



VROM-Inspectie
Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer

Buisleidingenincident Heinenoord, 12 oktober 2007

Onderzoek naar de oorzaak

Datum 11 mei 2009
Status Definitief

Colofon

Contactpersoon G.B.A. van der Meij
 VROM-Inspectie
 Directie Uitvoering
 Programma Veiligheidstoezicht
 Rijnstraat 8
 Postbus 16191
 2500 BD Den Haag

Publicatienummer: 9216

Het onderzoek is uitgevoerd in de periode oktober 2007 tot en met december 2008 door de VROM-Inspectie. Aan het onderzoek hebben bijgedragen het Staatstoezicht op de Mijnen, het RIVM en de onderzoeksbureaus Deltares en r+k Consulting Engineers. De opzet, uitvoering en rapportage van het onderzoek zijn afgestemd met de Onderzoeksraad Voor Veiligheid, de Stichting Buisleidingenstraat, de Dienst Vastgoed Defensie, Shell, Air Liquide, de gemeente Binnenmaas en de ministeries van VROM en Binnenlandse Zaken.

Deze rapportage is een uitgave van de VROM-Inspectie en ook te downloaden vanaf www.vrominspectie.nl

Inhoud

Voorwoord.....	5
Samenvatting	6
Summary	7
1 Inleiding	8
2 Het incident	10
2.1 Locatie.....	10
2.2 Chronologie.....	11
2.3 Publieke en politieke aandacht.....	13
3 Het onderzoek.....	14
3.1 Doel.....	14
3.2 Betrokkenen bij het onderzoek	14
3.3 Opzet	14
4 De aard en de omvang van het incident.....	17
4.1 De aard van de brandstof	17
4.2 De effecten voor de omgeving.....	19
5 De oorzaak van het incident.....	20
5.1 Inleiding	20
5.2 Het KB-koppelstuk.....	20
5.3 Beschadiging door ongeoorloofde (tijdelijke) belasting van de grond boven de leiding.....	22
5.4 Beschadiging als gevolg van vervorming van de leiding door zettingen van de grond onder de leiding	25
5.5 Aantasting van de gasdichtheid om andere redenen.....	31
5.6 Conclusie	31
6 Het handelen van betrokkenen	34
6.1 Onduidelijke verantwoordelijkheidsverdeling inzake het veiligheidstoezicht.....	34
6.2 Overtreding van regels ten aanzien van de veiligheid.....	35
6.3 Gebrek aan criteria voor de beoordeling van veiligheidsrelevante aspecten.....	36
7 Conclusies en aanbevelingen.....	37
7.1 Algemeen.....	37
7.2 Het toezicht op werkzaamheden in de buisleidingenstraat.....	37
7.3 Het toepassen van KB-koppelstukken in buisleidingen.....	38
7.4 De belasting van liggende buisleidingen als gevolg van werkzaamheden met zwaar materieel	38
7.5 De ligging van buisleidingen in doorvoeringen in civiele constructies.....	39
7.6 De aanvaardbaarheid van zakkingen	39
7.7 Het beheer van buisleidingen in het beheersgebied van de Stichting en in de rest van Nederland	40
8 Conclusions and recommendations.....	41
8.1 General.....	41
8.2 Supervision of activities in the pipeline corridor.....	41
8.3 The use of CP fittings in pipelines.....	42
8.4 The loading of installed pipelines as a result of activities with heavy equipment	42
8.5 The position of pipelines in feedthroughs in civil constructions.....	43

8.6	The management of pipelines within the Foundation's management sphere and in the rest of the Netherlands	44
9	Appendix-de actuele situatie	45
10	Referenties	46
11	Begrippen en afkortingen.....	48
12	Bijlagenoverzicht	49
	Bijlage 1	50
	Bijlage 2	51
	Bijlage 3	52
	Bijlage 4	54
	Bijlage 5	58
	Bijlage 6	59

Voorwoord

De VROM-Inspectie is onder andere werkzaam op het terrein van de externe veiligheid. Ze is sinds enkele jaren toezichthouder op de veiligheid van buisleidingen in Nederland. In dat kader doet zij in opdracht van de minister van VROM onder andere onderzoek naar de oorzaak van incidenten waarbij buisleidingen betrokken zijn.

Op 12 oktober 2007 heeft zich een incident voorgedaan in de buisleidingenstraat van Rotterdam naar Antwerpen, ter hoogte van het dorp Heinenoord (gemeente Binnenmaas), vlak ten zuiden van de Oude Maas. Er werd een brand gesignaleerd waarbij mogelijk één of meerdere buisleidingen waren betrokken.

Incidenten zoals deze zijn zeldzaam maar in potentie gevaarlijk. De directe oorzaak van het incident bleek niet simpel achterhaalbaar en ook de potentiële risico's en mogelijke gezondheidseffecten voor de omwonenden bleven grotendeels onbekend. Daarom is gekozen voor het uitvoeren van een diepgaand onderzoek waarbij ernaar is gestreefd om alle relevante personen, bedrijven, instanties en overheden te betrekken bij het onderzoek. Diverse betrokkenen zijn geïnterviewd, er zijn vele overleggen geweest in uiteenlopende samenstellingen over de onderzochte aspecten en er zijn specifieke deelstudies uitgevoerd door wetenschappelijke instituten. Als gevolg van de gekozen werkwijze en de complexiteit van de problematiek heeft het onderzoek relatief lang geduurd. De VROM-Inspectie is echter van mening dat alleen op deze manier een zinnig onderzoek naar de oorzaak kon worden uitgevoerd en waardevolle lessen voor de toekomst konden worden geformuleerd.

Sinds de start van het onderzoek, onmiddellijk na het incident op 12 oktober 2007, is in tussenberichten, brieven, presentaties en overleggen aan belanghebbenden al informatie verstrekt over voorlopige bevindingen van het onderzoek. Als gevolg daarvan zijn al de nodige verbeteringen in gang gezet op het gebied van technieken en procedures voor de aanleg en het beheer van buisleidingen en het toezicht daarop in de buisleidingenstraat. De VROM-Inspectie spreekt de hoop uit dat het rapport een brede verspreiding krijgt opdat ook anderen kunnen leren van het incident.

Vrijwel alle betrokkenen hebben in openheid alle gevraagde informatie verstrekt en ook op andere wijzen bijgedragen aan een vlotte en inhoudelijke voortgang van het onderzoek. De VROM-Inspectie bedankt hen voor hun medewerking.

Het merendeel van de onderzoeksinformatie is openbaar. Een beperkt deel is als vertrouwelijk bestempeld. Het betreft bedrijfseigen informatie die op basis van vertrouwen door betrokkenen uitsluitend ten behoeve van dit onderzoek ter beschikking is gesteld.

Diverse gebruikte foto's zijn ter beschikking gesteld door de Onderzoeksraad voor Veiligheid, deze foto's zijn standaard voorzien van een vertrouwelijkheidskenmerk.

Samenvatting

De VROM-Inspectie heeft onderzoek gedaan naar de oorzaak van een brand op 12 oktober 2007 in de buisleidingenstraat nabij het dorp Heinenoord (gemeente Binnenmaas). In die buisleidingenstraat ligt een aantal leidingen waardoor gevaarlijke stoffen wordt getransporteerd. Het tracé van de buisleidingenstraat wordt beheerd door een stichting; de Stichting Buisleidingenstraat Nederland.

Het onderzoek heeft aannemelijk gemaakt dat een ondergrondse buisleiding waardoor waterstofgas wordt getransporteerd, ter hoogte van een zogenaamd "KB-koppelstuk", ten gevolge van grondverzakkingen is lekgeraakt als gevolg waarvan een zeer beperkte gasontsnapping is ontstaan.

Het ontsnappende gas is door slijpwerkzaamheden, die in de nabijheid van de lekkage plaatsvonden, in brand geraakt. Er is, gelet op het feit dat waterstofgas niet giftig is en het om een zeer beperkte gasontsnapping en brand gaat, geen gevaar geweest voor omwonenden.

Desalniettemin moet het incident als ernstig worden gekwalificeerd omdat de gasontsnapping omvangrijker had kunnen zijn en vanwege die zakking ook andere transportleidingen lek hadden kunnen raken waarbij giftige gassen hadden kunnen vrijkomen.

Hoewel het transport van gevaarlijke stoffen per buisleiding in zijn algemeenheid veilig wordt geacht en het beheer van de buisleidingenstraat in het algemeen als zorgvuldig wordt gekarakteriseerd zijn er onvolkomenheden in dat beheer vastgesteld, mede als gevolg waarvan zich het incident heeft kunnen voordoen. Er wordt aanbevolen om het beleid ten aanzien van (het meten en toetsen van) zakkingen aan te scherpen en tevens om een actiever toezicht in te stellen op het veilig leggen van buisleidingen.

De aanbevelingen richten zich ook op het beheer van buisleidingstracés buiten het beheersgebied van de Stichting Buisleidingenstraat Nederland; hierna veelal genoemd de Stichting.

Summary

The Inspectorate for Housing, Spatial Planning and the Environment has conducted an investigation into the cause of a fire on 12 October 2007 in the Netherlands Pipeline Corridor (*Buisleidingenstraat Nederland*) near the village of Heinenoord (Binnenmaas municipality). A number of pipelines through which hazardous substances are transported lie in this pipeline corridor. The route of the pipeline corridor is managed by a foundation.

The investigation has provided the plausible explanation that an underground pipeline, through which hydrogen gas is transported, developed a leak, caused by ground settlement, at the location of a so-called "CP coupling" (KB in Dutch), as a result of which a very slight gas escape occurred.

The escaping gas was ignited by grinding activities which were taking place in the vicinity of the leak. Given the fact that hydrogen gas is not toxic, and that a very limited gas escape and fire were concerned, there was no danger to people living nearby.

Nevertheless, the incident must be considered as serious, because the gas escape could have been more extensive, and other transport pipelines could have developed leaks caused by ground settlement, which could have caused the release of poisonous gases.

Although the transport of hazardous substances by pipeline along the route of the pipeline corridor is considered safe, and the management of the pipeline corridor is generally characterised as meticulous, some deficiencies in that management have been identified, partly as a result of which the incident was able to happen. It is recommended that the policy with regard to settlement and its measurement and monitoring be tightened up and a more active supervision of the safe installation of pipelines be established.

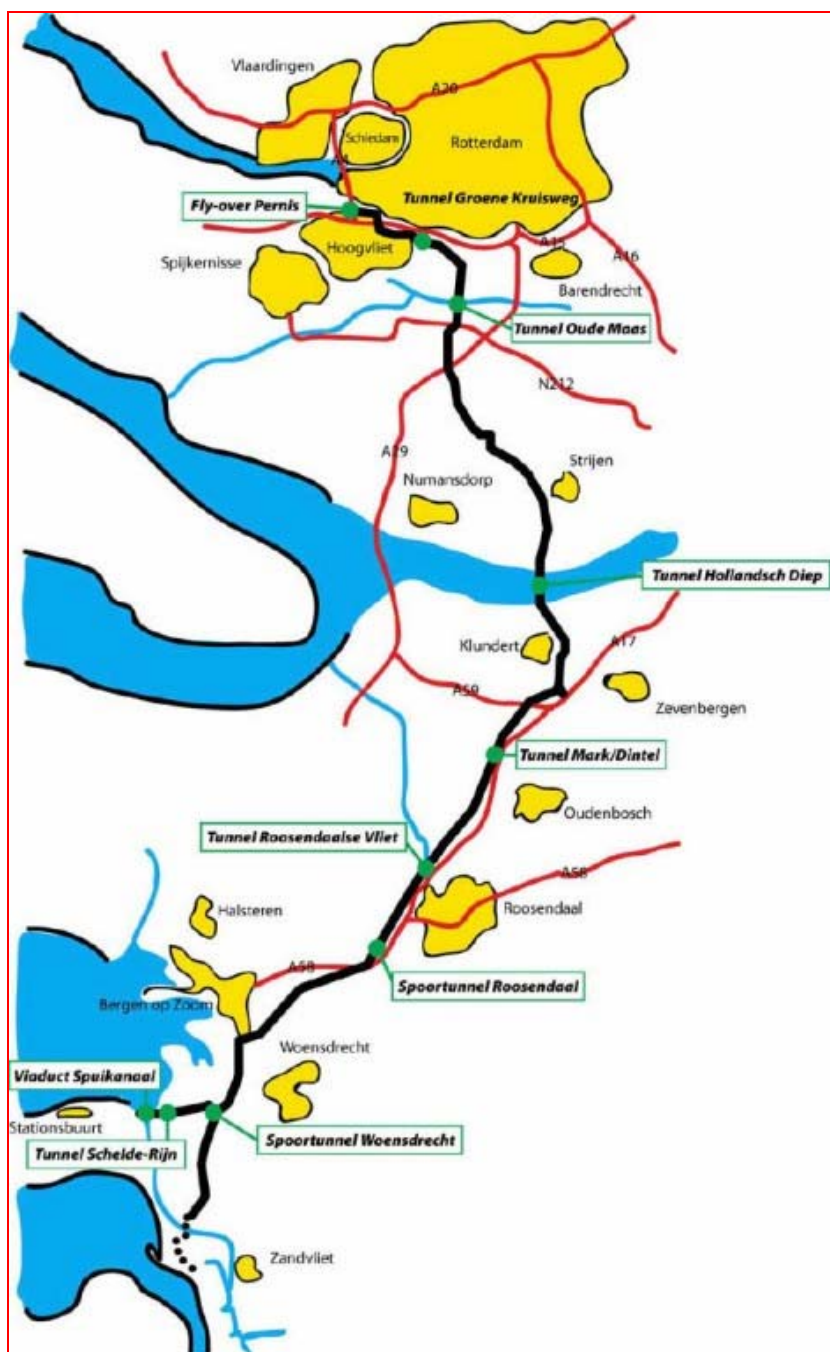
The recommendations are also directed at the management of pipeline routes outside the Foundation's sphere of control.

1 Inleiding

Het transport van gevaarlijke stoffen per buisleiding is een veilige wijze van transport. Risicoanalyses geven aan dat er ten opzichte van andere transportmodaliteiten (weg, water, spoor) relatief weinig incidenten plaatsvinden. De Buisleidingenstraat Nederland, waarin zich het hierna te bespreken incident heeft voorgedaan, is een goed gereguleerd tracé. In tegenstelling tot de meeste andere buisleidingstracés in Nederland is het hier bedoelde tracé (zie figuur 1-1) bij wet ingesteld en is er een beheerorganisatie actief met vergunningverlening en toezicht op de aanleg en het onderhoud van de buisleidingen. De mogelijke risico's die samenhangen met het transport van giftige en brandbare stoffen worden op deze wijze doelmatig beperkt en beheerst. Desalniettemin blijkt dat zich ook in dit soort omstandigheden incidenten kunnen voordoen.

Op 12 oktober 2007 heeft zich een incident voorgedaan in de buisleidingenstraat van Rotterdam naar Antwerpen. In het tracégedeelte ter hoogte van het dorp Heinenoord (gemeente Binnenmaas), vlak ten zuiden van de Oude Maas is een kleine brand waargenomen op een plaats waar buisleidingen in de grond liggen. Op die locatie liggen (naast een groot aantal kabels) vijf buisleidingen in de grond; te weten buisleidingen voor het transport van waterstof, ethyleenoxide, stikstof, zuurstof en "natgas" (een aardgascondensaat). Met name de buisleidingen voor waterstof en ethyleenoxide bleken in het kader van dit onderzoek relevant.

Er werden op het moment van het incident ter plaatse werkzaamheden uitgevoerd die verband houden met de aanleg van een nieuwe (kerosine-)leiding in het tracé. Zie figuren 2-1 en 2-2 voor nadere informatie over de locatie.



Figuur 1-1 Tracé van de Buisleidingenstraat Nederland

De VROM-Inspectie heeft in het tijdvak oktober 2007 – december 2008 een onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak en de mogelijke gevolgen van het incident. Er is onderzoek verricht naar de technische oorzaak en de mogelijk onderliggende organisatorische oorzaken van het incident. Het onderzoek heeft zich beperkt tot de oorzaak van het incident. De bestrijding van het incident op 12 oktober 2007 en de daarmee samenhangende hulpverlening maakt geen deel uit van het onderzoek. Daarover is gerapporteerd door de regionale brandweer (ref. 1.s).

2 Het incident

2.1 Locatie

In 2007 is in de buisleidingenstraat een nieuwe leiding aangelegd in het tracé van Rotterdam naar Antwerpen (B). Op 12 oktober 2007 was de aanleg gevorderd tot in de nabijheid van het dorp Heinenoord (gemeente Binnenmaas). Zie rode rechthoek in foto 2-1.

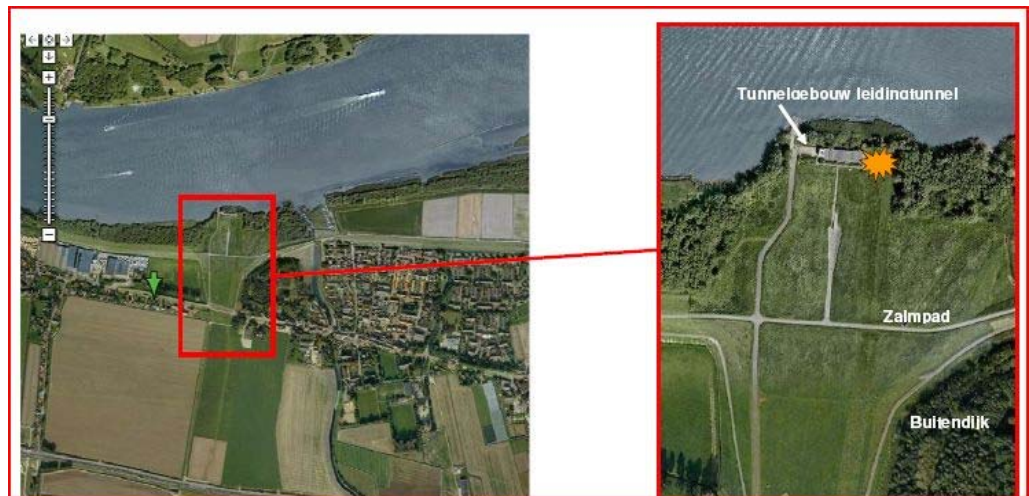


Foto 2-1 Locatie van het incident (oranje vlek) nabij Heinenoord (gemeente Binnenmaas) en de Oude Maas (bron: ref. 1-I)

De nabijheid van de bebouwing van Binnenmaas is op de linkerfoto zichtbaar. Op die locatie komen de buisleidingen in het tracé vanuit een tunnel onder de Oude Maas weer op "vaste grond". Op foto 2-2 is de ligging van de voor het incident relevante buisleidingen schematisch aangegeven.

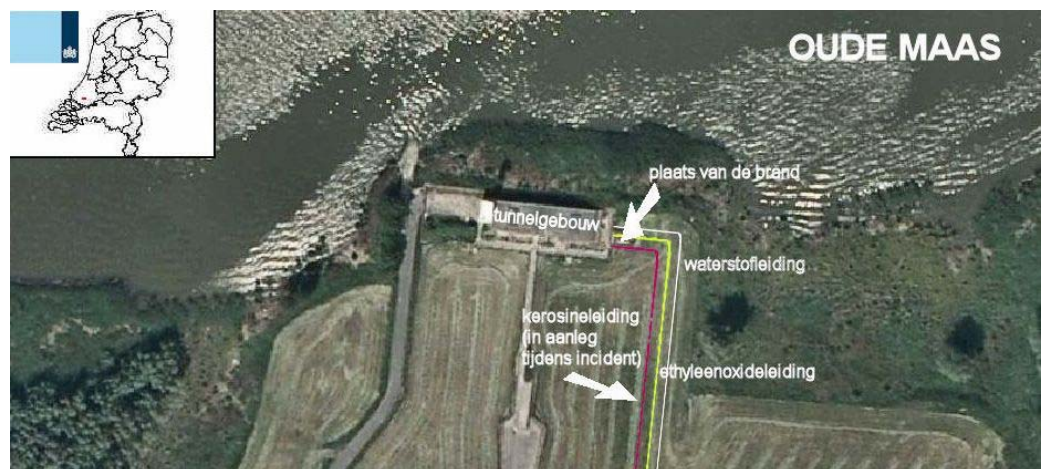
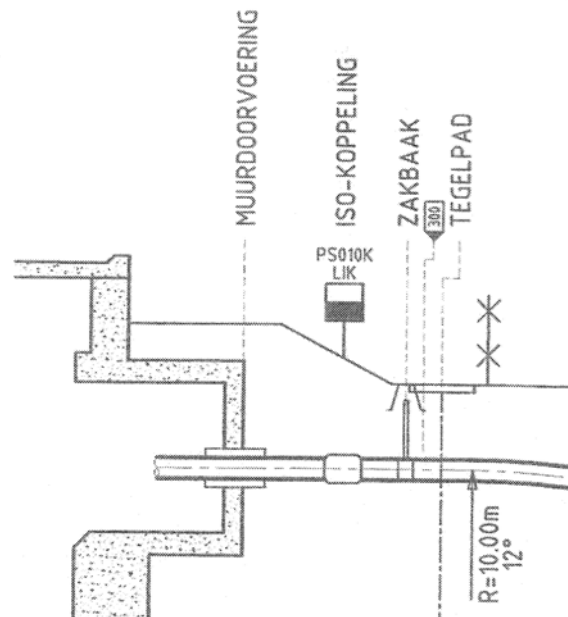


Foto 2-2 Leidingstracé (vereenvoudigd) ter hoogte van de ongevalslocatie nabij Heinenoord (gemeente Binnenmaas)

De overgang van de "vrije" ligging van de buisleidingen, die in de tunnel op rekken liggen, naar de "vaste" ligging in een zandbed vindt plaats in de wand van een zogenaamd tunnelgebouw waarbij de buisleidingen door een muurdoorvoering (voetnoot 1) worden geleid. Zie de schematische weergave in figuur 2-1.



Figuur 2-1 Dwarsdoorsnede van de doorvoering van een buisleiding vanuit de tunnel naar de ligging in het vrije veld (ref. 1.h)

2.2 Chronologie

Men was op 12 oktober 2007 nabij de doorvoering in het tunnelgebouw bezig met werkzaamheden aan de nieuwe leiding. Men signaleerde toen op het grondpakket bovenop de bestaande leidingen een kleine brand.

Vanaf het moment dat het incident werd ontdekt tot aan het moment dat het transport door de leidingen is hervat zijn de volgende gebeurtenissen geregistreerd (ref. 1-l) (voetnoot 2):

- 1 Doorvoering: een uitsparing in een betonnen wand waardoor voldoende ruimte ontstaat om een buisleiding "zonder contact met die wand" door de wand te leiden.
- 2 Let op: Hier zijn alleen de gebeurtenissen vermeld die relevant zijn voor het onderzoek naar de oorzaak en de omvang van het incident. De gebeurtenissen die te maken hebben met de aanpak van het incident door de brandweer en de hulpverleningsdiensten zijn geanalyseerd in een apart rapport van de Regionale Brandweer Zuid-Holland Zuid (ref. 1-l).

12 oktober 2007

- 9.05 uur Een medewerker signaleert een brand met "licht knetterende vlammetjes" (voetnoot 3) nabij de plaats waarop hij slijpwerkzaamheden uitvoert en hij rapporteert het incident aan zijn werkgever.
- 9.45 uur Met een explosiemeter wordt in de omgeving van de brandhaard de aanwezigheid van een brandbaar gas (namelijk 27 % LEL) gemeten (voetnoot 4).
- 11.50 uur De ethyleenoxideleiding is ingeblokt maar nog op druk.
- 12.05 uur Met meetbuisjes wordt waterstof in de omgeving van de brandhaard gemeten.
- 12.10 uur en op latere tijdstippen: Meetbuisjes geven voor ethyleenoxide telkens negatieve uitslagen.
- 13.00 uur Er wordt gerapporteerd dat de vlammetjes uit zijn, maar.....
- 14.10 uur dat blijkt onjuist. Er worden weer vlammetjes gesignaleerd.
- 14.10 uur De waterstofleiding is nu ook ingeblokt en de druk wordt afgelaten (door middel van affakkelen).
- 16.00 uur De waterstofleiding is vrijwel drukloos.
- 16.20 uur De noodsituatie (GRIP 1) wordt opgeheven (voetnoot 5).

13 oktober 2007

- 05.00 uur De ethyleenoxideleiding is vrijwel drukloos (noot 6).
- 07.30 uur Reparatieploegen gaan aan het werk om de aard van de lekkage op te sporen en eventuele reparaties uit te voeren.
- 07.30 uur De Onderzoeksraad voor Veiligheid is ter plaatse voor het opnemen van de stand van zaken.

- 3 In de incidentrapportage van de brandweer (ref. 1-I) is beschreven dat de medewerker "een steekvlam van ongeveer vier meter" zou hebben waargenomen. Uit een door de VROM-Inspectie gehouden interview met deze medewerker blijkt deze beschrijving onjuist (ref. 2-e). Er is geen steekvlam geweest. De brand is alleen laag bij de grond gesignaleerd en was amper waarneembaar. Het ontbreken van een zichtbare steekvlam zal later cruciale informatie blijken te zijn omdat een waterstofbrand niet of nauwelijks zichtbaar is en het waarnemen van een steekvlam dus niet goed mogelijk wordt geacht, uitgaande van het later als meest geloofwaardig gekenmerkte scenario dat het een waterstofbrand moet zijn geweest.
- 4 Het ontsnappende brandbare gas verspreidt zich blijkbaar over een ruimer ontsnappingsgebied dan de plaats waar de vlammen worden waargenomen.
- 5 Het tijdstip waarop de vlammen definitief zijn gedoofd is niet geregistreerd. Er wordt aangenomen dat het omstreeks dit moment moet zijn geweest.
- 6 Het drukloos maken van de ethyleenoxideleiding heeft vele uren langer geduurd dan dat van de waterstofleiding. Dat wordt onder meer veroorzaakt door het feit dat er bij de aanleg van de ethyleenoxideleiding van is afgezien om in het tracé tussenafsluiters op te nemen die het inblokken van (lekkende) leidinggedeelten relatief snel mogelijk maken. Het ontbreken van die tussenafsluiters zou dus in geval van een lekkage nadelige gevolgen kunnen hebben voor de veiligheid van de omgeving. Dergelijke afsluiters blijken in de praktijk echter onder omstandigheden een additionele bron te zijn van storingen en lekkages en dat is bij een giftige stof als ethyleenoxide juist niet wenselijk.



Foto 2-3 Situatie vanuit de lucht ten tijde van het incident (ref. 1-r)

In de dagen die daarop volgen worden de testen en reparaties aan de waterstof- en de ethyleenoxideleiding uitgevoerd. De isolatielaag rondom beide leidingen wordt verwijderd en de leidingen worden met stikstof op druk gebracht en vervolgens met een zeepoplossing getest op mogelijke lekkages. Daarbij blijken beide leidingen lekkage te vertonen (ref. 1.t, voetnoot 7). De waterstofleiding is daarop gerepareerd door middel van het uitnemen van het KB-koppelstuk en het plaatsen van een nieuw exemplaar. Het koppelstuk in de ethyleenoxideleiding wordt gerepareerd door middel van aanpassen en lekdicht maken van de constructie en is later in zijn geheel verwijderd.

Beide leidingen worden na reparatie getest, goedgekeurd en weer in bedrijf gesteld. Nadien wordt de aanleg van de kerosineleiding hervat.

2.3

Publieke en politieke aandacht

Het incident heeft veel aandacht getrokken. Dit is uiteraard mede veroorzaakt door het feit dat brandweer en hulpverleningsdiensten op volle sterkte waren uitgerukt, gelet op de potentiële ernst van het incident. Bovendien is de bevolking met sirenes gealarmeerd over het incident en is het scheepvaartverkeer over de Oude Maas tijdelijk stilgelegd. Dit heeft geresulteerd in vragen in de gemeenteraad van Binnenmaas en in de Tweede Kamer (ref. 1-p en bijlage 5)

Dit onderzoeksrapport zal er mede toe dienen om raad en kamer te informeren over de oorzaak en de gevolgen van het incident.

7 Zie voor een nadere interpretatie van de lektest-condities en de resultaten paragraaf 4.1.

3 Het onderzoek

3.1 Doel

Het doel van het onderzoek was om de volgende aspecten van het incident in kaart te brengen:

- De *aard en de omvang* van de brand en de daaraan voorafgaande gasontsnapping en het mogelijke *effect* daarvan op de gezondheid van omwonenden.
- De *mogelijke oorzaak* van de gasontsnapping, onderverdeeld in
 - een technisch inhoudelijk onderzoek “hoe kon de lekkage ontstaan?”.
 - een procedureel onderzoek “wie deed wat? En “wat is er fout gegaan?”.

3.2 Betrokkenen bij het onderzoek

De VROM-Inspectie heeft het onderzoek uitgevoerd. Zij heeft daarbij inhoudelijke assistentie ontvangen van het Staatstoezicht op de Mijnen. De Onderzoeksraad voor Veiligheid is periodiek over de opzet, de voortgang en de (tussen-)resultaten van het onderzoek geïnformeerd. Het Openbaar Ministerie is van de start van het onderzoek op de hoogte gebracht en zal het rapport ontvangen ter beoordeling op eventuele strafrechtelijke vervolgstappen.

Met de gemeente Binnenmaas is periodiek afgestemd over de opzet en de voortgang van het onderzoek.

Ook van de rechtstreeks bij het incident betrokken partijen (Stichting Buisleidingenstraat Nederland, Dienst Vastgoed Defensie, Air Liquide, Shell, aannemersconsortium Heijmans/PPS, Braunstahl) is informatie verkregen, deels dank zij op eigen initiatief door hen uitgevoerd aanvullend onderzoek.

3.3 Opzet

Het onderzoek bestond uit het analyseren van documenten, het interviewen van sleutelpersonen en het (laten) uitvoeren van onderzoek op een aantal deelterreinen. Hieronder is opgesomd uit welke deelactiviteiten het onderzoek heeft bestaan.

Documentenanalyse

De volgende documenten zijn geanalyseerd:

- **Het incident**
 - De incidentrapporten van de Stichting Buisleidingenstraat en de brandweer / hulpverleningsdiensten.
 - Intern memo van de Onderzoeksraad Voor Veiligheid over het incident.
 - Interne rapportages van Air Liquide en Shell over het beheer van hun buisleidingen, hun activiteiten tijdens het incident en hun interne onderzoeken naar aanleiding van het incident.
 - De technische documentatie van Air Liquide en Shell over hun waterstof-respectievelijk ethyleenoxideleiding en de in die leidingen aanwezige KB-koppelstukken.
 - Het onderzoeksrapport dat in opdracht van Air Liquide door TNO is uitgevoerd naar de technische staat van het KB-koppelstuk.

- De documentatie van beide bedrijven over de wijze waarop de lekkages aan de leidingen zijn verholpen en de testrapporten vóór heringebruikname.
 - Documentatie van Heijmans over de situatie op de locatie tijdens het incident.
- **De aanleg van de kerosineleiding**
 - De overeenkomst tussen de Stichting Buisleidingenstraat en de Dienst Vastgoed Defensie inzake de kerosineleiding (t.b.v. toetsing van de privaatrechtelijke "aanlegvergunning").
 - De overeenkomst tussen de Dienst Vastgoed Defensie en de aannemerscombinatie Heijmans / PPS inzake de aanleg van de kerosineleiding (t.b.v. onderzoek naar technisch/organisatorische eisen en verantwoordelijkheidstoedeling van de aanleg, inclusief de rol van de notified body, SGS en de onafhankelijk toezichthouder Acta).
 - Werkinstructies en werkverantwoordingsdocumenten van de aannemerscombinatie Heijmans / PPS.
 - **Het beheer van de buisleidingenstraat**
 - Kwaliteitshandboek, werkprocedures en verslagen, rapportages van verrichte beheersactiviteiten (t.b.v. het beoordelen van de manier waarop bouwaanvragen worden getoetst, toezicht bij werkzaamheden wordt uitgeoefend en zettingsmetingen worden uitgevoerd).
 - **Specifieke deskundigheden**
 - Normen op het gebied van buisleidingen en KB-koppelstukken (NEN, TÜV).
 - Technische documenten van Braunstahl (de fabrikant van de KB-koppelstukken).

Interviews

Met de volgende sleutelpersonen zijn gesprekken gevoerd over de volgende onderwerpen:

- **Het incident**
 - De lasser, die de brand heeft gemeld.
 - Enkele overige werknemers, die tijdens het incident in de buurt waren.
 - De projectmanager van de aanleg van de kerosineleiding (Heijmans / PPS).
- **De aanleg van de kerosineleiding**
 - Allen, genoemd onder "het incident".
 - De toezichthouders van het project (Acta (coördinator toezicht namens Heijmans / PPS) en SGS (notified body))
 - Directie en medewerkers van de Stichting Buisleidingenstraat Nederland.
- **Het beheer van de buisleidingenstraat**
 - Directie en medewerkers van de Stichting Buisleidingenstraat Nederland.
- **Specifieke deskundigheden**
 - Directeur Braunstahl (voor kwaliteitseisen aan de door hen geleverde KB-koppelstukken).
 - Medewerkers van Shell en Air Liquide (voor kennis omtrent KB-koppelstukken)

Diepteonderzoek

De VROM-Inspectie heeft de volgende diepteonderzoeken laten uitvoeren:

- **Milieuhygiënisch (door het RIVM)**
 - Een onderzoek naar de aard, de omvang en de mogelijke gezondheidseffecten van de gasontsnapping en de brand.

- **Geotechnisch (door de bureaus Deltares en r+k Consulting Engineers)**
 - Een onderzoek naar (1) de mogelijkheid dat moerasgas de brand zou kunnen hebben veroorzaakt en (2) de mogelijkheid dat geotechnische belasting van de leidingen de lekkage van KB-koppelstukken zou kunnen hebben veroorzaakt.

4 De aard en de omvang van het incident

4.1 De aard van de brandstof

De aard van de brand en de daarbij betrokken brandstof was niet op voorhand duidelijk. In het onderzoek zijn mogelijke brandscenario's geïdentificeerd en op realiteitsgehalte onderzocht. In tabel 4-1 zijn de scenario's beschreven en op realiteitswaarde ingeschat.

Brandstof	Waarschijnlijkheid	Toelichting
Moerasgas	Onwaarschijnlijk	Het ontstaan van moerasgas op die locatie en in die hoeveelheden wordt, gelet op de geohydrologische omstandigheden niet waarschijnlijk geacht (ref. 1.a).
Gemorste brandstoffen c.q. chemicaliën	Onwaarschijnlijk	Ten tijde van het incident waren op de locatie geen relevante brandbare stoffen aanwezig (ref. 2.d, 2.e, 2.f).
Waterstof uit de onderliggende buisleiding	Zeer waarschijnlijk	Het vlambeeld duidt op een waterstofbrand (ref. 1.c). Metingen op waterstof geven tijdens het incident soms een positieve uitslag (ref. 1.s). De brand doofde nadat de druk van de waterstofleiding werd gehaald (ref. 1.l). De waterstofleiding bleek na het incident reeds bij een zeepstest onder lage druk lekkage te vertonen (ref. 1.f, 2.a, 2.h).
Ethyleenoxide uit de onderliggende buisleiding	Onwaarschijnlijk	Het vlambeeld komt niet overeen met een brand waarbij ethyleenoxide is betrokken (ref. 1.a). Metingen op ethyleenoxide geven tijdens het incident telkens een negatieve uitslag (ref. 1.s). De ethyleenoxideleiding bleek bij een zeepstest onder voorgeschreven druk slechts beperkt "zweetverschijnselen" te vertonen (ref 1.g, 2.a, 2.i). De isolatiepakking van de buisleiding bevatte na het incident geen sporen van ethyleenoxide (ref. 1-q).

Tabel 4-1 Mogelijke brandstoffen die bij de brand betrokken zouden kunnen zijn geweest en hun waarschijnlijkheid

De toetsing van de realiteitswaarde van de scenario's heeft plaatsgevonden op basis van de volgende informatie:

- Waarnemingen van personen ter plaatse ten tijde van de brand ten aanzien van b.v. het vlambeeld, het tijdsverloop en de grondstructuur.
- Geotechnisch onderzoek van de situatie ter plaatse (Deltares).
- Wetenschappelijk onderzoek van de aard van de brand en de daarbij betrokken brandstof (RIVM).

- Resultaten van de na afloop van het incident uitgevoerde lektesten van de KB-koppelstukken in beide buisleidingen en gaschromatografisch onderzoek naar de eventuele aanwezigheid van sporen ethyleenoxide in de isolatieschaal van het KB-koppelstuk.

Ten aanzien van de lektesten van beide koppelstukken zij het volgende toegelicht. De bedrijfsdruk van de waterstofleiding is 75 bar. De lekttest van het koppelstuk van de waterstofleiding is uitgevoerd onder 2 bar druk (ref. 2.a). Reeds bij die zeer geringe druk bleek dat het koppelstuk lek was.

De lekttest van (het koppelstuk van) de ethyleenoxideleiding is uitgevoerd onder de juiste omstandigheden, namelijk 18 bar, oftewel 1.5 x de bedrijfsdruk van 12 bar. Daarbij bleek dat het KB-koppelstuk in de ethyleenoxideleiding een geringe lekkage vertoonde. Daaruit zou kunnen worden opgemaakt dat wellicht ook geringe hoeveelheden ethyleenoxide bij het incident is vrijgekomen. Om aan alle onzekerheid over het mogelijk vrijkomen van ethyleenoxide van een eind te maken heeft Shell op verzoek van de VROM-Inspectie de isolatieschaal gaschromatografisch laten testen op de mogelijke aanwezigheid van sporen van ethyleenoxide (ref. 1-q). Als het KB-koppelstuk van de ethyleenoxideleiding onder bedrijfsomstandigheden lekkage zou hebben vertoond dan zou dat, gelet op de eigenschappen van de stof zichtbaar en meetbaar moeten zijn geweest. Die testen op aanwezigheid van de stof waren negatief.

Het is voorstelbaar dat de geringe lekkage van het KB-koppelstuk bij de lekttest is veroorzaakt door beroering van dit leidinggedeelte bij het vrijgraven en verwijderen van de isolatielaag waarbij een geringe beschadiging kan zijn opgetreden dan wel dat de lekkage alleen aan het licht kon treden vanwege het feit dat testen van de leiding met stikstof geschiedt en op een druk die (volgens voorschrift) veel hoger is dan de bedrijfsdruk.

Ten aanzien van het onderzoek van het RIVM (ref. 1-c en bijlage 3) zij toegelicht dat men op verzoek van de VROM-Inspectie heeft onderzocht of er op basis van gegevens over het incident ("het vlambeeld") een inschatting kon worden gemaakt over de aard en de hoeveelheid van het ontsnapte gas.

Uitgaande van de conclusies dat bij de brand geen andere potentiële brandstoffen, zoals bijvoorbeeld moerasgas of gemorste brandbare vloeistoffen, betrokken zijn geweest resteren als bron uitsluitend nog het uit de buisleidingen ontsnappen van waterstof en/of ethyleenoxide.

Het RIVM heeft berekend dat zelfs een miniem gaatje in een leiding, vanwege de grote inwendige druk van de getransporteerde producten, een ontsnapping kan veroorzaken waarbij het gas na diffundatie door het bovenliggende grondpakket aan het grondoppervlak nog een concentratie heeft, als gevolg waarvan, na ontsteking, een bovengrondse brand kan ontstaan. Zowel in het geval van waterstof als van ethyleenoxide kan zich dit voordoen.

Indien ethyleenoxide zou zijn ontsnapt dan zou dat waarneembaar zijn geweest door een zichtbare (roetende) vlam. Wellicht zou zelfs de goed waarneembare (weeïge) geur van ethyleenoxide in de omgeving waargenomen zijn geweest. Die roetende vlam (en die geur) zijn voorafgaand aan en tijdens het incident niet waargenomen. Waterstofgas daarentegen, is reukloos en de vlam van een brand is niet (goed) waarneembaar. De lasser die op 12 oktober 2007 op de ongevallocatie actief was met slijpwerkzaamheden, en met de daarbij vrijkomende vonken naar alle waarschijnlijkheid de brand heeft aangestoken, ontdekte een amper zichtbare brandende plek op enkele meters afstand van zijn werkplek (referentie 2-e). Ook andere medewerkers en hulpverleners hadden moeite om de vlammen van de brand te zien. Om deze redenen wordt het door het RIVM aannemelijk geacht dat het een waterstofbrand moet zijn geweest.

De brand doofde na het afnemen van de druk in de waterstofleiding, terwijl de druk op de ethyleenoxideleiding nog vele uren nadien in stand bleef.

De overall-conclusie op basis van alle feiten moet dus zijn dat de brandstof waterstof moet zijn geweest (voetnoot 8).

4.2 De effecten voor de omgeving

Het incident kan op de omgeving op twee manieren effecten hebben, nl. (1) tijdens het ontsnappen van gas, voorafgaand aan de brand en (2) tijdens de brand, als gevolg van warmtestraling en eventuele giftige verbrandingsproducten. Het RIVM heeft onderzocht of er mogelijk gevaar voor de volksgezondheid aan de orde kan zijn geweest bij dit incident (ref. 1-c). Het RIVM concludeert dat dat niet het geval is geweest. Uitgaande van de eerder getrokken conclusie dat de ontsnapte stof waterstof is geweest oordeelt het RIVM dat geen enkel vergiftigingsgevaar is geweest; niet op het werkterrein en dus ook niet in de omgeving van de buisleidingenstraat. Waterstofgas is niet giftig. Zelfs als de lekkage al vele weken voorafgaand aan het incident zou zijn ontstaan (hetgeen niet valt uit te sluiten) en de omvang van het lek groter zou zijn geweest dan nu het geval was, dan zou zo'n ontsnapping van waterstofgas niet tot vergiftigingseffecten hebben kunnen leiden. Er zijn geen wettelijke grenswaarden overschreden.

Tijdens het incident is, vermoedelijk als gevolg van ontsteking door slijpwerkzaamheden in de buurt van de lekkage, het waterstofgas in brand geraakt. Er was een brandhaard van enkele centimeters hoogte en enkele vierkante centimeters omvang. Bij verbranding van waterstof ontstaat uitsluitend waterdamp zodat het ontsnappende waterstofgas onder die omstandigheid volstrekt onschadelijk wordt.

Brand is, op korte afstand van de brandhaard, uiteraard gevaarlijk voor mensen. Een waterstofbrand is extra gevaarlijk vanwege het feit dat de vlammen van zo'n brand niet of slecht zichtbaar zijn. Werknemers op het terrein hebben dus mogelijk wèl een risico gelopen tijdens het incident.

Zie voor een nadere toelichting op de (mogelijke) effecten van het incident bijlage 3.

- 8 De eigenaar van de waterstofleiding (Air Liquide) deelt de conclusie niet dat haar leiding zodanig lek is geweest dat daardoor de brand kon zijn veroorzaakt. Zij geeft daarbij de volgende argumenten:
1. *"De brand vond niet recht boven de waterstofleiding plaats"*. Reactie: Inderdaad is de brand alleen waargenomen op een plek die ca 1 meter naast de projectie van de waterstofleiding lag. Het verspreidingsgedrag van gas is in zo'n "verstoorde" omgeving nabij het eindgebouw en tijdens de graafwerkzaamheden onvoorspelbaar. Het is daarom aannemelijk dat alleen op gesignaleerde locatie een brandbaar mengsel heeft kunnen ontstaan dan wel dat alleen daar de moeilijk zichtbare brandverschijnselen zijn gesignaleerd. Dit scenario wordt ondersteund door metingen van de brandweer vlak na het ontdekken van de brand, waarbij ook in de omgeving van de brandhaard, namelijk in de gegraven sleuf, een brandbaar gas is gedetecteerd. Het gas verspreidt zich blijkbaar in meerdere richtingen.
 2. *"De bij de lekttest vastgestelde lekkage was zo gering dat er te weinig waterstof zou zijn ontsnapt om een brand te kunnen onderhouden"*. Reactie: Bij de lekttest is geen debietmeting uitgevoerd zodat deze bewering niet kan worden gestaafd. Bovendien is de lekttest uitgevoerd bij een druk van 2 bar (ref. 2.a) en dat is ver onder de bedrijfsdruk van 75 bar. Het is niet onaannemelijk dat de lekkage onder bedrijfsomstandigheden aanmerkelijk groter is geweest.
Zie vervolg onderaan de volgende bladzijde.
 3. *De brand was zichtbaar met een gele vlam. Waterstof brandt kleurloos.* Reactie: De vlammen bleken bij het incident zeer moeilijk waarneembaar. De gelige kleur wordt verklaard door de medeverbranding van (bijvoorbeeld organische) componenten uit de grond.
 4. *Het TNO-rapport toont aan dat het koppelstuk geen gebreken vertoont.* Reactie: Het TNO-onderzoek heeft niet onderzocht hoe het koppelstuk zich gedraagt onder de tijdens het incident aanwezige buig- en trekspanningen.
 5. *Er is nooit waterstofgas gemeten.* Reactie: De rapportage van de Brandweer (ref. 1.i) rapporteert waterstofmetingen met een positief resultaat.

5 De oorzaak van het incident

5.1 Inleiding

In het voorgaande hoofdstuk wordt aannemelijk gemaakt dat het KB-koppelstuk van de waterstofleiding lekkage vertoonde. Daarom heeft het vervolg van het onderzoek zich geconcentreerd op het achterhalen van de reden waarom dit koppelstuk lekkage kon vertonen. Grofweg zijn de volgende scenario's getoetst waarbij beschadiging van een KB-koppelstuk aan de orde kan zijn:

- Beschadiging door ongeoorloofde (tijdelijke) belasting van de grond boven de leiding.
- Beschadiging als gevolg van vervorming van de leiding door zettingen van de grond onder de leiding.
- Aantasting van de gasdichtheid om andere redenen.

Deze scenario's zijn in onderstaande paragrafen behandeld en de geloofwaardigheid is ingeschat.

Overigens zij hier vooraf vermeld dat in het onderzoek van de VROM-Inspectie geen integrale analyse van het volledige aanleg- en beheersproces van de bij het incident in het geding zijnde buisleiding(-en) is uitgevoerd. Er is onderzoek gedaan op basis van vrijwillig verkregen informatie nadat het incident heeft plaatsgevonden. De VROM-Inspectie is van oordeel dat, ondanks deze beperkingen, echter wel een betrouwbaar oordeel kon worden verkregen van de oorzaak van het incident.

5.2 Het KB-koppelstuk

Om te kunnen begrijpen hoe een KB-koppelstuk zou kunnen lekragen, wordt hier eerst globaal de opbouw van zo'n koppelstuk behandeld. Daarbij wordt bovendien specifiek ingegaan op de toestand waarin het koppelstuk in de waterstofleiding werd aangetroffen na afloop van het incident.

Een KB-koppelstuk (zie foto 5-1) bestaat gesimplificeerd gezegd uit een metalen "mof" over twee vrijwel tegen elkaar aansluitende metalen buizen. De geringe ruimte tussen beide buisuiteinden wordt opgevuld door een stelsel van rubberringen, waarbij de ringen er voor zorgen dat de buiseinden elektrisch van elkaar gescheiden worden en andere ringen er voor zorgen dat de buiseinden gasdicht op elkaar aansluiten. De ruimte tussen de buitenkant van de buiseinden en de binnenkant van de "mof" is opgevuld met giethars.

In Nederland worden, voor zover bekend, geen specifieke sterkte-eisen gesteld aan KB-koppelstukken.

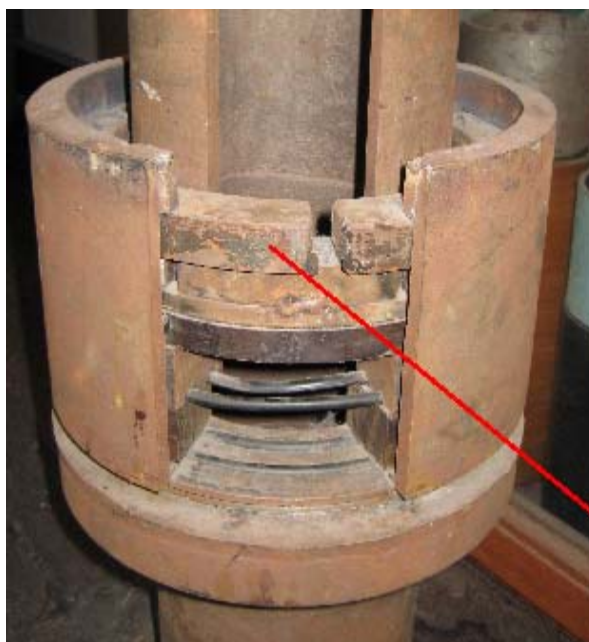


Foto 5-1 Opengewerkt model van een KB-koppelstuk (eigendom: Shell, ref. 1-d)

Dergelijke koppelstukken worden in buisleidingen geplaatst op plaatsen waar de kathodische bescherming moet worden onderbroken. Dit is onder andere het geval in bepaalde tunnels. Zie b.v. de ISO-koppeling in figuur 2-1.

Het koppelstuk, dat bij het incident lekkage bleek te vertonen, is na het incident uitgenomen en in opdracht van Air Liquide materiaaltechnisch onderzocht door TNO Eindhoven (ref. 1-e). Het resultaat van dit onderzoek is niet eenduidig. TNO heeft vastgesteld dat er in de giethars haarscheurtjes aanwezig zijn en dat één van de isolatieringen speling vertoont.

TNO redeneert dat deze 'gebreken' kunnen verklaren dat het koppelstuk lek is geraakt.

De VROM-Inspectie heeft, ter verificatie van deze analyse van TNO, een gesprek gehad met de fabrikant van het koppelstuk, de firma Braunstahl te Kehl (D)(ref. 2-j). Braunstahl stelt dat de scheurtjes in de hars en de speling in een van de ringen een eventuele lekkage van een koppelstuk niet kunnen verklaren. De giethars heeft immers, aldus Braunstahl, géén functie ten aanzien de gasdichtheid. De hars dient uitsluitend voor het beschermen van het KB-koppelstuk tegen de mogelijke indringing van vocht. Ook de speling in één van de isolatieringen is, aldus Braunstahl, verklaarbaar omdat deze ring in het geheel van de constructie geen afdichtende functie heeft; daar zijn de andere aanwezige (twee) ringen voor.

De VROM-Inspectie acht het verweer van Braunstahl tegen de beweringen van TNO aannemelijk.

Vervolgens is het onderzoek naar mogelijke overbelasting van het KB-koppelstuk voortgezet.

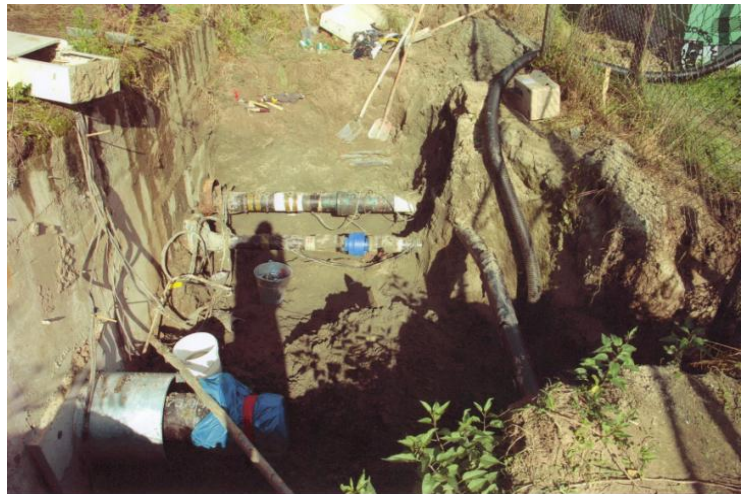
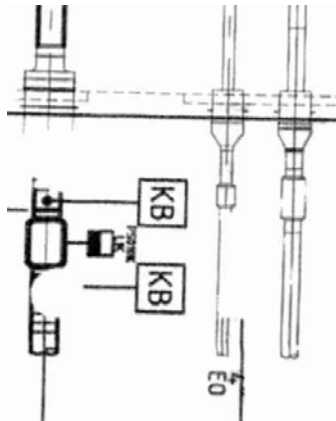
5.3 Beschadiging door ongeoorloofde (tijdelijke) belasting van de grond boven de leiding

Het beheer van de buisleidingenstraat is er op gericht dat bestaande leidingen zo veel mogelijk "met rust worden gelaten". Beïnvloeding van de omringende bodem kan gevolgen hebben voor de integriteit van de leidingen.

Op basis van dossieronderzoek en interviews van betrokkenen is een reconstructie gemaakt van de wijze waarop in oktober 2007 ter plaatse van de brand een nieuwe leiding werd aangelegd en daarbij is getoetst of daarbij de bestaande leidingen zouden kunnen zijn "geraakt" of bovenmatig zouden kunnen zijn belast.

Uit de reconstructie blijkt dat men, ten behoeve van de aanleg van de kerosineleiding, bezig was met werkzaamheden in de nabijheid van de incidentlocatie.

De nieuwe leiding ligt op die locatie op dezelfde diepte als de overige leidingen en op circa 1 meter afstand van de ethyleenoxideleiding en 1.60 meter van de H₂-leiding. Zie figuur 5-1 en foto 5-2. Op de middelste leiding het het (blauwe KB-koppelstuk goed te zien.



Figuur 5-1 en foto 5-2 Boven-aanzicht van de leidingen bij de doorvoeringen in het tunnelgebouw; de (stomp) van de kerosineleiding links op de figuur en vóóran op de foto, de ethyleenoxideleiding in het midden en de waterstofleiding rechts op de figuur en achterin op de foto (ref. 1-h resp. 1-r)

Toelichting: De foto is gemaakt tijdens het testen en repareren van de ethyleenoxide- en de waterstofleiding direct na afloop van het incident, ten behoeve waarvan beide leidingen zijn vrijgegraven. Ten tijde van het incident bevonden deze beide leidingen zich nog ónder een grondpakket, direct naast de sleuf die was gegraven ten behoeve van de aanleg van de kerosineleiding.

Uit documentanalyse en gesprekken met betrokkenen zijn de werkzaamheden geselecteerd, die mogelijk relevant zijn als het om beïnvloeding van de kwaliteit van naastliggende leidingen gaat:

- Het tijdelijk neerleggen van afgegraven grond bovenop de bestaande leidingen.

- Het rijden met zwaar materieel op de bestaande leidingen.
- Het plaatsen van zware apparatuur op de bestaande leidingen.



Foto 5-3 Tijdelijke opslag vrijkomende grond ter hoogte van de incidentlocatie (ref. 1-h)

Ten behoeve van de plaatsing van de nieuwe kerosineleiding is een sleuf gegraven waarbij de vrijkomende grond deels bovenop de bestaande nabijgelegen leidingen is gedeponereerd. De maximaal toegestane opslaghoogte is 1 meter (zie voorschrift 16.3. zoals geciteerd in bijlage 4). Uit interviews van betrokkenen (ref. 2-b, 2-d, 2-f) en foto's van de situatie ter plaatse (ref. 1-h) kan worden opgemaakt dat aan die eis naar alle waarschijnlijkheid is voldaan zodat er van mag worden uitgegaan dat om die reden geen onaanvaardbare belasting van die leidingen kan zijn opgetreden. Zie foto 5-3.

Bij de aanleg van de kerosineleiding is een aantal verschillende typen werktuigen gebruikt. Voor het werken met zware voertuigen in de nabijheid van bestaande leidingen gelden strenge eisen om te voorkomen dat de aanwezige leidingen zouden kunnen worden beschadigd. Uit fotomateriaal (ref. 1-r en 1-h) en verklaringen van betrokken werknemers (ref. 2-d en 2-f) moet worden geconcludeerd dat ter plaatse een graafmachine is gebruikt met een gronddruk van ongeveer 50 kPa. Uit foto's van de situatie ter plaatse, die voorafgaand aan en tijdens het incident zijn gemaakt, kan worden afgeleid dat dit voertuig op diverse delen van de bestaande leidingen heeft gereden. Dat is in strijd met het voorschrift dat de Stichting Buisleidingenstraat stelt aan de maximum gronddruk van voertuigen boven bestaande leidingen. De gronddruk mag niet meer bedragen dan 30 kPa. Zie foto 5-4 en voorschrift 11.2.3. zoals geciteerd in bijlage 4.



Foto 5-4 Rijsporen bovenop liggende leidingen, veroorzaakt door een "zware" graafmachine (ref. 1-r)

De VROM-Inspectie heeft tevens verkend of op andere wijzen de liggende leidingen bovenmatig kunnen zijn belast. Daarbij is gebleken dat er ten behoeve van de aanleg van de kerosineleiding een pompset (container met pomp inclusief toebehoren) is geplaatst nabij de incidentlocatie. Zie foto 5-5. De pompset is, in strijd met de voorschriften van de Stichting (zie bijlage 4, voorschrift 4.6.5) geplaatst bovenop de liggende leidingen.



Foto 5-5 Pompset, geplaatst bovenop liggende leidingen (ref. 1-r)

Het uitoefenen van een (grote) belasting op de leidingen hoeft niet in alle situaties tot schade te leiden, zelfs als die belasting groter is dan de voorschriften toestaan. Teneinde te kunnen vaststellen of er op de incidentlocatie schade kan zijn veroorzaakt door de opgebrachte grond en/of in combinatie met het rijden met "te zware" graafmachines en/of het plaatsen van de pompset heeft Deltares, daarbij geadviseerd door r+k Consulting Engineers (ref. 1.a en 1.b) een computersimulatie

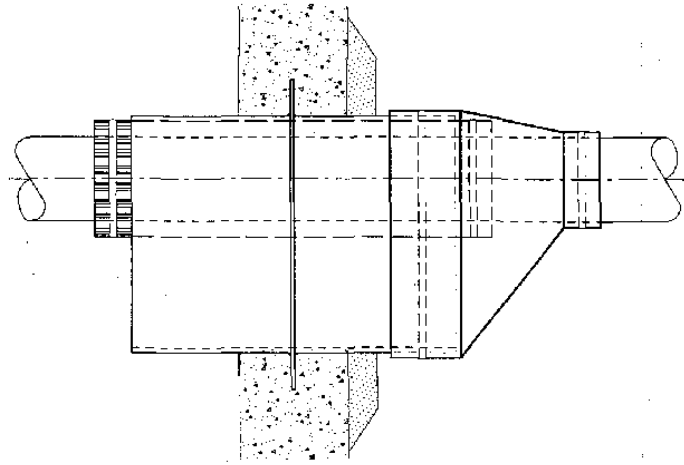
uitgevoerd. Daaruit wordt geconcludeerd dat het (in overeenstemming met de voorschriften) tijdelijk opslaan van grond en het (in strijd met de voorschriften) rijden met de graafmachine en het plaatsen van een pompset *op de onderzochte locatie* alle een te verwaarlozen effect hebben op de zetting van de grond onder de leidingen. De leidingen kunnen als gevolg van deze activiteiten *op de onderzochte locatie* onder normale omstandigheden geen schade hebben opgelopen. Overigens wordt opgemerkt dat die schade min of meer "bij toeval" niet is opgetreden. Ter plaatse van het incident ligt (vanwege de nabijheid van het tunnelgebouw) een dik zandpakket onder de leidingen. Dat zand zorgde ervoor dat de leidingen niet gemakkelijk naar beneden konden worden "weggedrukt". Bovendien gold in de huidige situatie de "geluksfactor" dat het zware verkeer, vanwege de aanwezigheid van een hek (zie foto 5-5), niet kon doorrijden tot bovenop de KB-koppelstukken. Op andere plekken langs het tracé, zoals in gebieden met een slappe bodem, leidt belasting door zwaar materieel mogelijk wél tot schade. Andere tracégedeelten zijn overigens in het kader van dit incident niet onderzocht.

De VROM-Inspectie concludeert dat de werkzaamheden die samenhangen met de aanleg van de nieuwe kerosineleiding weliswaar niet volgens de voorschriften zijn uitgevoerd maar dat het zware werkverkeer en de drainagepomp bovenop de leidingen onder normale omstandigheden niet kunnen hebben bijgedragen aan het lekken van de waterstofleiding.

5.4 Beschadiging als gevolg van vervorming van de leiding door zettingen van de grond onder de leiding

Grond is in Nederland, gelet op de aanwezigheid van samendrukbare lagen zoals veen, op veel plaatsen in beweging. Meestal leidt dit tot geleidelijke zakkingen in de ondergrond. Bij het aanleggen en het beheren van buisleidingen wordt aan dit natuurverschijnsel specifiek aandacht besteed. De grondgesteldheid wordt beoordeeld en zo nodig worden zandophopingen aangebracht om een zodanig maaiveldniveau te verkrijgen, zodat de aanleg van leidingen in de toekomst met zo min mogelijk problemen kan worden gerealiseerd. In die gevallen wordt zand opgebracht om stabiliteit te verzekeren. Zo ook bij de aanleg van het tunnelgebouw onder de Oude Maas. Ter hoogte van de incidentlocatie zijn in de jaren '70 meters zand opgebracht. Daarmee is een min of meer stabiele situatie gecreëerd. In voorschriften van de Stichting Buisleidingenstraat (24.1 en 24.2 van ref. 1-j) is vastgelegd dat op relevante locaties zakbaken moeten zijn aangebracht (zie bijvoorbeeld de zakbaak in figuur 2-1) en dat periodiek zogenaamde zakbaakmetingen worden verricht om te controleren of en zo ja, hoeveel de buisleidingen zakken. Als de zakkingen te groot worden dan worden de leidingen "opgehaald". Deze voorzorgen worden getroffen om te voorkomen dat buisleidingen plaatselijk aan te hoge belastingen worden blootgesteld.

Op basis van dossieronderzoek en interviews van betrokkenen is een reconstructie gemaakt van de situatie ten aanzien van zakkingen in oktober 2007 ter plaatse van het incident. De reconstructie leidt tot het inzicht dat de zakbaakmetingen door de Stichting Buisleidingenstraat niet systematisch volgens eigen planning worden uitgevoerd. In enkele recente jaren zijn op de ethyleenoxideleiding geen zakkingmetingen uitgevoerd omdat de zakbaak op deze leiding al jaren afwezig bleek te zijn. Voor deze leiding kunnen dus alleen op indirecte wijze (namelijk via het interpreteren van het gedrag van naastliggende leidingen) de zakkingen worden vastgesteld.



De zakkingen ter hoogte van de incidentlocatie kunnen ook op een andere manier worden bepaald. De leidingen verdwijnen hier immers vanuit de grond middels "doorvoeringen" in het tunnelgebouw alwaar de loop van de leidingen voor inspecties zichtbaar is. Zie figuur 5-2 (ref. 1.g) en foto 5-7 (ref. 1-r).

Figuur 5-2 Voorbeeld van een doorvoering van een leiding in het eindgebouw Zuid (ref 1.g).

Zo kan er in de doorvoeringen worden vastgesteld of de leidingen zakken ten opzichte van het gebouw. De stichting organiseert jaarlijks inspectierondes, waarvoor ook de leidingexploitanten worden uitgenodigd en waarbij de kwaliteit en de ligging van de leidingen in de tunnel worden gecontroleerd.

De stichting verklaart dat bij die inspecties soms naar de ligging in de doorvoeringen wordt gekeken. Specifieke inspectierapportages hierover zijn echter niet voorhanden.

Direct nadat het incident onder controle was gebracht zijn de leidingen van ethyleenoxide en waterstof vrijgegraven om de staat van die leidingen te kunnen vaststellen. Daarbij is gebleken dat beide leidingen fors waren verzakt. Voor de waterstofleiding is bovendien vastgesteld dat ze "klem lag" tegen de onderkant van de doorvoering. Zie foto 5-6 van de waterstofleiding (ref. 1.r) en foto 5-7 van (vooraan) de ethyleenoxideleiding en daarachter) de waterstofleiding (ref. 1.r). De Stichting heeft bovendien gerapporteerd dat na het vrijgraven van de waterstofleiding en na het loskoppelen van de isolatiekoppeling bleek dat de leiding onder lichte spanning lag (ref. 1.t).



Foto 5-6 Doorvoering in het eindgebouw Zuid (buitenzijde) van de H2-leiding onmiddellijk na het incident (ref. 1.r)

Toelichting: Met de duimstok kon worden vastgesteld dat de "speling" onderin de doorvoering ontbreekt.



Foto 5-7 Doorvoering in het eindgebouw Zuid (binnenzijde) van de leidingen voor achtereenvolgens kerosine, ethyleenoxide (met rode band) en waterstof, onmiddellijk na het incident (ref. 1.r)

Toelichting: Ook van binnenuit het eindgebouw gezien mag worden aangenomen dat de leidingen onderin de doorvoering "aanliggen" hetgeen indiceert dat (onaanvaardbare) spanningen op de leidingen kunnen optreden.

De VROM-Inspectie stelt aan de hand van deze foto's vast dat de waterstofleiding ten tijde van het incident onderin de doorvoering moet hebben "aangeleggen". Als een leiding op deze manier "klem komt te liggen" dan treden vervormende (trek- en buig-)krachten op die onwenselijk zijn. De mate waarin dat "aanliggen" heeft plaatsgevonden en de grootte van de krachten die als gevolg hiervan moeten zijn opgetreden zijn achteraf niet meer vast te stellen. Ook de ethyleenoxideleiding en vele andere leidingen in het eindgebouw lijken overigens bijna of geheel onderin de doorvoeringen te liggen.

Het aanliggen van leidingen treedt uiteraard eerder op naarmate de leidingen bij de aanleg lager in de doorvoeringen worden aangebracht. De VROM-Inspectie heeft getracht te achterhalen welk beleid er wordt gevoerd ten aanzien van de positie van leidingen in doorvoeringen. Er blijkt geen uniform en strikt beleid te zijn. Uit figuur 5-1 mag worden opgemaakt dat de leiding in kwestie (de ethyleenoxideleiding) bovenin is gemonteerd. De Stichting schrijft in haar evaluatierapport over het incident (ref. 1.u) dat leidingen bij aanleg "centrisch" moeten worden ingevoerd in de doorvoering. Als men leidingen op die wijze monteert dan is de resterende speling onder de leiding gehalveerd. Het daadwerkelijk opgetreden zettingverloop van de leidingen gedurende de afgelopen jaren bleek, mede door het ontbreken van meetgegevens, moeilijk in kaart te brengen. Deltares schat dat het 10 tot 14 cm is geweest in de periode van tien jaar die er zat tussen de aanleg van de leiding tot het moment van het incident. Het kan echter ook 21 of 28 cm geweest zijn. De speling onder bijvoorbeeld de waterstofleiding is 12 cm geweest indien de leiding bovenin de doorvoering is aangelegd en dat de speling is 6 cm geweest indien de leiding centrisch is ingevoerd. In beide gevallen is het aanliggen dus aannemelijk gemaakt.

Om te kunnen beoordelen of de als gevolg van de zakkingen optredende krachten in de KB-koppelstukken aanvaardbaar zijn moeten de krachten worden berekend en vergeleken met de "tolerantiewaarden" zoals die door fabrikant of normcertificaat zijn gegarandeerd.

Deltares / r+k Consulting Engineers heeft in opdracht van de VROM-Inspectie de krachten in kaart gebracht die op de incidentlocatie op de KB-koppelstukken van de ethyleenoxide- en de waterstofleidingen als gevolg van zettingen zijn uitgeoefend. Zie de rapporten in bijlage 1 en 2 (ref. 1-a en 1.b.). In tabel 5-1 zijn de resultaten van deze studie samengevat.

Waterstofleiding	Positie in leiding-doorvoering	Zettingen (in cm)	Krachten en momenten in de isolatiekoppeling			
			Normaalkracht (kN)	Dwarskracht (kN)	Buigend moment (kNm)	Torsiemoment (kNm)
Uitgangspositie	Bovenin, vrij	0	136.5	0.8	1.2	0.28
Na kleine zakking	Aanliggend	13	139.5	6.0	8.9	2.47
Na grotere zakking	Aanliggend	19.5	139.6	24.0	6.7	0.79
Ethyleenoxide-Leiding	Positie in leiding-doorvoering	Zettingen (in cm)	Krachten en momenten in de isolatiekoppeling			
			Normaalkracht (kN)	Dwarskracht (kN)	Buigend moment (kNm)	Torsiemoment (kNm)
Uitgangspositie	Bovenin, vrij	0	12.3	1.5	1.0	0.14
Na kleine zakking	Aanliggend	12	14.9	2.2	1.7	0.92
Na grotere zakking	Aanliggend	18	14.8	7.6	9.2	0.64

Tabel 5-1 Berekende krachten op de KB-koppelstukken van de leidingen voor waterstof en ethyleenoxide onder invloed van diverse niveaus van zettingen waaronder situaties waarin "aanliggen" onderin de doorvoering aan de orde is (bewerking van informatie uit ref. 1.b)

De tabel geeft inzicht in het krachtenverloop. De op het koppelstuk uitgeoefende krachten en momenten nemen in het algemeen toe naarmate de leiding verder zakt. Een bovenmatige toename treedt op als de leiding onderin de doorvoering klem komt te zitten tegen de onderkant. De ontwikkeling van de krachten is voor beide leidingen globaal hetzelfde; alleen de toename is in de waterstofleiding groter dan die in de ethyleenoxideleiding.

De berekende krachten zeggen op zichzelf niet veel. Beter is het om de berekende waarden te toetsen aan normen. Het is echter vooralsnog onbekend tegen welke krachten een KB-koppelstuk bestand is. Men lijkt er van uit te gaan dat een koppelstuk even sterk is en zich hetzelfde gedraagt als de leiding waarin het is opgenomen. Dat blijkt een misvatting.

Fabrikant Braunstahl waarschuwt bij levering van dit type KB-koppelstukken dat ze tijdens de montage en het in bedrijf zijn aan **geen enkele (fysieke) uitwendige kracht mag** worden blootgesteld omdat anders lekkage kan optreden (bijlage 6, ref. 1-i). Er wordt nadrukkelijk gewaarschuwd voor het belasten van koppelstukken met krachten en momenten, zoals die bijvoorbeeld in bovenstaande tabel zijn berekend.

De VROM-Inspectie komt tot de conclusie dat het KB-koppelstuk in de waterstofleiding, gelet op de op de incidentlocatie heersende omstandigheden is blootgesteld aan onaanvaardbaar hoge krachten en dat de zakkingen, waarschijnlijk in combinatie met het "aanliggen van de leiding" de oorzaak moet zijn geweest van de lekkage van de waterstofleiding.

De VROM-Inspectie heeft getracht nadere informatie te achterhalen om te kunnen toetsen of deze "zwart wit conclusie" gerechtvaardigd is en heeft daarvoor de Duitse normen voor KB-koppelstukken geanalyseerd.

Koppelstukken van Braunstahl worden immers geleverd met een zogenoemd VdTÜV-Merkblatt (ref. 1-o). Voor wat betreft de eisen op het gebied van sterkte ten opzichte van uitwendige krachten is in dit normblad vastgelegd dat de koppelstukken moeten worden onderworpen aan een test waarin het "statische buiggedrag" moet worden gemeten. Op de koppelstukken moet een buigend moment worden uitgeoefend tot het moment dat de buis knikt. Nadien moet worden vastgesteld dat het koppelstuk, ondanks de uitgeoefende krachten, niet lek is. Er mag dus worden verondersteld dat het koppelstuk van de leiding aan deze sterkte-eis voldoet mits de leiding daaraan voldoet. r+k Consulting Engineers berekent dat dat voor de waterstofleiding naar alle waarschijnlijkheid onder de in te tabel beschreven omstandigheden nog het geval is geweest; voor de ethyleenoxideleiding overschrijdt het buigend moment de normen in een situatie waarbij sprake is van een "grotere zakking".

Het Duitse normblad geeft echter geen sterkte-eisen voor de in het koppelstuk optredende dwarskrachten en torsiemomenten zodat voor deze parameters niet kan worden getoetst of het koppelstuk onder de heersende praktijkomstandigheden heel had moeten blijven. Over dit vraagstuk is overleg gevoerd met de fabrikant van het KB-koppelstuk Braunstahl (Kehl, D). (ref. 2.j). Braunstahl is in dat overleg geconfronteerd met het overzicht van de krachten en momenten zoals r+k Consulting Engineers die voor de situatie ten tijde van het incident heeft berekend. Braunstahl stelde in dat overleg dat men voor KB-koppelstukken per type in voorkomende gevallen normen stelt aan krachten en momenten. Ter vergadering twijfelde Braunstahl of het bewuste KB-koppelstuk van de waterstofleiding de tijdens het incident heersende krachten en momenten zou kunnen weerstaan. Men zegde toe de archieven te zullen raadplegen en, indien beschikbaar, concrete informatie per koppelstuk te zullen verstrekken. Die informatie is, ondanks een reeks herhaalde verzoeken via verschillende kanalen, niet verstrekt.

Uit tabel 5-1 blijkt dat de krachten en momenten, die worden uitgeoefend op het KB-koppelstuk, toenemen naarmate de buisleiding verder in de bodem wegzakt en de zettingen toenemen. De krachten nemen exponentieel toe als de buisleiding onderin de doorvoering de bodem bereikt en gaat "aanliggen". Dan is de situatie bereikt dat de leiding niet meer kan meezakken en dat de leiding (of het daarin aanwezige KB-koppelstuk) zwaar op de proef wordt gesteld. Dan kunnen begrijpelijkerwijze lekkages optreden.

De VROM-Inspectie komt derhalve tot de conclusie dat de op het KB-koppelstuk van de waterstofleiding uitgeoefende krachten, als gevolg van zakkingen en de hefboomwerking als gevolg van het aanliggen, groter zijn geweest dan de krachten waarvoor het koppelstuk wellicht is "gegarandeerd". Het is dus aannemelijk dat de lekkage van het koppelstuk het gevolg is van de belasting, die de leiding heeft ondervonden als gevolg van zettingen van de ondergrond.

Over de omvang en aanvaardbaarheid van de krachten op het KB-koppelstuk in de ethyleenoxideleiding kunnen hier geen uitspraken worden gedaan. Het ligt voor de hand om voor dit koppelstuk dezelfde conclusies te trekken als voor het koppelstuk in de waterstofleiding. Over het mogelijk aanliggen in de doorvoering ontbreekt voor deze leiding echter tastbare informatie zodat het onduidelijk is of ook in dit koppelstuk de hoge aanligkrachten aan de orde zijn geweest.

5.5 Aantasting van de gasdichtheid om andere redenen

Bij lekkages zoals deze, in complexe systemen en onder moeilijk te meten en te modelleren omstandigheden, kan nooit worden uitgesloten dat er andere redenen zijn waarom de gasdichtheid van het KB-koppelstuk te wensen overlaat. Er zou kunnen worden geopperd dat het koppelstuk is aangetast van binnenuit door de (chemische) inwerking van het product. Van zuurstof is bijvoorbeeld bekend dat het de rubberringen kan aantasten. Voor waterstof wordt dit scenario door de fabrikant niet reëel geacht (ref. 2-j). Een andere reden zou kunnen zijn dat door spontane veroudering lekkages in de rubberen afsluitringen ontstaan. Ook dit scenario wordt niet waarschijnlijk geacht, gelet op het feit dat het koppelstuk nog geen tien jaar oud was.

5.6 Conclusie

Na een systematische en diepgaande analyse van mogelijke scenario's die het lekken van KB-koppelstukken op de incidentlocatie kunnen verklaren komt de VROM-Inspectie tot de conclusie dat de oorzaak van het lekken van het koppelstuk in de waterstofleiding moet worden gevonden in de bovenmatige belasting van het koppelstuk als gevolg van zettingen van de ondergrond. Met name de sterke toename van krachten die optreden als gevolg van de hefboomwerking die ontstaat bij het aanliggen van de leiding in de nabijgelegen doorvoering lijkt de lekdichtheid van het koppelstuk nadelig te hebben beïnvloed.

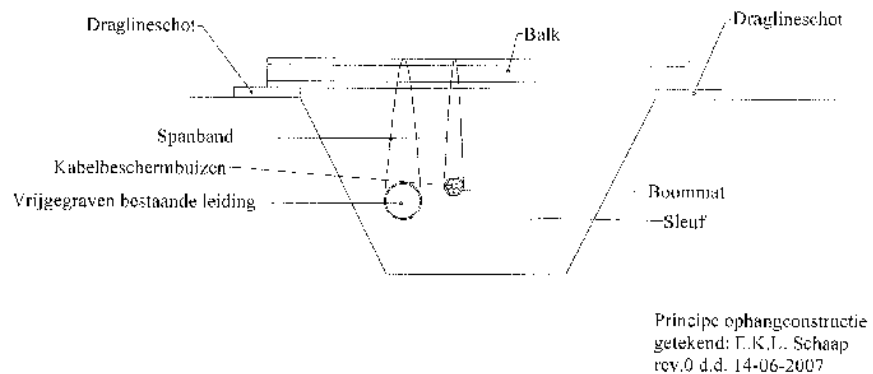
Het is niet uitgesloten dat in die situatie ook het rijden bovenop de leiding met zwaar materieel heeft bijgedragen aan (het vergroten van) de lekkage maar dat kon niet worden vastgesteld.

Over de belasting van het naastgelegen koppelstuk in de ethyleenoxideleiding kan, vanwege het ontbreken van voldoende praktijkinformatie geen stellig oordeel worden uitgesproken maar het ligt voor de hand te veronderstellen dat ook dit koppelstuk overbelast is geweest.

Terzijde 1

Het aansluiten van een leiding vanuit het vrije veld op een leiding in een civiele constructie, zoals het eindgebouw van de tunnel onder de Oude Maas, is een complexe activiteit waarbij extra zorgvuldig moet worden gewerkt en waarvoor extra veiligheidseisen gelden. Eén van die eisen is dat bij werkzaamheden aan de nieuwe leiding de bestaande ingegraven leidingen ter plaatse moeten worden vrijgegraven en deugdelijk moeten worden ondersteund opdat eventuele schade aan die leidingen zo veel mogelijk wordt voorkomen en eventuele problemen goed kunnen worden gesignaleerd en verholpen (Zie het plan van aanpak "Leidingtunnel Oude Maas" uit ref. 1-h). Zie figuur 5-3 waarin de aanlegconstructie schematisch is getekend.

Ophangconstructie bestaande kabels en leidingen



Figuur 5-3 Voorgeschreven ophangconstructie bestaande kabels en leidingen bij de aanleg van de kerosineleiding (ref. 1-h)

Uit interviews van betrokkenen (ref. 2-b, 2-d) blijkt dat dat vrijgraven niet heeft plaatsgevonden. Was wel volgens de voorschriften gewerkt dan was de lekkage van de waterstofleiding mogelijk tijdig gesignaleerd en verholpen vóórdat het incident had kunnen plaatsvinden.

Terzijde 2

Tijdens het vrijgraven van de leidingen ter identificatie van de lekkage zijn door toezichthouders van de Onderzoeksraad voor Veiligheid twee fysieke verschijnselen gesignaleerd waarvan is onderzocht of ze in verband kunnen worden gebracht met de lekkage en/of de brand van het incident. Ten eerste is vastgesteld dat de grond waarop de brand plaatsvond "verhard" was ten opzichte van de omringende en onderliggende grond (zie foto 5-8).



Foto 5-8 Verhard grondoppervlak (lichtgekleurde grondklomp) op de plaats waar de brand plaatsvond (ref. 1.r).

Vanwege een gebrek aan voldoende informatie is er geen studie uitgevoerd naar de verbrandingscondities tijdens de brand, waaronder de temperatuur. Het is mogelijk dat de brand een verglazing heeft veroorzaakt van het bovenste grondpakket.

Bovendien bleek dat er onder het KB-koppelstuk van de waterstofleiding een klomp aarde hing in de vorm van een wespennest (zie foto 5-9). Dit verschijnsel van verharding van omliggende grond treedt op als in de coating van een kathodisch beschermde buisleiding minuscule beschadigingen aanwezig zijn. Er treedt dan een proces op waarbij de omliggende grond "verzout" met samenklontering als gevolg.



Men signaleert dit verschijnsel op verschillende locaties en bij verschillende buisleidingen met een verschillend transportmedium. De aanwezigheid van dit "KB-zout" op de onderzochte incidentlocatie is dus een indicatie dat de coating op die plek beschadigd is geweest maar het is dus geen indicatie dat de buisleiding

zelf lek zou zijn en dat het waterstofgas dit samenklonteren zou kunnen hebben veroorzaakt (ref. 2.h en 2.n).

Foto 5-9 Verharde klomp grond (zie gele pijl) rechtsonder het KB-koppelstuk van de waterstofleiding ("KB-zout") (ref. 1.r)

6 Het handelen van betrokkenen

In het voorgaande hoofdstuk is de hoofdvraag ten aanzien van het incident beantwoord. De oorzaak van het incident is een samenloop van een aantal technische, organisatorische en beleidsmatige fouten.

In het onderzoek is getracht te achterhalen welke oorzaken ten grondslag hebben gelegen aan het feit dat deze combinatie van fouten kon optreden.

De feiten die de VROM-Inspectie heeft vastgelegd gedurende de looptijd van het onderzoek zijn "gebundeld" in een poging om het handelen van de vele bij het incident, direct of indirect, betrokken instanties en bedrijven in meer algemene zin in kaart te brengen.

Daarnaast is geanalyseerd op welke punten de huidige praktijk blijkbaar onduidelijk of onvolledig is, hetgeen in de uitvoeringspraktijk aanleiding kan geven tot misverstanden over elkaars verantwoordelijkheden en taken en tot een gebrek aan kwaliteit en aandacht, waar het de veiligheid voor omwonenden betreft.

6.1 Onduidelijke verantwoordelijkheidsverdeling inzake het veiligheidstoezicht

In het verleden was de toedeling van verantwoordelijkheden op het gebied van toezicht overzichtelijk. De Stichting waakte niet alleen over het tracé van de buisleidingenstraat maar controleerde ook de relevante veiligheidsaspecten van alle leidingen in het tracé. De toezichthoudende rol van de exploitant en/of derden was beperkt. Enkele jaren voordat zich het incident voordeed is de verantwoordelijkheidsverdeling tussen deze partners aangepast. De beherende en toezichthoudende rol van de Stichting is beperkt. Ten tijde van het incident was de verantwoordelijkheid voor de technische en mechanische integriteit van de leidingen neergelegd bij de exploitanten van de leidingen in kwestie. De Stichting waakt nog "slechts" over de juistheid van het tracé, de ongestoorde ligging van de leidingen en het onderhoud aan de aanwezige infrastructuur.

Deze wijziging in toezichtsverhoudingen is er mede de oorzaak van dat de leidingexploitant en/of aannemer "derde partijen" (zoals "notified bodies" en "onafhankelijk toezichthouders") zijn gaan aantrekken om het toezicht door en namens hen vorm te geven.

Zo werd de nieuwe kerosineleiding in opdracht van de Dienst Vastgoed Defensie aangelegd door een consortium van bedrijven onder de naam Heijmans / PPS. De Dienst Vastgoed Defensie heeft voor de aanleg van de kerosineleiding met de aannemer Heijmans / PPS een contractvorm gekozen waarbij vrijwel alle verantwoordelijkheden en taken voor het veilig ontwerp en de aanleg zijn gelegd bij de aannemer.

In het aanneemcontract was vastgelegd dat de aannemerscombinatie na oplevering van de leiding een kwaliteitscertificaat NEN 3650 moest overleggen. Bovendien heeft de aannemerscombinatie een eigen onafhankelijk toezichthouder aangesteld om toe te zien op de juiste aanleg. SGS Antwerpen is ingehuurd als notified body en Acta als onafhankelijk toezichthouder.

De onafhankelijke toezichthouder gaf, in een gesprek over zijn taakopvatting (ref. 2.f), aan vrijwel uitsluitend toezicht te houden op de arbeidsomstandigheden en minder oog te hebben voor naleving van de voorschriften van de stichting. De onafhankelijk toezichthouder van de aannemer gaf er bijvoorbeeld blijk van niet op de hoogte te zijn van eisen ten aanzien van de maximale gronddruk van voertuigen.

Het onafhankelijk certificatiebureau SGS bleek, getuige haar uitleg over haar taakopvatting als notified body (ref. 2.g) met name oog te hebben voor de kwaliteit van de aan te leggen leiding. Ze bleek het niet tot haar taak te rekenen aandacht te besteden aan het naleven van de voorschriften van de stichting die er voor zijn bedoeld om schade aan andere eigendommen (lees: de reeds aanwezige leidingen) te voorkómen.

In dit geval is dus gebleken dat meer toezicht(-houders) niet per definitie leidt tot beter toezicht. Hiermee zij niet gezegd dat "vroeger alles beter was" en dat een nieuwe verantwoordelijkheids-verdeling in het toezicht per definitie onwenselijk is. De VROM-Inspectie is echter van oordeel dat de verantwoordelijkheden in het geval van de aanleg van de kerosineleiding onvoldoende waren afgebakend en deels onvoldoende waren ingevuld (noot 9).

De aanleg van zo'n buisleiding is een zeer complexe en tijdrovende klus. Het onderzoek heeft zich uitsluitend gericht op de werkzaamheden die Heijmans / PPS op de dag van het incident en enkele dagen daaraan voorafgaand heeft verricht op en nabij de incidentlocatie ter hoogte van het eindgebouw Zuid. Daarbij zijn de in dit hoofdstuk vermelde overtredingen van de voorschriften van de Stichting vastgesteld (zie hierna).

Het toezicht door de combinatie van toezichthouders heeft dit type (veelal simpel vast te stellen) overtredingen blijkbaar niet aan het licht gebracht.

Dit onderzoek geeft aan dat bij de aanleg van de kerosineleiding een aantal (deels simpel vast te stellen) overtredingen is begaan. Het feit, dat die overtredingen niet zijn opgemerkt, leidt tot de conclusie dat het toezicht bij de bouw van buisleidingen zou moeten worden herzien. Partijen kijken nu naar elkaar waar het gaat om de verantwoordelijkheid voor het toezicht met als gevolg dat het toezicht kwalitatief en kwantitatief onder de maat is gezakt.

6.2 Overtreding van regels ten aanzien van de veiligheid

Ten tijde van het incident was de publiekrechtelijke regelgeving op het gebied van het veilig leggen of beheren van buisleidingen nog in ontwikkeling. Het Besluit externe veiligheid buisleidingen was (en is bij het ter perse gaan van deze publicatie) nog niet van kracht (noot 10). Daarom is in het kader van dit onderzoek alleen getoetst of er bij de aanleg van de kerosineleiding is voldaan aan de privaatrechtelijke bepalingen in de "Overeenkomst tot gebruik van de buisleidingenstraat en tot exploitatie van daarin gelegen leidingen" van de Stichting Buisleidingenstraat Nederland (ref. 1.j) en daarin verankerde aanvullende normen, eisen of procedures, zoals NEN 3650 waarin eisen zijn vastgelegd ten aanzien van het "veilig werken".

Het onderzoek stelt vast dat er bij de aanleg van de kerosineleiding overtredingen zijn begaan ten opzichte van de genoemde Overeenkomst die de veiligheid van de omgeving beoogt te borgen. Het betreft overtredingen op het gebied van het te zwaar belasten van liggende leidingen en het niet volgen van een voorgeschreven

9 De Dienst Vastgoed Defensie heeft overigens medegedeeld dat ze het met deze conclusie niet eens is. Ze is van oordeel dat in het geval van de aanleg van de kerosineleiding alle verantwoordelijkheden ten aanzien van het veilig aanleggen van haar leiding, inclusief het naleven van alle publiekrechtelijke en privaatrechtelijke regels lagen bij de aannemer. De VROM-Inspectie is van oordeel dat de Dienst noch haar privaatrechtelijke verplichting jegens de Stichting noch haar publiekrechtelijke verplichtingen ingevolge de Wet milieubeheer kan overdragen aan derden.

10 Overigens bestond er toen al wel een algemene zorgplicht ten aanzien van de mens en het milieu in het kader van de Wet milieubeheer en de Wet Gevaarlijke Stoffen.

(aanleg-)procedure.

Daarnaast is gebleken dat het beheer van zakbaken (ten aanzien van de aanleg en het meten van zakkingen) onzorgvuldig is uitgevoerd door de Stichting.

De toetsing op mogelijke overtredingen van privaatrechtelijke regels bij de aanleg van de kerosineleiding en het beheer van het leidingentracé is overigens niet integraal en diepgaand uitgevoerd. Voor de analyse is alleen de kennis gebruikt die ten aanzien van het incident Heinenoord is vergaard. Uit het feit dat in dit onderzoek een beperkt aantal strijdigheden c.q. overtredingen is gesignaleerd mag dus niet worden geconcludeerd dat “de rest wel goed zat”.

6.3 Gebrek aan criteria voor de beoordeling van veiligheidsrelevante aspecten

Het onderzoek heeft aannemelijk gemaakt dat het KB-koppelstuk van de waterstofleiding is lekgeraakt. Het lekragen van KB-koppelstukken als deze komt vaker voor, meestal bovengronds. De huidige lekkage deed zich ondergronds voor, hetgeen uiteraard moeilijker is vast te stellen en te voorkomen. Bovendien bevond het koppelstuk in kwestie zich in een bouwtechnisch gezien complexe omgeving, vlakbij de doorvoering in een tunnel en in een zettingsgevoelig gebied.

In het onderzoek is gebleken dat KB-koppelstukken bij het toetsen van de sterkte van leidingen en constructies worden beschouwd als “even sterk als de leiding zelf”. Het onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat dat een onjuiste aanname is. De invloed van specifieke krachten en buig- en torsiemomenten op de lekdichtheid is veronachtzaamd. Er moet daarom bij aanleg en beheer meer zorg worden besteed aan het omgaan met dit type leidingonderdelen. Blijkbaar is naar aanleiding van die voorgaande incidenten niet eerder onderzocht hoe die “zwakte” wordt veroorzaakt en hoe daarmee moet worden omgegaan.

Het onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat er, naast het ontbreken van een specifiek beleid voor KB-koppelstukken, ook behoefte bestaat om een aantal andere parameters te (her-)bezien vanwege de relevantie voor de veiligheid van de omgeving. Dit zijn in elk geval het beleid ten aanzien van doorvoeringen, zakkingen, zwaar verkeer en zware apparatuur en het vrijgraven van naastliggende leidingen in complexe situaties, zoals bij het aansluiten van leidingen op starre constructies.

7 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van de bevindingen uit dit VROM-Inspectie onderzoek naar de oorzaak van het incident Heinenoord worden de volgende conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

7.1 Algemeen

Het onderzoek heeft vastgesteld dat de aanleg van buisleidingen, zoals de kerosineleiding, in de Buisleidingenstraat Nederland met waarborgen is omgeven. Ook het beheer van bestaande leidingen in de buisleidingenstraat is gereguleerd en in zekere mate georganiseerd. Desondanks heeft het incident op 12 oktober 2007 kunnen plaatsvinden. In het onderzoek is gebleken dat bij de aanleg van de kerosineleiding en bij het beheer van de (overige) buisleidingen in de Buisleidingenstraat Nederland ter hoogte van de incidentlocatie nabij het eindgebouw Zuid fouten zijn gemaakt die, in combinatie met elkaar, naar alle waarschijnlijkheid de situatie hebben geschapen waarin de lekkage van waterstofgas en de daaropvolgende brand kon ontstaan. Hieronder worden allereerst de conclusies geformuleerd ten aanzien van het toezicht waarna achtereenvolgens conclusies ten aanzien van enkele specifieke thema's worden getrokken. Bij elk thema worden aanbevelingen ter verbetering gedaan. Alle beogen de veiligheid in de buisleidingenstraat te verbeteren.

7.2 Het toezicht op werkzaamheden in de buisleidingenstraat

De Stichting heeft een beleid om, in samenspraak met de leidingexploitanten, toezicht te verzekeren op werkzaamheden in de buisleidingenstraat. Toch heeft het VROM-Inspectie onderzoek leemten blootgelegd, waardoor in de praktijk situaties ontstaan waarbij onduidelijk is "wie wat moet doen" en "wie waarvoor verantwoordelijk is". Dit heeft bij de aanleg van de kerosineleiding geleid tot een situatie waarin op cruciale aspecten van het aanlegproces toezicht ontbrak. Voorbeelden zijn het belasten van liggende leidingen met (te) zwaar materieel, het negeren van een aanlegprocedure bij de doorvoering van de kerosineleiding, het onvolledig meten en beoordelen van zakkingen en het onvoldoende bewaken van de gebruikscondities van KB-koppelstukken.

Aanbevelingen:

- De Stichting en de leidingexploitanten worden geadviseerd om gezamenlijk het huidige toezicht- en inspectiebeleid te herijken opdat duidelijkheid ontstaat over elkaars taken en verantwoordelijkheden, met name tijdens werkzaamheden in het tracé. Daarbij zal in elk geval ook de toezichthoudende rol van "notified bodies" en "onafhankelijk toezichthouders" en hun verantwoordelijkheid jegens de leidingexploitanten en de Stichting moeten worden beschreven en geborgd.
- De Stichting wordt geadviseerd om de hieruit resulterende verduidelijkingen en aanpassingen vast te leggen in het kwaliteitssysteem van de Stichting en het standaard voorschriftenpakket dat aan exploitanten van buisleidingen wordt opgelegd.
- De buisleidingexploitanten wordt geadviseerd om, analoog aan hetgeen voor de Stichting geldt, de nieuw verworven inzichten en de afgesproken toezichtprocedures vast te leggen in de bedrijfseigen procedures en de

contracten die de exploitanten sluiten met aannemers voor het aanleggen of wijzigen van buisleidingen.

7.3 Het toepassen van KB-koppelstukken in buisleidingen

Het onderzoek heeft aannemelijk gemaakt dat het KB-koppelstuk van de waterstofleiding lek was. Uit interviews is gebleken dat KB-koppelstukken bij het toetsen van de sterkte van leidingen en constructies worden beschouwd als "even sterk als de leiding zelf". Het onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat dat niet het geval is omdat de invloed van bepaalde krachten op de lektheid van koppelstukken is veronachtzaamd.

Aanbevelingen:

De Stichting en de leidingexploitanten wordt geadviseerd om (desgewenst gezamenlijk):

- nadere studie te doen naar de oorzaak en de aanvaardbaarheid van de in het KB-koppelstuk van de waterstofleiding geconstateerde gebreken (bij voorkeur in samenwerking met fabrikant Braunstahl en de branchevereniging VELIN). Daarbij zou tevens moeten worden onderzocht hoe het ontstaan van dergelijke gebreken kan worden voorkomen,
- criteria vast te stellen voor de kwaliteit van KB-koppelstukken en de bijbehorende aanleg- en beheerscondities opdat de koppelstukken in de praktijk niet onaanvaardbaar worden belast. Daarbij wordt het gebruik van specifieke computermodellen geadviseerd.

7.4 De belasting van liggende buisleidingen als gevolg van werkzaamheden met zwaar materieel

Het onderzoek heeft aangetoond dat de bestaande buisleidingen (zowel voor waterstof als ethyleenoxide) tijdens de aanleg van de kerosineleiding zijn belast met krachten die volgens de voorschriften van de Stichting Buisleidingenstraat niet zijn toegestaan. Er is met zwaar graafmateriaal over het bestaande leidingtracé gereden en er is een drainagepomp bovenop het leidingtracé geplaatst. Geen van de betrokken toezichthouders heeft daar opmerkingen over gemaakt. Uit geotechnische berekeningen is gebleken dat die overbelasting door de graafmachines en drainagepomp in dit specifieke geval (gelet op de aldaar aanwezige ondergrond van vele meters zand) onder normale omstandigheden niet de aanleiding kan zijn geweest voor (extra) zakkings van de liggende buisleidingen. De aanlegactiviteiten hebben dus niet aantoonbaar bijgedragen aan de kans op ontstaan van de waterstoflekkage.

Aanbevelingen:

- De Stichting wordt geadviseerd om er vooralsnog voor te waken dat de belastingseisen ten aanzien van het werken boven bestaande leidingen strikt worden nageleefd. Wellicht dat na een evaluatie het beleid ten aanzien van acceptabele belastingen kan leiden tot het herformuleren van de belastingsgrenzen. Op dit moment geldt immers een uniform belastingsbeleid voor het gehele tracé. Wellicht is het mogelijk om een differentiatie aan te brengen, afhankelijk van de kwetsbaarheid van de onderliggende leidingen en bodemgesteldheid ter plaatse.

- De leidingexploitanten dient te voorkómen dat overtredingen zoals deze worden begaan bij aanleg of onderhoud aan hun buisleidingen.
- De Stichting wordt geadviseerd om te verkennen op welke locaties in het tracé van de recent gelegde kerosineleiding als gevolg van die aanleg belastingen hebben plaatsgevonden die vergelijkbaar zijn met die ter hoogte van de incidentlocatie en daarbij te toetsen of die belastingen (hoewel dus hoger dan de voorschriften toestaan) ook aldaar binnen aanvaardbare grenzen zijn gebleven. In geval van twijfel of aanwijzingen dat dat niet het geval is, zal praktijkonderzoek moeten uitwijzen of de situatie aldaar aanvaardbaar is.

7.5 De ligging van buisleidingen in doorvoeringen in civiele constructies

Er ontbreekt een helder beleid ten aanzien van de wijze waarop buisleidingen in doorvoeringen in starre civiele constructies moeten worden aangebracht en onderhouden. Op "as built"-tekeningen, zoals die in het kader van dit onderzoek zijn bestudeerd, is vaak een bovenligging aangegeven. Dat ligt voor de hand omdat daarmee de grootst mogelijke zettingruimte voor de toekomst wordt gecreëerd. De Stichting stelt echter in een eigen document dat leidingen centrisch moeten worden ingevoerd. De bij het incident betrokken waterstof- en ethyleenoxideleiding bleken geheel onderin de doorvoering in het eindgebouw Zuid te liggen. Inspectie van andere leidingen in het eindgebouw leert dat ook andere leidingen onderin liggen. Zelfs nieuwe leidingen blijken niet bovenin te liggen. Uit gesprekken met de Stichting en met leidingexploitanten blijkt dat die ligging in doorvoeringen nooit een gespreksonderwerp is geweest. Er is op dit punt nooit een risicoanalyse uitgevoerd. Het feit dat leidingen blijken aan te liggen (en de gevolgen die dat heeft voor de kans op incidenten (zie 7.6)) dwingt tot herijking van het beleid.

Aanbevelingen:

- De Stichting en de leidingexploitanten wordt geadviseerd om een eenduidig, meetbaar beleid te formuleren ten aanzien van de ligging in doorvoeringen en daarnaar in uitvoering en toezicht te handelen.
- De Stichting wordt geadviseerd om te bezien of de huidige situatie ten aanzien van de ligging van buisleidingen in doorvoeringen in haar beheersgebied aanvaardbaar is en actief te saneren in situaties die daartoe nopen.

7.6 De aanvaardbaarheid van zakkingen

Zakkingen worden niet overal gemeten waar dit is voorgeschreven. Bovendien ontbreekt er een helder beleid ten aanzien van het interpreteren van (het effect van) zakkingen en het identificeren van onaanvaardbare situaties. Het onderzoek heeft duidelijk gemaakt dat met name het bewaken van zakkingen nabij doorvoeringen in starre constructies en in situaties waarbij KB-koppelstukken zijn toegepast, van cruciaal belang is voor de veiligheid. Het feit dat leidingen blijken aan te liggen en de gevolgen die dat heeft voor de kans op lekkages noopt tot herijking van het beleid.

Aanbevelingen:

- De Stichting en de leidingexploitanten wordt geadviseerd om het huidige beleid ten aanzien van het meten en interpreteren van zakkingen te herijken en daarnaar in uitvoering en toezicht te handelen.

7.7 Het beheer van buisleidingen in het beheersgebied van de Stichting en in de rest van Nederland

Het onderzoek heeft "weeffouten" blootgelegd in het beheer van buisleidingen in het beheersgebied van de Stichting Buisleidingenstraat. Het onderzoek heeft zich niet gericht op een integrale doorlichting van het beheerswerk van de stichting en de wijze waarop de beheersactiviteiten zijn vastgelegd in afspraken en procedures. Desalniettemin beveelt de VROM-Inspectie aan om, in het licht van de bevindingen over het incident van 12 oktober 2007, het beheer door of namens de Stichting te evalueren en waar nodig te intensiveren of verduidelijken. De NTA-8000 zou hiervoor een goede basis kunnen vormen.

Het beheer van buisleidingen is in het beheersgebied van de Stichting Buisleidingenstraat relatief goed geregeld als dat wordt afgezet tegen de situatie voor buisleidingen buiten dit tracé. Daar is het beheer niet uniform geregeld en daarom zonder twijfel op onderdelen minder intensief en deskundig.

Aanbevelingen:

- Leidingexploitanten wordt geadviseerd om de aanbevelingen uit dit rapport ook op hun leidingtracés buiten het beheersgebied van de Stichting van toepassing te verklaren.
- De beleidsdirectie Risicobeleid van het ministerie van VROM wordt geadviseerd om (door de VROM-Inspectie) een verkenning te doen uitvoeren van de beheerssituatie voor buisleidingen in Nederland buiten het beheersgebied van de Stichting.

8 Conclusions and recommendations

Based on the findings of the investigation by the Inspectorate for Housing, Spatial Planning and the Environment into the cause of the Heinenoord incident, the following conclusions are drawn and recommendations made.

8.1 General

The investigation has established that the installation of pipelines in the Netherlands Pipeline Corridor (*Buisleidingenstraat Nederland*), such as the kerosene pipeline, is ringed by a number of safeguards. The management of existing pipelines in the pipeline corridor is regulated and organised to a certain extent.

Nonetheless, the incident on 12 October 2007 was able to happen.

In the investigation, it has been found that, in the installation of the kerosene pipeline, and in the management of that and other pipelines in the Netherlands Pipeline Corridor, at the location of the incident near the South terminal building, some errors were made which, in combination with each other, in all likelihood created the situation in which the leakage of hydrogen gas and the resulting fire could occur.

Below, in succession, conclusions are formulated with regard to the supervision of the pipeline corridor followed by conclusions regarding some specific themes. For each theme recommendations are made. All of which are aimed at improving safety in the pipeline corridor.

8.2 Supervision of activities in the pipeline corridor

The Foundation has a policy to ensure supervision of activities in the pipeline corridor, in consultation with the pipeline operators. Nonetheless, the VROM Inspectorate investigation has exposed gaps, because of which situations arise in practice where it is unclear "who has to do what" and "who is responsible for what". This led, during the installation of the kerosene pipeline, to a situation where supervision of crucial aspects of the installation process was missing. Examples are the loading of existing pipelines by heavy or too heavy equipment, the disregarding of an installation procedure in leading through the kerosene pipeline, the insufficient measurement and assessment of settlement, and the lack of supervision of the conditions of use of CP couplings.

Recommendations:

- The Foundation and the pipeline operators are advised to reassess the current supervision and inspection policy so that more clarity is achieved about each other's tasks and responsibilities, particularly during activities on the route. In this, in each case, the supervisory role of "notified bodies" and "independent supervisors" and their responsibilities regarding the operators of the pipelines and the Foundation must be described and enforced.
- The Foundation is advised to lay down the clarifications and modifications arising from this in the Foundation's quality system, and in the standard regulations package imposed on the operators of pipelines.

- The pipeline operators are advised, analogously to that which applies to the Foundation, to lay down the newly acquired insights and agreed supervisory procedures in their own company procedures, and in the contracts the operators make with contractors for the installation and modification of pipelines.

8.3 The use of CP fittings in pipelines

The investigation has made it plausible that the CP coupling (cathodic protection, in Dutch: KB) in the hydrogen pipeline was leaking. It has become apparent from interviews that, in assessing the strength of pipelines and constructions, CP couplings are considered to be "as strong as the pipeline itself". The investigation has made it clear that this is not the case, because the influence of certain forces on the integrity of fittings is neglected.

Recommendations:

The Foundation and pipeline operators are advised to:

- conduct a further study into the cause and the acceptability of the deficiencies identified in the CP coupling in the hydrogen pipeline (preferably in collaboration with the manufacturer Braunstahl and VELIN, the pipeline owners' association). In this, at the same time, it should be investigated how the occurrence of such deficiencies can be prevented
- establish criteria for the quality of CP fittings and the associated installation and administration conditions so that the fittings are not unacceptably stressed in practice. In this, the use of specific computer models is encouraged.

8.4 The loading of installed pipelines as a result of activities with heavy equipment

The investigation has demonstrated that, during the installation of the kerosene pipeline, the existing pipelines (both for hydrogen and ethylene oxide) were subjected to forces which are not permitted according to Pipeline Corridor Foundation (*Stichting Buisleidingenstraat*) regulations. Heavy excavation equipment was driven over the existing pipeline route, and a drainage pump was situated on top of the pipeline route. None of the supervisors involved made any remarks about this.

From geotechnical calculations it has been shown that the overloading by excavators and drainage pump could not, in this specific case (having regard to the subsoil of several metres of sand present there), have been the cause of (extra) settlement of the existing pipelines. The installation activities therefore did not contribute to the chance of occurrence of the hydrogen leakage.

Recommendations:

- The Foundation is advised to strictly enforce the current requirements working above existing pipelines. examine the policy with regard to working over existing pipelines. An evaluation might lead to the reformulation of the loading limits. At present, for that matter, a uniform loading policy applies to the entire route. It is perhaps possible to introduce differentiation, dependent upon the vulnerability of the underlying pipelines and the local soil composition.
- The Foundation is advised to investigate on what locations along the route of the recently installed kerosene pipeline, loading has taken place, as a result of that installation, which is comparable to that near the incident location, and to assess

whether these loadings (although therefore higher than the regulations permit) there too remained within acceptable limits. In case of doubt, or evidence that that was not the case, practical investigation must determine whether the situation there is acceptable.

- The pipeline operators are advised to pay more attention to the prevention of infringements such as this, which their pipelines suffer during installation or maintenance.

8.5

The position of pipelines in feedthroughs in civil constructions

No clear policy exists with regard to the manner in which pipelines in feedthroughs in rigid civil constructions should be installed and maintained. On “as built” drawings, such as those studied in the context of this investigation, an on-top position is often indicated. This is reasonable, because in this way the greatest possible room for settlement in the future is created. The Foundation actually states in its own document that pipelines should be situated centrally. The hydrogen and ethylene oxide pipelines involved in the incident proved to lie completely at the bottom of the feedthrough in the South terminal building. Inspection of other pipelines in the terminal building revealed that other pipelines also lie at or near the bottom. Even new pipelines are not situated at the top. From discussions with the Foundation and with pipeline operators it appears that the position in feedthroughs “has never been an issue”. No risk analysis has ever been conducted on this point either.

The fact that pipelines have been shown to lie in contact with the feedthrough (and the consequences this has for the chance of incidents) compels a reassessment of policy.

Recommendations:

- The Foundation and the pipeline operators are advised to formulate a clear, measurable policy with regard to positioning in feedthroughs and thereafter to act in accordance with it during installations and supervision.
- The Foundation is advised to consider whether the current situation with regard to the positioning of pipelines in feedthroughs within its management sphere is acceptable, and to actively put things in order where the situation demands.

The acceptability of settlement

Settlement is not always measured where this is prescribed. Moreover, a clear policy is lacking with regard to the interpretation of settlement and its effects. The investigation has made it clear that particularly keeping watch on settlement near rigid constructions and in situations where CP couplings are used is of crucial importance to safety.

From discussions with the Foundation and with pipeline operators it appears that settlement in these situations “has never been an issue”. Here too, a risk analysis is absent.

The fact that pipelines have been shown to lie in contact with the feedthrough, and the consequences this has for the chance of leakages, compel a reassessment of policy.

Recommendations:

- The Foundation and the pipeline operators are advised to reassess the current policy with regard to the measurement and interpretation of settlement, and thereafter to act in accordance with it during installations and supervision.

8.6 The management of pipelines within the Foundation's management sphere and in the rest of the Netherlands

The investigation has exposed a number of flaws in the management of pipelines within the Pipeline Corridor Foundation's management sphere. The investigation was not directed towards an integral examination of the Foundation's management work, or the way in which the management activities are laid down in agreements and procedures. Nevertheless, the Inspectorate for Housing, Spatial Planning and the Environment, in the light of the discoveries about the incident of 12 October 2007, recommends that the policy be evaluated and where necessary intensified or clarified. NTA 8000 (Dutch Technical Agreement) could well form a good basis for this.

The management of pipelines within the management sphere of the Pipeline Corridor Foundation is relatively well organised, if that is set against the situation for pipelines outside this route. There, the management is not uniformly organised, and is thus without doubt less intensive and expert in parts.

Recommendations:

- Pipeline operators are advised to transpose the recommendations from this report to their pipelines that lie outside the boundaries of the Foundation.
- The risk policy directorate (in Dutch: directie Risicobeleid) of the Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment is advised to carry out an inventory into the management structures for pipeline routes in the Netherlands outside the boundaries of the Foundation.

9 Appendix-de actuele situatie

Vlak vóór afronding van dit rapport is de actuele situatie in beeld gebracht. De volgende voortgang wordt geconstateerd:

- De Stichting Buisleidingenstraat is begonnen met het formuleren van aanpassingen in haar beleid ten aanzien van
 - het meten van zakkingen,
 - het beoordelen van de aanvaardbaarheid van zakkingen
 - het dimensioneren van doorvoeringen
 - het toepassen van KB-koppelingen (inmiddels is de verplichting tot het installeren van KB-koppelingen op diverse locaties komen te vervallen).
 - Het toezicht tijdens werkzaamheden van derden in het tracé van de straat.
- Shell en Air Liquide zijn begonnen met de evaluatie c.q. aanpassing van hun beleid ten aanzien van
 - het beoordelen van zakkingen in doorvoeringen tijdens tunnelinspecties
 - het toepassen van KB-koppelstukken (ten aanzien van specificaties, sterkte-eisen en noodzaak)
 - het periodiek inspecteren van KB-koppelstukken
 - het toezicht op de integriteit van hun leidingen, onder andere in situaties waarin derden op of nabij hun leidingen werkzaamheden verrichten.
- De Dienst Vastgoed Defensie is begonnen met de evaluatie van de wijze waarop men leidingen in haar opdracht laat aanleggen en onderhouden door derden.

10 Referenties

1. Documenten

- a. Onderzoek oorzaak leidinglekkage Heinenoord, Geotechnische aspecten, Deltares, Delft, 18 november 2008.
- b. Berekening van het verplaatsingsgedrag van en de krachten in de EO- en H2-leiding ter plaatse van eindgebouw Zuid van de leidingtunnel Oude Maas, r+k Consulting Engineers, Rijswijk, 14 november 2008 (uitgebracht als bijlage van referentie 1).
- c. Effectberekeningen incident buisleidingenstraat 12 oktober 2007, briefrapport RIVM/Centrum voor externe veiligheid, 21 oktober 2008.
- d. Isolatiekoppeling "Oude Maas Zuid", briefrapport van TNO Quality Services BV Eindhoven, gemaakt in opdracht van Air Liquide Industries BV, Antwerpen, 11 juli 2008 (vertrouwelijk, eigendom van Air Liquide).
- e. KB-koppelstuk, opengewerkt, foto's (vertrouwelijk, eigendom Shell).
- f. Technische documentatie inzake het KB-koppelstuk en bijbehorende leidingdelen en leidingdoorvoering van de waterstofleiding, inclusief informatie over keuringen en herkeuring na reparatie na incident (grotendeels vertrouwelijk, eigendom van Air Liquide).
- g. Technische documentatie inzake het KB-koppelstuk en bijbehorende leidingdelen en leidingdoorvoering van de ethyleenoxideleiding, inclusief informatie over keuringen en herkeuring na reparatie na incident (grotendeels vertrouwelijk, eigendom van Shell).
- h. Informatie over (de aanleg van) de kerosineleiding; contracten, tekeningen, ontwerp-specificaties, aanlegprocedures, vergunningen, verslagen, foto's (grotendeels vertrouwelijk, eigendom van Defensie Vastgoed Dienst en aannemerscombinatie Heijmans / PPS).
- i. Bedienungsanleitung und Transport- und Installationsanweisung für BRAUN STAHL PIPE TEC-Isolierstücke. Dokument nr. BN-0004-D-Rev2, Braunstahl, ongedateerd.
- j. Overeenkomst tot gebruik van de buisleidingenstraat en tot exploitatie van daarin gelegen leidingen, Stichting Buisleidingenstraat Zuidwest Nederland, definitieve versie, vastgesteld door de Raad van Beheer d.d. 12 mei 2004 (inclusief de bijlage deel 1, Algemene informatie; deel 2 Ontwerp en deel 3 Uitvoering en de bij die bijlage behorende bijlagen).
- k. Kwaliteitshandboek Buisleidingenstraat Nederland, versie januari 2007, Stichting Buisleidingenstraat Nederland.
- l. Feitenevaluatie incident buisleidingenstraat Heinenoord, 12 oktober 2007, gemeente Binnenmaas. November 2007, Regionale Brandweer Zuid-Holland Zuid.
- m. Eisen voor buisleidingsystemen, NEN 3650, juli 2003, Nederlands Normalisatie Instituut.
- n. Specificatie voor een risicomangementsysteem (RMS) voor risico's van buisleidingsystemen voor het transport van gevaarlijke stoffen in de beheerfase (buiten de inrichting), NTA 8000, Nederlandse Technische Afspraak, eindversie 2008-1, maart 2008.
- o. Richtlinien für die Baumusterprüfung von Isolierstücken im Geltungsbereich der Richtlinie 97/23/EG (Druckgeräte-Richtlinie), VdTÜV-Merkblatt, 07.2006, Technische Überwachungsverein.
- p. Beantwoording van de Kamervragen van het lid Poppe (SP) over het gaslek in Heinenoord. November 2007, Tweede Kamerstuk 2070802540.

- q. Emailrapport van Shell inzake het testen van de isolatieschaal van het KB-koppelstuk op de aanwezigheid van sporen ethyleenoxide. December 2007, Shell (Vertrouwelijk, eigendom van Shell).
- r. Intern memo van de Onderzoeksraad voor Veiligheid met verslag van inspectiebevindingen d.d. 13 oktober 2007 (inclusief een aantal foto's vanuit de lucht en op de grond nabij de KB-koppelstukken) . Oktober 2007, OVV (Vertrouwelijk, eigendom van de OVV).
- s. Feitenevaluatie incident Buisleidingenstraat Heinenoord 12 oktober 2007 gemeente Binnenmaas: *"De zekerheid van te vroeg..... of het risico van net te laat"*. Regionale Brandweer Zuid-Holland Zuid, november 2007.
- t. Bespreeknotitie veiligheidsbeleid stichting in relatie tot GRIP-3 incident d.d. 12-10-2007, Raad van Beheer Stichting Buisleidingenstraat, 1 november 2007.
- u. Evaluatierapport GRIP 3 incident d.d. 12 oktober 2007 Heinenoord, Stichting Buisleidingenstraat, ongedateerd, vertrouwelijk.

2. Informatie verkregen uit gesprekken met vertegenwoordigers van de volgende organisaties:

- a. Onderzoeksraad voor Veiligheid
- b. Stichting Buisleidingenstraat
- c. Dienst Vastgoed Defensie (opdrachtgever bouw kerosineleiding)
- d. Heijmans / PPS (opdrachtnemer, aannemer bouw kerosineleiding)
- e. Schrand Schweisserein (onderaannemer Heijmans / PPS; bedrijf van de lasser die de brand veroorzaakte)
- f. Acta (onder contract van Heijmans t.b.v. onafhankelijk toezicht op aanleg kerosineleiding)
- g. SGS Antwerpen (certificerend bureau kerosineleiding)
- h. Air Liquide (eigenaar van de bij het incident betrokken waterstofleiding)
- i. Shell (eigenaar van de bij het incident betrokken ethyleenoxideleiding)
- j. Braunstahl (fabrikant van beide koppelstukken)
- k. RIVM (Centrum voor Externe Veiligheid)
- l. Deltares
- m. r+k Consulting Engineers
- n. Hommema

11 Begrippen en afkortingen

Begrippen

Axiaalkracht	Zie normaalkracht.
Buigend moment	Moment dat ontstaat in een constructiedeel als dit aan een buiging wordt onderworpen. Kan zowel trek- als drukspanningen veroorzaken (in kNm).
Dwarskracht	Kracht, die in een buisleiding of KB-koppelstuk optreedt in dwarsrichting, als gevolg van bijvoorbeeld een bovenbelasting op de buisleiding (in kN).
Doorvoering	Gat in civiele constructie waardoor buisleidingen vanuit de open ruimte in die constructie worden geleid in het vrije veld, met gronddekking of in omgekeerde richting.
Kathodische bescherming	Elektrisch systeem dat er voor zorgt dat ingegraven buisleidingen worden beschermd tegen aantasting door elektrische zwerfstromen in de grond.
KB-koppelstuk	Tussenstuk in een buisleiding dat er voor zorgt dat beide leidinggedeelten elektrisch van elkaar gescheiden zijn. Zie ook KB.
Moment	Koppel (samenstel) van krachten (in kNm).
Normaalkracht	Kracht, die in een buisleiding of KB-koppelstuk optreedt in lengterichting, als gevolg van bijvoorbeeld inwendige druk of temperatuurbelasting (in kN).
Trekkracht	Kracht, die in een buisleiding of KB-koppelstuk optreedt in lengterichting, als gevolg van bijvoorbeeld inwendige druk of temperatuurbelasting (in kN).
Torsiemoment	Moment dat ontstaat in een constructiedeel als hierop een wringend moment wordt uitgeoefend (in kNm).
Zakbaak	Meetpunt op een buisleiding waarvan periodiek de wijziging ten opzicht van de uitgangspositie wordt gemeten.
Zetbaak	Meetpunt op de grond waarvan periodiek de wijziging ten opzichte van de uitgangspositie wordt gemeten.

Afkortingen

DVD	Dienst Vastgoed Defensie
EO	Ethyleenoxide
H ₂	Waterstof
KB	Kathodische bescherming
VELIN	Vereniging van Leidingeigenaren in Nederland

12 Bijlagenoverzicht

1. Onderzoek oorzaak leidinglekkage Heinenoord, Geotechnische aspecten, Deltares, Delft, 18 november 2008.
Rapport, bijlagen niet bijgevoegd, opvraagbaar, openbaar.
2. Berekening van het verplaatsingsgedrag van en de krachten in de EO- en H2-leiding ter plaatse van eindgebouw Zuid van de leidingtunnel Oude Maas, r+k Consulting Engineers, Rijswijk, 14 november 2008 (uitgebracht als bijlage van referentie 1).
Rapport, bijlagen niet bijgevoegd, niet opvraagbaar, bedrijfsvertrouwelijk.
3. Effectberekeningen incident buisleidingenstraat 12 oktober 2007, briefrapport RIVM/Centrum voor externe veiligheid, 21 oktober 2008.
Integraal rapport bijgevoegd.
4. Overeenkomst tot gebruik van de buisleidingenstraat en tot exploitatie van daarin gelegen leidingen, Stichting Buisleidingenstraat Zuidwest Nederland, definitieve versie, vastgesteld door de Raad van Beheer d.d. 12 mei 2004.
Selectie van de voorschriften die relevant zijn voor het onderzoek Heinenoord.
5. Beantwoording van de Kamervragen van het lid Poppe (SP) over het gaslek in Heinenoord.
6. Bedienungsanleitung und Transport- und Installationsanweisung für BRAUN STAHL PIPE TEC-Isolierstücke.

Bijlage 1

**Onderzoek oorzaak leidinglekage Heinenoord, Geotechnische aspecten
Deltares, Delft
18 november 2008**

Rapport bijgevoegd, bijlagen niet bijgevoegd, opvraagbaar, openbaar.

Onderzoek oorzaak leidinglekage Heinenoord

Geotechnische aspecten

ir. Henk Hergarden
drs. G.A.M. Kruse
ir. A.M.J. Mens
dr. ir. P. Meijers
ir. K. W. Radder
(r+k Raadgevend Ingenieursbureau)



Onderzoek oorzaak leidinglekkage Heinenoord

Geotechnische aspecten

Versie	Auteur	Datum	Review	Goedkeuring
01	Ir. Henk Hergarden	2008.09.24	Dr. Henk Kruse	
02	Ir. Henk Hergarden	2008.11.18	Dr. Henk Kruse	K

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
2 Inventarisatie bestaande gegevens	5
2.1 Zuidelijk inganggebouw leidingentunnel Oude Maas	5
2.2 Grondonderzoek	5
2.3 Grondophoppingen ten behoeve van buisleidingstraat nabij zuidelijk inganggebouw	5
2.4 Leidingen die aan de oostkant het zuidelijke inganggebouw binnengaan	6
2.5 Aanleg van 10" DVD (DPO) kerosine leiding	8
3 Grondgesteldheid ter plaatste van het zuidelijke inganggebouw	10
3.1 Grondbeschrijving	10
3.2 Grondwater	10
4 Aanwezigheid en mogelijkheid van vrijkomen van moerasgas	12
4.1 Gasvorming in de grond	12
4.2 Ondergrond op de locatie waar de brand heeft plaats gevonden	12
4.3 Ontsnappen van natuurlijk methaangas bij het zuidelijke inganggebouw	12
5 Zettingen van de grondlagen onder de leidingen	14
5.1 Oorzaak van de zettingen	14
5.1.1 Aangebrachte ophoppingen	14
5.1.2 De aanleg van de leidingen	14
5.2 Grootte van de zetting van de grondlagen onder de leidingen	15
5.2.1 Zettingen ten gevolge van de ophoppingen	15
5.2.2 Zettingen ten gevolgen van aanleg leidingen	19
6 Belasting op de leidingen en overige grondmechanische parameters voor de sterkteberekening van de leiding	26
6.1 Grondbelasting	26
6.2 Belasting op maaiveld	27
6.3 Grondmechanische parameters voor de sterkteberekeningen van de leidingen	27
7 Sterkteberekening van de leidingen	28
8 Conclusies	32
Bijlage(n)	
A Grondonderzoek	35
B Bestektekeningen	36
C Situatie zakbaken op leiding	37
D Grondmechanische parameters ten behoeve van de sterkteberekeningen van de leidingen	38
E Sterkteberekeningen van de leidingen	39



Samenvatting

In oktober 2007 heeft korte tijd een brand gewoed in de buisleidingstraat nabij het zuidelijke inganggebouw van de leidingentunnel onder de Oude Maas. Vermoed wordt dat door een lek in een van de aanwezige leidingen gas is ontsnapt waardoor bij slijpwerkzaamheden de brand is ontstaan.

In opdracht van VROM, Directoraat-Generaal Milieu, is door Deltares, in samenwerking met r+k Raadgevend Ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v. te Rijswijk onderzoek verricht naar de geotechnische aspecten die een rol hebben gespeeld bij het ontstaan van de lekkage.

Het onderzoek is gestart met een inventarisatie van de bestaande gegevens van het zuidelijke inganggebouw, de ondergrond, de aangebrachte zandophogingen, de zak- en zetbaken en de bij het incident betrokken leidingen.

De mogelijkheid dat de brand een gevolg is van het vrijkomen van moerasgas is beschouwd. Het is niet waarschijnlijk dat dit het geval is geweest.

De leidingen worden aan de oostzijde van het inganggebouw door de muur gevoerd. De fundering van het gebouw is zodanig dat het gebouw niet zakt. Door in het verleden aangebrachte zandophogingen nabij het gebouw zijn de leidingen buiten het gebouw wel aan zakking onderhevig.

Nabij de muurdoorvoering buiten het gebouw bevinden zich isolatiekoppelingen in de leidingen.

Op basis van het grondonderzoek en de gegevens van de zak- en zetbaken zijn de grondmechanische parameters, waaronder de zetting van de grond onder de leidingen, bepaald ten behoeve van de sterkteberekeningen van de leidingen.

De resultaten van de sterkteberekeningen wijzen op een trekkracht in de leidingen ter plaatse van de isolatiekoppelingen als gevolg van inwendige druk in combinatie met een 90° bocht bij de muurdoorvoer binnen het gebouw. Deze trekkracht wordt vergroot door de optredende zakkingen van de leidingen. Door de zakkingen van de leidingen treden er ook buigende momenten en dwarskrachten op ter plaatse van de isolatiekoppelingen. Deze buigende momenten en dwarskrachten worden fors groter wanneer de leidingen ter plaatse van de muurdoorvoeringen op de onderrand gaan aanliggen.

Ten einde te kunnen vaststellen of de berekende inwendige krachten door de isolatiekoppeling kunnen worden opgenomen, is een nader onderzoek naar de samenstelling en werking van de isolatiekoppelingen nodig.



1 Inleiding

Op 12 oktober 2007 is tijdens slijpwerkzaamheden ten behoeve van de aanleg van een buisleiding brand ontstaan in de buisleidingstraat te Heinenoord, gemeente Binnenmaas, nabij de muurdoorvoering van het zuidelijke inganggebouw van de leidingentunnel onder de Oude Maas. Twee leidingen zijn bij het incident betrokken, namelijk een waterstofleiding en een leiding waarin ethyleenoxide wordt verpompt. Vermoed wordt dat een lekkage in één van deze buisleidingen de oorzaak is van een gasontsnapping die ten gevolge van die slijpwerkzaamheden is ontstoken met de brand tot gevolg.

De VROM-Inspectie is gestart met een onderzoek naar de oorzaak van de brand.

Deltares heeft van het Ministerie van VROM de opdracht gekregen een onderzoek te doen naar de geotechnische aspecten die een rol hebben gespeeld bij het ontstaan van de lekkage in een van de leidingen. Het onderzoek heeft vooral betrekking op de zettingen van de ondergrond en de belastingen op de leidingen. Het gedrag van de leidingen onder invloed van zettingen en grondbelasting is ook onderzocht. Dit gedeelte van het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met r + k Raadgevend Ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v te Rijswijk.



2 Inventarisatie bestaande gegevens

2.1 Zuidelijk inganggebouw leidingentunnel Oude Maas

De van belang zijnde gegevens over het zuidelijke inganggebouw zijn ontleend aan tekening AT-297 (1973) van Rijkswaterstaat, Directie Sluizen en Stuwen. Ten behoeve van de bouw van het zuidelijke inganggebouw is met behulp van stalen damwanden een bouwkuip gemaakt met de afmetingen 11,20 m x 31,20 m. De inheidiepte van de damwanden bedroeg NAP – 19 m. Binnen de bouwkuip werd ontgraven tot circa NAP – 8 m. Vervolgens werd onderwaterbeton aangebracht waarop het inganggebouw is geconstrueerd. Aan de oost-, zuid- en westzijde werd de damwand op een niveau van NAP + 2 m afgebrand ten behoeve van een (uitkragende) uitbouw (bedieningsgebouw en een galerij). De uitkraging ter plaatse van het bedieningsgebouw bedraagt circa 3,5 m. Ter plaatse van de galerij is dat circa 1,3 m.

Ook het gedeelte van de toevoertunnel dat aansluit op het inganggebouw (circa 20 m) is binnen een damwandkuip met onderwaterbeton gerealiseerd. Het overige gedeelte van de toevoertunnel is op palen gefundeerd.

In 1973 is op de bouwlocatie een zandophoging aangebracht. Ten tijde van de bouw van het inganggebouw reikte volgens tekeningen deze ophoging tot een niveau van circa NAP + 3 m.

Gezien de wijze van funderen van het gebouw, kan bij dit onderzoek er vanuit worden gegaan dat het gebouw niet zakt.

2.2 Grondonderzoek

Ten behoeve van de aanleg van de buisleidingstraat en de bouw van de leidingentunnel onder de Oude Maas is destijds door het toenmalige Laboratorium voor Grondmechanica grondonderzoek uitgevoerd. In de directe omgeving van het zuidelijke inganggebouw is in het archief het volgende grondonderzoek gevonden:

Sonderingen 28, 29, 33 en 34 van CO-20032.

Boringen A en D van CO-20032.

De situatie van deze onderzoekpunten is weergegeven op bijlage 7 van CO-20032. Het sondeer- en boorresultaat is weergegeven op de bijlagen 11 en 12 van CO-20032.

Het grondonderzoek is uitgevoerd in 1971.

In 1972 is het grondonderzoek uitgevoerd ten behoeve van de leidingentunnel. Van belang zijn de sonderingen 07 en 09 en de boringen A en B van CO-21554. De situatie van de onderzoekpunten is weergegeven op bijlage 1 en de sonderingen en boringen op de bijlagen 8 en 9 van CO-21554.

Het hiervoor genoemde grondonderzoek is verzameld in bijlage A van dit rapport.

2.3 Grondophogingen ten behoeve van buisleidingstraat nabij zuidelijk inganggebouw

Ter plaatse van het zuidelijke inganggebouw is begin 1973 gestart met het aanbrengen van een zandophoging tot een hoogte van circa NAP + 3 m. Vanaf dit

zandplateau is het inganggebouw gerealiseerd. Deze ophoging sluit aan op de ophogingen die zijn aangebracht ter plaatse van de kruising van de buisleidingstraat met de Zeedijk Heinenoord. De ophogingen zijn aangegeven op de tekeningen 333 en 344 van bestek 40. Deze tekeningen zijn als bijlage B bijgevoegd. Volgens de Stichting Buisleidingstraat was na het gereedkomen van het inganggebouw in 1974 het maaiveldniveau ongeveer NAP + 4,5 m.

Teneinde de zetting van de ondergrond te monitoren zijn destijds grondzakbaken (zetbaken) geïnstalleerd. Helaas zijn deze zetbaken alleen geplaatst ter plaatse van de kruisingen met waterkeringen (in dit geval de Zeedijk Heinenoord). Destijds ging de aandacht vooral uit naar het verloop van de zetting ter plaatse van de waterkeringen. De plaats van de zetbaken is weergegeven op de bestektekening 333 en op de situatietekening van het grondonderzoek (CO-20032). De nummering van de baken is echter op deze tekeningen verschillend.

Een onduidelijkheid met betrekking tot de ophogingen is het toepassen van zandpalen als verticale drainage. In de archiefstukken van Deltares wordt wel melding gemaakt van het toepassen van zandpalen h. o. h. 3 m. Gezien het verloop van de zettingen in de tijd bestaat het vermoeden dat zandpalen zijn toegepast.

2.4 Leidingen die aan de oostkant het zuidelijke inganggebouw binnengaan

Aan de oostkant van het zuidelijke inganggebouw komen diverse leidingen het inganggebouw binnen. Het betreffen de volgende leidingen:

Leidingnummer 44:	Ø 12" stikstofleiding Air Liquide
Leidingnummer 45:	Ø 6" Waterstof Air Liquide
Leidingnummer 46:	Ø 12" Zuurstof Air Liquide
Leidingnummer 52:	Ø 4" Ethyleen Oxide Shell
Leidingnummer 55:	Ø 10" Kerosine DVD (DPO).

De aanlegdata van de leidingen zijn in onderstaande tabel weergegeven.

Tijdstip aanleg kabels/leidingen

Aanleg datum	Leiding nr.	Eigenaar	Product
feb-97	44	Air Liquide	Stikstof
feb-97	45	Air Liquide	Waterstof
feb-97	46	Air Liquide	Zuurstof
nov-98	1120	Viatel	Leeg
nov-98	1121	Viatel	Leeg
nov-98	1122	Viatel	Leeg
nov-98	1123	Viatel	glasvezel
nov-98	1124	NV Casema	glasvezel
nov-98	1125	Global Crossing	Leeg
nov-98	1126	Tele 2	Leeg
nov-98	1127	Tele 2	Leeg
nov-98	1128	Tele 2	Leeg
nov-98	1129	Tele 2	Leeg
nov-98	1130	Viatel	Leeg
nov-98	1131	Eurofiber	glasvezel
nov-98	1132	Buisleidingenstraat	Leeg
nov-98	1133	Buisleidingenstraat	Leeg
nov-98	1134	Buisleidingenstraat	Leeg
nov-98	1135	Buisleidingenstraat	Leeg
voorjaar 99	52	Shell	Ethyleen Oxyde
Aanleg 2007	55	DPO	Kerosine

Tabel 2.1 tijdstip aanleg kabels en leidingen (Buisleidingstraat)

Het incident is opgetreden tijdens de aanleg van leidingnr. 55 (kerosineleiding van DVD (DPO)).

De leidingnummers 45 en 52 zijn bij het incident betrokken. Het betreft de 6" waterstofleiding en de 4" ethyleen oxide leiding. Van deze leidingen zijn as-built-tekeningen ontvangen.

Ten einde de zakking van de leidingen in de loop van de tijd te kunnen volgen zijn op enkele plaatsen zakbaken op de leidingen geplaatst. De locatie van de zakbaken is weergegeven in bijlage C. De meetresultaten van deze bakken zijn door de Stichting Buisleidingstraat ter beschikking gesteld.

Aan de oostkant van het zuidelijke gebouw gaan de leidingen het gebouw binnen. Voor de doorvoering is in de muur per leiding een overmaats gat gemaakt, waarin een mantelbuis is aangebracht.

2.5 Aanleg van 10" DVD (DPO) kerosine leiding

Tijdens de aanleg van deze leiding in oktober 2007 heeft zich het incident voorgedaan.

De leiding is aangelegd in een sleuf waarbij de uitgegraven grond naast de sleuf is neergelegd. Deze tijdelijke grondopslag mocht niet hoger zijn dan 1 m. Bij het graven is gebruik gemaakt van een graafmachine (Hitachi ZX210LC). Deze machine heeft 2 rupsbanden met een breedte van 0,6 m en een lengte van circa 4 m. De gronddruk onder de rupsbanden bedraagt 50 kN/m².

3 Grondgesteldheid ter plaatste van het zuidelijke inganggebouw

3.1 Grondbeschrijving

Aan de hand van het bij 2.2 genoemde grondonderzoek kan de grondgesteldheid nabij het zuidelijke inganggebouw als volgt worden omschreven.

Ten tijde van de uitvoering van het grondonderzoek bevond het maaiveld zich op ongeveer NAP-hoogte. Tot een diepte van circa NAP – 11 m komen slappe klei- en veenlagen voor. Het veen bevindt zich vooral op een diepte tussen circa NAP – 5 m en circa NAP – 9,5 m. De dikte van het veenpakket varieert sterk en kan lokaal 4 meter bedragen. Beneden een niveau van circa NAP – 11 m komt zand voor. Tot NAP – 15 m à NAP – 18 m is het zand klei- en silthoudend. Beneden NAP – 15 m à NAP – 18 m bevinden zich in het zandpakket nog enkele dunne klei- of siltlagen. De maximaal verkende diepte van het grondonderzoek destijds was NAP – 30 m.

3.2 Grondwater

Volgens de website van Rijkswaterstaat "waterstat" is de gemiddelde waterhoogte in de Oude Maas bij Goidschalxoord (nabij Heinenoord) circa NAP + 0,3 m. Verondersteld wordt dat de freatische grondwaterstand ook op dit niveau ligt. De stijghoogte van het grondwater in het zandpakket beneden de slappe lagen ligt vermoedelijk op NAP – 0,9 m (uit Dino Database).



4 Aanwezigheid en mogelijkheid van vrijkomen van moerasgas

4.1 Gasvorming in de grond

In grond wordt onder anoxische omstandigheden methaangas microbieel gegenereerd uit omzetting van organisch materiaal. Methaangas komt daardoor algemeen voor in relevante hoeveelheden in organische klei en veen (en uit de gesteenten die daar later uit ontstaan). In slecht doorlatende grond zoals organische klei kan het gas slecht ontsnappen en zijn er vaak millimeters tot centimeters grote poriën gevuld met methaangas aanwezig. Veen is in het algemeen veel meer doorlatend en gasbelvorming treedt daarin, mede door de grotendeels hydrofobe aard van het oppervlak van de organische vezels niet zozeer op. Het gas accumuleert in veen in de resten van plantencellen en buiten de platencellen daar waar kleilagen verticaal transport naar het grondoppervlak verhinderen. In dikke veenpakketten kunnen daardoor grotere hoeveelheden gas onder afsluitende kleilagen verzameld zijn.

Bij het boren, of het op een andere manier maken van gaten door afsluitende kleilagen op veenlagen treedt vaak methaangas uit, meestal met een bijmenging van waterstofsulfide. De gasstroom is in een dergelijk geval bij dikkere veenlagen in het Holoceen in Nederland zodanig dat er soms een vlam boven een boorgat in stand kan blijven gedurende enige tot tientallen minuten. Het gas borrelt dan door het water in het boorgat uit de veenlaag omhoog.

Ten aanzien van het vuur dat bij het incident bij Heinenoord is waargenomen, is het van belang na te gaan of er natuurlijk gas in grote hoeveelheid voor kon komen en of dat gas in een zeer beperkt oppervlak heeft kunnen ontsnappen in een voldoende stroom om vlammen gaande te houden.

4.2 Ondergrond op de locatie waar de brand heeft plaats gevonden

Ter plaatse van het zuidelijke inganggebouw van de tunnel onder de Oude Maas bij Heinenoord komt in de ondergrond op een diepte van ongeveer NAP - 5 à - 9 m een veenlaag met een dikte van 2 tot 4 m voor. Boven deze veenlaag ligt een laag van voornamelijk klei met een dikte van 4 à 5 m dikte. Hier bovenop is vanaf 1973 een zandaanvulling aangebracht die ongeveer een dikte heeft van 6 m. De diepteligging van de bovenkant van de veenlaag varieert en is door zetting onder zandophoging lager dan naast de ophoging.

4.3 Ontsnappen van natuurlijk methaangas bij het zuidelijke inganggebouw

De dikte van het veenpakket onder de afsluitende kleilaag is beperkt, 2 tot 4 m, en het ligt daarom niet in de verwachting dat zich een grote hoeveelheid gas onder de kleilaag heeft verzameld. De geometrie van de bovenkant van de veenlaag is evenmin zodanig dat het waarschijnlijk is dat zich daar ter plaatse een grote hoeveelheid methaangas heeft verzameld.

De afsluitende kleilaag heeft een dikte van meerdere meters en is geheel beneden de grondwaterspiegel gelegen. Het is niet aannemelijk, dat zich daar doorheen plotseling een doorgaande opening heeft ontwikkeld waardoor een significante

gasstroom kon stromen. Er zijn geen mechanismen bekend anders dan breukvorming waardoor een dergelijk opening plotseling zou kunnen ontstaan. Breukvorming door meer dan 4 á 5 m klei kan alleen bij zeer speciale, hoge en abrupte, belastingcondities optreden, waarvoor in dit geval geen aanwijzingen zijn. Mocht er in de loop van de geschiedenis van de kleilaag een doorgaande opening op andere wijze zijn gevormd (aaneengesloten stapeling van zandlaagjes of rietstengels en dergelijke) dan zal een eventuele methaanaccumulatie in de veenlaag al zijn verdwenen. Ook de veronderstelde aanwezigheid van zandpalen, die destijds zijn aangebracht om de zettingsnelheid te verhogen, zullen er voor gezorgd hebben dat het methaangas al is verdwenen.

Voor het onderhouden van vlammen over een bepaald oppervlak is een stroom gas benodigd welke gedurende de tijd van waarnemen aanhoudt. Dat wil zeggen dat er voldoende gas moet zijn en er moet voldoende opening naar de gasaccumulatie in het veen zijn. Het is niet waarschijnlijk dat er een zeer groot reservoir natuurlijk methaangas in het veen aanwezig is geweest omdat noch de dikte van het veenpakket noch de geometrie van de bovenkant van de veenlaag daarop wijzen. Het is ook erg onwaarschijnlijk dat zich in een kort tijdsbestek een doorgaande opening, spleet of gat, door de 4 á 5 m dikke kleilaag heeft gevormd waardoor plotseling een eventuele gasaccumulatie heeft kunnen ontsnappen.

5 Zettingen van de grondlagen onder de leidingen

5.1 Oorzaak van de zettingen

5.1.1 Aangebrachte ophopingen

Ten behoeve van de aanleg van de buisleidingstraat is begin 1973 gestart met het aanbrengen van een zandophoging. Ter plaatse van het te bouwen zuidelijke inganggebouw van de leidingentunnel werd een zandplateau aangebracht van circa 100 x 100 m². Destijds was het niveau van de bovenkant van het plateau gepland op ongeveer NAP + 3 m. Vanaf dit zandplateau werd het zuidelijke inganggebouw gerealiseerd. Na de bouw is het maaiveld rondom het gebouw verhoogd tot een niveau van circa NAP + 4,5 m.

Door de zandophoging wordt het aanwezige pakket slappe veen- en kleilagen samengedrukt. Door de slechte doorlatendheid van de klei- en veenlagen duurt het samendrukkingproces vele jaren. De snelheid van het samendrukken van de grondlagen neemt in de loop van de tijd af. Na de zogenaamde hydrodynamische periode, die in dit geval circa 10 jaren is, wordt de samendrukking van de lagen hoofdzakelijk door kruip bepaald.

De samendrukking van de slappe lagen door de zandophoging resulteert in een zetting van de grondlagen onder de leidingen. De grootte van de zetting die van belang is voor een leiding hangt mede af van het tijdstip waarop de leiding wordt aangelegd. Hoe vroeger in het samendrukkingproces een leiding wordt aangelegd, hoe groter de zetting voor de leiding zal zijn.

5.1.2 De aanleg van de leidingen

Ten behoeve van de aanleg van een leiding wordt een sleuf gegraven. Door het graven van de sleuf wordt de belasting op de ondergrond tijdelijk verminderd, waardoor zwel van de ondergrond optreedt. Vervolgens wordt de leiding in de gegraven sleuf gelegd en wordt de sleuf aangevuld. Door het aanvullen van de sleuf wordt de opgetreden zwel van de ondergrond weer teniet gedaan, hetgeen voor de leiding als een zetting kan worden beschouwd.

Reeds aangelegde leidingen die in de nabijheid van een te graven sleuf liggen kunnen door het graven van de sleuf door gronddeformaties worden beïnvloed.

Bij het graven van een sleuf wordt de uitkomende grond aan weerszijden van de sleuf tijdelijk opgeslagen. In de buisleidingstraat mag de hoogte van de grondopslag niet meer bedragen dan 1 m. Tijdelijk kan er dus ter plaatse van een nabij gelegen leiding grond op het maaiveld worden aangebracht, hetgeen een tijdelijke belastingverhoging op de ondergrond betekent.

Tijdens graafwerkzaamheden komt het voor dat met een graafmachine over reeds aanwezige leidingen wordt gereden. Dit betekent ook een tijdelijke belasting op de ondergrond.

5.2 Grootte van de zetting van de grondlagen onder de leidingen

5.2.1 Zettingen ten gevolge van de ophogingen

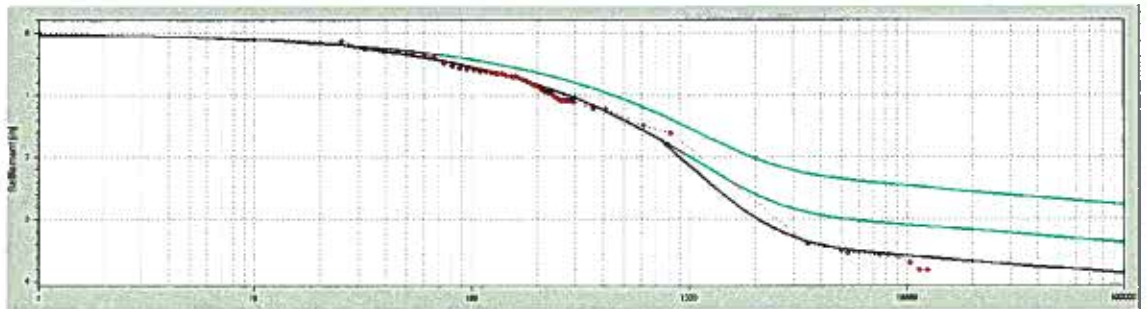
Rekenmodel

Voor het berekenen van de zetting is gebruik gemaakt van het zogenaamde a,b,c, - isotachenmodel. In tegenstelling tot de meer klassieke rekenmodellen beschrijft dit model met name de zettingen op de lange termijn (kruipfase) goed.

Parameters bepaald aan de hand van zetbaakgegevens

Door de Stichting Buisleidingstraat zijn meetgegevens beschikbaar gesteld van zetbaken. Het betreft zetbaken 39, 40, 46 t/m 48, 53 t/m 56 en 63. Zoals reeds eerder is vermeld bevinden de zetbaken zich in de omgeving van de Zeedijk Heinenoord en bedraagt de minimale afstand tot het inganggebouw circa 75 m. Van de zetbaken 47, 53, 55 en 56 zijn meetresultaten beschikbaar die doorlopen tot 2006. Deze baken tonen allemaal een overeenkomstig zettingsverloop. Zetbaak 55 ligt van deze vier het dichtst bij het inganggebouw, zodat de meetgegevens ervan zijn gebruikt voor de parameterbepaling.

De beschouwde zetbaakgegevens vertonen allemaal een opvallende extra zetting omstreeks 1997. Het vermoeden bestaat dat dit wordt veroorzaakt door een verstoring van de metingen.



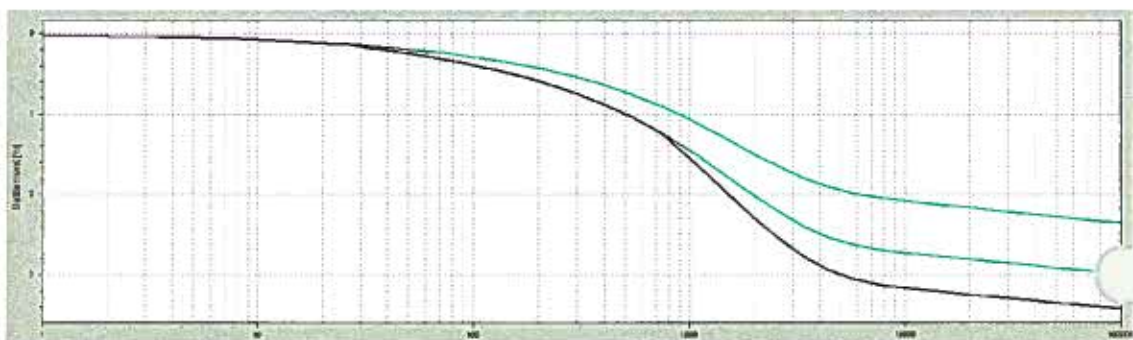
Figuur 5.1 Resultaat 'zetbaak-fit' zetbaak 55

Met behulp van deze "fit" zijn de volgende eigenschappen van de grondlagen vastgesteld (zie tabel 5.1). De gegevens over het volumegewicht van de grondlagen zijn ontleend aan de resultaten van laboratoriumonderzoek dat in het verleden is uitgevoerd.

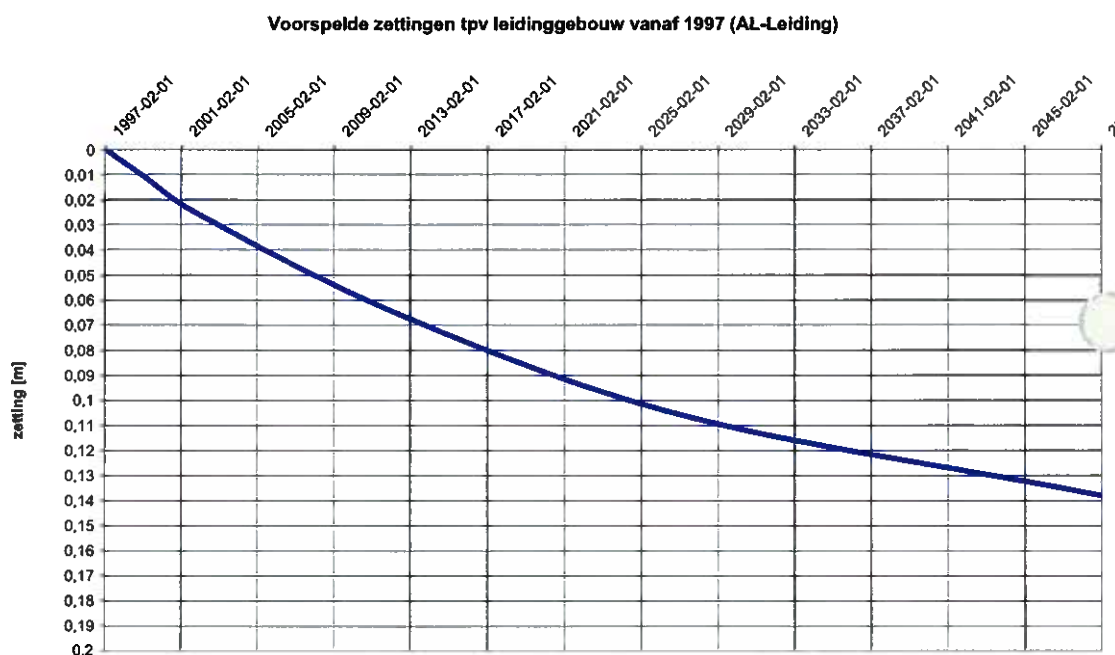
Diepte bk/ok [m NAP]	grondsoort	Volumegewicht [kN/m ³]	Cv [m ² /s]	OCR [-]	a [-]	b [-]	c [-]
0 / -4.8	klei	13.8	5.96*10 ⁻⁷	1.49	1.4*10 ⁻²	1.7*10 ⁻¹	1.1*10 ⁻²
-4.8 / -7.2	klei veenhoudend	13.8	6.38*10 ⁻⁸	1.49	1.4*10 ⁻²	1.7*10 ⁻¹	1.1*10 ⁻²
-7.2 / -8.8	veen	12.0	1.60*10 ⁻⁷	1.81	2.3*10 ⁻²	2.2*10 ⁻¹	1.8*10 ⁻²
-8.8 / -9.8	klei veenhoudend	13.8	6.38*10 ⁻⁸	1.49	1.4*10 ⁻²	1.7*10 ⁻¹	1.1*10 ⁻²
-9.8 / -12.6	klei zandhoudend	13.8	5.96*10 ⁻⁷	1.49	1.4*10 ⁻²	1.7*10 ⁻¹	1.1*10 ⁻²
-12.6 / -18	zand klei/silthoudend	20.0	1.00*10 ⁻¹	2.78	1.0*10 ⁻⁶	1.0*10 ⁻⁵	1.0*10 ⁻⁶
-18 / -30	zand	20.0					

Tabel 5.1 grondeigenschappen**Berekening van de zetting nabij inganggebouw**

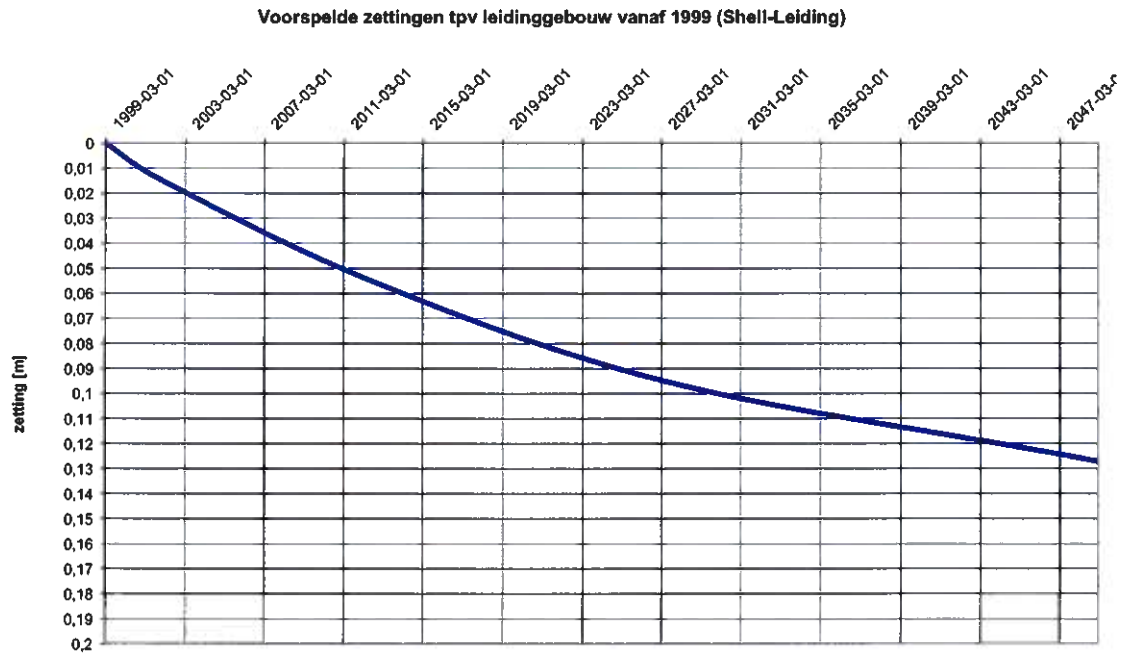
Met behulp van het rekenmodel zijn vervolgens met de door de "zetbaak-fit" vastgestelde eigenschappen de zettingen berekend ter plaatse van de leidingen nabij het inganggebouw.

**Figuur 5.2** Berekend zettingsverloop nabij inganggebouw**Zetting ter plaatse van 6" AL-leiding**

Deze leiding is aangelegd in februari 1997. Aan de hand van het berekende zettingsverloop (zie figuur 5.2) is de zetting vastgesteld vanaf moment van aanleg (zie figuur 5.3).

**Figuur 5.3** zetting ter plaatsen van 6" AL-leiding**Zetting ter plaatse van 4" Shell-leiding**

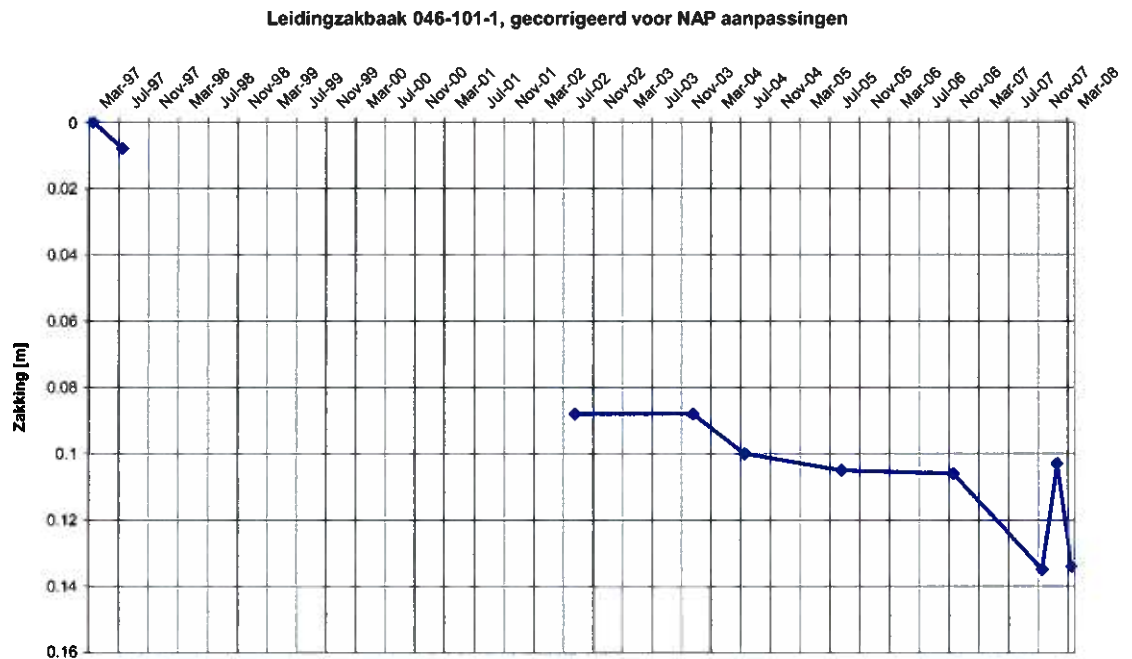
Deze leiding is aangelegd in het voorjaar van 1999. Aan de hand van het berekende zettingsverloop (zie figuur 5.2) is de zetting vastgesteld vanaf moment van aanleg van deze leiding (zie figuur 5.4).



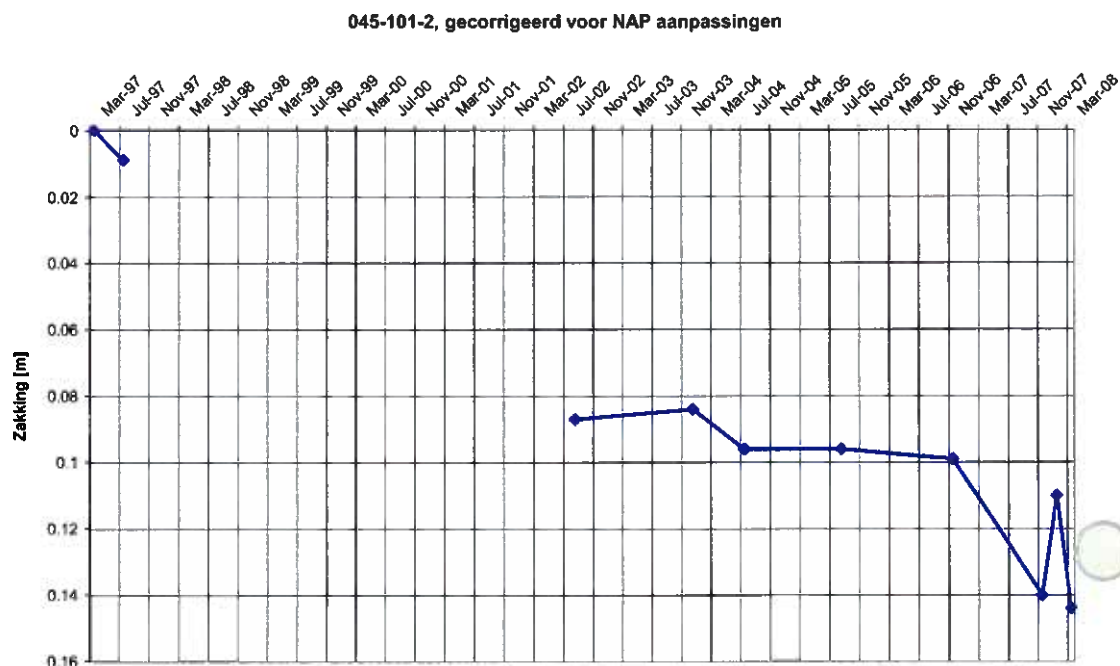
Figuur 5.4 Zetting ter plaatse van 4" Shell-leiding

Resultaten zakbaakmetingen (zakkingen van de leidingen)

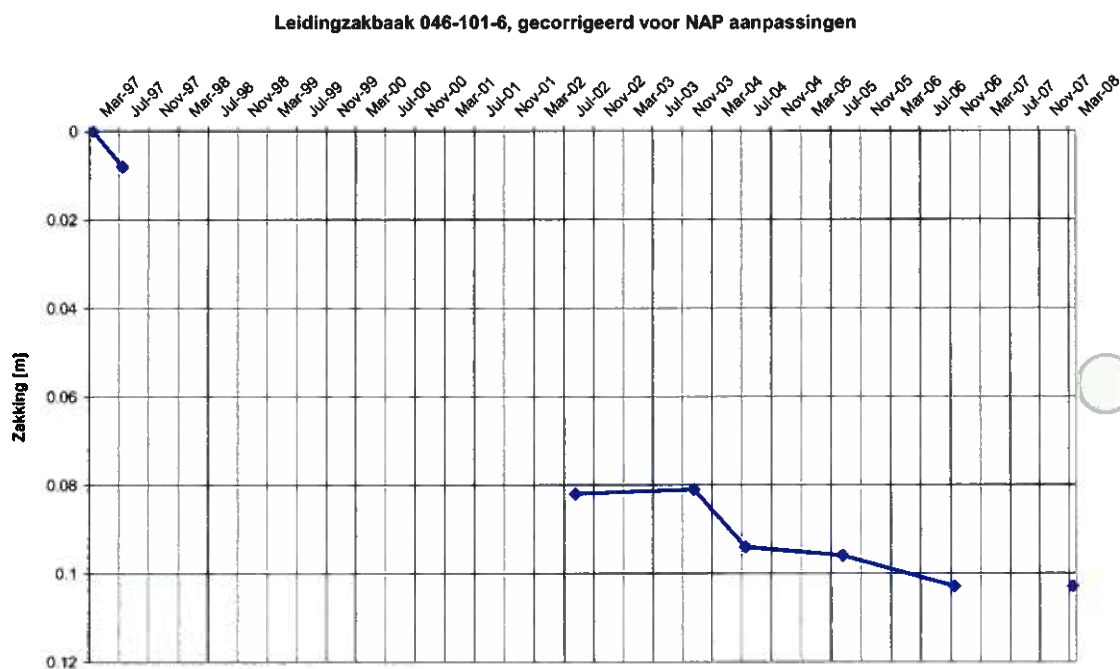
Op enkele plaatsen zijn zakbaken op de leidingen geplaatst (zie bijlage 3). De meetresultaten van enkele bakken in de nabijheid van het inganggebouw zijn hierna weergegeven.



Figuur 5.5 verloop zakking in de tijd zakbaak 1



Figuur 5.6 Verloop zakking in de tijd zakbaak 2



Figuur 5.7 Verloop zakking in de tijd zakbaak 6

In de periode augustus 1997 tot april 2002 zijn geen metingen beschikbaar. De verwachting is dat de leidingen de grondzetting vrijwel geheel zullen volgen, zodat de gemeten zakking van de leiding ook een goed beeld geeft van de zetting van de grondlagen onder de leiding.

Conclusie

De berekende zetting ter plaatse van de 6" AL-leiding bedraagt ten tijde van het incident 0,05 m.

De gemeten zakking van de leidingen (zakbaken 1, 2, en 6) bedraagt ten tijde van het incident respectievelijk 0,13, 0,14 en 0,10 m. Dit is meer dan de berekende zetting. Het verschil kan voor een deel verklaard worden door het optreden van uitvoeringszakking. Volgens de NEN 3650 bedraagt deze in zand 0.01 m, maar kan, afhankelijk van de uitvoering, ook meer bedragen.

Aangezien de leidingen de zetting van de grond vrijwel geheel zullen volgen, wordt in de vervolgberekeningen uitgegaan van de gemeten zakkingen van de leidingen. Omdat de 4" Shell-leiding later is aangelegd, betekent dit voor deze leiding een iets geringere zetting dan de gemeten waarde van de AL-leiding ten tijde van het incident. De zettingen ten tijde van het incident zijn weergegeven in bijlage D (GP1 en GP2). Daarnaast zijn ook de zettingen opgegeven voor een periode van 50 jaar, zijnde de levensduur van de leidingen. Met de opgegeven waarden van de zetting worden voor beide leidingen sterkteberekeningen uitgevoerd. Teneinde na te gaan wat het effect is van een grotere zetting worden ook sterkteberekeningen uitgevoerd met waarden van de zetting die een factor 1,5 en/of 2,0 groter zijn.

5.2.2 Zettingen ten gevolge van aanleg leidingen

Met behulp van het EEM-programma PLAXIS is berekend wat de grondverplaatsing is ter plaatse van de reeds aanwezige 6" AL-leiding ten gevolge van de aanleg van de 4" Shell-leiding). Ook is berekend wat de grondverplaatsing ter plaatse van de 6" AL-leiding en de 4" Shell-leiding is ten gevolge van de aanleg van de DVD leiding.

Fasering

Aangenomen wordt dat het leggen van de drie Air Liquide leidingen (zuurstof, stikstof en waterstof, alle drie aangelegd in 1997) niet van invloed zijn op de vervormingen van de 6" AL-leiding. Als startmoment van de berekening wordt het moment van ontgraven voor de 4" Shell-leiding genomen.

In de berekening wordt de volgende fasering gebruikt.

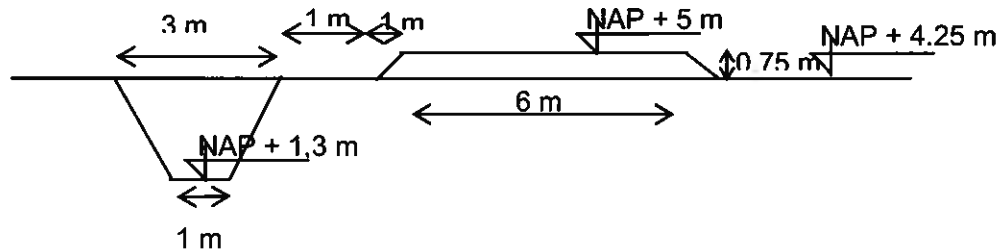
1. Initiële situatie
2. Ontgraven sleuf voor het leggen van 4" Shell-leiding
3. Plaatsen kraan op zandterp
4. Aanvullen sleuf, zandterp en kraan verwijderen
5. Consolidatie
6. Kraan op maaiveld
7. Kraan weg, ontgraven van de sleuf voor het leggen van DVD leiding
8. Plaatsen kraan op zandterp
9. Aanvullen sleuf, zandterp en kraan verwijderen
10. Consolidatie

Geometrie

De onderkant van de leidingen ligt op NAP + 1,3 m.

Voor zover bekend zijn de afmetingen van de sleuf voor het leggen van de DVD leiding niet vastgelegd. Uit de foto's gemaakt tijdens het incident wordt geschat dat de breedte van de sleuf aan maaiveld 3 m is. De bodembreedte wordt geschat op 1 m.

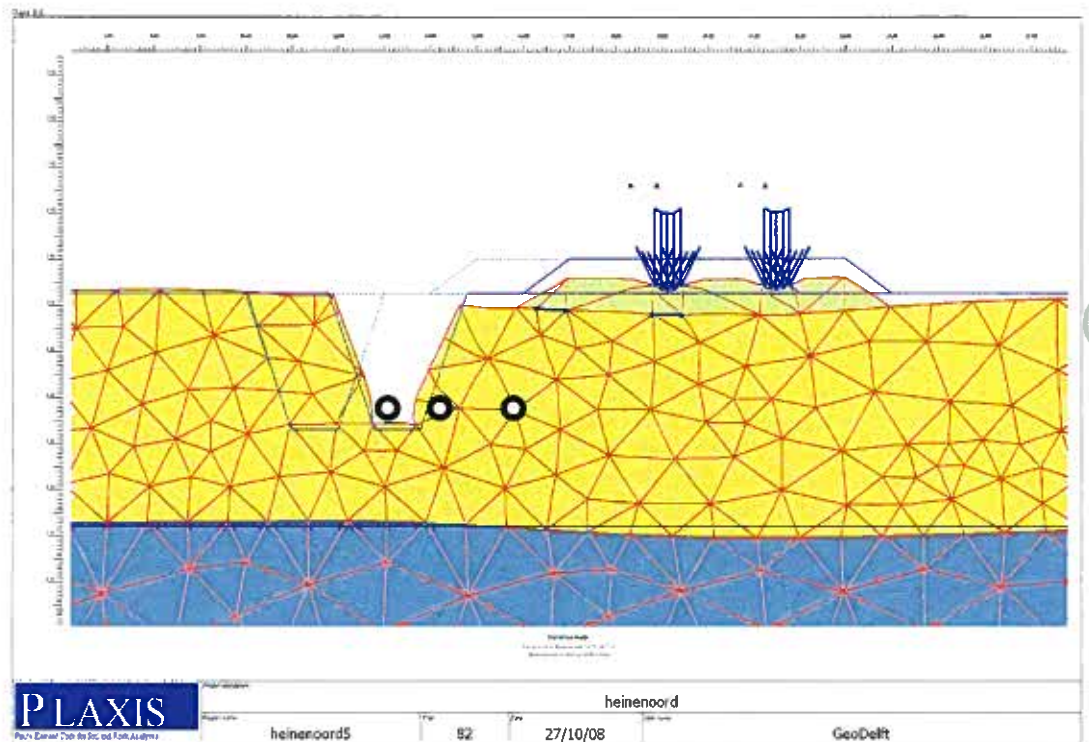
De foto's tonen aan dat bij het ontgraven in eerste instantie over een grote breedte de toplaag met teelaarde opzij wordt gezet. Vervolgens wordt de sleuf ontgraven waarbij de ontgraven grond als een lage terp naast de sleuf wordt neergelegd. De rupssporen op deze terp tonen aan dat tijdens het aanleggen van de leiding een graafmachine over deze terp heeft gereden.



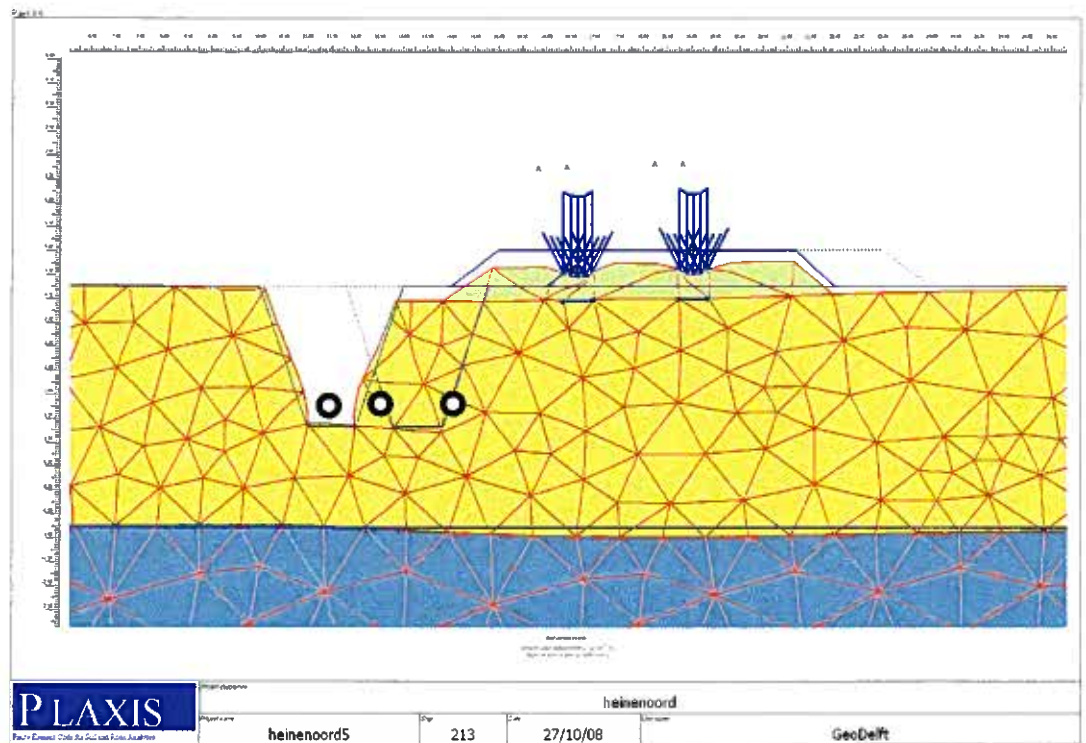
Figuur 5.8 Geometrie leidinsleuf voor aanleg DVD leiding

De geometrie van de leidingsleuf tijdens het leggen van de 4" Shell-leiding is niet bekend. Hier zijn verder ook geen indirecte gegevens zoals foto's van bekend. Verwacht mag worden dat deze redelijk overeen komt met de geometrie bij het leggen van DVD leiding. In de berekening wordt daarom dezelfde geometrie aangehouden, maar dan 1,8 m verschoven.

De belasting vanuit de graafmachine is gemodelleerd als twee strokenbelastingen. Uit gegevens van de leverancier is afgeleid dat de contactdruk 50 kPa bedraagt en dat de breedte van de rupsen 0,6 m is. Het spreidingseffect in langsricting wordt verwaarloosd. De figuren 5.9 en 5.10 tonen de situatie bij respectievelijk het graven van de sleuf voor de 4" Shell-leiding en voor de DVD leiding.



Figuur 5.9 Situatie bij ontgraven sleuf 4" Shell-leiding



Figuur 5.10 **Situatie bij ontgraven sleuf DVD leiding**

Materiaalparameters

In de berekening worden drie grondlagen onderscheiden

- toplaag met opgebrachte grond, bovenkant NAP + 4,3 m
- klei-/veenlagen, bovenkant NAP - 0,8 m
- diepe zand, bovenkant NAP - 13 m

In tabel 5.2 zijn de gebruikte materiaalparameters voor de drie grondlagen gegeven. Het gebruikte grondmodel is het zogenaamde 'Hardening Soil' model. Dit model heeft een spanningsafhankelijke stijfheid en kan het verschil in stijfheid bij eerst belasting en bij ontlasting/herbelasting in rekening brengen.

In de toplaag is enige cohesie aanwezig om het effect van capillaire spanningen in vochtig zand te simuleren.

grondlaag	zand	klei/veen	vast zand	uitgegraven grond (tijdelijke grondterp)
bovenkant	+ 4,3	-0,8	-13	
mat. model 1)	HS, drained	HS, undrained	HS, drained	HS, drained
$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	17 / 20	14 / 14	17 / 20	16 / 20
E_{50}^{ref} [kN/m ²]	15.000	2000	50.000	10.000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [kN/m ²]	15.000	2000	50.000	10.000
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [kN/m ²]	75.000	10.000	250.000	30.000
ϕ [°]	32,5	15	35	30
c [kPa]	5	5	1	2
m 2)	0,5	0,9	0,5	0,5

1): HS: Hardening Soil model; drained: materiaalgedrag is gedraineerd; undrained: materiaalgedrag is ongedraineerd

2): m is de parameter die de spanningsafhankelijkheid van de stijfheid beschrijft

Tabel 5.2 **Gebruikte grondparameters**

Resultaat berekening

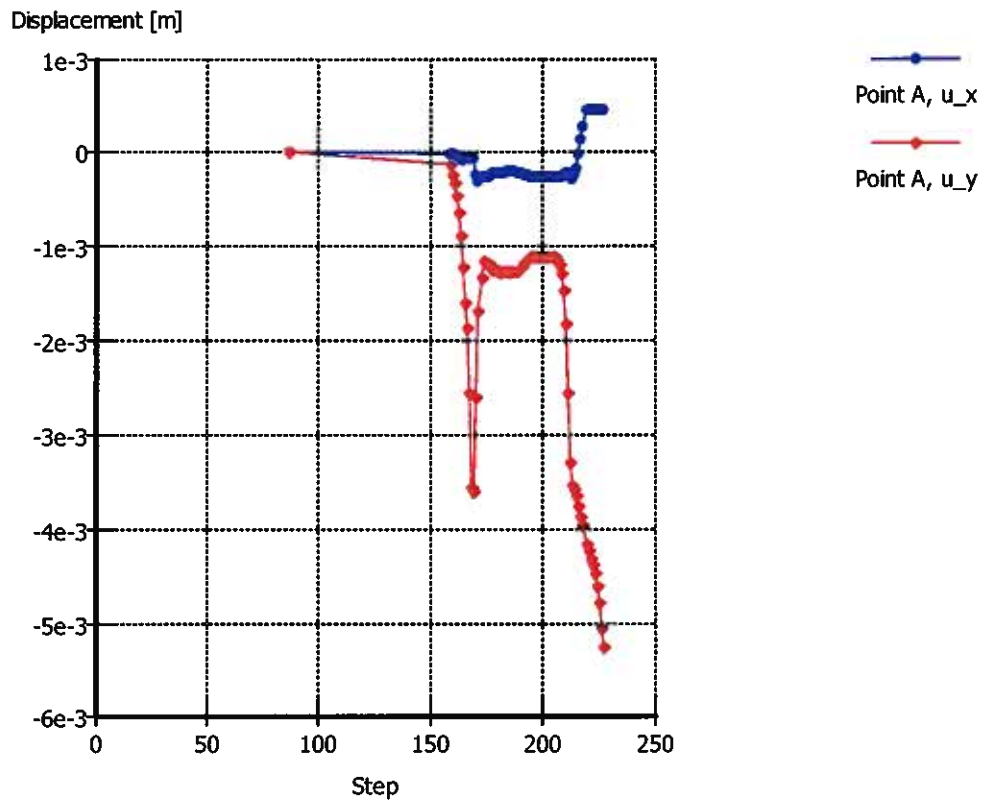
Voor drie punten wordt het verloop van de verplaatsing in horizontale (x) en verticale richting (y) gegeven in de figuren 5.11, 5.12, en 5.13. Het betreft de volgende punten.

- Punt A: niveau NAP + 1,3 m, op 1,8 m uit hart DVD leiding (plaats 4" Shell-leiding), voor dit punt is de verplaatsing vanaf fase 5 (consolidatie na leggen 4" Shell-leiding) geplot
- Punt B: niveau NAP + 1,3 m, op 2,5 m uit hart DVD leiding (plaats 6" AL-leiding)
- Punt C: niveau NAP + 1,3 m, op 4,5 m uit hart DVD leiding (plaats 12" AL-leiding)

De resultaten zijn geplot als functie van de berekeningsstap. De relatie tussen de berekeningsfase en de berekeningsstap is weergegeven in tabel 5.3.

fase	berekeningsstap	opmerking
1: beginsituatie	1	
2: ontgraven sleuf 4" Shell-leiding	2 – 73	
3: kraan naast 4" Shell-leiding	74 – 82	
4: aanvullen sleuf 4" Shell-leiding	83 – 87	
5: consolidatie	88 – 96	
6: kraan op maaiveld	97 – 99	
7: ontgraven sleuf DVD-leiding	100 – 135	
8: kraan naast DVD-leiding	136 – 143	
9: aanvullen sleuf DVD-leiding	144 – 149	
10: consolidatie	150 – 157	
5b: consolidatie	158 – 166	herstart vanaf fase 4, vervorming op nul gezet
6b: kraan op maaiveld	167 – 169	
7b: ontgraven sleuf DVD-leiding	170 – 205	
8b: kraan naast DVD-leiding	206 – 213	
9b: aanvullen sleuf DVD-leiding	214 – 219	
10b: consolidatie	220 – 227	

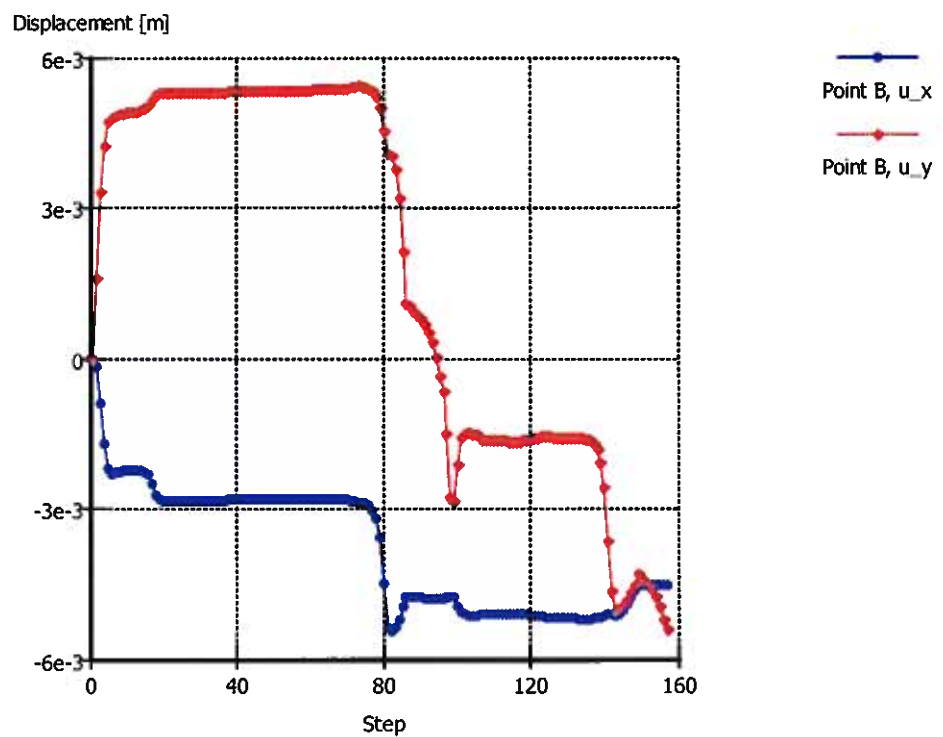
Tabel 5.3 Relatie berekeningsfase en berekeningsstap



Figuur 5.11 Verplaatsing punt A, 1.8 m uit hart DVD leiding (locatie 4" Shell-leiding)

De berekende verplaatsing van de 4" Shell-leiding door de graafwerkzaamheden is.

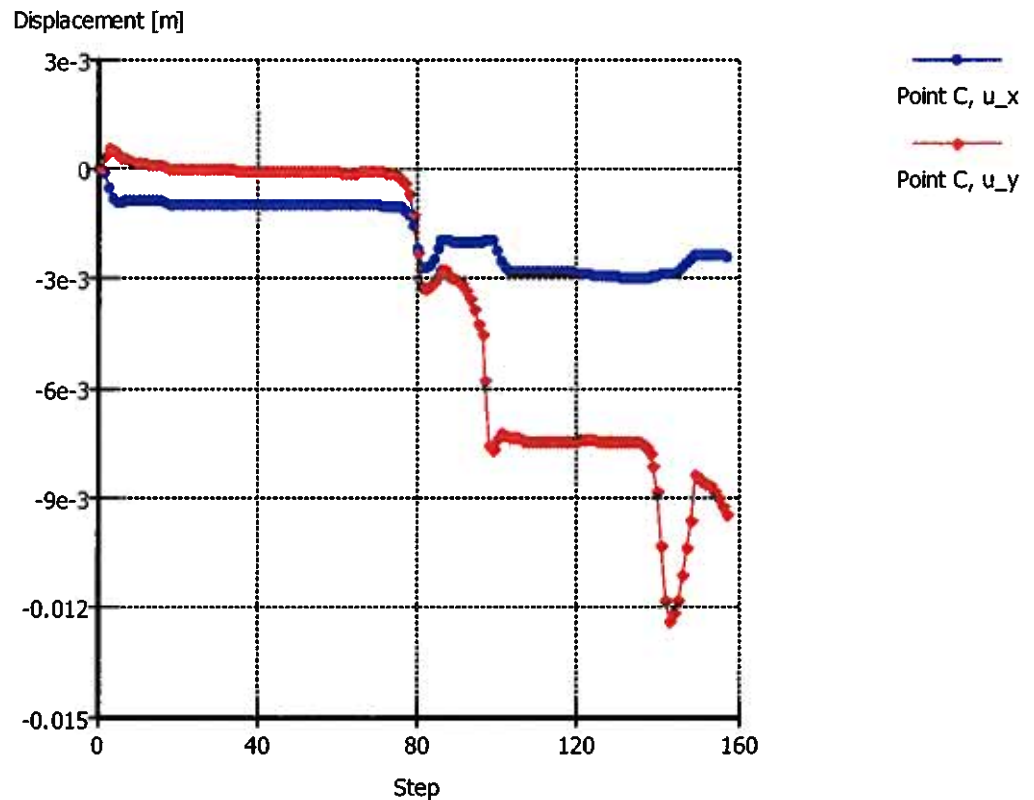
- Verticaal: zakking van 3,5 mm na ontgraven sleuf
- Horizontaal: 0,2 mm richting sleuf



Figuur 5.12 Verplaatsing punt B, 2.5 m uit hart DVD leiding (locatie 6" AL-leiding)

De berekende verplaatsing van de 6" AL-leiding door de graafwerkzaamheden is.

- verticaal: zakking van 5 mm
- horizontaal: 5 mm richting sleuf



Figuur 5.13 Verplaatsing punt C, 4.5 m uit hart DVD leiding (locatie 12" AL-leiding)

De berekende verplaatsing van de 12" AL-leiding door de graafwerkzaamheden is.

- verticaal: zakking van 13 mm
- horizontaal: 3 mm richting sleuf

Conclusie

De zetting (grondverplaatsing) ten gevolge van de aanleg van een leiding is gering en is verwaarloosbaar in vergelijking met de zetting ten gevolge van de aangebrachte zandophoging.

6 Belasting op de leidingen en overige grondmechanische parameters voor de sterkteberekening van de leiding

6.1 Grondbelasting

Op basis van de diepteligging van de leiding en de gegevens uit het beschikbare grondonderzoek is de grondbelasting op de leiding berekend. Deze berekeningen zijn uitgevoerd conform NEN 3650.

De volgende grondbelastingen zijn berekend:

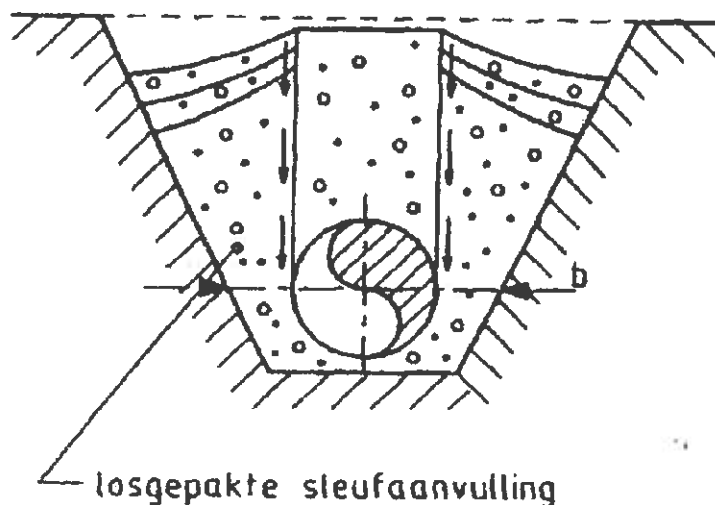
Neutrale grondbelasting P_{vn}

Dit is de belasting die optreedt wanneer er geen relatieve verplaatsing optreedt tussen grond en leiding. Deze belasting bestaat feitelijk uit het gewicht van de grond boven de leiding.

Passieve grondbelasting P_{vp}

Dit is de maximale grondbelasting die kan optreden wanneer de grond zakt en de leiding niet zakt.

Na het aanvullen van de sleuf zal de sleufaanvulling naast de leiding meer inklinken dan de sleufaanvulling boven de leiding. Als gevolg hiervan zal tussen leiding en sleufaanvulling tijdelijk een relatieve verplaatsing optreden. Het gevolg hiervan is dat de grondbelasting op de leiding in een periode direct na aanleg van de leiding tijdelijk groter zal zijn dan de neutrale grondbelasting (zie figuur 6.1). De grondbelasting kan echter niet groter worden dan de passieve grondbelasting.



Figuur 6.1 Tijdelijk extra grondbelasting door inklinken sleufaanvullingen

6.2 Belasting op maaiveld

Tijdens de aanleg van leidingen wordt bij het graven van een sleuf de uitkomende grond naast de sleuf tijdelijk opgeslagen. Deze opslag kan zich boven al aangelegde leidingen bevinden. In de buisleidingstraat mag daarom deze tijdelijke opslag niet hoger zijn dan 1 m. Tijdens de aanlegwerkzaamheden kunnen ook graafmachines over de bestaande leidingen rijden.

In paragraaf 5.2.2. is aangegeven dat de invloed van deze tijdelijke belastingen op de zetting van de ondergrond verwaarloosbaar is. Als extra belasting op de leiding worden deze tijdelijke belastingen wel meegenomen. In de sterkteberekening van de leidingen wordt de grondbelasting verhoogd met het gewicht van 1 m zand en wordt rekening gehouden met de verkeersbelasting op de leiding ten gevolge van een graafmachine.

6.3 Grondmechanische parameters voor de sterkteberekeningen van de leidingen

Naast de neutrale, passieve grondbelasting en de verticale grondverplaatsing (zetting) zijn in bijlage D ook de andere grondmechanische parameters weergegeven die worden gebruikt bij de bepaling van de krachtswerking in de leiding. Een overzicht van alle grondmechanische parameters volgt hierna:

• P_v^p	: passieve grondbelasting	[N/mm ²]
• P_v^n	: neutrale grondbelasting	[N/mm ²]
• d_v	: verticale grondverplaatsing (zetting)	[mm]
• $k_{v, top}$: verticaal beddinggetal omhoog	[N/mm ³]
• k_v	: verticaal beddinggetal omlaag	[N/mm ³]
• P_v^e	: evenwichtsdraagvermogen	[N/mm ²]
• k_h	: horizontaal beddinggetal	[N/mm ³]
• P_v^e	: evenwichtsdraagvermogen	[N/mm ²]
• t_{max}	: maximale wrijving	[N/mm ²]
• d_{max}	: corresponderende verplaatsing bij mobilisatie maximale wrijving	[mm].

De berekening van deze grondmechanische parameters is uitgevoerd conform NEN 3650.

De grondmechanische parameters zijn weergegeven in bijlage D (GP1 en GP2) en worden gebruikt bij de sterkteberekeningen van de leidingen.

7 Sterkteberekening van de leidingen

Door r+k Raadgevend Ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v. te Rijswijk zijn van zowel de 6" Al-leiding als de 4" Shell-leiding het verplaatsingsgedrag en de sterkte en stabiliteit ten gevolge van de opgetreden grondzettingen en belastingen bepaald door middel van uitgebreide sterkteberekeningen. De berekeningen zijn uitgevoerd met het computerprogramma Ple4Win.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de belastingsituatie ten tijde van het incident in oktober 2007, waarbij de grootte van de grondzetting is gevarieerd in verband met de onzekerheid van deze waarde.

Het doel van de berekeningen is vooral de optredende krachten in de leidingen te bepalen nabij de doorvoering van de leidingen in het inganggebouw. Op deze locatie bevinden zich isolatiekoppelingen waarvan in een van de koppelingen mogelijk een lekkage is ontstaan. De berekende krachten zullen moeten worden vergeleken met de voor de isolatiekoppelingen toelaatbare waarden, op te geven door de fabrikant van de koppelingen.

Het rapport van r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v. is als bijlage E aan dit rapport toegevoegd.

De belangrijkste resultaten van de berekeningen zijn grafisch weergegeven in de figuren 4 t/m 11 en 15 t/m 20 van het rapport in bijlage E.

Bovenin deze figuren zijn steeds het maaiveld, de leidingas en de grondwaterstand getekend.

Verplaatsingen in het algemeen

Uit de berekende verticale verplaatsingen van de 4" Shell-leiding en de 6" AL-leiding volgt dat de leidingen de zettingen nagenoeg volledig volgen, behalve ter plaatse van de muurdoorvoer indien de zetting daar groter is dan de aanwezige speling onder de leidingen. Zie de figuren 4, 6, 8, 10, 15, 17 en 19 van het rapport in bijlage E.

Interne krachten en verplaatsingen 4" Shell-leiding

Voor de verschillende belastinggevallen zijn de maximale interne krachten in de isolatiekoppeling en de verticale leidingverplaatsingen in de volgende tabel 7.1 opgenomen. Zie ook de figuren 5, 7, 9 en 11 van het rapport in bijlage E.

4" Shell-leiding	Speling bij muurdoorvoer onder leiding (mm)	Verticale verplaatsing (*) bij muurdoorvoer (mm)		Maximale interne doorsnedekrachten in isolatiekoppeling			
		leiding	grond	Normaalkracht F-ax (kN)	Dwarskracht F-lat (kN)	Buigmoment M _b (kNm)	Torsiemoment M _w (kNm)
Geval 0	152.9	-0.9	0	12.3	1.5	1.0	0.14
Geval 1	152.9	-118.8	-120	14.9	2.2	1.67	0.92
Geval 1a	152.9	-118.8	-120	14.9	2.2	1.62	0.93
Geval 2	152.9	-153.7 (**)	-180	14.8	7.6	9.2	0.64
Geval 3	152.9	-155.0 (**)	-240	14.8	16.9	10.5	0.07
Geval 1b	76.45	-77.3 (**)	-120	14.9	12.9	8.6	0.06

(*) een negatieve waarde betekent een verplaatsing omlaag

(**) impliceert aanliggen van leiding op onderrand mantelbuis van muurdoorvoer

Tabel 7.1 Maximale interne krachten en verticale leidingverplaatsingen 4" Shell-leiding

De bij de 4" Shell-leiding ingevoerde temperatuurbelasting heeft geen invloed op de berekende resultaten bij de isolatiekoppeling. Vergelijk de resultaten van geval 1 (incl. temperatuur) met die van geval 1a (zonder temperatuur).

Interne krachten en verplaatsingen 6" AL-leiding

Voor de verschillende belastinggevallen zijn de maximale interne krachten in de isolatiekoppelingen en de verticale leidingverplaatsingen in de volgende tabel opgenomen. Zie ook de figuren 16, 18 en 20 van het rapport in bijlage E.

6" AL-leiding	Speling bij muurdoorvoer onder leiding	Verticale verplaatsing (*) bij muurdoorvoer (mm)		Maximale interne doorsnedekrachten in isolatiekoppeling			
		leiding	grond	Normaalkracht F-ax (kN)	Dwarskracht F-lat (kN)	Buigmoment M _b (kNm)	Torsiemoment M _w (kNm)
Geval 0	111.6	-0.62	0	136.5	0.8	1.2	0.28
Geval 1	111.6	-111.9 (**)	-130	139.5	6.0	8.9	2.47
Geval 2	111.6	-113.4 (**)	-195	139.6	24.0	6.7	0.79
Geval 1b	55.8	-57.0 (**)	-130	139.7	25.3	5.6	1.39

(*) een negatieve waarde betekent een verplaatsing omlaag

(**) impliceert aanliggen van leiding op onderrand mantelbuis van muurdoorvoer

Tabel 7.2 Maximale interne krachten en verticale leidingverplaatsingen 6" AL-leiding

De optredende axiale krachten in de isolatiekoppelingen zijn nagenoeg onafhankelijk van de ingevoerde zettingen.

De waarde in geval 0 zonder zettingen wordt veroorzaakt door de inwendige druk die een vergelijkbare kracht uitoefent op de 90° bocht die binnen het eindgebouw bij de muurdoorvoer aanwezig is.

De buigende momenten en dwarskrachten worden wel veel groter als de leidingen gaan aanliggen op de onderrand van de mantelbuis van de muurdoorvoer. In het leidingdeel van de 4" Shell-leiding vlak naast de koppeling overschrijdt het buigend moment in gevallen 1b, 2 en 3 ook het toelaatbaar moment in verband met plooiën.



8 Conclusies

Op basis van het onderzoek naar de geotechnische aspecten die een rol hebben gespeeld bij het mogelijk ontstaan van de lekkage in een van de leidingen kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

1. Op de locatie van het incident in de buisleidingstraat nabij het zuidelijke inganggebouw van de leidingentunnel onder de Oude Maas bevindt zich in de ondergrond een pakket slappe, samendrukbare grondlagen met een oorspronkelijke dikte van circa 11 m.
Vanaf begin 1973 is boven op dit pakket samendrukbare lagen een zandophoging aangebracht met een uiteindelijke dikte van circa 6 m. Door het aanbrengen van deze zandophoging is een zettingproces gestart dat tientallen jaren duurt. In het begin van dit proces is de zettingsnelheid groot en neemt in de loop van de tijd af. Na ongeveer 10 jaar na het aanbrengen van de zandophoging (de zogenaamde hydrodynamische periode op deze locatie) is alleen nog sprake van zetting ten gevolge van kruip.
Telkens wanneer in de loop van de tijd extra zandophogingen worden aangebracht dan start een nieuw zettingproces. De totale zetting ten gevolge van de zandophoging wordt berekend op circa 3,5 m.
2. Vanaf 1997 zijn de eerste leidingen aangelegd nabij het zuidelijke inganggebouw. De bij het incident betrokken leidingen (6" waterstofleiding van Air Liquide en 4" etyleen-oxide-leiding van Shell) zijn respectievelijk aangelegd in 1997 en 1999. Dat wil zeggen dat deze leidingen worden beïnvloed door het laatste gedeelte van het zettingproces ten gevolge van de aangebrachte zandophoging.
Doordat alleen ter plaatse van de kruising met de Zeedijk Heinenoord zetbaakgegevens beschikbaar zijn, is de onzekerheid van de berekende zetting bij het inganggebouw groot. Omdat de leidingen de grondzetting vrijwel geheel volgen zijn de gegevens van zakbaken op de leidingen ook gebruikt voor het bepalen van de zetting van de grondlagen onder de leidingen.
Ten tijde van het incident wordt vanaf 1997 nabij het inganggebouw een zetting vastgesteld van 0,10 à 0,14 m. Omdat deze grootte van de zetting is ontleend aan zakbaken op de leidingen, is deze zetting inclusief de opgetreden uitvoeringszetting meegenomen. Gezien de onzekerheid wordt in de sterkteberekening ook gerekend met een zetting die een factor 1,5 en/of 2 groter is.
3. De invloed van de aanleg van een leiding op reeds aanwezige leidingen in de vorm van tijdelijke opslag van grond en het rijden met graafmachines heeft een te verwaarlozen effect op de zetting van de ondergrond. Wel wordt de extra belasting hierdoor op de leidingen meegenomen in de sterkteberekeningen van de leidingen.
4. De leidingen worden aan de oostkant van het zuidelijke inganggebouw door de muur gevoerd. De fundering van het inganggebouw is zodanig dat het gebouw als star ondersteund mag worden beschouwd. Het gebouw zakt niet, terwijl de leidingen wel zakken. Nabij de muurdoorvoeringen bevinden zich isolatiekoppelingen in de leidingen.

5. Het is niet waarschijnlijk dat de brand die nabij het inganggebouw is ontstaan, is veroorzaakt door moerasgas dat aanwezig is in de veenlagen op de locatie. Voor een dergelijke brand over een bepaalde oppervlakte is een stroom gas benodigd gedurende de tijd van de brand. Dat wil zeggen dat er een hoeveelheid gas op dat moment beschikbaar moet zijn en een voldoende grote opening naar de gasaccumulatie in het veen. Het aanwezig zijn van een grote hoeveelheid gas in het veen en het ontstaan van een plotselinge doorgaande opening door het afdekkende dikke kleipakket is niet waarschijnlijk. Eventueel aanwezige openingen in de kleilaag zoals de vermoedelijke toegepaste zandpalen, zullen ervoor gezorgd hebben dat het moerasgas in de loop van de tijd al is verdwenen.
6. Aan de hand van de gegevens van de leidingen en de grondmechanische parameters zijn door r+k Raadgevend Ingenieurs- en konstruktiebureau b.v. te Rijswijk sterkteberekeningen uitgevoerd. De aan de hand van deze berekeningen te trekken conclusies zijn:
 - a. Bij zowel de 4" Shell-leiding als de 6" Al-leiding ontstaat ter plaatse van de isolatiekoppeling een axiale trekkracht in de leiding ten gevolge van de inwendige druk tegen de 90° bocht die binnen het gebouw bij de muurdoorvoer aanwezig is. Omdat de inwendige druk bij de Al-leiding veel hoger is (een factor 5) en bovendien de oppervlakte van de buisdoorsnede ruim 2 x zo groot is, is de trekkracht in de 6" AL-leiding ruim 10 x zo groot als in de 4" Shell-leiding.
 - b. Indien buiten de muurdoorvoer zettingen ontstaan, wordt deze trekkracht groter, bij de 4" Shell-leiding circa 25 % en bij de 6" AL-leiding ongeveer 3 %. De absolute toename is voor beide leidingen gelijk.
 - c. De grootte van de trekkrachten ter plaatse van de isolatiekoppelingen bij het optreden van zetting buiten de muurdoorvoer is nagenoeg onafhankelijk van de grootte van de zettingen. De buigende momenten en dwarskrachten worden wel fors groter indien de leidingen ten gevolge van de zettingen gaan aanliggen op de onderrand van de mantelbuis van de muurdoorvoer.
 - d. In eerste instantie is uitgegaan van een aanleg van de leidingen bovenin de mantelbuis van de muurdoorvoer. Vervolgens is ook een initiële ligging middenin de mantelbuis bekeken, waarbij voor beide leidingen bij de uitgangszetting al meteen aanliggen op de onderrand van de mantelbuis van de muurdoorvoer plaatsvindt. Indien de initiële speling onder de leidingen in de muurdoorvoer geringer is, zal eerder aanliggen gaan optreden resulterend in grote(re) buigende momenten dwarskrachten ter plaatse van de isolatiekoppelingen.
 - e. De bij de 4" Shell-leiding ingevoerde temperatuurbelasting heeft geen invloed op de voor dit onderzoek van belang zijnde berekende resultaten.
 - f. De tijdelijke ophoging van 1 m zand en het gewicht van het rupsvoertuig hebben geen invloed op de grootte van de verplaatsingen en de inwendige krachten ter plaatse van de isolatiekoppelingen, omdat deze extra belastingen pas vanaf circa 7 m vanaf de muurdoorvoer gesitueerd zijn, waar de leidingen de grondzettingen volledig volgen.
 - g. Ten einde te kunnen vaststellen of de berekende inwendige krachten door de isolatiekoppeling kunnen worden opgenomen, is een onderzoek naar de samenstelling en werking van de isolatiekoppelingen nodig.



Bijlage 2

**Berekening van het verplaatsingsgedrag van en de krachten in de EO- en H2-leiding ter plaatse van eindgebouw Zuid van de leidingtunnel Oude Maas
r+k Consulting Engineers, Rijswijk
14 november 2008
(uitgebracht als bijlage van bijlage 1)**

Rapport bijgevoegd, bijlagen niet bijgevoegd, niet opvraagbaar,
bedrijfsvertrouwelijk.



r+k Consulting Engineers

Raadgevend Ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v.

Geestbrugweg 44

2281 CM Rijswijk

The Netherlands

tel: +31-70-3906890

fax: +31-70-3989475

Berekening

van het

verplaatsingsgedrag van en de krachten in de

4'' ethyleenoxide leiding Moerdijk - Pernis

van Shell Nederland Raffinaderij / Chemie

en de

6'' waterstofleiding Moerdijk - Rotterdam

van Air Liquide Nederland

ter plaatse van eindgebouw Zuid van de leidingentunnel Oude Maas

rapport 5-226-276/01

In opdracht van:

Deltares

Delft

1	DEFINITIEVE UITGAVE	14 november 2008	Ir. K.W. Radder	√	√
0	INITIELE UITGAVE	23 september 2008	Ir. K.W. Radder	√	
REVISIES		DATUM	AUTEUR	QA CONTROLE	
Client Kenmerk: 433250-0008/bvk d.d. 7 juli 2008		r+k project: 5-226-276			

INHOUD

pagina

1.	Inleiding	2
2.	Uitgangsgegevens sterkteberekeningen	3
2.1	Configuraties	3
2.2	Materiaal- en doorsnedegegevens	3
2.3	Grondmechanische parameters	4
2.4	Externe en interne randvoorwaarden	4
2.5	Belastingen	4
2.6	Uitgangspunten voor spannings- en vervormingsberekeningen	5
3.	Uitgevoerde berekeningen	7
4.	Resultaten, samenvatting en conclusies	9
4.1	Resultaten	9
4.2	Samenvatting en conclusies	10
	Referenties	11
	Figuren 1 t/m 20 (plotuitvoer Ple4Win)	12
	Bijlagen:	
A.	Leidinggegevens	23
A1.	Leidingtekeningen	24
A2.	Isolatiekoppelingen	33
B.	Grondmechanische parameters	36
C.	Korte beschrijving Ple4Win	39
D.	Verklaring invoer- en resultaatgegevens Ple4Win	44
E.	Computer-in/uitvoer Ple4Win	59
E1.	4" Shell-leiding: druk 15 bar, temperatuurverschil 8 °C	60
	grondzettingen	
	eigen gewicht	
	(runs 4" EO leiding Moerdijk - Pernis, gevallen 0 t.e.m. 3)	
E2.	6" AL-leiding: druk 75 bar, geen temperatuurverschil	74
	grondzettingen	
	eigen gewicht	
	(runs 6" H2 leiding tunnel Oude Maas, gevallen 0 t.e.m. 2)	

1. INLEIDING

Bij de aanleg van een nieuwe leiding in oktober 2007 in de Buisleidingenstraat ter plaatse van het eindgebouw Zuid van de leidingentunnel onder de Oude Maas bij Heinenoord is brand ontstaan mogelijk ten gevolge van een lek in een of twee nabij gelegen leidingen. Het betreft een 4" Ethyleenoxide leiding van Shell Nederland Raffinaderij / Chemie B.V. en een 6" waterstofleiding van Air Liquide Nederland. Deltares te Delft voert op verzoek van de VROM Inspectie Regio Zuid-West een onderzoek uit naar de oorzaak van het incident.

Door Deltares is aan r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v. te Rijswijk gevraagd van beide leidingen het verplaatsingsgedrag en de sterkte en stabiliteit ten gevolge van opgetreden grondzettingen te bepalen door middel van uitgebreide sterkteberekeningen.

De uitgebreide sterkteberekeningen zijn uitgevoerd voor de belastingsituatie ten tijde van het incident waarbij o.a. de grootte van de grondzettingen is gevarieerd. Het doel van de berekeningen is vooral de optredende krachten in de isolatiekoppelingen vlak buiten het eindgebouw te bepalen, omdat daar mogelijk de lekkage is opgetreden. Deze krachten zullen met de toelaatbare waarden, op te geven door de fabrikant van de koppelingen, vergeleken moeten worden. Dit vergelijk vormt geen onderdeel van de onderhavige werkzaamheden.

Benodigde uitgangsgegevens, verstrekt door de opdrachtgever, worden in hoofdstuk 2 besproken. Grondmechanische parameters en zettingsgegevens zijn door Deltares bepaald en ter beschikking gesteld.

De berekeningen, beschreven in hoofdstuk 3, zijn uitgevoerd met Ple4Win [3], een computerprogramma voor het bepalen en controleren van het gedrag en de veiligheid van transportpijpleidingen onder en/of boven de grond, dat is goedgekeurd door de Studiegroep Pijpleidingen voor Vloeistoffen en Gassen van de Provincie Zuid- Holland. Een korte beschrijving van het programma is in bijlage C opgenomen.

De berekeningsresultaten zijn (numeriek) samengevat in hoofdstuk 4.1 en grafisch weergegeven in de figuren aan het eind van het rapport. Een verklaring van de in de grafische en numerieke uitvoer gebruikte namen staat in bijlage D. Een deel van de numerieke in- en uitvoer van Ple4Win is in bijlage E opgenomen.

Tenslotte worden in hoofdstuk 4.2 conclusies getrokken ten aanzien van het verplaatsingsgedrag en de sterkte en stabiliteit van de leidingen.

2. UITGANGSGEGEVENS STERKTE BEREKENINGEN

De gegevens nodig voor de sterkteberekeningen van de leiding zijn ontleend aan tekeningen, schetsen, rapporten, correspondentie en telefonische informatie, verstrekt door de opdrachtgever of derden en/of verzameld door r+k zelf.

2.1 Configuraties

De gegevens voor de leidingconfiguraties zijn ontleend aan de volgende tekeningen.(voor volledige benaming zie bijlage A1):

- Stork IBN B.V., 4" EO leiding Moerdijk - Pernis
tek. nrs. 95194-11-012, 95194-11-209-1/1, 95194-11-209-1/3
- Raadgevend Ingenieursbureau Lievense B.V., Air Liquide pijpleidingen
tek. nrs. ALPB-95-116, ALPB-95-116-1, ALPB-95-116-3, ALPB-95-116-5, ALPB-95-133

Het berekeningsmodel van de **4" Shell-leiding** begint midden in de tunnel en eindigt buiten de tunnel op ca. 80 m van het eindgebouw Zuid, de totale lengte bedraagt dan ca. 370 m, welke verdeeld is in 541 elementen, met een lengte variërend van 50 mm tot 1 m, resulterend in een berekeningsonnauwkeurigheid van maximaal 5% ter plaatse van muurdoorgang en isolatiekoppeling. In dit leidingtraject zijn 9 gladde bochten aanwezig, vijf in het eindgebouw en vier ondergronds buiten het eindgebouw. De configuratie, zoals ingevoerd in het programma, is in fig. 1a, 1b en 1c weergegeven.

Het berekeningsmodel van de **6" AL-leiding** begint midden in de tunnel en eindigt buiten de tunnel op ca. 54 m van het eindgebouw Zuid, de totale lengte bedraagt dan ca. 347 m, welke verdeeld is in 531 elementen, met een lengte variërend van 50 mm tot 1 m, resulterend in een berekeningsonnauwkeurigheid van maximaal 5% ter plaatse van muurdoorgang en isolatiekoppeling. In dit leidingtraject zijn 10 gladde bochten aanwezig, vijf in het eindgebouw en vijf ondergronds buiten het eindgebouw. De configuratie, zoals ingevoerd in het programma, is in fig. 12a, 12b en 12c weergegeven.

2.2 Materiaal- en doorsnedegegevens

Leiding- en materiaalgrootheden	aanduiding	leiding		eenheid
		4" Shell	6" AL	
Uitwendige diameter	D_u	114.3	168.3	mm
Nominale wanddikte	d_n	6.02 / 4.78	7.1	mm
Corrosietoeslag	c	0.0	0.0	mm
Staalkwaliteit	-	TP304L	API 5L X42	-
Rekgrens bij 20 °C	R_e	170	289	N/mm ²
Rekgrens bij ontwerptemperatuur	$R_e(\theta)$	170	289	N/mm ²
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α	11.6×10^{-6}	11.6×10^{-6}	mm/mm/°K
Elasticiteitsmodulus	E	207000	207000	N/mm ²
Dwarscontractiecoëfficiënt	ν	0.3	0.3	-

Isolatiekoppeling	aanduiding	leiding		eenheid
		4" Shell	6" AL	
Uitwendige diameters	D_u	114.3 / 182 / 193.7	168.3 / 240 / 244.5	mm
Nominale wanddikten	d_n	4.78/38.65/44.48	7.9/43.75/46.0	mm
Corrosietoeslag	c	0.0	0.0	mm
Staalkwaliteit	-	YS240 / YS220	St 52-3	-
Rekgrens bij 20 °C	R_e	240 / 220	355	N/mm ²
Rekgrens bij ontwerptemperatuur	$R_e(\theta)$	240 / 220	355	N/mm ²
Elasticiteitsmodulus	E	207000	207000	N/mm ²
Dwarscontractiecoëfficiënt	ν	0.3	0.3	-

Van de isolatiekoppelingen zijn alleen de diameters, wanddikten, elasticiteitsmodulus en dwarscontractiecoëfficiënt in de berekeningen gebruikt. Zie bijlage A2.

2.3 Grondmechanische parameters

De grondgegevens, nodig voor de invoer in Ple4Win, zijn bepaald en ter beschikking gesteld door Deltares. Zie bijlage B.

Het betreft de volgende grondeigenschappen:

<u>parameter</u>	<u>naam in PLE</u>
- horizontale grondstijfheid (beddingconstante)	(KLH)
- verticale grondstijfheid (beddingconstante) omlaag	(KLS)
- verticale grondstijfheid (beddingconstante) omhoog	(KLT)
- maximale wrijving buis-grond	(F)
- verplaatsing bij maximale grondwrijving	(UF)
- verticaal evenwichtsdraagvermogen	(RVS)
- passieve verticale grondreactie	(RVT)
- horizontale grondreactie (passief)	(RH)
- neutrale grondbelasting	(SOILNB)

Er zijn geen onzekerheidsfactoren toegepast, dus de verstrekte getallen zijn als gemiddelde waarden beschouwd. Het verloop van de beddingconstanten en bovenbelastingen is in figuren 2, 3 en 13, 14 weergegeven.

2.4 Externe randvoorwaarden

Het beginpunt van de leidingen midden in de tunnel is als een vast punt aangenomen, de eindpunten buiten de tunnel als aangesloten op een half oneindig lange, elastisch ondersteunde ligger. De ondersteuning in de tunnel en het eindgebouw zijn gemodelleerd als tafelondersteuning met in het horizontale vlak een wrijvingscoëfficiënt van 0.04 (teflon), zowel axiaal als lateraal. De afstand tussen de steunpunten in de tunnel is 6 m, in het eindgebouw 3.8 m. Er is in eerste instantie aangenomen dat de leidingen bij de doorvoeren door de muur van het eindgebouw bij de aanleg bovenin de stalen mantelbuis aangebracht zijn, waarbij een speling onder de leiding van ca. 153 mm aanwezig is voor de 4" Shell-leiding en ca. 112 mm voor de 6" AL-leiding. Vervolgens is voor beide leidingen nog de situatie bekeken, waarin (bij de aanleg) de leiding midden in de mantelbuis ligt, resulterend in een speling van 76.5 resp. 55.8 mm..

2.5 Belastingen

De volgende belastingen zijn in rekening gebracht.

Inwendige druk

Voor de 4" Shell-leiding is een bedrijfsdruk van 15 bar aangehouden, voor de 6" AL-leiding 75 bar.

Temperatuurverschillen

Er is uitgegaan van een aanlegtemperatuur van 10° C voor beide leidingen, en een maximum temperatuur van 18 °C voor de 4" Shell-leiding resulterend in een temperatuurverschil van 8 °C voor de 4" Shell-leiding. De 6" AL-leiding heeft volgens opgave de omgevingstemperatuur, dus is geen temperatuurverschil in rekening gebracht.

Eigen gewicht leiding

Het eigen gewicht van de leidingen bestaat uit het gewicht van de buis en het medium in de buis. Als soortelijk gewicht van de ethyleenoxide is 0.85 kg/liter aangehouden en het gewicht van het waterstofgas is als te verwaarlozen beschouwd. Voor de 4" Shell-leiding betekent dit een gewicht van 0.20 N/mm (wanddikte 4.78 mm) resp. 0.23 N/mm (wanddikte 6.02 mm) en voor de 6" AL-leiding een gewicht van 0.28 N/mm (wanddikte 7.1 mm). De leidingen liggen boven de grondwaterstand.

Grondzakkingen

Zettingen zijn bepaald en ter beschikking gesteld door Deltares, zie bijlage B. De verticale grondverplaatsingen tot eind 2007, het tijdpunt van het incident, zijn als uitgangspunt genomen. De betreffende waarde bij de muurdoorvoer is 120 mm voor de 4" Shell-leiding en 130 mm voor de 6" AL-leiding. Ook zijn grotere zettingen bekeken.

Grondbelasting

In het veld langs de leiding is een bovenbelasting van de grond, afhankelijk van de dekking, aanwezig. Voor de in een sleuf gelegde leidingen is dat de neutrale grondbelasting. Boven de leidingen op ca. 7 m afstand van de muurdoorvoer is een ophoging van een meter zand aangebracht, waarop een rupsvoertuig heeft gereden tijdens de aanleg van de nieuwe 10" DVD-leiding. Zie de gemaakte foto's van de Onderzoeksraad voor Veiligheid.

Maaiveldbelasting

Zowel het gewicht van de zandophoging als dat van het rupsvoertuig (met een lengte van ca. 4 m) is als een extra bovenbelasting in de berekeningen ingevoerd. Daarbij is voor het zand een volumegewicht van 16 kN/m^3 aangehouden en voor de verkeersbelasting de zwaarste klasse uit NEN 3650. Voor het verloop langs de leidingen zie figuren 3 en 14.

Belastingfactoren

Bij 'normale' berekeningen op basis van NEN 3650 moeten de voornoemde karakteristieke gebruiksbelastingen nog met belastingfactoren (lees: veiligheidsfactoren) worden vermenigvuldigd. Omdat het hier het simuleren van een opgetreden situatie betreft, waarbij de opgetreden krachten ter plaatse van de isolatiekoppelingen zo goed mogelijk bepaald moeten worden, zijn alle belastingfactoren op de waarde 1 gezet.

2.6 Uitgangspunten voor spannings- en vervormingsberekeningen

De spannings- en vervormingsberekeningen zijn gebaseerd op gegevens en criteria uit NEN 3650 [1] en NEN 3651 [2]. De volgende punten zijn van belang als basis voor of als toetsingscriterium na de vervormingsberekeningen.

Opleghoek

De opleghoek in de grond is volgens NEN 3650 afhankelijk van het bereikte percentage van het evenwichts-draagvermogen. Een minimum ondersteuningshoek β van 70° is gehanteerd voor de leiding onder druk, zie bijlage C.4.1.3 van NEN 3650-1. Ter plaatse van de muurdoorvoer is 30° aangehouden, indien de leidingen onderin de mantelbuis komen aan te liggen.

Zijdelingse steundruk

Er is geen horizontale steundruk in de toestand onder druk in rekening gebracht. Zie bijlage C.4.2.5 van NEN 3650-1.

Doorsnedebeastingen

De belastingen op en in de doorsnede, die de spanningen veroorzaken, vallen uiteen in inwendige en uitwendige belastingen. De inwendige belastingen zijn de inwendige krachten als normaalkracht, dwarskracht, torsie- en buigend moment en de druk; de neutrale grondbelasting, de laterale en axiale grondreacties vormen de uitwendige belastingen. Er is rekening mee gehouden dat naastliggende doorsneden meewerken bij het opnemen van de (piek) grondbelastingen, zodat er een herverdeling van doorsnede- vervormingen en -spanningen optreedt, resulterend in een spanningsreductie. Deze herverdeling is toegestaan volgens NEN 3650-1, bijlage C, art. 4.1.4.

Spanningen

Het doel van de berekeningen is de optredende interne krachten in de isolatiekoppelingen vlak buiten het eindgebouw te bepalen. Er worden ook wel spanningen in de leidingen berekend, maar ter plaatse van de isolatiekoppelingen zijn die niet betrouwbaar vanwege het ontbreken van voldoende kennis over de samenstelling en werking van de koppelingen.

De toelaatbare spanningen worden bepaald aan de hand van NEN 3650-2, hoofdstuk 7, tabel 3 en en bijlage D.3 [1].

- σ_p = omtrekspanning uit inwendige druk, uitgaande van de minimum wanddikte
- $\sigma_{v:pm}$ = primaire membraanspanning (Von Mises) (uit inwendige druk, eigen gewicht leiding/ bovenliggende grond/ verkeersbelasting en zakkingen die de leiding niet volgt bij aanwezigheid van starre steunpunten)
- σ_v = totale primaire en secundaire (Von Mises)spanning (uit alle aanwezige belastingen, incl. temperatuur)

Voldaan moet worden aan de volgende criteria:


$$\begin{aligned}\sigma_p &\leq R_e(\theta)/\gamma_m \\ \sigma_{v:pm} &\leq 1.1 R_e/\gamma_m \\ \sigma_v &\leq 0.85 (R_e + R_e(\theta))/\gamma_m\end{aligned}$$

R_e = gespecificeerde minimum rekgrens bij 20°C

$R_e(\theta)$ = gespecificeerde minimum rekgrens bij $\theta^\circ\text{C}$

γ_m = materiaalfactor = 1.1

Hierbij is er van uitgegaan dat de schadefactor voor de onderhavige leidingtrajecten 1 is.


Toelaatbare vervormingen

De toelaatbare deflectie bedraagt 15 % van de diameter van de leiding volgens art. 11.1.5 van NEN 3651 i.v.m. doorslaggevaar en 5% i.v.m. intelligent pigging (NEN 3650-2, bijlage D.3.3.1).

3. UITGEVOERDE BEREKENINGEN

Uitgaande van de basisgegevens, zoals vermeld in het vorige hoofdstuk, zijn een aantal runs met Ple4Win gedraaid ten einde de interne krachten in de isolatiekoppelingen te berekenen bij een variatie van de uitgangspunten. Tevens kan dan globaal getoetst worden of de berekende spanningen en vervormingen in de leidingen buiten de isolatiekoppelingen nog steeds voldoen aan de criteria, gesteld in par. 2.6 van dit rapport.

In eerste instantie is bij de gegeven operationele belastingen uitgegaan van een situatie zonder grondzettingen, met de leidingen bovenin de mantelbuis van de muurdoorvoer. Daarbij is voor de 4" Shell-leiding de invloed van het (gematigde) temperatuurverschil bekeken, omdat de gegevens over de temperaturen onzeker zijn. Vervolgens zijn de door Deltares verstrekte zettingen tot eind 2007 ingevoerd, waarna die zettingen nog met een factor 1.5 en voor de 4" Shell-leiding ook met een factor 2 zijn vermenigvuldigd om het aanliggen van de leidingen onderin de mantelbuis te 'forceren'.

Tenslotte is voor beide leidingen een initiële ligging midden in de mantelbuis gecombineerd met de verstrekte zettingen tot eind 2007, waarbij de leidingen gaan aanliggen.

De runs zullen in het vervolg geïdentificeerd worden met de naam van de betreffende ontwerpdatabse, zoals in het programma gebruikt. Deze naam staat ook boven elke tabellarische of grafische uitvoer van het programma.

4 inch EO leiding Moerdijk - Pernis

<u>Run</u>	<u>Leidingconfiguratie</u>	<u>Belastingcombinatie</u>	<u>Berekende belangrijke grootheden</u>
Geval 0	Bovenin muurdoorvoer Speling 152.9 mm	Bedrijfsdruk 15 bar Temp.verschil 8 °C Geen grondzettingen Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)
Geval 1	Bovenin muurdoorvoer Speling 152.9 mm	Bedrijfsdruk 15 bar Temp.verschil 8 °C Grondzetting bij muur 120 mm Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)
Geval 1a	Bovenin muurdoorvoer Speling 152.9 mm	Bedrijfsdruk 15 bar Geen temp.verschil Grondzetting bij muur 120 mm Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)
Geval 2	Bovenin muurdoorvoer Speling 152.9 mm	Bedrijfsdruk 15 bar Temp.verschil 8 °C Grondzetting bij muur 180 mm Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)
Geval 3	Bovenin muurdoorvoer Speling 152.9 mm	Bedrijfsdruk 15 bar Temp.verschil 8 °C Grondzetting bij muur 240 mm Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)
Geval 1b	Middenin muurdoorvoer Speling 76.45 mm	Bedrijfsdruk 15 bar Temp.verschil 8 °C Grondzetting bij muur 120 mm Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)

De door Deltares tot eind 2007 bepaalde grondzetting bij de muur is 120 mm.

6 inch H2 leiding tunnel Oude Maas

<u>Run</u>	<u>Leidingconfiguratie</u>	<u>Belastingcombinatie</u>	<u>Berekende belangrijke grootheden</u>
Geval 0	Bovenin muurdoorvoer Speling 111.6 mm	Bedrijfsdruk 75 bar Geen temp.verschil Geen grondzettingen Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)
Geval 1	Bovenin muurdoorvoer Speling 111.6 mm	Bedrijfsdruk 75 bar Geen temp.verschil Grondzetting bij muur 130 mm Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)
Geval 2	Bovenin muurdoorvoer Speling 111.6 mm	Bedrijfsdruk 75 bar Geen temp.verschil Grondzetting bij muur 195 mm Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)
Geval 1b	Middenin muurdoorvoer Speling 55.8 mm	Bedrijfsdruk 75 bar Geen temp.verschil Grondzetting bij muur 130 mm Eigen gewicht Belastingfactoren 1.	Verticale verplaatsing bij muurdoorvoer Interne krachten (o.a. in isolatiekoppeling) Deflecties leidingdoorsneden (ovalisaties) Maximale spanningen (o.a. Von Mises)

De door Deltares tot eind 2007 bepaalde grondzetting bij de muur is 130 mm.

4. RESULTATEN, SAMENVATTING EN CONCLUSIES

4.1 Resultaten

De belangrijkste resultaten van de berekeningen zijn grafisch weergegeven in de figuren 4 t/m 11 en 15 t/m 20. Bovenin de figuren zijn steeds het maaiveld, de leidingas en de grondwaterstand getekend.

Verplaatsingen in het algemeen

Uit de berekende verticale verplaatsingen van de 4" Shell-leiding en de 6" AL-leiding volgt dat de leidingen de zettingen nagenoeg volledig volgen, behalve ter plaatse van de muurdoorvoer indien de zetting daar groter is dan de aanwezige speling onder de leidingen. Zie de figuren 4, 6, 8, 10, 15, 17 en 19.

Interne krachten en verplaatsingen 4" Shell-leiding

Voor de verschillende belastinggevallen zijn de maximale interne krachten in de isolatiekoppelingen en de verticale leidingverplaatsingen in de volgende tabel opgenomen. Zie ook de figuren 5, 7, 9 en 11.

4" Shell-leiding	Spling bij muurdoorvoer onder leiding (mm)	Verticale verplaatsing (*) bij muurdoorvoer (mm)		Maximale interne doorsnedekrachten in isolatiekoppeling			
		leiding	grond	Normaalkracht F-ax (kN)	Dwarskracht F-lat (kN)	Buigmoment M _b (kNm)	Torsiemoment M _w (kNm)
Geval 0	152.9	-0.9	0	12.3	1.5	1.0	0.14
Geval 1	152.9	-118.8	-120	14.9	2.2	1.67	0.92
Geval 1a	152.9	-118.8	-120	14.9	2.2	1.62	0.93
Geval 2	152.9	-153.7 (**)	-180	14.8	7.6	9.2	0.64
Geval 3	152.9	-155.0 (**)	-240	14.8	16.9	10.5	0.07
Geval 1b	76.45	-77.3 (**)	-120	14.9	12.9	8.6	0.06

(*) een negatieve waarde betekent een verplaatsing omlaag

(**) impliceert aanliggen van leiding op onderrand mantelbuis van muurdoorvoer

De bij de 4" Shell-leiding ingevoerde temperatuurbelasting heeft geen invloed op de berekende resultaten bij de isolatiekoppeling. Vergelijk de resultaten van geval 1 (incl. temperatuur) met die van geval 1a (zonder temperatuur).

Interne krachten en verplaatsingen 6" AL-leiding

Voor de verschillende belastinggevallen zijn de maximale interne krachten in de isolatiekoppelingen en de verticale leidingverplaatsingen in de volgende tabel opgenomen. Zie ook de figuren 16, 18 en 20.

6" AL-leiding	Spling bij muurdoorvoer onder leiding	Verticale verplaatsing (*) bij muurdoorvoer (mm)		Maximale interne doorsnedekrachten in isolatiekoppeling			
		leiding	grond	Normaalkracht F-ax (kN)	Dwarskracht F-lat (kN)	Buigmoment M _b (kNm)	Torsiemoment M _w (kNm)
Geval 0	111.6	-0.62	0	136.5	0.8	1.2	0.28
Geval 1	111.6	-111.9 (**)	-130	139.5	6.0	8.9	2.47
Geval 2	111.6	-113.4 (**)	-195	139.6	24.0	6.7	0.79
Geval 1b	55.8	-57.0 (**)	-130	139.7	25.3	5.6	1.39

(*) een negatieve waarde betekent een verplaatsing omlaag

(**) impliceert aanliggen van leiding op onderrand mantelbuis van muurdoorvoer

De optredende axiale krachten in de isolatiekoppelingen zijn nagenoeg onafhankelijk van de ingevoerde zettingen. De waarde in geval 0 zonder zettingen wordt veroorzaakt door de inwendige druk die een vergelijkbare kracht uitoefent op de 90° bocht die binnen het eindgebouw bij de muurdoorvoer aanwezig is. De buigende momenten en dwarskrachten worden wel veel groter als de leidingen gaan aanliggen op de onderrand van de mantelbuis van de muurdoorvoer. In het leidingdeel van de 4" Shell-leiding vlak naast de koppeling overschrijdt het buigend moment in gevallen 1b, 2 en 3 ook het toelaatbaar moment in verband met plooiën.

Spanningen

De berekende spanningen moeten voldoen aan de criteria, vermeld in hoofdstuk 2.6.

De spanningen in de leidingen buiten de isolatiekoppelingen zijn bekeken.

Uit de resultaten blijkt dat de 4" Shell-leiding voldoet in de beschouwde belastingcombinaties, behalve in gevallen 1b en 3 in welk laatste geval de zettingen met een factor 2 zijn vermenigvuldigd. Dan worden de spanningen ter plaatse van het aanliggen op de mantelbuis en in het leidingdeel vlak naast de koppeling te hoog. Dit wordt veroorzaakt door grote buigende momenten, zie figuur 9.

Bij de 6" AL-leiding is er een grote spanningspiek ter plaatse van de aanligging op de onderrand van de muurdoorvoer in gevallen 1b en 2 in welk laatste geval de zettingen met een factor 1.5 zijn vermenigvuldigd, maar deze is als nog toelaatbaar te beschouwen. Bij een factor 2 zal dat waarschijnlijk niet meer het geval zijn.

Vervormingen

Van belang is de procentuele wijziging van de leidingdiameter. Voor het doorvoeren van meet- en detectieapparatuur geldt een criterium van 5 %, voor doorslaggevaar 15 %.

De maximaal optredende procentuele diameterwijziging (deflectie) voor de 4" Shell-leiding bedraagt 0.38% en voor de 6" AL-leiding -0.59%, voor beide ter plaatse van het aanliggen op de onderrand van de muurdoorvoer.

4.2 Samenvatting en conclusies

Bij de aanleg van een nieuwe leiding in de Buisleidingenstraat ter plaatse van het eindgebouw Zuid van de leidingentunnel onder de Oude Maas bij Heinenoord is brand ontstaan mogelijk ten gevolge van een lek in een of twee nabij gelegen leidingen. Het betreft een 4" Ethyleenoxide leiding van Shell Nederland Raffinaderij / Chemie B.V. en een 6" waterstofleiding van Air Liquide Nederland. Deltares te Delft voert op verzoek van de VROM Inspectie Regio Zuid-West een onderzoek uit naar de oorzaak van het incident.

Door Deltares is aan r+k raadgevend ingenieurs- en konstruktieadviesbureau b.v. te Rijswijk gevraagd van beide leidingen het verplaatsingsgedrag en de sterkte en stabiliteit ten gevolge van opgetreden grondzettingen te bepalen door middel van uitgebreide sterkteberekeningen.

De uitgebreide sterkteberekeningen zijn uitgevoerd voor de belastingsituatie ten tijde van het incident waarbij o.a. de grootte van de grondzettingen is gevarieerd. Het doel van de berekeningen is vooral de optredende krachten in de isolatiekoppelingen vlak buiten het eindgebouw te bepalen, omdat daar mogelijk de lekkage is opgetreden. Deze krachten zullen met de toelaatbare waarden, op te geven door de fabrikant van de koppelingen, vergeleken moeten worden. Dit vergelijk vormt geen onderdeel van de onderhavige werkzaamheden.

Op grond van de in dit rapport beschreven uitgangspunten en de daarop volgende berekeningsresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Bij zowel de 4" Shell-leiding als de 6" AL-leiding ontstaat ter plaatse van de isolatiekoppeling een axiale trekkracht in de leiding ten gevolge van de inwendige druk tegen de 90° bocht die binnen het eindgebouw bij de muurdoorvoer aanwezig is. Omdat de inwendige druk bij de AL-leiding veel hoger is (een factor 5) en bovendien de oppervlakte van de buisdoorsnede ruim 2 maal zo groot is, is ook de trekkracht in de waterstofleiding ruim 10 maal zo groot als in de Shell-leiding.
2. Indien buiten de muurdoorvoer zettingen ontstaan, wordt deze trekkracht groter, bij de 4" Shell-leiding ca. 25% en bij de 6" AL-leiding ongeveer 3%. De absolute waarde van de toename is voor beide leidingen gelijk.
3. De grootte van de trekkrachten ter plaatse van de isolatiekoppelingen bij het optreden van zettingen buiten de muurdoorvoer is nagenoeg onafhankelijk van de grootte van de zettingen. De buigende momenten en dwarskrachten worden wel fors groter, indien de leidingen ten gevolge van de zettingen gaan aanliggen op de onderrand van de mantelbuis van de muurdoorvoer.
4. Uitgegaan is in eerste instantie van een aanleg van de leidingen bovenin de mantelbuis van de muurdoorvoer. Vervolgens is ook een initiële ligging middenin de mantelbuis bekeken, waarbij voor beide leidingen bij de uitgangszetting al meteen aanliggen op de onderrand van de mantelbuis van de muurdoorvoer plaatsvindt. Indien de initiële speling onder de leidingen in de muurdoorvoer geringer is, zal eerder aanliggen gaan optreden resulterend in grote(re) buigende momenten in de isolatiekoppelingen.
5. De bij de 4" Shell-leiding ingevoerde temperatuurbelasting heeft geen invloed op de voor dit onderzoek van belang zijnde berekende resultaten.
6. De ophoging met 1 m zand en het gewicht van het rupsvoertuig heeft geen invloed op de grootte van de verplaatsingen en de inwendige krachten ter plaatse van de isolatiekoppelingen, omdat deze extra belastingen pas vanaf ca. 7 m vanaf de muurdoorvoer gesitueerd zijn, waar de leidingen de zettingen volledig volgen.
7. Ten einde te kunnen vaststellen of de berekende inwendige krachten door de isolatiekoppelingen kunnen worden opgenomen, is een onderzoek naar de samenstelling en werking van de isolatiekoppelingen nodig.

REFERENTIES

1. NEN 3650, Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 1: Algemeen, en Deel 2: Staal, gecorrigeerde versie, januari 2004 + aanpassing A1 van augustus 2006.
2. NEN 3651, Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken, gecorrigeerde versie, januari 2004 + aanpassing A1 van augustus 2006.
3. Ple4Win versie 4.0.9, © Expert Design Systems.

Bijlage 3

Effectberekeningen incident buisleidingenstraat 12 oktober 2007 Briefrapport RIVM/Centrum voor externe veiligheid 21 oktober 2008.

Het RIVM heeft onderzocht of er mogelijk gevaar voor de volksgezondheid aan de orde kan zijn geweest bij dit incident (ref. 1-c). Hier volgt een bewerking van de informatie uit het briefrapport. Het briefrapport zelf is hierna bijgevoegd.

Het RIVM concludeert dat er geen mogelijk gevaar voor de volksgezondheid aan de orde is geweest. Uitgaande van de veronderstelling (zie hoofdtekst van het rapport) dat de ontsnapte stof waterstof is geweest oordeelt het RIVM dat geen enkel vergiftigingsgevaar is te duchten geweest; niet op het werkterrein en dus ook niet in de omgeving van de buisleidingenstraat. Waterstofgas is niet giftig. Zelfs als de lekkage al vele weken voorafgaand aan het incident zou zijn ontstaan (hetgeen niet valt uit te sluiten) en de omvang van het lek groter zou zijn geweest dan nu het geval was, dan zou zo'n ontsnapping van waterstofgas niet tot vergiftigingseffecten hebben kunnen leiden. Er zijn geen wettelijke grenswaarden overschreden. Tijdens het incident is, vermoedelijk als gevolg van ontsteking door slijpwerkzaamheden in de buurt van de lekkage, het waterstofgas in brand geraakt. Er was een brandhaard van enkele centimeters hoogte en enkele vierkante centimeters omvang. Bij verbranding van waterstof ontstaat uitsluitend waterdamp zodat het ontsnappende waterstofgas onder die omstandigheid volstrekt onschadelijk wordt.

Brand is, op korte afstand van de brandhaard, uiteraard in principe gevaarlijk voor mensen. Een waterstofbrand is extra gevaarlijk vanwege het feit dat de vlammen van zo'n brand niet of slecht zichtbaar zijn. Werknemers op het terrein hebben dus mogelijk wèl een risico gelopen tijdens het incident.

Op basis van deze feiten wordt geconcludeerd dat de naast de waterstofleiding gelegen ethyleenoxideleiding niet is lekgeraakt en dat er dus bij het incident géén ethyleenoxide is vrijgekomen. Indien dat wèl het geval zou zijn geweest (en dat was, gelet op de vermoedelijke oorzaak van de lekkage niet ondenkbeeldig) dan had dat, in geval van een ongunstige windrichting, tot concentraties in de nabijgelegen woonkern van Heinenoord (gemeente Binnenmaas) kunnen leiden, die de wettelijke grenswaarden overschrijden. Zie tabel hierna.



VROM Inspectie regio Zuid-West
Afdeling Veiligheid & Risico's
T.a.v. de heer Henk van der Veen
Postbus 29036
3001 GA ROTTERDAM



Onderwerp
Effectberekeningen incident buisleidingenstraat 12 oktober 2007

Geachte heer Van der Veen,

Datum
21 oktober 2008
Ons kenmerk
296/08 CEV Rie/stj - 1927
Blad
1/5
Behandeld door
ir. D. Riedstra
Tel 030-274 4583
Fax 030-274 4442
durk.riedstra@rivm.nl

In de leidingenstraat van Rotterdam naar Antwerpen heeft zich op 12 oktober 2007 tijdens slijpwerkzaamheden ten behoeve van de aanleg van een nieuwe buisleiding een lekkage voorgedaan, gevolgd door brand ter hoogte van het dorp Heinenoord.

De brand is naar verluidt nauwelijks zichtbaar en beperkt van omvang geweest: 20 cm x 20 cm met een vlamhoogte van enkele centimeters. Het is vooralsnog onduidelijk of het gas afkomstig is geweest uit de waterstofleiding en/of uit de leiding met ethyleenoxide.

U heeft het Centrum Externe Veiligheid gevraagd naar aanleiding van dit incident voor beide stoffen effectberekeningen uit te voeren met het doel om informatie te verzamelen waarmee de aard van het incident zou kunnen worden vastgesteld en de mogelijke gevolgen van het incident voor omwonenden in kaart worden gebracht.

In de onderstaande tabel zijn voor beide stoffen de belangrijke leidinggegevens en stofinformatie weergegeven (bron: Chemiekaarten, Interventiewaarden gevaarlijke stoffen 2007, informatie VROM-Inspectie, Shell & RisicoRegister Gevaarlijke Stoffen):

Tabel 1: leidinggegevens en stofinformatie van waterstof en ethyleenoxide

Stof	Waterstof (H ₂)	Ethyleenoxide (C ₂ H ₄ O)
Fasetoestand	Gas (samengeperst)	Vloeistof (onder druk)
Werkdruk	70 bar	12 bar
Leidingdiameter	6 inch	4 inch
Diepteligging	1,2 meter	1,2 meter
Stofeigenschappen	Zeer licht ontvlambaar	Vergiftig en zeer licht ontvlambaar
Kookpunt	-253°C	11°C
Explosiegrenzen	4 - 76 vol%	2,6 - 100 vol%
- Onderste explosiegrens (LEL)	38.000 ppm	26.000 ppm
- 10% LEL	3.800 ppm	2.600 ppm
Interventiewaarden		
- levensbedreigende waarde	38.000 ppm (3300 mg/m ³)	525 ppm (1000 mg/m ³)
- alarmeringsgrenswaarde	3.800 ppm (330 mg/m ³)	53 ppm (100 mg/m ³)
- voorlichtingsrichtwaarde	n.v.t.	n.v.t.
Geur	Reukloos	Zoete, etherachtige geur
- geurdrempel	- n.v.t.	- 34 ppm (64 mg/m ³)
Wettelijke grenswaarde	Niet vastgesteld	0,5 ppm (0,84 mg/m ³)
Vlameigenschappen	Niet zichtbaar	Oranje/rode vlam (goed zichtbaar)
Molgewicht	2,0 g/mol	44,1 g/mol

VROM-Inspectie
Zuid-West
Datum: 27 OKT. 2008
Sleutel: 2008104915
Status:
Beschrijving:
Functie: TIVE
Per./Aut.: HW

081030
+ t.b.v. eindrapport
+ gebaad op 08



Datum

21 oktober 2008

Ons kenmerk

296/08 CEV Ric/sij - 1927

Blad

2/5

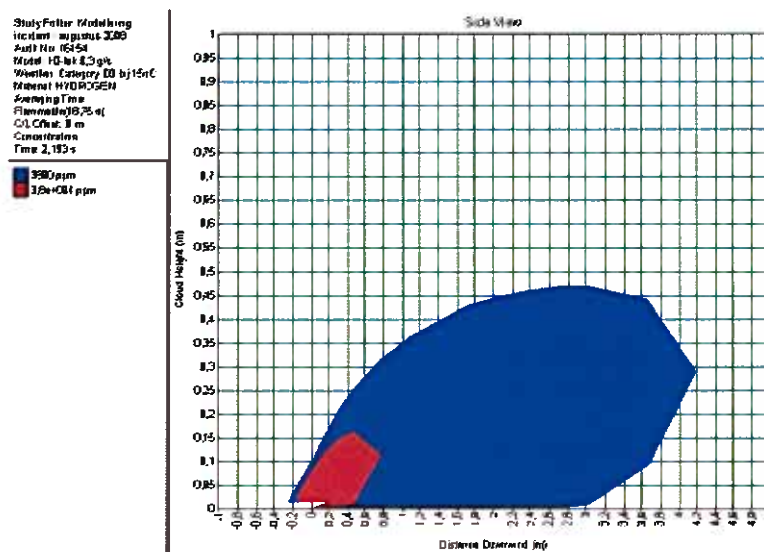
Uit tabel 1 blijkt dat de levensbedreigende waarde en de alarmeringsgrenswaarde voor waterstof overeenkomen met respectievelijk de onderste explosiegrens (LEL) en 10% van de LEL-waarde (10% LEL). De interventiewaarden voor ethyleenoxide zijn gebaseerd op de toxische eigenschappen van deze stof en liggen ongeveer 50x lager dan de LEL en 10% LEL.

Bij de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Bij het KNMI zijn de weergegevens van de desbetreffende dag en het tijdstip van het incident opgevraagd: 15°C, weertype D3 (wind 3 m/s), windrichting: 270-290° (west tot westnoordwesten wind);
- Het grondpakket boven de leiding is verzadigd met het lekkende medium, waardoor geen accumulatie van gas plaatsvindt. Door het bovenliggende grondpakket is de snelheid van het uitstromende gas bovengronds nihil en zal tevens geen sprake meer zijn van enige overdruk.

Modellering lekkage waterstof

Indien een brandend oppervlak, zoals dat tijdens het incident is waargenomen van 20 cm x 20 cm, zou worden veroorzaakt door een lekkage van waterstof uit de 6" waterstofleiding dan zou de gatgrootte ongeveer 0,3 mm moeten zijn geweest:



Figuur 1: Zijaanzicht bij uitstroming van 0,3 gram waterstof per seconde (gatgrootte 0,3 mm). Binnen het rode gebied liggen de concentraties binnen de explosiegrenzen en is ontsteking mogelijk. Binnen het blauwe gebied is de concentratie hoger dan 10% LEL (alarmeringsgrenswaarde).

Ontsteking van de waterstoflekkage is dus mogelijk geweest binnen maximaal één meter van de lekkage. De alarmeringsgrenswaarde welke overeenkomt met 10% LEL concentratie, ligt op enkele meters van het lek.

Waterstof heeft als eigenschap dat het niet zichtbaar brandt. De brand op 12 oktober 2007 is volgens getuigen ook nauwelijks visueel waarneembaar geweest.

Omdat waterstof een reukloos, niet-giftig gas is, is het aannemelijk dat het niet zal worden opgemerkt, voordat het zou zijn ontstoken als gevolg van de slijpwerkzaamheden. In deze fase vormt het vrijkomende waterstof alleen een gevaar vanwege de kans op ontsteking (vandaar dat de 10% LEL waarde als



Datum

21 oktober 2008

Ons kenmerk

296/08 CEV Rie/sij - 1927

Blad

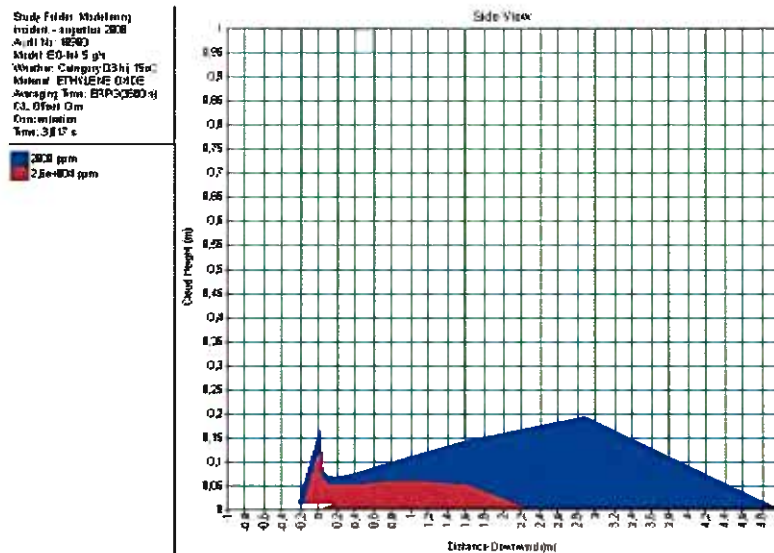
3/5

alarmeringsgrenswaarde wordt gehanteerd) en zijn er geen andere (toxische) effecten van toepassing. Ontsteking van waterstof kan – zoals reeds vermeld – echter alleen binnen één meter van de lekkage plaatsvinden.

Modellering lekkage ethyleenoxide

Als er een lekkage heeft plaatsgevonden vanuit de 4” leiding met ethyleenoxide dan is een vergelijkbare gatgrootte als bij waterstof voldoende om een brand van ca. 20 cm x 20 cm te kunnen verklaren: zie figuur 2. Naar verwachting komt daarbij tussen 1 en 10 gram ethyleenoxide per seconde vrij¹. Gerekend is derhalve met 5 gram/sec.

De bronsterkte in kg/s welke voor het vrijkomende ethyleenoxide is afgeleid, is vanwege het verschil in molmassa veel hoger dan voor waterstof. De bronsterkte in liter/s is in beide gevallen vergelijkbaar (enkele liter/s).



Figuur 2: Zijaanzicht bij uitstroming van 5 gram ethyleenoxide per seconde (gatgrootte 0,5 mm). Binnen het rode gebied liggen de concentraties binnen de explosiegrenzen en is ontsteking mogelijk. Binnen het blauwe gebied is de concentratie hoger dan 10% LEL.

De explosiegrens ligt dus op circa 2 meter van de bron en de 10% LEL concentratie ligt net als bij waterstof op enkele meters van het lek.

Ethyleenoxide is brandbaar. Aangezien de verbrandingsproducten van ethyleenoxide niet giftig zijn, is de gevaarszetting vanaf het moment waarop een brand met ethyleenoxide als brandstof zou zijn ontstaan, beperkt geweest tot de vuurhaard zelf.

Omdat ethyleenoxide behalve brandbaar tevens toxisch is, worden tot het moment van ontsteken als gevolg van de slijpwerkzaamheden de effecten bepaald door de toxische eigenschappen van de stof. Tabel 3 laat zien dat deze effecten veel omvangrijker zijn dan die van de brandbare effecten (namelijk de effectafstand met betrekking tot de onderste explosiegrenzen).

¹ Voor ethyleenoxide was het moeilijker om een rechthoekig vlamgebied te modelleren (dan waterstof): het vlamgebied is bij modellering in SAFETI-NL meer uitgerekt (lengte >> breedte).



Datum

21 oktober 2008

Ons kenmerk

296/08 CEV Rie/sij - 1927

Blad

4/5

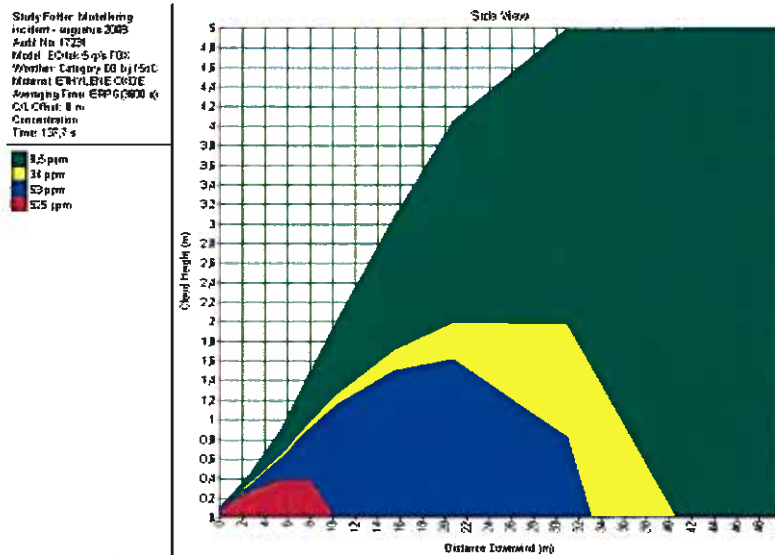
Tabel 2: Effectafstanden als gevolg van het vrijkomen van 1, 5 en 10 gram ethyleenoxide per seconde (op een hoogte van 1,50 meter, tenzij anders is aangegeven)

Concentratieniveau	Concentratie [ppm]	Bronsterkte ethyleenoxide lekkage		
		1 g/s	5 g/s	10 g/s
Onderste explosiegrens (LEL)	26.000	(< 5 m) ^c	< 5 m ^c	< 5 m ^c
Levensbedreigende waarde ^b	525	5 m ^c	10 m ^c	15 m ^c
Alarmeringsgrenswaarde ^b	53	15 m ^c	20 m	40 m
Geurdrempel	34	20 m ^c	35 m	45 m
Wettelijke grenswaarde	0,5	150 m	350 m	500 m

b: De levensbedreigde waarde en de alarmeringsgrenswaarde gelden bij een blootstellingsduur van 1 uur.
 c: Deze concentratie wordt alleen dichtbij de grond bereikt (op een hoogte < 1 meter).

Als het ethyleenoxide zou zijn geweest welke op 12 oktober 2007 is ontsnapt, dan is het mogelijk dat deze stof vóór het moment van ontsteken door de werknemers die bij de aanleg betrokken waren, zou zijn opgemerkt (zie tabel 2 en figuur 3): ethyleenoxide heeft volgens het Chemiekaartenboek echter “geen of slechte waarschuwendende eigenschappen door geur”. Ook wordt de geurdrempel bij lekkages waarbij minder dan 3 gram per seconde vrijkomt, op maximaal 1,50 meter hoogte bereikt. Er is in ieder geval geen geurwaarneming gerapporteerd.

Nadat het zou zijn ontstoken, zou een duidelijke vlam zichtbaar moeten zijn geweest. Getuigen hebben echter een nauwelijks zichtbare brand gerapporteerd, hetgeen meer in de richting wijst van waterstof (onzichtbare vlam).



Figuur 3: Zijaanzicht bij uitstroming van 5 gram ethyleenoxide per seconde, waarbij geen ontsteking heeft plaatsgevonden. Binnen het rode en blauwe gebied zijn de concentraties hoger dan de levensbedreigende waarde en de alarmeringsgrenswaarde. Binnen het gele en groene gebied worden respectievelijk de geurdrempel en de wettelijke grenswaarde overschreden.



Datum

21 oktober 2008

Ons kenmerk

296/08 CEV Rie/sij - 1927

Blad

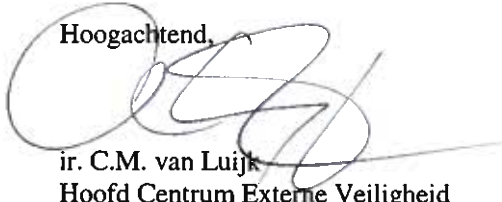
5/5

Conclusies

1. Gelet op het feit dat de brand nauwelijks visueel waarneembaar is geweest, duidt *mogelijk* op een lekkage van de waterstofleiding.
2. Dat er voorafgaand aan het moment van ontsteken geen geur is waargenomen, hoeft niet direct op een waterstoflekkage te duiden (welke reukloos is): ethyleenoxide is namelijk wat geur betreft niet altijd goed waarneembaar. Ook blijven de dampen relatief laag bij de grond hangen, waardoor een eventuele geur mogelijk niet zal worden opgemerkt.
3. Het incident heeft geen gezondheidseffecten gehad op werknemers en/of omwonenden.

Ik vertrouw er op u hiermee voldoende te hebben ingelicht. Voor vragen kunt u contact opnemen met de heer D. Riedstra, telefoonnummer 030 - 274 4583.

Hoogachtend,



ir. C.M. van Luijk
Hoofd Centrum Externe Veiligheid



Ontsnappend gas		
Chemische samenstelling	Waterstof (scenario van onderzocht incident)	Ethyleenoxide (hypothetisch scenario)
Stofeigenschappen	Zeer licht ontvlambaar	Giftig en zeer licht ontvlambaar
Schatting van de ontsnappende hoeveelheid gas (voetnoot 11)	0,3 gram/sec	1 – 10 gram/sec
Afstanden waarop onderstaande (grens-)waarden worden overschreden		
Wettelijke grenswaarde	Niet vastgesteld	150 – 500 meter
Alarmeringsgrenswaarde	4 meter	15 – 40 meter
Levensbedreigende waarde	< 1 meter	5 – 15 meter

Tabel: Schatting van het toxisch effect van de ontsnapping van waterstof zoals die heeft plaatsgevonden en een schatting van het toxisch effect indien ethyleenoxide zou zijn ontsnapt (bewerkt op basis van de gegevens in ref. 1-c).

Hierna volgt de integrale tekst van het briefrapport van het RIVM:

Bijlage 4

Overeenkomst tot gebruik van de buisleidingenstraat en tot exploitatie van daarin gelegen leidingen
Stichting Buisleidingenstraat Zuidwest Nederland, definitieve versie,
vastgesteld door de Raad van Beheer d.d. 12 mei 2004

Selectie van de voorschriften die relevant zijn voor het onderzoek Heinenoord

Noot: De individuele overeenkomsten van de ETHYLEENOXIDE- en H₂-leiding zijn van oudere datum en kunnen wellicht afwijkingen bevatten.

Voorschriftnummer	Inhoud voorschrift (verkort)	Relevantie	Besproken in paragraaf
Overeenkomst tot gebruik			
6.3	De leidingeigenaar is verantwoordelijk voor het naleven van de voorschriften, ook als "derden" in opdracht van hem werkzaamheden verrichten.	Voor de door Heijmans bij de aanleg van de kerosineleiding begane overtredingen is (ook) Defensie (DVD) verantwoordelijk.	
Informatie en voorschriften, deel 1, Algemene informatie			
13.1.1.	De leidingen worden geïnspecteerd door de leidingeigenaar.	De verantwoordelijkheden ten aanzien van het toezicht van de veiligheid zijn complex. Naast de stichting heeft dus ook de leidingeigenaar een verantwoordelijkheid.	
Informatie en voorschriften, deel 2, Ontwerp			
10.1.	Voor een te leggen buisleiding in een leidingtunnel moeten volledige spannings- en vervormingsberekeningen te worden gemaakt.	Voor de bij het incident betrokken leidingen lijken die berekeningen (voor wat betreft de invoer in het eindgebouw niet te zijn gemaakt). De invloed van doorvoeringen en koppelstukken op spanningen en vervormingen wordt niet in de berekeningen betrokken.	
10.8.	De doorvoering van de leiding in het eindgebouw moet zodanig zijn dat voldoende speling voor	De bij het incident betrokken leidingen liggen onderin de doorvoering,	

	eventuele zakking aanwezig is. De constructie behoeft de goedkeuring van de stichting.	waarschijnlijk als gevolg van zakkingen. Bij het "aanliggen" van de leidingen treden bovenmatige krachten op waartegen de leidingen en de KB-koppelstukken niet bestand zijn.	
11.2.3.	Ter plaatse van leidingen en binnen een strook van 2 meter ter weerszijden van de leidingen mogen de belastingen op maaiveldniveau niet groter zijn dan 30 kPa.	Bij de aanleg van de kerosineleiding is met graafmachines bovenop de leidingen gereden die een belasting veroorzaakten van meer dan 50 kPa.	
13.	Indien herstellingen aan leidingen worden uitgevoerd dan moet de leidingeigenaar onder overlegging van goedkeuring aan de Stichting vragen en de stichting moet vooraf goedkeuring verlenen.	Het is onduidelijk of die goedkeuring voor de spoedreparaties na het incident is verleend.	
14.2.	De leidingeigenaar moet een gedetailleerd plan overleggen voor de gewenste inrichting van de werkterreinen en rijstroken.	Bij de aanleg van de kerosineleiding ontbrak zo'n plan, althans voor de aansluitwerkzaamheden nabij het gebouw Zuid. De rij- en graafbewegingen ter plaatse waren daarom niet voldoende gereguleerd.	
Informatie en voorschriften, deel 3, Uitvoering			
1.2.	De leidingeigenaar moet alle werknemers die bij de bouw betrokken zijn, volgens de voorschriften laten werken.	Defensie (DVD) heeft er onvoldoende voorkomen dat werknemers van Heijmans en onderaannemers voorschriften hebben overtreden.	
1.3.	Alle werkzaamheden moeten volgens specificaties, bestek en vergunning worden uitgevoerd waarbij de openbare veiligheid en de individuele veiligheid van het uitvoerend personeel niet in gevaar mogen	Er zijn diverse overtredingen ten opzichte van specificaties, bestek en vergunning vastgesteld.	

	worden gebracht.		
4.3.2.	Alle incidenten (zoals brand) moeten terstond worden gemeld in de volgorde: eerst via 112, dan aan de stichting en dan aan de Raad voor de Transportveiligheid	Het incident is alleen aan de stichting gemeld.	
4.3.2.	Binnen twee werkdagen moet een "meldformulier incidenten buisleidingenstraat" worden ingediend.	Na het incident is een formulier ingediend maar de informatie daarop was onvolledig.	
4.3.3.	Binnen 7 dagen moet een "incidentrapport" worden opgemaakt.	Er is geen incidentrapport opgemaakt.	
4.3.3.	De leidingeigenaar moet alle bijzonderheden van een ongeval grondig onderzoeken en rapporteren.	Er is geen onderzoeksrapport gemaakt.	
4.6.2.	Bij transport over reeds liggende leidingen kan door de stichting worden geëist dat aanvullende voorzieningen worden getroffen.	Er zijn voorzieningen geëist (zoals het aanbrengen van draglineschotten) en die zijn, op de locatie van het incident niet getroffen.	
4.6.3.	Vervoer met een gronddruk van meer dan 30 kPa boven ondergrondse leidingen is zonder toestemming van de stichting niet toegestaan.	De stichting heeft geen toestemming verleend voor het rijden van de dragline over de bestaande leidingen en dat is desondanks gebeurd.	
4.6.5. (en 17.7.8.)	Pompen mogen nooit boven ondergrondse leidingen worden geplaatst.	De drainagepomp stond ten tijde van het incident bovenop de stikstofleiding.	
7.1.	De leidingeigenaar is volledig verantwoordelijk voor het toezicht op de naleving van de voorschriften. Slechts incidenteel en dan nog steekproefsgewijs oefent de stichting toezicht uit op naleving van de voorschriften.	Noch de door Heijmans ingehuurde externe toezichthouder, noch het aangestelde certificatiebureau heeft structureel toezicht gehouden op de veiligheidsvoorschriften, zoals die op de incidentlocatie golden. De stichting heeft met haar (beperkte steekproef-) inspecties de overtredingen ook niet kunnen vaststellen.	

16.3.	De grondopslag boven leidingen mag niet hoger zijn dan gemiddeld 1 meter.		
24.1. en 24.2.	Op de buisleidingen worden zakbaken aangebracht en de baken worden periodiek door een landmeetkundig bureau gewaterpast.	De zakbaak op de ethyleenoxide-leiding blijkt reeds sinds vele jaren afwezig te zijn zodat zakkinggegevens voor deze leiding ontbreken.	
24.3.	Wanneer uit de metingen blijkt dat het zakkingverloop van de leiding(en) ongunstiger is dan voorzien zal de leiding moeten worden hersteld dan wel moeten worden herberekend.	De jaarlijks verzamelde zakkinggegevens (ter plaatse van het eindgebouw) zijn de afgelopen jaren noch door de stichting noch door de leidingeigenaren getoetst op aanvaarbaarheid.	

Bijlage 5

Beantwoording van de Kamervragen van het lid Poppe (SP) over het gaslek in Heinenoord.

Kamerstuk (ref. 1.p) integraal bijgevoegd.

Vragen gesteld door de leden der Kamer, met de daarop door de regering gegeven antwoorden

588

Vragen van het lid **Poppe** (SP) aan de minister van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer over *het gaslek in Heinenoord*. (Ingezonden 16 oktober 2007)

1

Is op vrijdag 12 oktober 2007 bij graafwerkzaamheden een lek ontstaan in een buisleiding in de gemeente Heinenoord? Zo ja, was er een vergunning voor de graafwerkzaamheden afgegeven? Zo ja, is er toezicht gehouden tijdens de graafwerkzaamheden? Zo ja, hoe kon het toch gebeuren dat een buisleiding is geraakt? Zo neen, hoe hebben de graafwerkzaamheden in de leidingstraat dan plaats hebben kunnen vinden?

2

Welke stof is ontsnapt bij de lekkage, en op welk moment na het ontstaan van het lek is definitief vastgesteld om welke stof het ging?

3

Welke veiligheidsmechanismen zijn in de betreffende buisleiding opgenomen? Hebben deze goed gefunctioneerd? Was de leiding gecompartmenteerd? Op welk moment na het ontstaan van het lek is het lekken van het gas opgehouden?

4

Bij welke instantie is de eerste melding gemaakt van de

beschadiging? Door wie is de melding gedaan en op welk tijdstip? Welk calamiteitenplan is daarop in werking getreden en op welke wijze zijn de direct betrokkenen instanties geïnformeerd?

5

Kunt u een in chronologische volgorde een overzicht geven van de maatregelen die zijn genomen op grond van het calamiteitenplan? Kunt u daarbij aangeven hoe het kan dat de rampenzender van Radio Rijnmond pas twee uur na de eerste melding is geïnformeerd en betrokken, dat de Milieudienst Rijnmond (DCMR) om 13.30 uur 's middags nog krampachtig aan het zoeken was naar juiste informatie, dat om 13.45 de Milieudienst Zuid-Holland Zuid ons nog niet kon melden om welke stof het ging, dat om 13.45 uur de politiemeldkamer nog niet wist welke stof en welke leiding het betrof en dat de website van de gemeente Binnenmaas om 14.30 uur nog geen uitsluitsel kon geven welke stof was vrijgekomen?

6

Is de veiligheid van de omwonenden in gevaar geweest? Zo ja, op welke wijze?

7

Hoe, en op hoeveel tijdstip na het ontstaan van het lek, zijn omwonenden op de hoogte gebracht, en met welke middelen?

8

Van wie is de getroffen buisleiding en van wie is de door deze buis getransporteerde stof afkomstig?

9

Is er voorafgaande aan de graafwerkzaamheden contact geweest met de netbeheerder? Zo neen, acht u het ter voorkoming van toekomstig gevaar door graafwerkzaamheden niet wenselijk dat grondroerders van te voren een oriëntatieverzoek doen aan de netbeheerders over de werkzaamheden?

10

Wie is uiteindelijk verantwoordelijk voor de gemaakte schade en door wie wordt die verhaald?

11

Is er sprake van een adequaat optreden van zowel de eigenaar van de lekke buisleiding, de veroorzaker van het lek, als ook de overheden en de hulpdiensten? Zo neen, is de kortgeleden opgedane ervaring met een grootschalige rampenoefening in Rijnmond van nut geweest bij deze calamiteit? Zo ja, waaruit zijn de lessen van deze grootschalige rampenoefening in de praktijk van deze werkelijkheid gebleken?

¹ NOS teletekst 112, 12 oktober 2007 en www.binnenmaas.nl.

Antwoord

Antwoord van minister **Cramer**
(Volkshuisvesting, Ruimtelijke
Ordening en Milieubeheer.
(Ontvangen 8 november 2007)

1

Op 12 oktober 2007 is een lekkage opgetreden in één of meerdere buisleidingen in de leidingenstraat te Heinenoord, gemeente Binnenmaas als gevolg waarvan er ter hoogte van de Oude Maas een beperkte brand is ontstaan.

Twee leidingen zijn bij het incident betrokken geweest, namelijk een waterstofleiding en een leiding waarin ethyleenoxide wordt verpompt. De waterstofleiding bleek (ter hoogte van een zogenaamd koppelstuk) lek te zijn. Naar de lektheid van de ethyleenoxide-leiding wordt nog een onderzoek ingesteld.

De oorzaak van de lekkage is onderwerp van onderzoek. Ten tijde van de lekkage werden er ter hoogte van het lek werkzaamheden uitgevoerd in verband met het bijplaatsen van een nieuwe leiding in de leidingstraat. In hoeverre die werkzaamheden mogelijk bijgedragen hebben aan het ontstaan van de lekkage is onderwerp van onderzoek.

Voor het uitvoeren van werkzaamheden in de leidingenstraat is toestemming vereist van de beheerder van de buisleidingenstraat, de Stichting Buisleidingenstraat Nederland te Roosendaal. Die toestemming is verkregen en geclausuleerd met voorschriften. De beheerder van de buisleidingenstraat voert toezicht en inspecties uit (mede) om de veiligheid van het tracé te bewaken. Op dit moment wordt onderzocht of (op basis van de bevindingen van het onderzoek naar de oorzaak van de lekkage) de gebruikelijke voorschriften en het toezichtregime toereikend zijn.

2

Zie voor de ontsnapte stof(-fen) het antwoord op vraag 1. Het meten van de chemische samenstelling van gassen is bij dergelijke incidenten een complexe zaak; zeker omdat het in dit geval een zeer beperkte emissie betrof en het ontsnappende gas ter plaatse in brand stond (lees: onschadelijk werd). De wijze waarop de aard van de ontsnapte gassen is vastgesteld is onderwerp van nader onderzoek.

Overigens zijn, gelet op de onduidelijkheid welke leiding(en) bij het incident betrokken was (waren), uit voorzorg beide leidingen terstond buiten gebruik gesteld.

3

Op buisleidingen waardoor gevaarlijke stoffen worden getransporteerd is een reeks veiligheidsvoorzieningen en procedures van toepassing. Dat is ook op de bij het incident betrokken leidingen het geval.

De waterstofleiding bleek na de lekkage relatief eenvoudig en snel in te blokken en gasvrij te maken. De leiding voor ethyleenoxide bleek minder gemakkelijk en pas na langere tijd gasvrij te kunnen worden gemaakt.

Afhankelijk van de resultaten van het onderzoek naar de oorzaak van het incident zal worden onderzocht of die veiligheidsmechanismen hebben gewerkt en voldoende zijn gebleken.

4

De werknemers die de ad. 1 beschreven werkzaamheden uitvoerden hebben het incident direct na het ontstaan van de brand (om ca. 9.05 uur) gemeld bij de beheerder van de buisleidingenstraat. De hulpverleningsdiensten werden vervolgens zeer kort daarop geïnformeerd en waren snel ter plaatse.

Naar de aanpak van het incident (beëindigen lekkage, waarschuwen en informeren van de bevolking, besluitvorming over maatregelen) wordt, in opdracht van burgemeester en wethouders van de gemeente Binnenmaas een feitevaluatie uitgevoerd. Op basis van de resultaten van die evaluatie zal ik u in overleg met mijn collega van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties nader informeren.

5

Zie het antwoord op vraag 4.

6

Waterstof en ethyleenoxide zijn brandbare gassen. Daarnaast heeft ethyleenoxide toxische eigenschappen. Het vrijkomen van dergelijke gassen in de atmosfeer is dus in principe gevaarlijk omdat brand, explosie en vergiftiging zouden kunnen optreden. Bij het incident op 12 oktober 2007 is, voor zover dat nu kan worden beoordeeld en gelet op het feit dat er sprake is geweest van een beperkte

gasontsnapping, de veiligheid voor de omwonenden niet in het geding geweest.

7

Zie het antwoord op vraag 4.

8

De waterstofleiding en de getransporteerde waterstof zijn van Air Liquide en de ethyleenoxideleiding en de getransporteerde ethyleenoxide zijn van Shell.

9

Zie het antwoord op vraag 1.

10

Het verantwoordelijkheidsvraagstuk voor de gemaakte schade wordt momenteel onderzocht door de betrokken partijen, waaronder de eigenaren van de betrokken leidingen, de aannemer die de aanlegwerkzaamheden ter plaatse verrichtte en de Stichting Buisleidingenstraat Nederland.

11

Zie het antwoord op vraag 4. De grootschalige rampoefening in Rijnmond (oefening Voyager) wordt zowel op rijksniveau als in de veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond geëvalueerd. De resultaten van de evaluatie op rijksniveau zullen door de minister van BZK aan de Tweede Kamer worden aangeboden. De genoemde evaluaties bieden u naar ik hoop voldoende informatie met betrekking tot uw vragen over de grootschalige rampoefening.

Bijlage 6

Bedienungsanleitung und Transport- und Installationsanweisung für BRAUN STAHL PIPE TEC-Isolierstücke.

Instructie (ref. 1.i) integraal bijgevoegd.

Alte Zollstraße 30
77694 Kehl
Germany

Tel: 0049 (0) 7851 – 48 55 8 66
Fax: 0049 (0) 7851 –48 55 8 77
e-mail : Braun@Braunstahl.de
www.Braunstahl.de

Bedienungsanleitung und Transport- und Installationsanweisung für BRAUN STAHL PIPE TEC -Isolierstücke

TRANSPORT UND HANDLING :

Das Isolierstück ist verpackt nach den Anforderungen der Bestellung , normalerweise auf Palette.

Das Auspacken des Isolierstückes muss wie folgt vorgenommen werden :

Die Kran- oder Ladegerät-Kapazität muss überprüft werden für die Aufnahme des Gewichtes gem. Packliste. Nur zugelassenes Personal darf das Isolierstück transportieren und / oder auspacken, die Sicherheitsvorschriften müssen vor Ort beachtet werden, bevor das Isolierstück aus seiner Verpackung genommen wird.

Das Auspacken bzw. der Transport und das Laden muss sorgfältig gemacht werden, dass die Anschweißenden, die Flanschdichtflächen und die äussere und innere Beschichtung nicht beschädigt werden.

Das Isolierstück muss mit sauberen Hebewerkzeugen transportiert und auf sauberen und trockenen Lagerplätzen gelagert werden.

INSTALLATION und WARTUNG :

1.) GELTUNGSBEREICH , DESIGN und EINBAU :

Das BRAUN STAHL PIPE TEC-Isolierstück Type ISG ist eine nicht demontierbare Monoblock-Konstruktion, die eine elektrische Trennung von einem Rohrende zum anderen Rohrende bzw. Flanschanschluss beinhaltet.

Das Isolierstück ist nach den Regeln der Technik gemäß den Zeichnungen und Angaben der Bestellung berechnet, konstruiert, hergestellt und geprüft.

Falls in der Zeichnung nicht extra aufgeführt, kann das Isolierstück im Einsatz und bei der Montage **keine zusätzlichen Kräfte auf der Baustelle** übernehmen, ohne möglicherweise einen Schaden zu erleiden. Dies betrifft Biegungs- und Torsionskräfte, axiale Zug- und Druckkräfte sowie Schocks, sowie alle anderen thermischen, mechanischen und/ oder chemischen Einwirkungen.

Einbauort :

Der Einbauort sollte bereits bei der Bestellung des Isolierstückes angegeben werden, damit die Anforderungen bezüglich Design, Sicherheitsvorschriften und Testanforderungen berücksichtigt werden können. Beim Einbau müssen die Vorschriften der Rohrleitung selbst und des Einbauortes beachtet werden, wie z.B. in explosionsgefährdete Bereiche. Für den Einbau in explosionsgefährdete Bereiche oder Räume können geeignete Ex-Funkenstrecken an das Isolierstück angebaut werden, wobei die besonderen Einbauvorschriften hierfür beachtet werden müssen.

Auch andere Anforderungen , wie z. B. Brandsicherheit, chemische Beständigkeit , etc. müssen bereits bei der Bestellung des Isolierstückes bekannt sein und werden in gesonderten Einbauvorschriften angegeben.

Das Isolierstück ist nach den Regeln der Technik gemäß den Zeichnungen und Angaben der Bestellung berechnet, konstruiert, hergestellt und geprüft.

Falls in der Zeichnung nicht extra aufgeführt, kann das Isolierstück im Einsatz und bei der Montage **keine zusätzlichen Kräfte auf der Baustelle** wie Biegungs- und Torsionskräfte, axiale Zug- und Druckkräfte sowie Schocks aufnehmen.

Weiterhin sollen alle anderen thermischen, mechanischen und/ oder chemischen Einwirkungen beachtet werden.

Aus diesem Grund sollte das Isolierstück mit Sorgfalt eingebaut werden. Es muß darauf geachtet werden, daß keine äußeren Kräfte während des Einbaus , während des Betriebes sowie der Druckprüfung zusätzlich zum angegebenen Innendruck bzw. angegebenen zulässigen Testdruck auf das Isolierstück wirken.

D:\Eigene Dateien\AABraunstahl-aktuell\Angebote\Angebotstexte\ISG\ISG-Bedienungs-Anleitung-Einbauanw-d-2.doc

Transport – und Installationsanweisung	Dokument Nr.: BN-0004-D-Rev2
Braun stahl pipe tec Isolierstück Type ISG	Seite 1 von 3

Alte Zollstraße 30
77694 Kehl
Germany

Tel: 0049 (0) 7851 – 48 55 8 66
Fax: 0049 (0) 7851 –48 55 8 77
e-mail : Braun@Braunstahl.de
www.Braunstahl.de

Das Isolierstück enthält O-Ring-Dichtungen und Kunststoffisoliermaterialien, die nicht so elastisch sind wie Stahl. Daher muß jegliche Schockeinwirkung, oder Überbeanspruchung wie z.B. ein Fallenlassen des Isolierstücks oder die Belastung des Isolierstückes mit äusseren Kräften, die die Rohrleitung aushalten kann, jedoch das Isolierstück nicht, vermieden werden (z. B. Stresstest bei 90 % der Streckgrenze des Rohrmaterials).

Falls Zusatzkräfte bekannt sind oder vermutet werden, muß BRAUN STAHL PIPE TEC darüber informiert werden, um zu prüfen, ob solche Zusatzkräfte vom Isolierstück übernommen werden können, oder ob eine Berechnungs- und Konstruktionsänderung erforderlich ist.

Das Isolierstück kann in beiden Richtungen eingebaut werden, falls keine anderen Angaben auf der Zeichnung angegeben sind. Es sollte vermieden werden, dass das Isolierstück am tiefsten Punkt der Rohrleitung eingebaut wird, da sich hier Wasser oder Schmutzteile ansammeln könnten, die eine Funktionsbeeinträchtigung der elektrischen Trennung bewirken könnten.

Bei senkrechtem oder schrägem Einbau des Isolierstückes muss die Seite der elektrischen Trennung mit Harz / Silikon nach unten zeigen, damit sich hier kein Wasser / Feuchtigkeit oder Schmutz ansammelt, was zu einer elektrischen Funktionsstörung führen kann.

SPEZIELL FÜR EINBAU IN BESTEHENDE ROHRLEITUNG :

Hier sollte auf keinen Fall die Baulänge des neuen Isolierstückes kürzer sein als der Rohrleitungsfreiraum. Es sollte darauf geachtet werden, daß keinerlei Zugspannungen durch die Schrumpfung der Baustellenschweißnähte auf das Isolierstück kommen, sondern eher Druckspannungen in axialer Richtung.

2.) Das BRAUN STAHL PIPE TEC-Isolierstück wird in unserem Werk nach Normen, bzw. nach den Angaben der Bestellung getestet. Druckprüfung und andere Dichtheitsprüfungen und **elektrische Messung** sind nur mit geeigneten Instrumenten durchgeführt worden. Der maximale Testdruck, bzw. die maximale Testspannung ist auf der Zeichnung angegeben. Zusätzliche Messungen nach der Auslieferung aus unserem Werk dürfen nur mit **geeigneten Instrumenten** vorgenommen werden und durch geschultes und zugelassenes Personal. Bei der elektrischen Hochspannungsprüfung dürfen nur Meßgeräte verwendet werden, die keine Einbrände bei Verschmutzung oder Kontakt hervorrufen und alle Sicherheitsvorschriften erfüllen.

Bei Dichtheitsprüfungen mit Abseifen muss tunlichst darauf geachtet werden, dass keine Feuchtigkeit in das Harz eindringen kann.

3.) SCHWEISSEN :

Das Isolierstück kann mit den **Schweißverfahren** WIG, MAG, E-Hand und UP in die Rohrleitung eingeschweißt werden. Es ist zu beachten, daß das Standardisolierstück **nicht für spannungsarmes Glühen der Baustellennähte auf der Baustelle geeignet** ist. Es ist nur zulässig, die Schweißnähte auf der Baustelle spannungsarm zu glühen, falls dies auf der Zeichnung vermerkt ist.

Beim Schweißen muss die Masse bzw. der elektrische Gegenpol zur Elektrode an dem gleichen Rohrende des Isolierstückes angebracht werden , an der die Schweißnaht geschweißt wird.

Oder die beiden Seiten des Isolierstückes müssen während der Schweißarbeiten mit einem ausreichend starken Elektrokabel miteinander verbunden werden.

4.) Falls nicht anders auf der Zeichnung angegeben, ist das Isolierstück für den **Temperaturbereich** von 0° C bis + 50° C geeignet. Das Isolierstück ist nur für das **Medium** zu verwenden, welches auf der Zeichnung vermerkt ist. Andere Medien sollten vorher auf ihre chemische Beständigkeit überprüft werden.

D:\Eigene Dateien\AABraunstahl-aktuell\Angebote\Angebotstexte\ISG\ISG-Bedienungs-Anleitung-Einbauanw-d-2.doc

Transport – und Installationsanweisung	Dokument Nr.: BN-0004-D-Rev2
Braun stahl pipe tec Isolierstück Type ISG	Seite 2 von 3

Alte Zollstraße 30
77694 Kehl
Germany

Tel: 0049 (0) 7851 – 48 55 8 66
Fax: 0049 (0) 7851 – 48 55 8 77
e-mail : Braun@Braunstahl.de
www.Braunstahl.de

5.) Außenbeschichtung:

a) Mit Bitumenbahnen

Sie ist geeignet für einen unterirdischen Einbau und darf nicht im Freien bei Sonnenlicht gelagert werden. Sonst entstehen nach einer gewissen Zeit Risse im Material. Daher muß diese Beschichtung bis zum unterirdischen Einbau gegen Sonnenlicht geschützt werden.

Bei längerer Sonneneinstrahlung wird das Beschichtungsmaterial weich. Die Beschichtung kann beim Transport des Isolierstücks mit Schlaufen oder Ketten eingedrückt und abgeschält werden. Daher ist bei Transport, Einbau und Lagerung des Isolierstücks darauf zu achten, daß alle Halte- und Lagerpunkte außerhalb der Beschichtung liegen.

b) Mit EPOXYDHARZANSTRICH oder BITUMENANSTRICH:

Diese Beschichtung ist für einen überirdischen Einbau, bzw. einen unterirdischen Einbau in trockener Erde, geeignet.

c) REPARATUR des Anstrichs auf der Baustelle:

Eine Reparatur auf der Baustelle darf **nur mit elektrisch nicht leitendem Anstrich** vorgenommen werden, damit die elektrische Isolierung aufrecht erhalten bleibt.

6.) Beim Einbau bzw. beim Betrieb dürfen keine elektrisch leitenden Teile, wie z.B. Elektroden, beim Brennen entstandene Schlacken oder Schraubenschlüssel, im Isolierstück liegenbleiben, oder außerhalb die elektrische Isolierung überbrücken.

7.) Das Isolierstück ist wartungsfrei. Bei überirdischem Einbau sollte nach gegebener Zeit der Anstrich überprüft bzw. nachgebessert werden. Ersatzteile sind nicht erhältlich, nur Anstrichmaterial oder Zubehör.

Alle Unklarheiten können direkt bei Fa. Braun stahl pipe tec angefragt werden.