

Van: Henk Kruse (Deltares) en Harry Schelfhout (POV-K&L)

Onderwerp

Explosie proeven ter simulatie van het falen van gasleidingen

1 Doelstelling

Het falen van een gasleiding op infrastructuur nabij of in waterkeringen kan invloed hebben op de verschillende soorten boven- en ondergrondse infrastructuur of op waterkeringen.

Bij het falen van een gasleiding kan ontgronding optreden en kan de sterkte van de grond rondom de leiding afnemen. De ontgronding kan ontstaan door de explosie (volume toename van het gas) of door erosie als gevolg van het uitstromen van gas. De afname van de sterkte van de grond rondom de leiding is het gevolg van de trillingen die optreden bij de explosie.

De doelstelling van het onderzoek met het uitvoeren van explosie proeven die het falen van gasleidingen simuleren is het vaststellen van de ontgronding en het vaststellen van de zone van sterkte afname van de grond, zodat deze kunnen worden vergeleken met de resultaten van verbeterde voorspellingsmodellen. Bij een positief resultaat kunnen de huidige modellen, die beperkingen hebben worden vervangen. Het erosie proces is geen onderwerp van onderzoek.

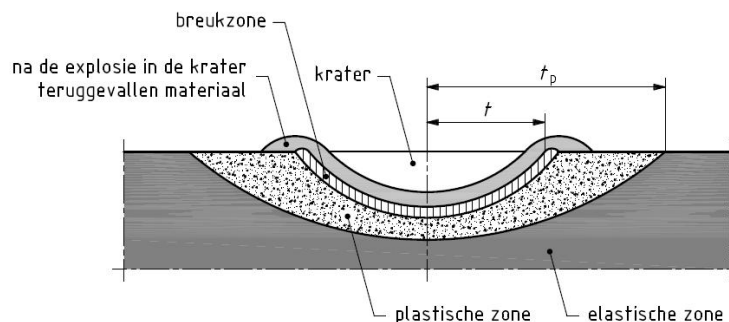
Er wordt momenteel gewerkt aan de opzet van een proevenprogramma in de Hedwige polder met o.a. explosieproeven en bresgroeiproeven. Stowa heeft een belangrijke rol bij deze opzet. Stowa heeft aangegeven dat Defensie betrokken is bij de uitwerking van het op te stellen proevenprogramma. Het team van de Projectoverstijgende Verkenning Kabels en Leidingen (POV-K&L) dat onder andere onderzoek doet naar exploderende gasleidingen zou graag de mogelijkheden tot samenwerking met Defensie willen onderzoeken. De (POV-K&L) is een onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma dat met projectoverstijgende verkenningen het delen en inzetten van kennis en innovaties stimuleert

2 Achtergrond

In NEN 3651 wordt zowel het effect van falen van gasleidingen als van vloeistof leidingen op waterkeringen beschreven. In deze norm worden formules gegevens om het effect van falen van gasleidingen te kwantificeren. Er zijn formules beschikbaar voor:

- Omvang explosie krater (straal en diepte krater)
- Omvang van de plastische zone om de krater zonder grondsterkte
- Omvang van de verwekingszone met wateroverspanning in granulaire grondsoorten

De bepaling van de explosie krater, de plastische zone en de verwekingszone (elastische zone) is beschreven in NEN 3651. In de onderstaande figuur is de schematisatie uit de NEN 3651 weergegeven. In bijlage A zijn formules uit de NEN 3651 opgenomen.



Legenda

- t is de straal van de explosiekrater
 t_p is de straal van de plastische zone

Figuur 2.1 Explosiekrater gasleiding

Voor de bepaling van de energiedichtheid bij het falen van een gasleiding wordt de expansie van het gas in leiding beschouwd. De formule in NEN 3651 voor de bepaling van de energiedichtheid in massa TNT luidt als volgt:

$$m_{TNT} = 3,9 \cdot D^3 \cdot p_d$$

met

D_i is de inwendige leidingmiddellijn, in m;

p_d is de absolute ontwerpdruk, in MPa;

Deze formule is gebaseerd op het uitgangspunt dat 10 m³ gas bij atmosferische druk overeenkomt met 1 kg TNT. Hiertoe wordt uitgegaan van een gasvolume dat aan de explosie meedoet van 5D.

In de onderstaande tabel zijn voor een aantal gasleidingen de massa's TNT berekend. Deze zijn de input voor de huidige formules om krater afmetingen en plastische zones en verwekingzones te bepalen.

D [inch]	D [m]	p [bar]				
		40	50	60	70	80
24	0.6096	3.5	4.4	5.3	6.1	7.0
30	0.762	6.9	8.6	10.3	12.1	13.8
36	0.9144	11.9	14.9	17.9	20.9	23.8

Tabel 2.1 Berekende kg TNT volgens NEN 3651

3 Onderzoeksvragen

De bestaande formules c.q. ontwerpregels om krater afmetingen en plastische zones en verwekingzones te bepalen hebben beperkingen. Een relevante parameter zoals grondsoort wordt in de beschikbare formules niet beschouwd. De dekking boven de leiding wordt wel beschouwd, maar is niet afhankelijk van het type grond. De beschikbare gedateerde formules hebben nagenoeg geen onderbouwing en moeten worden geactualiseerd. Mede door het ontbreken van onderbouwing wordt getwijfeld aan de juistheid en kunnen de formules niet worden gebruikt in de tegenwoordig gangbare probabilistische beschouwing van de waterkeringen.

Om de bestaande empirische ontwerpregels te verbeteren en specifieker te maken voor de relevante situaties is empirische informatie voor de specifiek Nederlandse situatie noodzakelijk. Het betreft de volgende onderzoeksvragen:

- 1 Hoe hangen de diepte en de diameter van de krater samen met de energiedichtheid van de detonatie, de diepte van de detonatie en de grondsoort?
- 2 Hoe hangen de uitbreiding van de trillingen die in de omgeving ontstaan samen met de energiedichtheid van de detonatie, de diepte van de detonatie en de grondsoort?
- 3 Hoe beïnvloedt de trillingen de grondsterkte en de wateroverspanning?

Er zijn momenteel geavanceerde modellen (deels in ontwikkeling) om deze processen beter te beschrijven. Om deze voorspellingsmodellen toepasbaar te maken moeten deze worden gekalibreerd op basis van proef resultaten. Daarna kunnen deze modellen worden toegepast om verbeterde ontwerpregels voor de NEN 3651 te bouwen.

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen zijn proeven noodzakelijk. Hieronder is een globale opzet voor het uitvoeren van proeven in de Hedwige-/Prosper polder uitgewerkt.

4 Proeven in de Hedwige-/Prosper polder

De Hedwige-/Prosperpolder in Zeeuws-Vlaanderen zal binnenkort worden ontpolderd. De polder is beschikbaar gesteld voor het uitvoeren van proeven die gerelateerd zijn aan de waterveiligheid. Zowel de polder als de omringende waterkeringen die straks geen functie meer hebben kunnen worden gebruikt voor onderzoek.

In de polder is recent grondonderzoek uitgevoerd (zie Bijlage B). Alhoewel de diepe ondergrond uit zand bestaat is de samenstelling van de toplagen variabel. Er zijn gebieden met kleiige toplagen en meer zandig ontwikkelde toplagen te onderscheiden.

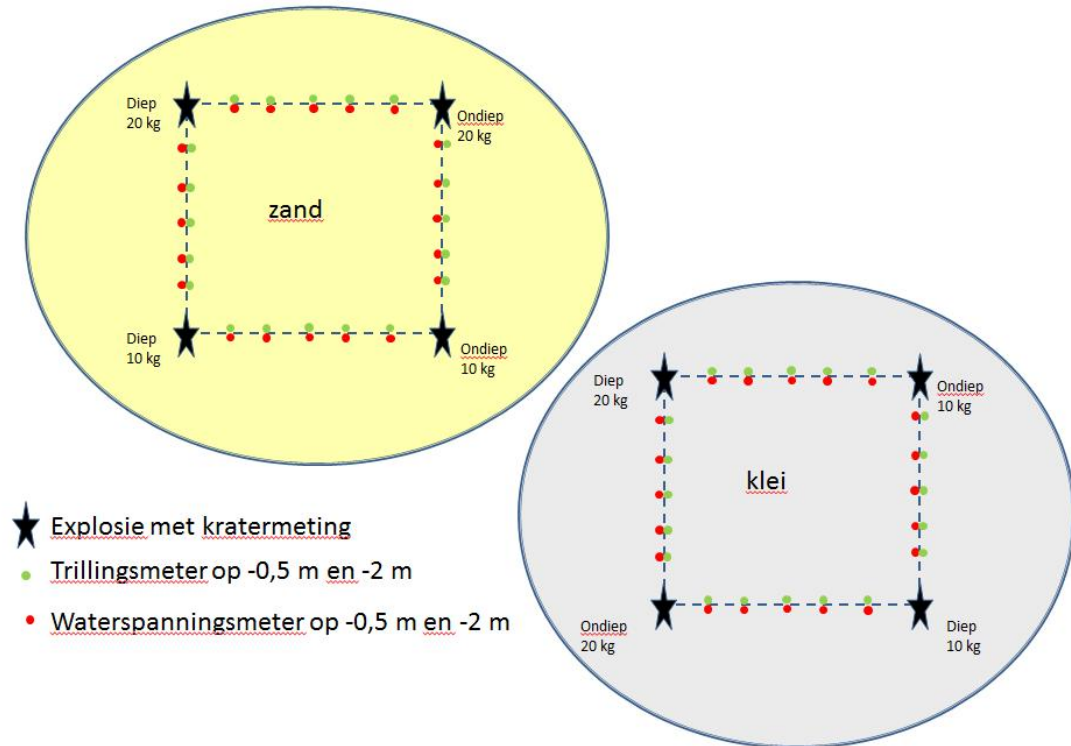
5 Opzet proeven

Voor de opzet van de proeven in de Hedwige-/Prosper polder ter beantwoording van de onderzoeksvragen wordt de hieronder beschreven proefopzet voorgesteld

Proeven ter plaatse van vlak maaiveld met variatie in:

- Diepteligging; explosie diepte 1,3 m (ondiep) en 2,6 m (diep)
- Grondsoort; zandgrond, kleigrond
- Massa TNT; 10 kg en 20 kg

De opzet is in de onderstaande figuur uitgewerkt.



Figuur 5.1 Opzet proeven Hedwige polder (afstand tussen de explosies is ca 150 m)

Bij een succesvolle uitvoering van deze proeven op een horizontaal maaiveld kunnen daarna proeven ter plaatse van de waterkering worden uitgewerkt. Ter plaatse van de waterkering zal de proef kunnen worden uitgevoerd op een diepte van 1,3 onder maaiveld in de kruin van de waterkering.

6 Projectmatige aspecten

Bij de samenwerking van Defensie en het team van de POV-KL zal afstemming moeten plaatsvinden met betrekking tot de kosten en de planning.

Datum
26 februari 2019

Pagina
6 van 8

Bijlage A NEN 3651 formules

Voor de straal van de explosiekrater (t) geldt:

$$t = \sqrt{\left[2,97(D_i^3 p_d)^{1/3} - 0,83w^2 + 1,40w(D_i^3 p_d)^{1/3} \right]}$$

waarin:

D_i is de inwendige leidingmiddellijn, in m;

p_d is de absolute ontwerpdruk, in MPa;

w is de diepte van de leidinggas (= hart lading); $w = H + 0,5 D_0$;

H is de gronddekking, in m;

D_0 is de uitwendige middellijn van de leiding, in m.

De diepte van de explosiekrater (D_K) vóór terugval van opgeworpen grond (= diepte van grondroering) is
 $D_K = H + D_0$

waarin:

D_K is de diepte van de explosiekrater

Voor de straal van de plastische zone t_p geldt: $t_p = 3 t$.

Indien een explosieve lading onvoldoende blijkt te zijn om een krater te creëren (dus $t = 0$), is er echter nog wel sprake van een plastische zone (bolvormig), een zogenoemde 'kwetser'.

De straal van deze zone kan worden berekend met de formule:

$$r = 15,8 \frac{L^{7/12}}{w}$$

waarin:

r is de getalwaarde van de plastische straal, in m;

L is de getalwaarde van het ladinggewicht in kg TNT-equivalent $= 3,9 D_i^3 \times p_d$;

$w = H + 0,5 D_0$ in m.

Bestaande theorieën die de afstand tot de leiding aangeven waarbinnen bij explosie aanmerkelijk verlies aan draagkracht van de ondergrond kan optreden (verwekingszone E_i), zijn niet door proefnemingen bevestigd. Definitieve aanbevelingen zijn daarom nog niet te geven. In afwachting van eventuele nadere onderzoeken geldt het hiernavolgende.

A.1.2.3.2 Leiding evenwijdig aan een waterstaatswerk

$$E_i = 22 \times D_i \sqrt{p_d}$$

Datum
26 februari 2019

Pagina
7 van 8

waarin:

E_l is de verwekingszone voor leidingen evenwijdig aan waterstaatswerken, in m;

p_d is de absolute ontwerpdruk, in MPa.

OPMERKING De coëfficiënt '22' in bovenstaande formule is niet dimensieloos.

A.1.2.2.3.3 Leiding kruist waterstaatswerk

$$E_k = 1/2 E_l$$

waarin:

E_k is de verwekingszone voor leidingen die waterstaatswerken kruisen, in m.

