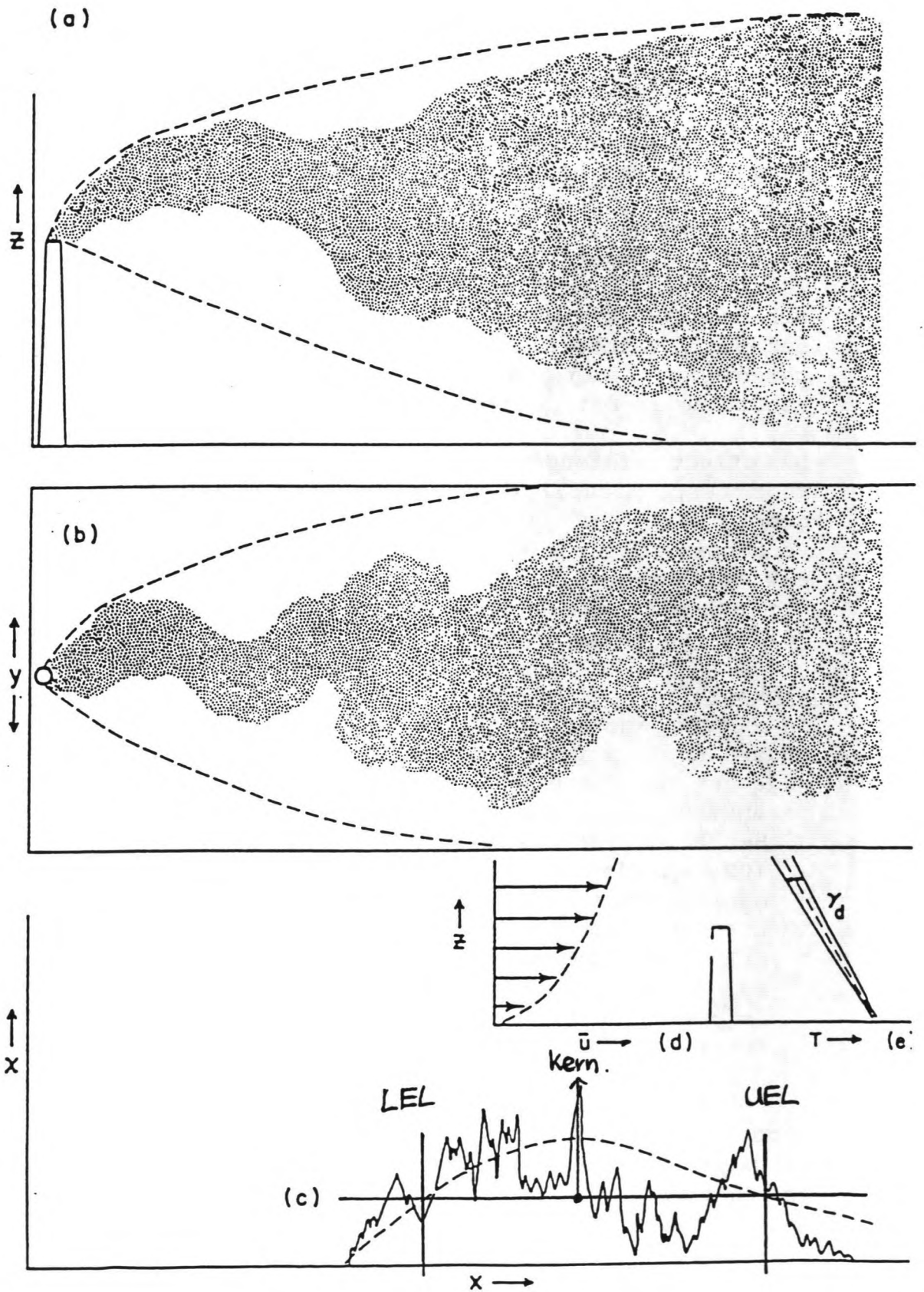


FIG. 61-2 NEAR NEUTRAL ("CONING")

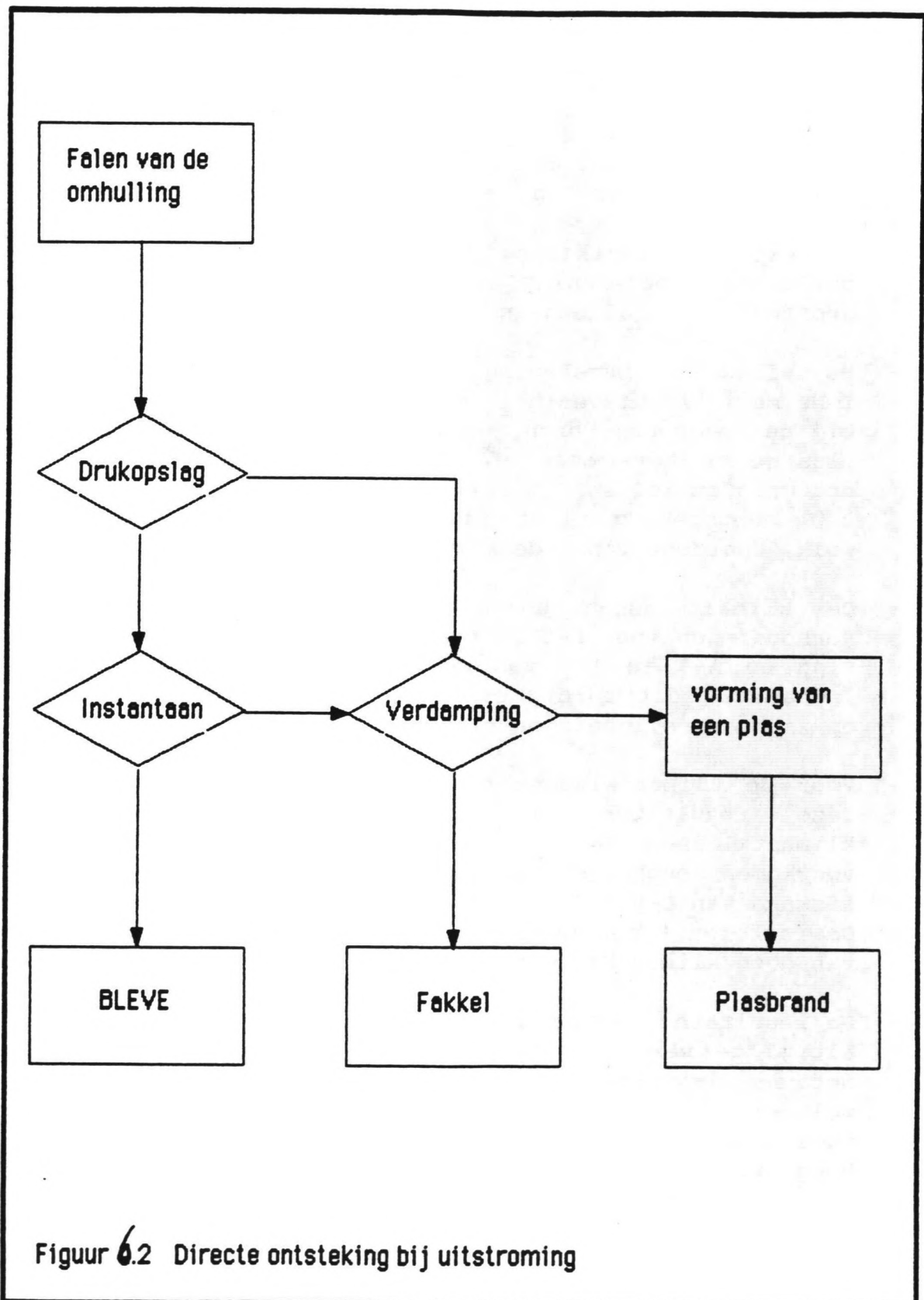
6. De lokatiekeuze

6.1. Samenvatting van de conclusies

6.1.1. De aannames

Bij de conclusies moeten de volgende kanttekeningen geplaatst worden:

- De explosie berekening heeft alleen betrekking op een deflagratie berekening en geen detonatie berekening. Deze stoffen kunnen alleen in gesloten ruimten detoneren.
- De deflagratie berekening gaat uit van twee aannames:
 - 1 De maximale hoeveelheid explosieve stof, die kan optreden bij de beschouwde bron, wordt berekend. De ontsteking vindt plaats op het moment dat de hoeveelheid explosieve stof het grootst is.
 - 2 De ontsteking vindt plaats in het zwaartepunt van de wolk, daardoor vindt de maximale explosie plaats.
- De klimaatklassen komen in Nederland in de volgende verhoudingen voor D-5 in 60% van de tijd, F-2 in 25% van de tijd en A-3 in 10% van de tijd. Gezien de windtabel van India komt dit aardig overeen. De klimaatklasse is getest op zijn gevoeligheid en niet op kans van voorkomen.
- Voor de klimaatklassen gelden verschillende resultaten om deze resultaten te kunnen vergelijken worden de klimaatklassen D-5 en F-2 met de geldende kans van voorkomen geschaald. dit gebeurt met de volgende formule:
afstand van D-5 * 0.75 + afstand van F-2 * 0.25 = resultaat
De factoren komen overeen met de percentages van voorkomen van deze klimaatklassen.
- De resultaten van de druk en de gekoelde variant zijn niet altijd te vergelijken. Als de berekening wordt uitgevoerd met een instantane bron wordt de kern van de explosieve wolk gegeven. Als het gaat om een continue bron worden de twee explosie grenzen gegeven, namelijk de laagste en de hoogste. Voor de vergelijking van de twee bronnen moet de kern van de explosieve wolk gevonden worden. Voor de instantane bron is die bekend. Voor de continue bron moet de kern gevonden worden. Deze kern ligt dichterbij de



Figuur 6.2 Directe ontsteking bij uitstroming

laagste explosie grens, dit komt doordat de LEL het dichtst bij de bron ligt.

Er wordt hier aangenomen dat de kern midden tussen de twee explosie grenzen ligt. Verder wordt aangenomen dat de ontsteking in die kern plaatsvindt (zie figuur 6.1).

6.1.2. De conclusies

Om tot een lokatiekeuze te komen moet eerst bekeken worden welke fysische-effecten ongewenst schade veroorzaken buiten een bepaald sub-systeem. Glasschade en zware glasschade respectievelijk de 0.01 bar en 0.03 bar grens kunnen voor de lokatiekeuze buiten de beschouwing worden gelaten.

De schade waarbij een domino-effect kan optreden en schade waarbij de apparatuur en de gebouwen beschadigd worden zijn van belang. Onder een domino-effect wordt een effect verstaan dat een nieuw fysisch-effect kan veroorzaken. Een voorbeeld hiervan is dat de brokstukken van een opslagtank in een naburige tank penetreren.

De conclusies en resultaten van de berekeningen in het vorige hoofdstuk zullen in deze paragraaf zo beknopt mogelijk weer worden geven zonder dat er relevante gegevens verloren gaan. Dit hoofdstuk laat zich lezen zonder de hiervoor opgestelde tabellen te raadplegen.

De sub-systemen worden apart behandeld waarna de lokatiekeuze kan plaatsvinden:

1. de etheen fabriek.

De fabriek wordt zo geplaatst dat er geen zware schade aan de fabriek en de proces apparatuur kan optreden door een effect van een ander sub-systeem. De eis wordt daardoor dat de fabriek buiten de 0.1 bar overdruk cirkel ligt.

In dit geval gaat het voornamelijk om de plaatsing van de fabriek ten opzichte van het tankpark. Aangezien op het fabrieksterrein zelf geen stoffen in grote hoeveelheden worden opgeslagen is het aannemelijk dat de effect-afstanden van het tankpark maatgevend zijn.

2. De transportleidingen.

I. Resultaten van de berekening met de druk variant:

- Doordat voor etheen de grootste pompcapaciteit wordt verlangd zal bij een breuk hier de meeste stof uitstromen. Deze effect afstanden worden hierdoor maatgevend.
- Na een kwalitatieve analyse van de fysische effecten die optreden na een kritieke pijpbreuk kunnen de volgende indicaties gegeven worden:
 - a een directe brand (33%)
 - Een BLEVE treedt alleen op bij een instantane bron.
 - Een fakkel of een plasbrand, zijn beide niet maatgevend voor dit probleem.
 - b geen ontsteking (17%)
 - Als de wind in de richting van de zee waait is de kans klein dat er 'vertraagde' ontsteking plaatsvindt. Dit is afgezien van het gegeven dat er een normale kans bestaat op geen ontsteking. Bij de lokatiekeuze zal hier rekening mee gehouden moeten worden.
 - c een brand (17%)
 - Een fakkel kan alleen voorkomen als de continue bron nog niet is uitgewerkt.
 - Een plasbrand is hier het meest waarschijnlijke effect.
 - d een explosie (33%)
 - Bij kritieke breuk van de transportleidingen is deflagratie het meest ongewenste effect en zal gebruikt worden voor de lokatiekeuze.
- Voor etheen worden hier de relevante gegevens opnieuw opgesomd:
(hier zitten de klimaatklassen in verwerkt)
 - de laagste explosiegrens ligt op 24 meter
 - de hoogste explosiegrens ligt op 135 meter
 - de 0.3 bar overdruk grens ligt op 22 meter
 - de 0.1 bar overdruk grens ligt op 65 meter

II. Resultaten van de berekeningen met de gekoelde variant:

- Doordat de opslagtemperatuur van etheen veel lager is dan de opslagtemperatuur van propeen en butadieen, komen de resultaten weer redelijk overeen.
- Er moet een goede bedijking komen, waardoor het verdampingsoppervlak kleiner wordt. Met een beperkt verdampingsoppervlak zullen ook de effect afstanden beperkt worden.
- Na een kwalitatieve analyse van de fysische effecten die optreden na een kritieke pijpbreuk kunnen voor cryogene stoffen de volgende indicaties gegeven worden:
 - a directe brand en brand met vertraagde ontsteking (50%)
 - Bij cryogene opslag kan alleen een plasbrand optreden.
 - b geen ontsteking (17%)
 - c een explosie (33%)
 - Voordat een grote explosie wolk is ontstaan, verstrijkt er bij cryogene stoffen een langere tijd dan bij stoffen onder druk. Hierdoor is er meer tijd om voorzorgsmaatregelen te treffen, zodat de ramp beperkt zou kunnen worden.
- Voor etheen, propeen en butadieen worden de gemiddelde waarden van de resultaten opgesomd:
voor een plas van 5 bij 40 meter gelden de volgende afstanden:
 - de laagste explosiegrens ligt op 15 meter
 - de hoogste explosiegrens ligt op 75 meter
 - de 0.3 bar overdruk grens ligt op 12 meter
 - de 0.1 bar overdruk grens ligt op 40 meter

3. Het tankpark

I. Resultaten van de berekening met de druk variant:

- Als de hoeveelheid opgeslagen stof met 33 % toeneemt, nemen de schade afstanden in dit geval maar met 10 % toe.
- Na een kwalitatieve analyse van de fysische effecten die optreden na falen van de opslagtank kunnen de volgende indicaties gegeven worden:
 - a een directe brand (25%)
 - b geen ontsteking (7.5%)
 - c een 'vertraagde' brand (23.5%)
 - d een explosie (44%)De explosie is het effect dat het meest voorkomt, dit is te verklaren doordat op het opslagterrein overdag allerlei ontstekingsbronnen aanwezig zijn.
- Voor etheen, propeen en butadieen worden de gemiddelde waarden van de resultaten opgesomd:
bij de klimaatklasse D-5 en een drukbol van 3.000 m³ gelden de volgende afstanden:
 - de kern van de explosieve wolk ligt op 1175 meter
 - de 0.3 bar overdruk grens ligt op 400 meter
 - de 0.1 bar overdruk grens ligt op 1200 meterBij een BLEVE geldt:
 - de afstand tot 50% doden ligt op 700 meter
 - de afstand tot 1% doden ligt op 900 meterBij de afstand waarop de kern ligt worden met de formule en de klimaatklassen D-5 en F-2 berekend. De andere waarden blijven hetzelfde.
- Hier wordt gekozen voor de drukbollen met een capaciteit van 3.000 m³. Dit gebeurt om de volgende redenen:
 - a Bij de kleinere bollen is het technisch mogelijk om deze bollen te overdimensioneren zodat een hoger veiligheidsniveau bereikt kan worden.
 - b De schepen die de stof afvoeren hebben dezelfde capaciteit.
 - c De schade afstanden zijn kleiner dan bij de grotere opslag, toch blijven de afstanden veel groter dan bij de gekoelde variant.

II. Resultaten van de berekeningen met de gekoelde variant:

- Bij gekoelde opslag gaat het om 15.000 m³ opgeslagen stof en bij de variant onder druk om eenheden van 3.000 m³. De opslag capaciteit wordt 5 maal zo groot, maar de effect-afstand neemt met ongeveer met 5 maal af!
- Bij gunstige weersomstandigheden is het bij de gekoelde variant minder waarschijnlijk dat er een domino-effect optreedt terwijl bij de druk variant de onderlinge afstanden veel kleiner zijn dan de effect-afstanden. Bij de drukvariant treedt het domino-effect bij deze ongevallen altijd op.
- Voor etheen, propeen en butadien worden de gemiddelde waarden van de resultaten opgesomd:
Voor een plasdiameter van 45 meter gelden de volgende afstanden:
 - de laagste explosiegrens ligt op 100 meter
 - de hoogste explosiegrens ligt op 560 meter
 - de 0.3 bar overdruk grens ligt op 80 meter
 - de 0.1 bar overdruk grens ligt op 235 meter

4. De overslagleidingen

I. Resultaten van de berekeningen met de druk variant:

- Uit de ongevallendata blijkt dat ongelukken bij de overslag relatief gezien het meest voorkomen. Voor de beoordeling van de resultaten heeft dit tot gevolg dat de effectafstanden strikt nageleefd moeten worden.
- Voor etheen, propeen en butadieen worden de gemiddelde waarden van de resultaten opgesomd:
 - de laagste explosiegrens ligt op 135 meter
 - de hoogste explosiegrens ligt op 635 meter
 - de 0.3 bar overdruk grens ligt op 80 meter
 - de 0.1 bar overdruk grens ligt op 230 meter

II. Resultaten van de berekeningen met de gekoelde variant:

- Uit de berekeningen blijkt dat hier geldt dat de schadeafstanden bij gekoelde gassen halveren t.o.v. de afstanden die bij overslag van gassen onder druk gelden.
- Voor etheen, propeen en butadieen worden de gemiddelde waarden van de resultaten opgesomd:
Voor een plas van 40 bij 40 meter gelden de volgende afstanden:
 - de laagste explosiegrens ligt op 45 meter
 - de hoogste explosiegrens ligt op 230 meter
 - de 0.3 bar overdruk grens ligt op 35 meter
 - de 0.1 bar overdruk grens ligt op 105 meter

5. De zeeschepen

I. Resultaten van de berekeningen met de druk variant:

- De resultaten komen overeen met de resultaten van het tankpark. De drukbollen zijn 33% kleiner en de afstanden nemen met ongeveer 11% af.
- Na een kwalitatieve analyse van de fysische effecten die optreden na een kritieke pijpbreuk kunnen de volgende indicaties gegeven worden:
 - a een directe brand (75%)
 - Een BLEVE treedt alleen op bij een instantane bron.
 - Een fakkel of een plasbrand, zijn beide niet maatgevend voor dit probleem.
 - b geen ontsteking (0%)
 - c een brand (8%)
 - Een fakkel kan alleen voorkomen als de continue bron nog niet is uitgewerkt.
 - Een plasbrand is hier het meest waarschijnlijke effect.
 - d een explosie (17%)
 - Bij kritieke breuk van de transportleidingen is deflagratie het meest ongewenste effect.
- De haven is 1 à 1.5 km breed. Het zou gezien de afstanden van de fysische-effecten wenselijk zijn om een apart havenbekken voor deze schepen ter beschikking te stellen.
- Aan de kade zullen soms twee schepen aanleggen, waardoor de kans op een domino-effect toeneemt. De kans dat een tank lek slaat als gevolg van een brand op dat schip is 0,075. De kans dat andere schepen in de buurt een lek oplopen zal nog kleiner zijn.
Op twee manieren zou deze kans nog verder gereduceerd kunnen worden:
 - a Een restrictie beleid om niet twee druktankers tegelijkertijd af te laten meren.
 - b De twee druktankers zo ver van elkaar afmeren zodat de fysische-effecten geen invloed meer op elkaar kunnen hebben.In beide gevallen worden de kosten hoger, respectievelijk de wachtkosten en de investeringskosten.

- Voor etheen, propeen en butadieen worden de gemiddelde waarden van de resultaten opgesomd:
Voor een druktank van 2.100 m³ gelden de volgende afstanden:
 - de kern van de explosieve wolk ligt op 1050 meter
 - de 0.3 bar overdruk grens ligt op 350 meter
 - de 0.1 bar overdruk grens ligt op 1050 meter
- Bij een BLEVE geldt:
 - de afstand tot 50% doden ligt op 600 meter
 - de afstand tot 1% doden ligt op 780 meter

II. Resultaten van de berekeningen met de gekoelde variant:

- De totale kans op een ongeluk met één van de tankschepen wordt in ieder geval gereduceerd bij de gekoelde variant (een ruwe schatting is dat de kans halveert).
- Kwalitatieve kansverdeling bij een kritieke aanvaring:
 - Brand komt in 83% van de gevallen voor en die is bij gekoelde gassen niet maatgevend.
 - De explosie komt in 17% van de gevallen voor.
- Voor de gekoelde variant is nog maar één aanlegplaats nodig.
- Voor etheen, propeen en butadieen worden de gemiddelde waarden van de resultaten opgesomd:
Voor een plasdiameter van 111 meter gelden de volgende afstanden:
 - de laagste explosiegrens ligt op 215 meter
 - de hoogste explosiegrens ligt op 1500 meter
 - de 0.3 bar overdruk grens ligt op 200 meter
 - de 0.1 bar overdruk grens ligt op 585 meter

6.2.Aantal ligplaatsen

Voor de berekening van het aantal ligplaatsen wordt uitgegaan van de loscapaciteit. Deze loscapaciteit is afhankelijk van de grootte van het schip. Globaal bedraagt de maximale pompcapaciteit 1/10 van het laadvermogen. Met de aan- en aflooptijd bij het lossen kan de lostijd gesteld worden op circa 15 uur.

De bezettingsduur van de steiger wordt bepaald door de verblijftijd van de tanker in de haven, dit is de lostijd vermeerderd met de tijd voor het afmeren, reisklaar maken, ontmeren en dergelijke. De verblijftijd is gesteld op gemiddeld 25 uur.

Bij de druk variant komen er 293 tankschepen per jaar in de haven en kan gesteld worden dat er twee ligplaatsen nodig zijn.

Bij de gekoelde variant komen er 109 tankschepen per jaar in de haven en kan gesteld worden dat één ligplaats voldoende is.

Voor de bepaling van de geuldiepte van de haven komen drie schepen in aanmerking:

- 1 De gekoelde tankschepen van 50.000 m³, met een diepgang van ongeveer 10 meter.
- 2 De nafta tankschepen van 60.000 ton, met een diepgang van ongeveer 12,5 meter.
- 3 De kolenschepen van 70.000 ton, met een diepgang van 13,2 meter.

Hieruit volgt dat de kolenschepen ten allen tijden de grootste diepgang hebben. Voor de keuze tussen gekoelde of druk variant is dit argument niet meer van toepassing.

6.3.Druk versus gekoeld.

Bij de keuze tussen druk- en gekoelde opslag wordt een multikriteria analyse toegepast. De hoofdkriteria zijn :

- A de kosten (5) - investeringen
 - onderhoud
- B het risico (5) - gevolgen
 - kans

De normering vindt plaats door 10 punten te verdelen over de criteria. Het belangrijkste criteria krijgt de meeste punten, deze punten worden tussen haakjes weergegeven. In eerste instantie worden de kosten en het risico gelijk gewaardeerd.

De sub-systemen moeten een normering krijgen:

- 1 de transportleidingen (0)
- 2 het tankpark (7)
- 3 de overslagleidingen (0)
- 4 de tankschepen (3)

De keuze tussen gekoelde opslag of drukopslag wordt niet bepaald door de leidingen. Omdat in het tankpark het potentieel van ongewenste gebeurtenissen veel groter is wordt hieraan de hoogste waardering gegeven.

2 het tankpark

De gekoelde variant:

de kosten

- 1 (5) investeringen:
 - a (4) de aanschaf van de opslagtanks (7 tanks)
 - b (5) de omzettingsinstallatie
 - c (1) de terreingrootte (ongeveer 300 * 350 m²)
- 2 (5) variabele kosten:
 - a (3) energie voor koeling
 - b (7) energie voor omzetting

Hier wordt de omzettingsinstallatie van druk naar gekoelde opslag het zwaarst aangerekend.

het risico

3 (5) gevolgen:

- a (7) een explosie (44 % kans)
- b (3) brand (48 % kans op de plasbrand)
- c geen fysisch effect (8 %)

4 (5) kans:

- a (2) faalkans per eenheid
 $1 \cdot 10^{-5} \sim 1 \cdot 10^{-6}$ per jaar (volgens TNO)
- b (8) domino-effect

Een belangrijk aspect is hier het domino-effect en de explosie omdat hierbij de grootste fysische effecten kunnen optreden.

De druk variant:

de kosten

1 (5) investeringen:

- a (4) de aanschaf van de drukbollen (36 bollen)
- b (5) geen omzettingsinstallatie
- c (1) terreingrootte (ongeveer $300 * 500 \text{ m}^2$)

2 variabele kosten:

- a (5) geen energie voor onder druk houden
- b (5) geen energie voor omzetting

het risico

3 gevolgen:

- a (7) explosie (44 % kans)
- b (3) brand
 - de BLEVE (25 % kans - kans op fakkel)
 - de fakkel (25 % kans - kans op BLEVE)
 - de plasbrand (23 % kans)
- c geen fysisch effect (8 %)

4 kans:

- a (2) faalkans per eenheid
 $1 \cdot 10^{-5}$ per jaar (volgens TNO)
- b (8) domino-effect

4 De tankschepen

De gekoelde variant:

de kosten

1 (5) investeringen:

- a (3) aanschaf tankschepen
(voor 31 vaarten per jaar)
- b (5) één aanlegplaats
- c (2) baggerkosten

2 (5) variabele kosten:

- a (4) energie voor koeling
- b (3) kosten voor het varende schip
- c (3) wachtkosten / bezettingsgraad

het risico

3 (5) gevolgen:

- a (7) explosie (17 % kans)
- b (3) brand (83 % kans) de plasbrand

4 (5) kans:

- a (2) faalkans per eenheid
2.5 à 3*10⁻⁵ per jaar (volgens TNO)
- b (8) domino-effect

De druk variant:

de kosten

1 (5) investeringen:

- a (3) aanschaf drukschepen (192 vaarten per jaar)
- b (5) twee aanlegplaatsen
- c (2) baggerkosten

2 (5) variabele kosten:

- a (4) energie voor koeling
- b (3) kosten voor het varende schip
- c (3) wachtkosten / bezettingsgraad

het risico

3 (5) gevolgen:

- a (7) explosie (17 % kans)
- b (3) brand
 - de BLEVE (75 % kans - kans op fakkel)
 - de fakkel (75 % kans - kans op BLEVE)
 - de plasbrand (8 % kans)

4 (5) kans:

- a (2) faalkans per eenheid
1*10⁻⁵ per jaar (volgens TNO)
- b (8) domino-effect

Case study "Ennore"

Er wordt nu een tabel opgezet waar de verschillen de waarderingen (normeringen) en resultaten staan vermeld.

De plussen en minnen kunnen in de volgende cijfers omgezet worden:

- = 1
- = 2
- o = 3
- + = 4
- ++ = 5

	norm		gekoel		druk	
	opslag	schip	opslag	schip	opslag	schip
1 a	4	3	+	+	-	-
b	5	5	--	o	o	-
c	1	2	+	-	-	o
2 a	7	4	--	-	o	+
b	3	3	--	+	o	-
c		3		+		-
subtotaal			35	63	55	50
3 a	7	7	++	+	--	--
b	3	3	++	++	--	--
4 a	2	2	o	-	o	o
b	8	8	++	++	--	--
subtotaal			96	87	24	24
totaal			131	150	79	74

tabel 6.1 multikriteria

Er kunnen meteen twee conclusies getrokken worden:

- De drukopslag heeft hoge kosten vergeleken bij de drukopslag.
- De drukvariant scoort een absoluut minimale score op het gebied van risico.

Het totaal wordt als volgt berekend:
kosten staat tot risico als 5:5
tankpark staat tot schepen als 7:3

De twee rijen kunnen bij elkaar opgeteld worden.
Gekoeld : $5/10 * (7/10 * 131 + 3/10 * 150) = 68$
Druk : $5/10 * (7/10 * 79 + 3/10 * 74) = 39$

Hieruit kan de volgende conclusie getrokken worden:
Als het risico en de kosten gelijk worden gewaardeerd (5:5)
scoort de gekoelde variant veel beter.

Als de kosten zwaarder wegen als het risico, dus door
veiligheidsniveau verlagen waardoor de kosten afnemen.
Pas als de kosten vier maal zo zwaar wegen als de veiligheid
komen de varianten dichterbij elkaar.

De kosten staan dan tot risico als 8:2.
Gekoeld: $7/10 * (8/10 * 35 + 2/10 * 96) +$
 $3/10 * (8/10 * 63 + 2/10 * 87) = 53$
Druk : $7/10 * (8/10 * 55 + 2/10 * 24) +$
 $3/10 * (8/10 * 50 + 2/10 * 24) = 48$

Algemene conclusie hieruit is dat er gekozen moet worden voor
de gekoelde variant ondanks het feit dat de kosten hoger
liggen. In de volgende paragraaf zal het veiligheidsaspect nog
duidelijker naar voren komen in de vorm van de kleinere
schadecirkels.

Een frappant feit is dat de gekoelde schepen het beste scoren
van allemaal. Dit is voor een deel toe te schrijven aan het
niet doorberekenen van de omzettingsinstallatiekosten op de
gekoelde schepen.

6.4. De lokatievarianten.

6.4.1. De keuzekriteria

Er zijn twee verschillende haven lay-outs gekozen waar de schadecirkels ingepast zullen worden. Bij de varianten I is de lay-out met de centrale in het noorden gebruikt (zie bijlagen). Bij de varianten II en III wordt de lay-out met de centrale in het zuiden gebruikt.

Bij de lokatiekeuze moet rekening worden gehouden met de uitbreidingsmogelijkheden. Er zou gedacht kunnen worden om een variant uit te werken verder landinwaarts dit stuit op de volgende bezwaren:

- De havenbekkens moeten tot aan de aanlegkade van de tankers tot een grote diepte worden uitgebaggert.
- De langere route die de tankschepen volgen verhogen de kans op ongelukken.
- De beïnvloeding door fysische-effecten van het tankpark zou dan verdere uitbreiding van de haven veel duurder maken, doordat de uitbreiding veel verder landinwaarts moet komen te liggen. Bij de uitwerking van de varianten wordt dit argument duidelijk.

De sub-systemen het tankpark en de schepen blijken maatgevend te zijn voor de onderlinge plaatsing van de sub-systemen. Voor deze plaatsing zullen om deze sub-systemen de in hoofdstuk 5 berekende schadecirkels getekend worden. De volgende cirkels zullen getekend worden:

- de binnenste cirkel: de ligging van de kern van de wolk voor alle windrichtingen.
- de middelste cirkel: de 0.3 bar overdrukkring.
- de buitenste cirkel: de 0.1 bar overdrukkring.

Voor de lokatiekeuze zal eerst bekeken worden hoe het tankpark de omgeving beïnvloed en daarna de tankschepen. De volgende criteria zullen in de multikriteria analyse in acht worden genomen:

Het tankpark:

- 1 (4) Hoe beïnvloed het tankpark de volgende havenonderdelen?
 - a (3) de elektriciteitscentrale
 - b (3) de scheepvaart in de haven
 - c (4) de uitbreidingsmogelijkheden van de haven

Per onderdeel worden ook hier 10 punten verdeeld (tussen haakjes). Onderdeel c is in de toekomst een belangrijk aspect, om dit te benadrukken krijgt dit onderdeel 4 punten. Verder worden deze onderdelen als even belangrijk beoordeeld.

- 2 (4) Hoe groot is de invloed van de schade cirkel?
- a (5) percentage boven zee
 - b (5) mogelijkheid om de sub-systemen buiten de 0.1 bar overdrukkring te plaatsen

- 3 (2) aanpassing haven:
- a (3) afsluiting havenbekken noodzakelijk
 - b (7) uitbreiding haventerrein noodzakelijk

Bij beide varianten (gekoeld en druk) is het niet van belang of een havenbekken afgesloten kan worden. Bij nafta-uitstroming is dit wel van belang vandaar de lage waardering.

De schepen:

- 1 (4) beïnvloeding van:
- a (3) de centrale
 - b (3) de scheepvaart
 - c (4) de uitbreidingsmogelijkheden
- 2 (4) schade cirkel:
- a (5) percentage boven zee
 - b (5) mogelijkheid om de sub-systemen buiten de 0.1 bar overdrukkring te plaatsen
- 3 (2) aanpassing haven:
- a (1) afsluiting haven bekken mogelijk
 - b (7) uitbreiding havenbekken noodzakelijk
 - c (2) mogelijkheid dat het schip snel kan vertrekken in geval van een ongewenste gebeurtenis.

Er wordt nu een tabel opgezet waar de verschillen de waarderingen (normeringen) en resultaten staan vermeld.

De plussen en minnen kunnen in de volgende cijfers omgezet worden:

- = 1
- = 2
- o = 3
- + = 4
- ++ = 5

De tabel van het tankpark

		norm	I		II			III	
			A	B	A	B	C	A	B
1	a	3	++	-	++	-	-	++	o
	b	3	++	--	++	-	o	++	o
	c	4	++	o	++	--	-	++	-
		4	50	21	50	16	23	50	26
2	a	5	o	++	o	+	++	o	++
	b	5	+	--	++	-	++	++	-
		4	35	30	40	30	50	40	35
3	a	3	++	++	++	++	++	+	+
	b	7	o	o	-	-	--	-	-
		2	36	36	29	29	22	26	26
totaal			412	276	418	242	336	412	296

tabel 6.2 Lokatievarianten I

		norm	I		II			III	
			A	B	A	B	C	A	B
1	a	3	-	--	o	-	-	-	--
	b	3	o	-	o	-	-	o	--
	c	4	+	-	+	-	-	o	--
		4	31	36	34	20	20	27	10
2	a	5	++	++	++	++	++	-	o
	b	5	+	--	+	--	+	--	+
		4	45	30	45	30	45	15	35
3	a	1	--	--	--	--	--	++	++
	b	7	++	++	+	+	+	--	--
	c	2	+	+	+	+	+	++	++
		2	44	44	37	37	37	22	22
totaal			392	352	390	274	334	212	224

tabel 6.3 Lokatievarianten II

Omdat het hier om een nieuwe haven gaat met weinig restricties wat betreft de uitbreiding wordt het laatste hoofdkriterium lager beoordeeld.

6.4.2. Bespreking van de varianten

Er is een duidelijk verschil tussen de druk- en de gekoelde varianten. Op de keuze problemen die zich hierbij voordoen is uitvoerig in de vorige paragraaf (6.3) ingegaan.

De beste is de gekoelde variant II A met 808 punten.

Voordelen van deze variant zijn:

- De lokatie ligt dicht bij zee waardoor de beïnvloeding van de omgeving gering is.
- De haven hoeft voor deze variant niet of nauwelijks aangepast te worden.
- De mogelijkheid tot uitbreiding van de haven wordt nauwelijks door deze variant beïnvloed.

Nadelen zijn de volgende:

- De druk variant neemt heel veel ruimte in (vooral II C)
- Voor variant II B moet een aanvullende risico-analyse toegepast worden, omdat de sub-systemen binnen de 0,1 bar overdrukkring ligt.

De tweede variant is variant I A met 804 punten.

Voordelen van variant I zijn:

- De lokatie ligt apart van de andere havenfaciliteiten.
- De toekomstige havenuitbreidingsmogelijkheden ondervindt nauwelijks hinder van deze variant.

Nadelen van deze zijn:

- De overdrukkringen liggen maar voor een klein deel boven zee.
- Het totale ruimte beslag op het "eiland".

Variant III scoort veel lager dan de andere twee varianten. Dit is te wijten aan de volgende punten:

- De haven moet meteen al uitgebreid worden met een extra havengeul.
- De geul kan daarna niet meer gebruikt worden voor verdere havenuitbreidingen.
- De tankschepen liggen midden in de haven, waardoor de beïnvloeding van de rest van de haven maximaal is.

Conclusie:

Variant II A scoort het beste en wordt dan ook aangeraden om uit te voeren.

Als ondanks de argumenten gegeven in paragraaf 6.4 toch gekozen wordt voor de drukvariant, zal variant II C als beste naar voren komen. Met behulp van een aanvullende risico-analyse zal dan een optimum gekozen moeten worden tussen variant II B en II C. Variant II C heeft een onaanvaardbaar hoog ruimtebeslag en variant II B een te hoog risico-niveau. Een risk-costs-benefit-analysis zal nu uitkomst kunnen bieden.

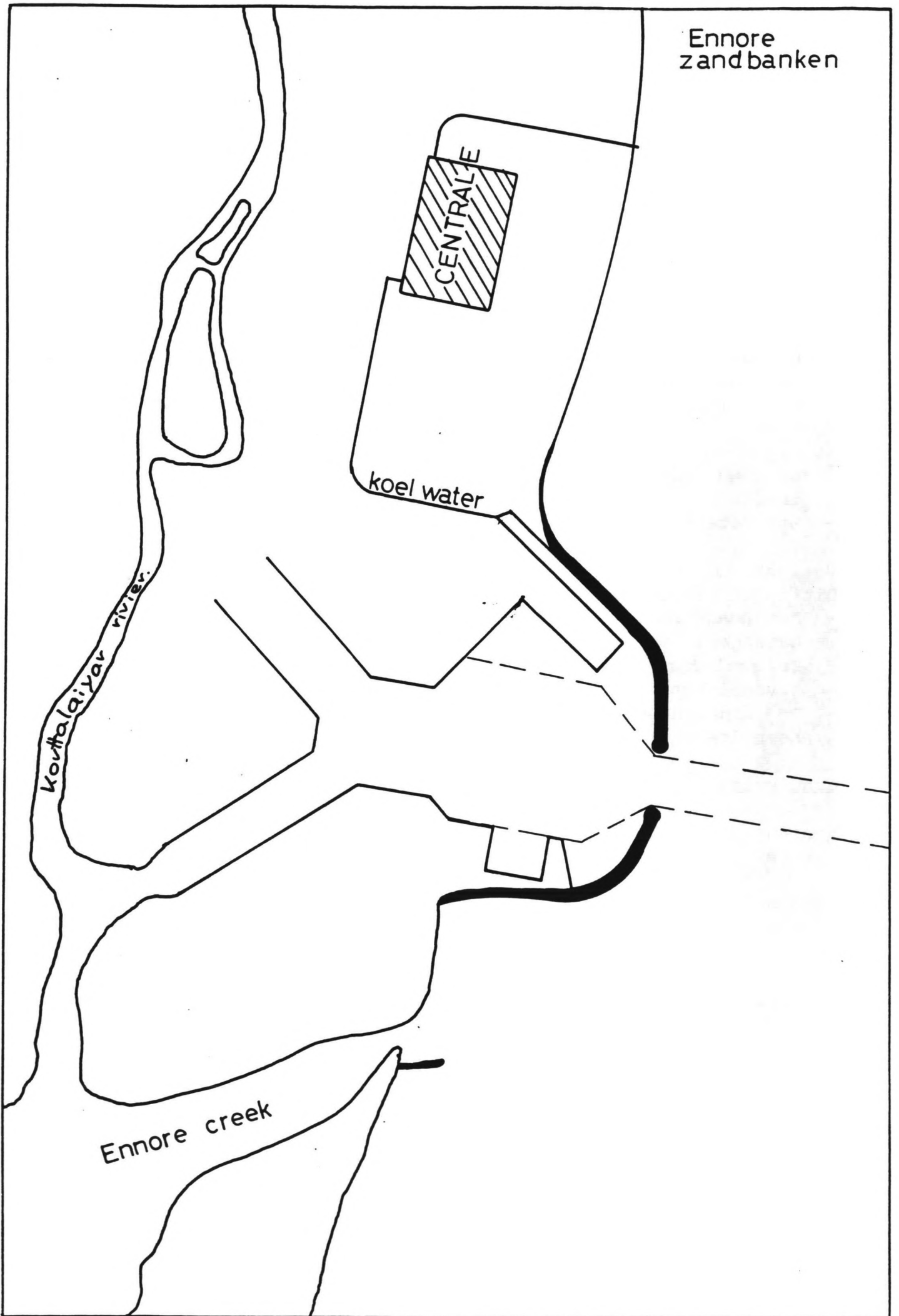
Ennore
zandbanken

CENTRALE

koel water

Kovvala qiyar rivier

Ennore creek



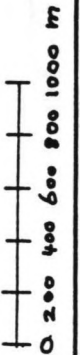
Ennore
zandbanken

Korhalaiyav
river

Koelwater

Centrale

Ennore creek



Ennore
zandbanken

CENTRALE

koel water

schip

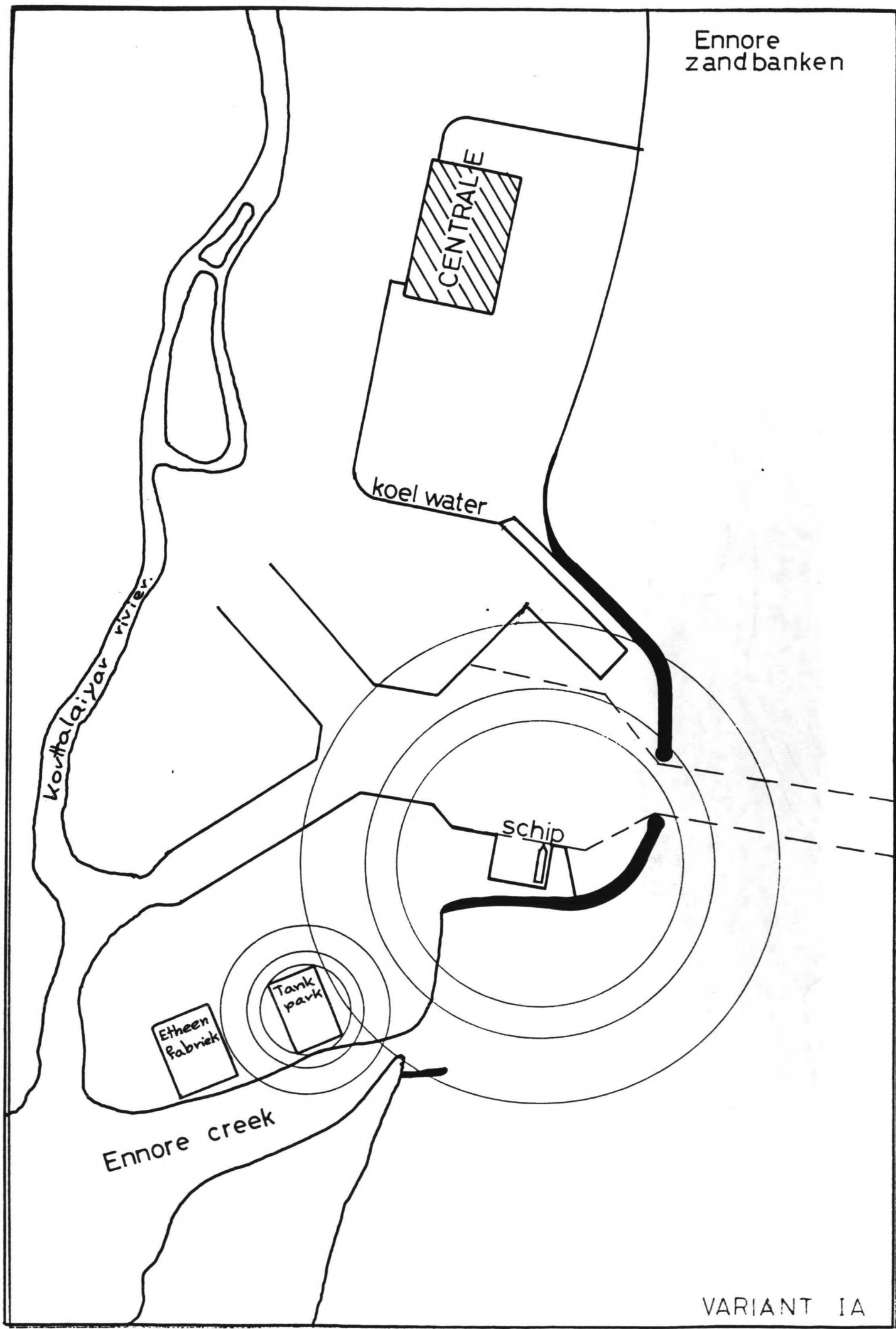
Etheen
Fabriek

Tank
park

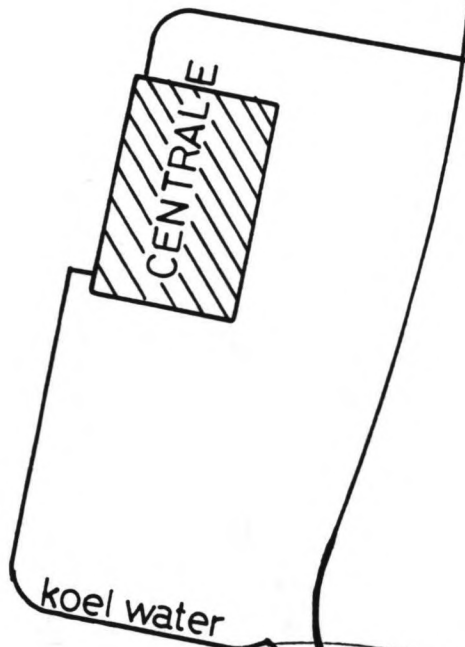
Ennore creek

Kovvalaiyar rivier

VARIANT IA



Ennore
zandbanken



Kovvatalaigar rivier

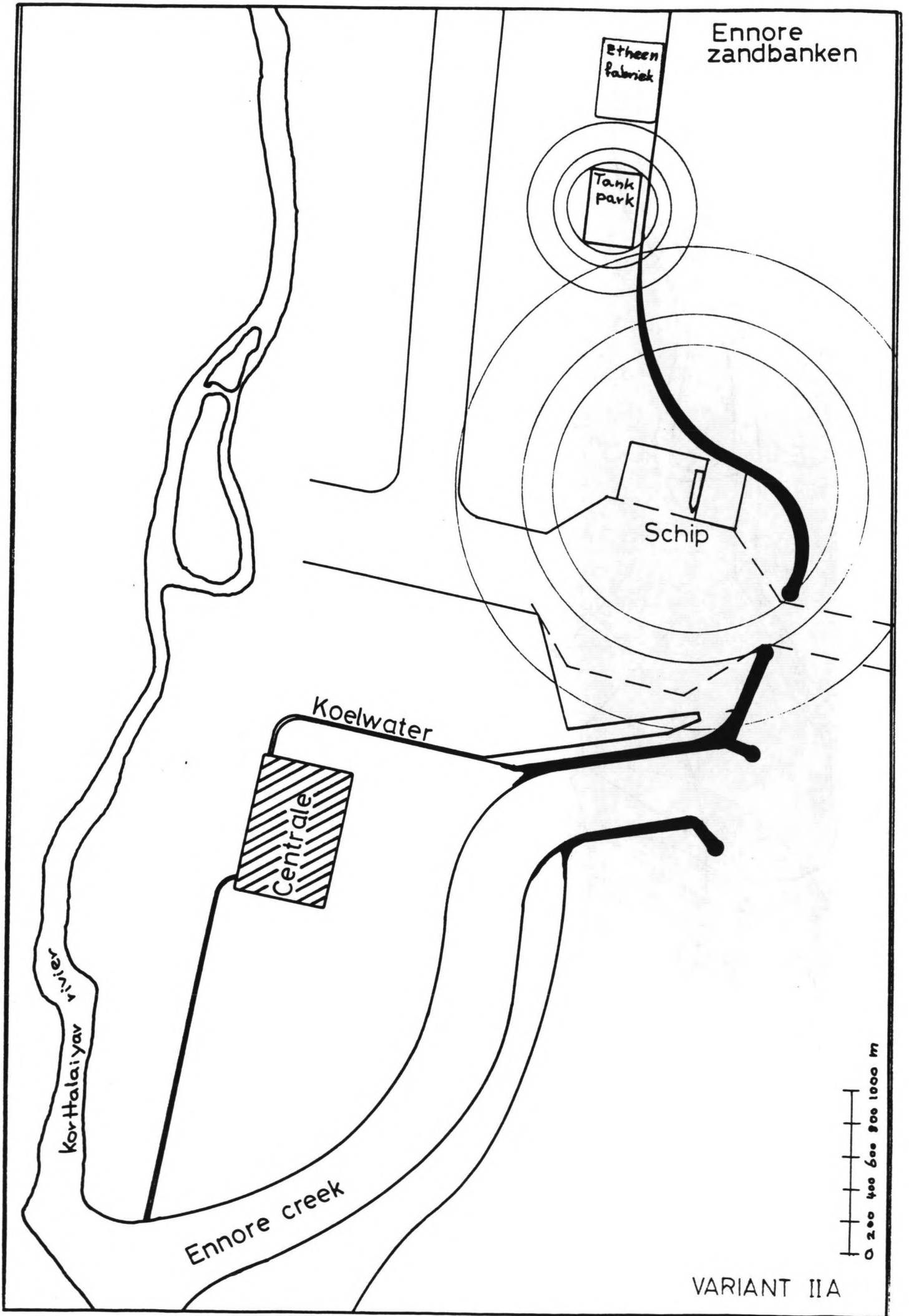
schip

Ethaan
fabriek

tank-
park

Ennore creek

VARIANT IB



Ennore zandbanken

Etheen fabriek

Tank park

Schip

Koelwater

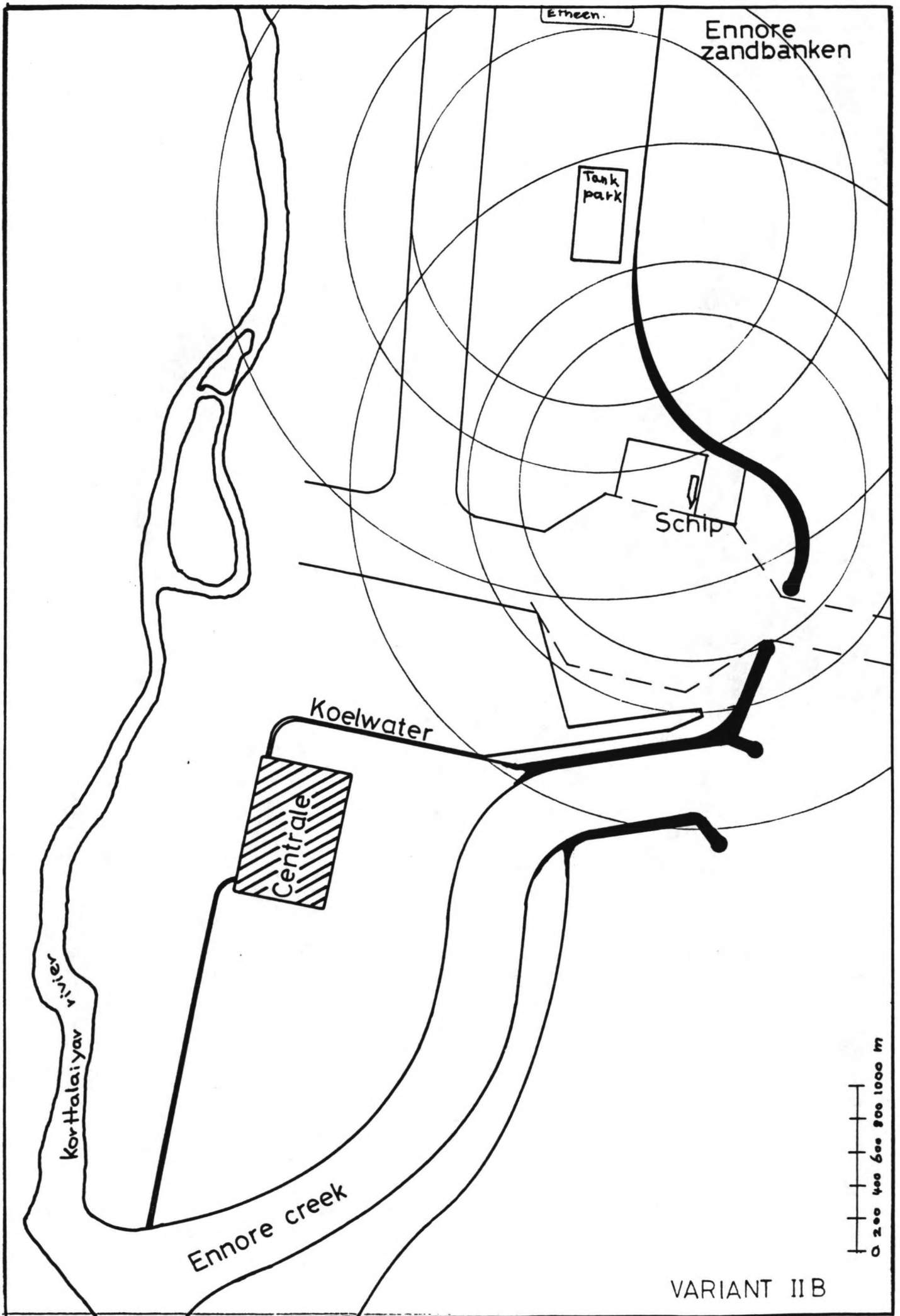
Centrale

Korttalaiyav rivier

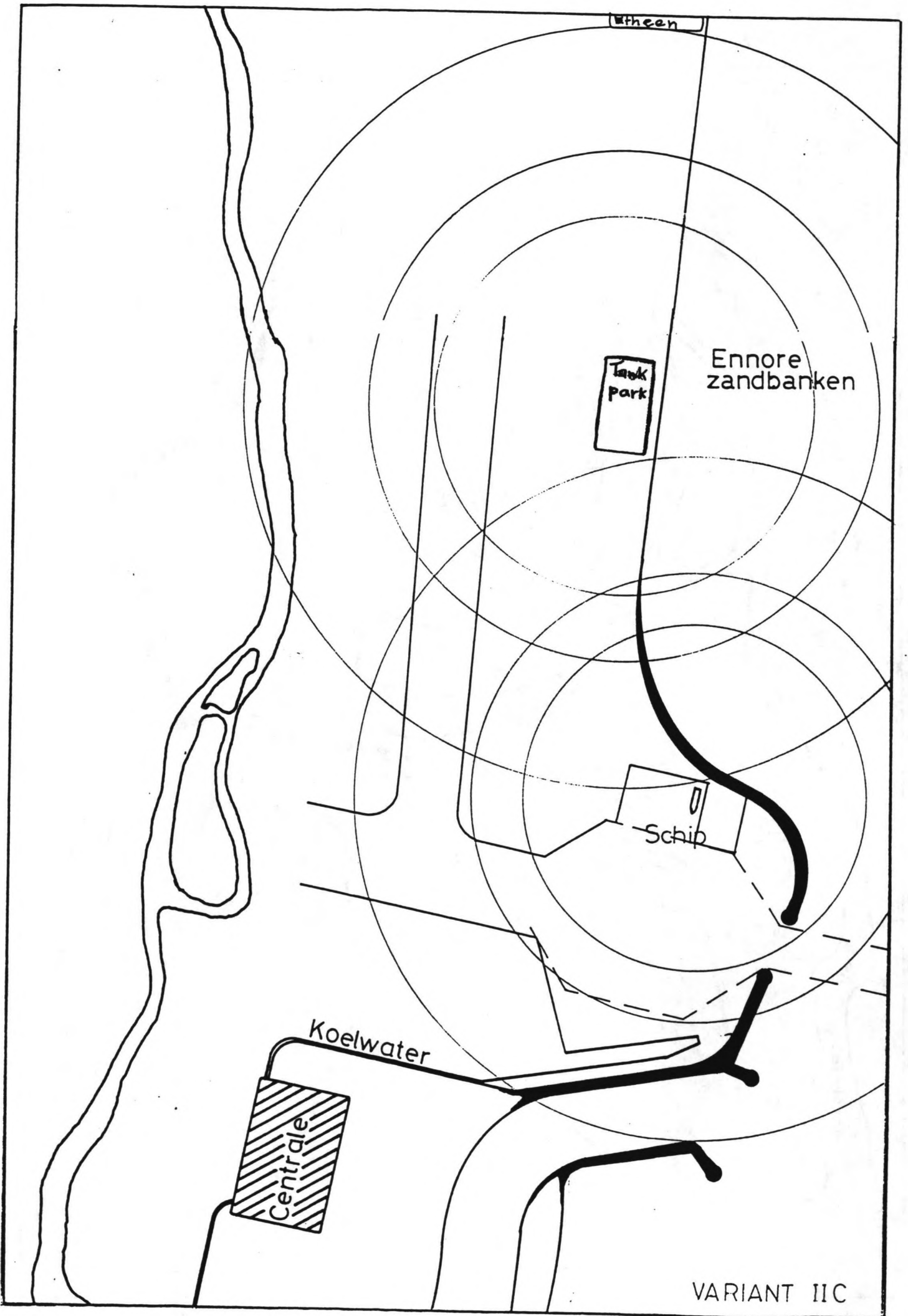
Ennore creek



VARIANT IIA



VARIANT II B



VARIANT IIC

Ennore
zandbanken

Ethem
Fabriek

Tank
park

Schip

Koelwater

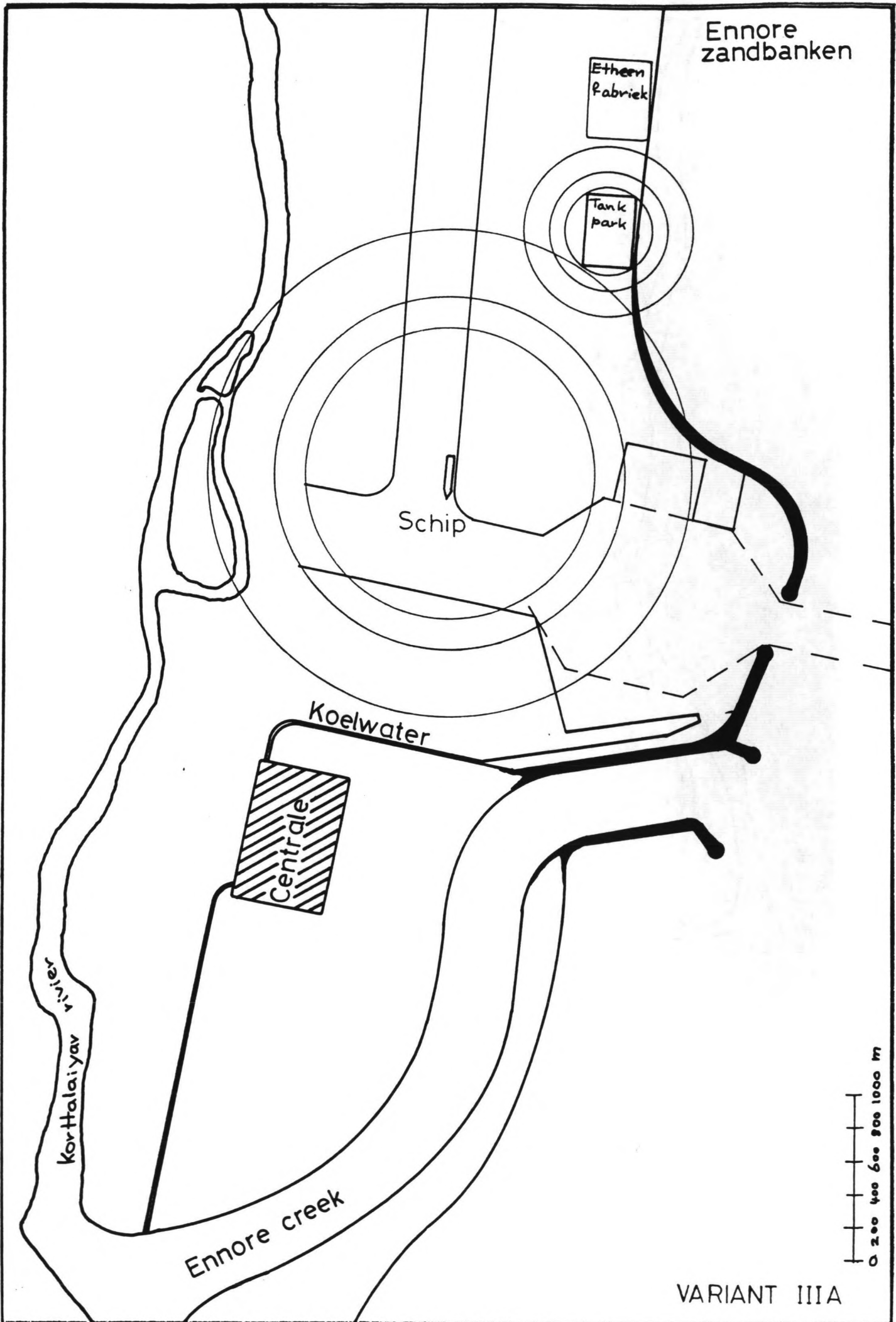
Centrale

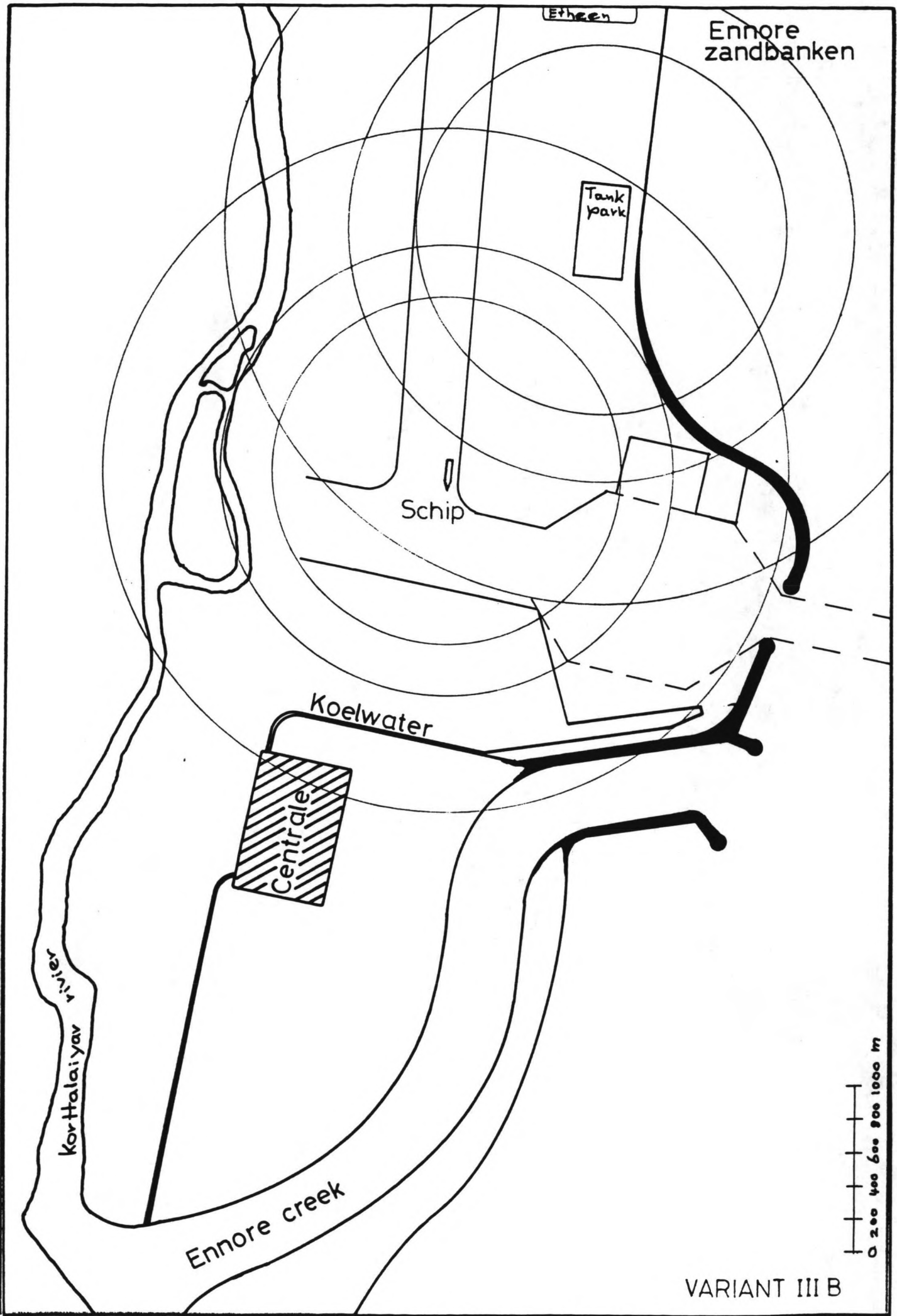
Kortalaivay
river

Ennore creek



VARIANT IIIA





Etheen

Ennore zandbanken

Tank park

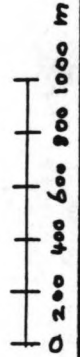
Schip

Koelwater

Centrale

Korthalaiyav rivier

Ennore creek



VARIANT III B

