

Materiaal gegevens

uitwendige diameter
wanddikte
materiaal kwaliteit

Appendages

type en locatie afsluiters

Leiding

jaar van aanleg
status kathodische bescherming
te transporteren medium
mate van corrosie
wijze waarop de corrosie is vastgesteld
keuringseisen materiaal + lassen
ontwerpdruk
maximale bedrijfsdruk
ontwerp temperatuur
maximale bedrijfsdruk
ligging leiding
aanwezigheid vervangende waterkering
aard en status vervangende waterkering
type uitwendige coating
meetgegevens zet- / zakbaken

Sterkteberekening

Beschikbaarheid sterkteberekening

WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL

derde toetsronde waterkeringen

Verstoringszones lage druk leidingen

documentnr. 085333

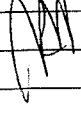
Raadgevend Ingenieurs-
bureau Lievense B.V.
Postbus 3199
4800 DD Breda NL
Tramsingel 2
4814 AB Breda NL
Nederland
telefoon
+31(0)76-522 50 22
fax
+31(0)76-522 30 26
email
info@lievense.com
site
www.lievense.com

WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL

derde toetsronde waterkeringen

Verstoringszones lage druk leidingen

documentnr. 085333

Rev.	Opgesteld door	Paraaf	Datum	Geverifieerd door	Paraaf	Datum
0	ir. W.C. Leijnse		08-08-2008	ir. M.J.C. Everaers		11-8-2008

WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL
DERDE TOETSRONDE WATERKERINGEN
Verstoringszones lage druk leidingen
Documentnr. 085333

Inhoud

1. ALGEMEEN	1
2. THEORETISCHE ACHTERGROND	2
2.1 Algemeen	2
2.2 Vloeistofleidingen	2
2.3 Gasleidingen	3
3. UITGANGSPUNTEN BEREKENINGEN	6
3.1 Diameters	6
3.2 Wanddiktes	6
3.3 Drukken	6
3.4 Vochtafhankelijke constante	6
3.5 Stroomsnelheden	6
3.6 Dekking	7
4. RESULTATEN VLOEISTOFLEIDINGEN	8
4.1 Algemeen	8
4.2 Breedte erosiekrater	8
4.3 Lengte erosiekrater	8
4.4 Samenvatting	9
5. RESULTATEN GASLEIDINGEN	10
5.1 Algemeen	10
5.2 Erosiezone	10
5.3 Verwekingszone	12
5.4 Explosiekrater	13
6. HOGE DRUK LEIDINGSYSTEMEN	14
6.1 Vloeistofleidingen	14
6.2 Gasleidingen	14

WATERSCHAP RIJN EN IJSSEL
DERDE TOETSRONDE WATERKERINGEN
Verstoringszones lage druk leidingen
Documentnr. 085333

Bijlagen

- [A] Bepaling R(w)
- [B] Erosiezone vloeistofleidingen
- [C] Erosiezone gasleidingen
- [D] Verwekingszone en explosiekrater gasleidingen
- [E] verstoringszone DN 1200 / 16 bar vloeistofleiding
- [F] verstoringszone DN 1200 / 80 bar gasleiding

Referenties

- [1] NEN 3650 – Eisen voor buisleidingsystemen, Nederlands Normalisatie Instituut, 2003
- [2] NEN 3651 – Aanvullende eisen voor leidingen in kruisingen met belangrijke waterstaatswerken, Nederlands Normalisatie Instituut, 2003
- [3] NPR 3659 – Ondergrondse pijpleidingen grondslagen voor de sterkteberekening, Nederlands Normalisatie Instituut, 1996 (en revisie 2003)
- [4] Kwaliteitsregulering Gasdistributie Nederland, Dienst uitvoering en toezicht Energie, april 2003

1. ALGEMEEN

De Wet op de waterkering schrijft een vijfjaarlijkse toetsing voor, waarin de aanwezige veiligheid tegen overstroming per dijkringgebied wordt getoetst aan de norm, die in de wet is vastgelegd. Een groot gedeelte van de constructies in de Nederlandse dijkringen bestaat uit leidingen. Deze leidingen kunnen de veiligheid van waterkeringen negatief beïnvloeden doordat leidingen kunnen lekken of exploderen.

De voorliggende rapportage betreft het vaststellen van de verstoringszone van lage druk leidingen, waaronder ook huisaansluitingen. Conform ref. [1] en ref. [2] wordt het onderscheid bij lage druk systemen gelegd bij 16 bar.

Voor vloeistofleidingen worden onder huisaansluitingen diameters vanaf 25 mm (1 inch) gehanteerd. De minimaal gegarandeerde druk in het distributiesysteem voor waterleidingen is gelijk aan 2 bar (20 mwk), deze gegevens zijn gebaseerd op ingewonnen informatie bij Vitens. Vitens is het waterleidingbedrijf dat verantwoordelijk is voor de levering van water in het beheergebied van het Waterschap Rijn en IJssel.

Voor gasleidingen worden onder huisaansluitingen ook diameters van 25 mm toegepast. Anders dan ref. [1] en ref. [2] wordt er in lage druk gasdistributiesystemen nog onderscheid gemaakt tussen middendruknetten (≥ 1 bar) en lagedruknetken (< 1 bar) de maximale druk van het gas distributiesysteem ten behoeve van huisaansluitingen is gelijk aan 200 mbar. Deze gegevens zijn gebaseerd op ingewonnen informatie bij Continuum en ref. [4]. Continuum is beheerder voor het gastransportnetwerk in het beheergebied van het Waterschap Rijn en IJssel.

De bovengrens voor zowel vloeistof- als gasleidingen varieert, een en ander is daarbij afhankelijk van de afnemer. Er wordt immers ook van een huisaansluiting gesproken bij kantoren en industrie. Het grootste gedeelte van deze huisaansluitingen heeft een diameter van circa 63 mm. Uitschieters tot 200 mm en groter komen echter ook voor.

De werkzaamheden worden uitgevoerd in opdracht van het Waterschap Rijn en IJssel.

In hoofdstuk twee wordt ingegaan op de theoretische achtergrond van het bepalen van de verstoringszone. Hoofdstuk drie behandelt de uitgangspunten voor de berekeningen. De hoofdstukken vier en vijf gaan in op de resultaten van de uitgevoerde berekeningen voor respectievelijk vloeistof- en gasleidingen.

Op verzoek van de opdrachtgever zijn tevens voor een tweetal grote diameters en een druk van 16 bar en 80 bar (DN 1000 en 16 bar voor een vloeistofleiding en een DN 1200 en een druk van 80 bar voor een gasleiding) de verstoringszones vastgesteld. De afmetingen van deze verstoringszones geven de opdrachtgever een beeld van de zone welke in het kader van de vijfjaarlijkse toetsing beoordeeld dient te worden. De resultaten van deze gegevens worden behandeld in hoofdstuk zes.

2. THEORETISCHE ACHTERGROND

2.1 Algemeen

De verstoringszone is het gebied waarbinnen ontgrondingen of grondverstorings kunnen optreden door een incident (lekkage, breuk of explosie) met een leiding. Afhankelijk van het soort incident kan de verstoringzone nader worden aangeduid als:

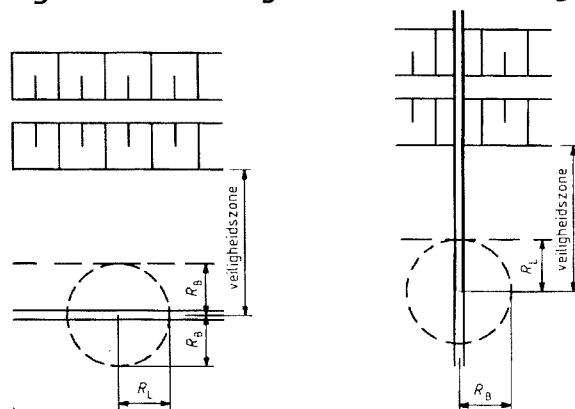
- erosiezone; waarbij door het uitstromend medium een krater rond het lek wordt geërodeerd.
- explosiezone; waarbij door een exploderende (gas)leiding een krater ontstaat met daaromheen een plastische zone die als explosiezone wordt aangemerkt. Ook als er geen krater ontstaat, is er sprake van een plastische zone.
- verwekingszone; waarbij door een explosie van een (gas)leiding de opgewekte schokgolven aanleiding geven tot gronddeformaties en korrelherschikkingen. Door overspannen poriënwater kan verlies aan draagkracht van zandgrond (grondverweking) ontstaan.

In de berekening van de verstoringszone wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds vloeistofleidingen en anderzijds gasleidingen. In de navolgende paragrafen wordt nader ingegaan op de berekening van de verstoringszone van vloeistofleidingen en gasleidingen. De berekening van deze zones is gebaseerd op ref. [2].

2.2 Vloeistofleidingen

De verstoringszone voor vloeistofleidingen is gelijk aan de erosiezone. In navolgende figuur staan de afmetingen van de erosiezone bij vloeistofleidingen schematisch weergegeven.

Figuur 1: verstoringszone vloeistofleidingen



De bepaling van de erosiezone is gebaseerd op het gegeven dat er geen sprake is van reservoir invloed. Dit is het geval indien het lek/de breuk voldoende ver van bijvoorbeeld

een pompstation is gelegen. De omvang van de erosiezone kan vastgesteld worden door middel van de navolgende vergelijking:

$$R_B = 7,8 \times \sqrt[4]{Q_0 \times H_0 \sqrt{\frac{D_i}{g}}}$$

- waarin:
- Q_0 = 0,578 Q_m (bij rendementspunt);
 - H_0 = 0,67 H_m (bij rendementspunt);
 - Q_m is de maximale pompcapaciteit, in m^3/s (bij $H = 0$);
 - H_m is de maximale opvoerhoogte (drukhoogte) van de pomp, in m (bij $Q = 0$);
 - g is de versnelling van de zwaartekracht, in m/s^2 ;
 - D_i is de inwendige middellijn van de leiding, in m.

De breedte van de erosiekrater is R_B ter weerszijden van de leiding. De lengte van de erosiekrater ter weerszijden van het lek is R_L (zie ook figuur 1). De grootte van R_L is daarbij afhankelijk van de grootte van het lek en de mogelijkheid van volledige afschuiving:

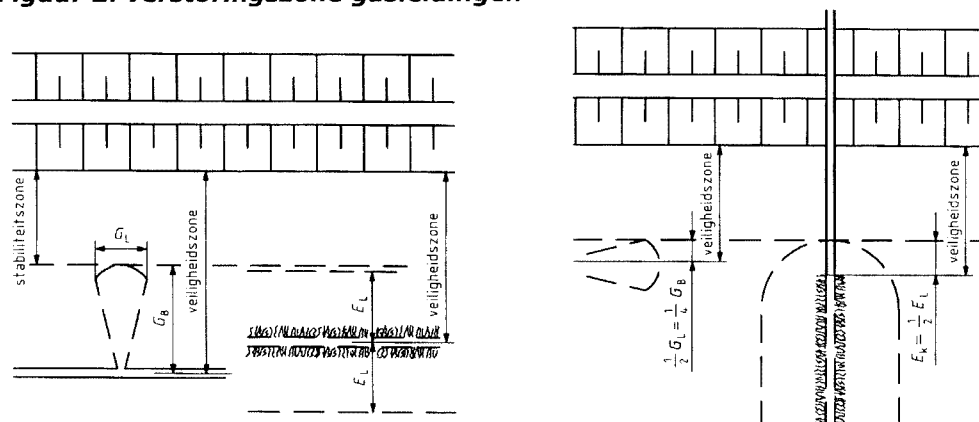
- voor een klein gat $R_L = 0,5 R_B$
- voor een groot gat $R_L = R_B$
- Met volledige afschuiving geldt: $R_L = 2 R_B$

2.3 Gasleidingen

De verstoringszone voor gasleidingen is gelijk aan de erosiezone of de explosiezone. De verstoringszone wordt daarbij gelijk gesteld aan de maximaal berekende zone van enerzijds de erosiezone en anderzijds de explosiezone. In navolgende figuur staan de afmetingen van de verstoringszone voor zowel erosie als explosie bij gasleidingen schematisch weergegeven.

Conform ref. [2] wordt in zandgrond de maatgevende verstoringzone veroorzaakt door grondverweking (verwekingszone), in klei en veen is echter de explosiezone maatgevend.

Figuur 2: verstoringszone gasleidingen



Conform ref. [2] kan de erosiezone, G_B , voor parallel gelegen gasleidingen bepaald worden volgens:

$$G_B = \sqrt[3]{\frac{R(w)^4}{4} \cdot \frac{\left(\frac{g}{D^2} \cdot \left(\frac{i}{\rho g}\right)^3\right)^{1/6}}{v_{uitbr}^{1/3}}}$$

- Waarin:
- $R(w)$ vochtafhankelijke constante
 - w vochtgehalte, in %
 - g versnelling zwaartekracht, in m/s^2
 - D diepte van de kuil, in m
 - i impulsflux van de straal, in N
 - ρ dichtheid van het gas bij omgevingsdruk, in kg/m^3
 - v_{uitbr} uitbreidingssnelheid van de erosiekrater, in m/s

Het vaststellen van de vochtafhankelijke constante kan op basis van de figuur, zoals deze in bijlage A is bijgevoegd.

De lengte van de erosiezone voor parallel gelegen leidingen kan conform ref. [2] worden bepaald door middel van de volgende vergelijking:

$$G_L = \frac{1}{2}(G_B + b_0)$$

- Waarin: b_0 breedte van de uitstroomopening, in m

Conform ref. [2] kan de verwekingszone, E_L , bepaald worden met behulp van navolgende formule:

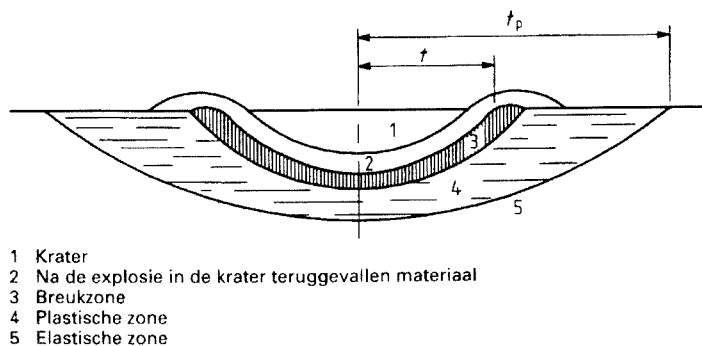
$$E_L = 22 \cdot D \cdot \sqrt{p_d}$$

- Waarin:
- D uitwendige diameter, in m
 - p_d absolute ontwerpdruk, in MPa

2.3.1 Explosiekrater

Door een exploderende gasleiding kan een explosiekrater ontstaan. De afmetingen van de explosiekrater, staan weergegeven in navolgende figuur:

Figuur 3: explosiekrater gasleidingen



De breedte van de krater, ten gevolge van een explosiekrater, kan worden bepaald volgens:

$$t = \sqrt{2,97 \cdot (D^3 \cdot p_d)^{2/3} - 0,83 \cdot w^2 + 1,40 \cdot w \cdot (D^3 \cdot p_d)^{1/3}}$$

Waarin: w getalwaarde voor de diepte van de leidingas, in m
 D uitwendige diameter, in m
 p_d absolute ontwerpdruk, in MPa

Indien een explosielading onvoldoende blijkt te zijn om een krater te creëren ($t \approx 0$) is er wel sprake van een bolvormige plastische zone, r , volgens:

$$t_p = 15,8 \cdot \frac{(3,9 \cdot D^3 \cdot p_d)^{1/2}}{w}$$

Waarin: w getalwaarde voor de diepte van de leidingas, in m
 D uitwendige diameter, in m
 p_d absolute ontwerpdruk, in MPa

3. UITGANGSPUNTEN BEREKENINGEN

3.1 Diameters

Voor het vaststellen van de verstoringzones worden de volgende diameters doorgerekend.

Tabel 1: door te rekenen diameters

Diameter	mm	25	50	110	160	200	250	315	355	400	450	500
----------	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

3.2 Wanddiktes

In de berekeningen is er vanuit gegaan dat de uitstroomopening gelijk is aan de uitwendige diameter van de leiding. Dit betekent dat er geen wanddikte in de berekeningen is meegenomen. Dit betreft een conservatieve aanname.

3.3 Drukken

Voor het vaststellen van de verstoringzones worden de volgende drukken doorgerekend.

Tabel 2: door te rekenen drukken

Druk	bar	0,2	1	2	4	8	16
------	-----	-----	---	---	---	---	----

3.4 Vochtafhankelijke constante

Voor het vaststellen van de verstoringzone bij gasleidingen zijn twee afzonderlijke situaties getoetst, te weten:

1. een situatie met verzadigd zand en klei
2. een situatie met zand met een vochtgehalte van 5%

3.5 Stroomsnelheden

Voor de waterleidingen is als bovengrens een stroomsnelheid van 2 m/s aangehouden. Deze waarde mag als een absolute bovengrens worden gehanteerd in verband met de aard van de stroming. Bij hogere stroomsnelheden ontstaat al gauw een turbulent stromingsregime, wat resulteert in aanzienlijke verliezen in een systeem, bij lagere stroomsnelheden is sprake van een laminaire stroming, hetgeen door leidingbeheerders nagestreefd zal worden.

In gasleidingen is de stroomsnelheid afhankelijk van de inwendige druk. In ref. [2] zijn in tabel 2 voor diverse drukken de stroomsnelheden gegeven. In navolgende tabel zijn voor de door te rekenen drukken de gegevens uit tabel 2 van ref. [2] geïnterpoleerd. Dit resulteert in de volgende stroomsnelheden:

Tabel 3: stroomsnelheden gas afhankelijk van inwendige druk

Druk	bar	0,2	1	2	4	8	10	16	40
stroomsnelheid	m/s	8,0	8,3	8,7	9,5	11,2	12,0	12,6	15,0

De in voorgaande tabel **cursief** vermelde waarden betreffen de waarden zoals gegeven in tabel 2 van ref. [2].

3.6 Dekking

De dekking van leidingen in zogenaamde lage druk netwerken varieert over het algemeen tussen circa 0,8 en 1,2 m. Als uitgangspunt voor de dekking is derhalve een gemiddelde dekking van 1 m aangehouden.

4. RESULTATEN VLOEISTOFLEIDINGEN

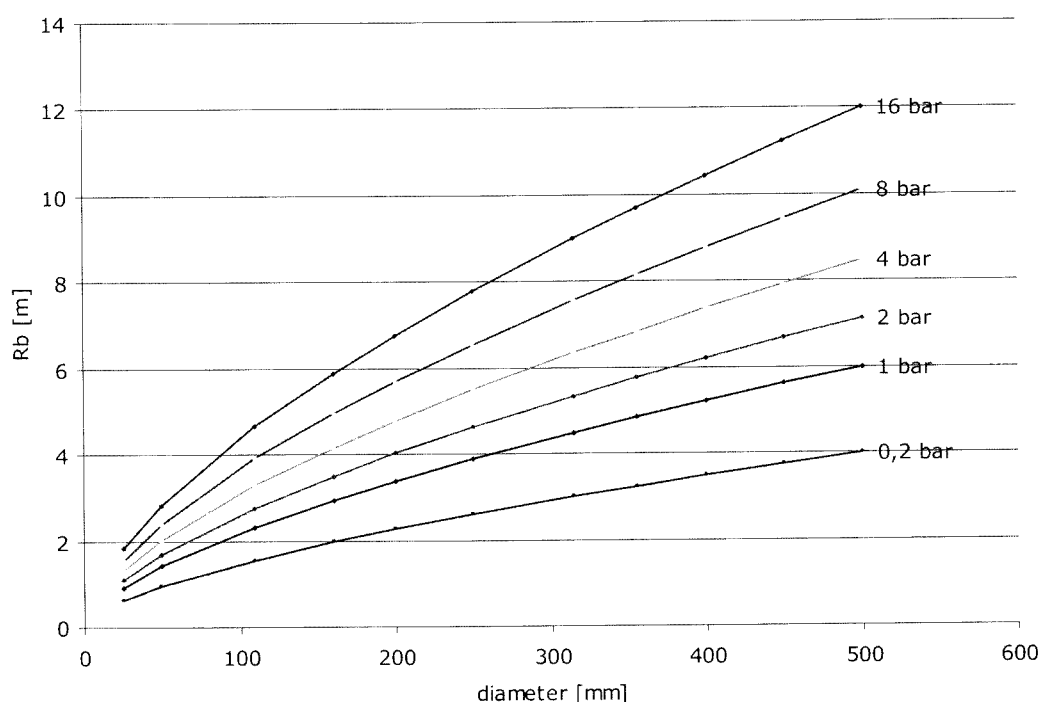
4.1 Algemeen

In het voorliggende hoofdstuk worden de resultaten van de uitgevoerde berekeningen voor vloeistofleidingen weergegeven.

4.2 Breedte erosiekrater

In navolgende figuur zijn de berekende waarden voor de halve breedte van de ontgrondingskuil weergegeven.

Figuur 4: erosiekrater lage druk vloeistofleidingen



4.3 Lengte erosiekrater

Afhankelijk van het type leiding geldt voor vloeistofleidingen een tweetal scenario's voor het vaststellen van de lengte van de erosiekrater:

- Zonder volledige afschuiving $R_L = R_B$
- Met volledige afschuiving: $R_L = 2 R_B$

Er is alleen sprake van volledige afschuiving indien er geen trekvaste verbindingen (bijvoorbeeld bij mof-spie buizen) worden toegepast. Wanneer bijvoorbeeld stalen

leidingen of HDPE leidingen worden toegepast is er sprake van een situatie waarbij geen volledige afschuiving kan plaatsvinden.

4.4 Samenvatting

In bijlage B zijn op basis van de voorgaande paragrafen de afmetingen van de verstoringzone van lage druk vloeistofleidingen tabellarisch weergegeven.

5. RESULTATEN GASLEIDINGEN

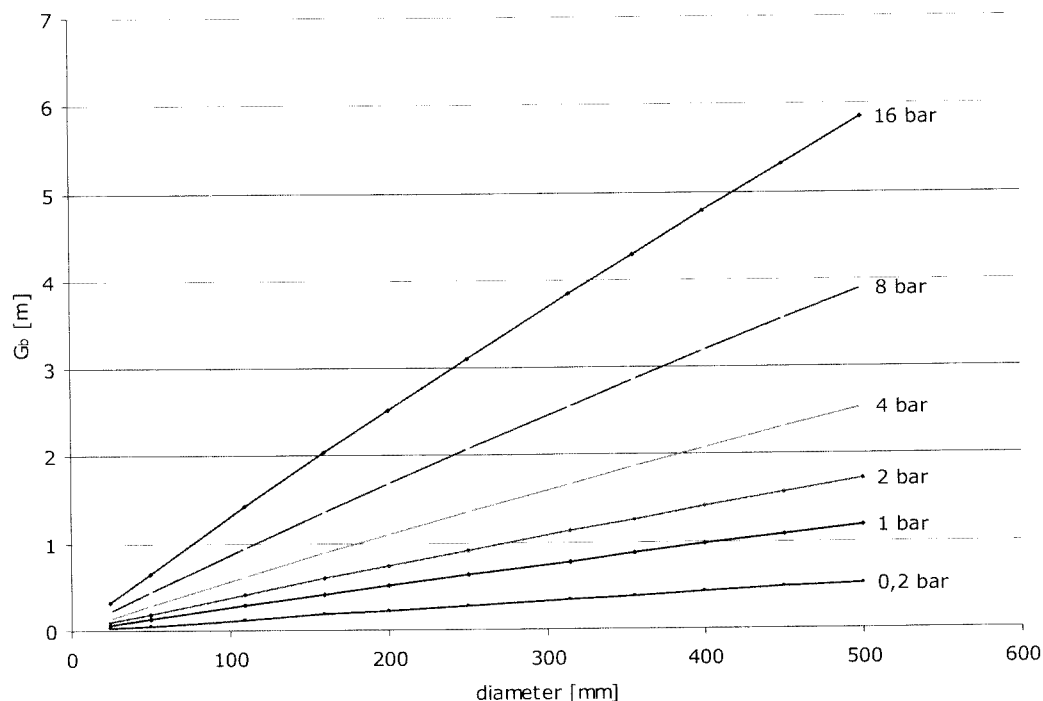
5.1 Algemeen

In het voorliggende hoofdstuk worden de resultaten van de uitgevoerde berekeningen voor gasleidingen weergegeven.

5.2 Erosiezone

5.2.1 Breedte van de erosiezone bij parallel gelegen gasleidingen

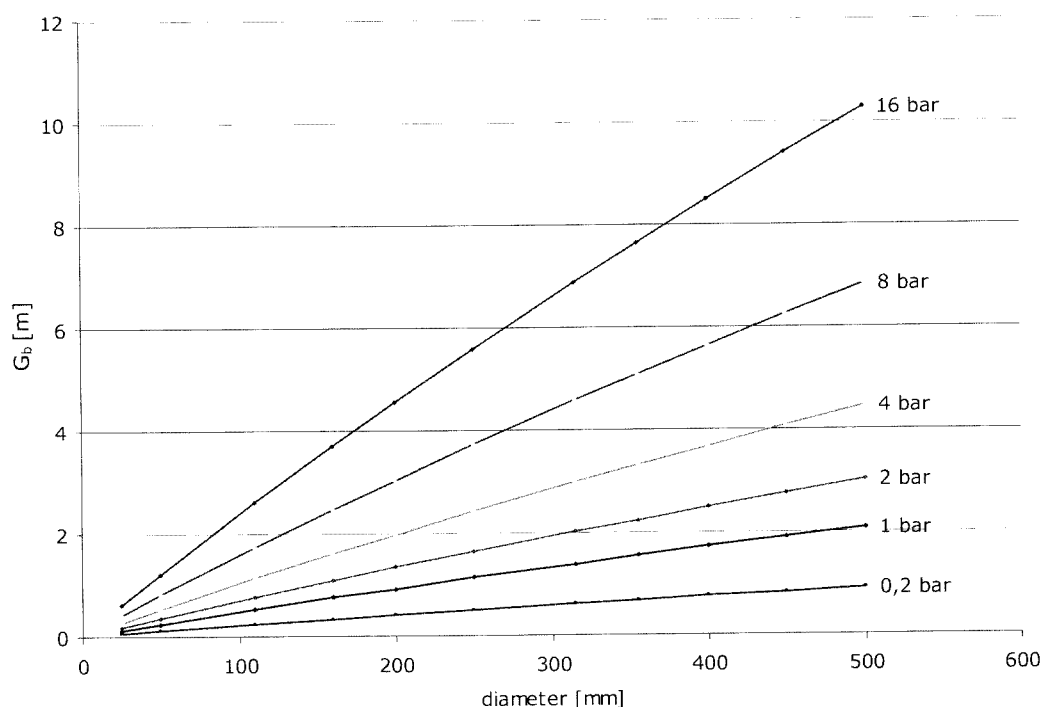
In navolgende figuren zijn de berekende waarden voor de breedte van de erosiezone weergegeven. In figuur 5 is de erosiezone, G_B , weergegeven voor gasleidingen gelegen in verzadigde grond, ofwel de vochtafhankelijke parameter, $R(w)$, is gelijk aan 0,025.



Figuur 5: erosiezone lage druk gasleidingen gelegen in verzadigde grond (zand/klei/veen)

In navolgende figuur is de erosiezone, G_B , weergegeven voor gasleidingen in zand met een maximum vochtgehalte van 5%. De daarbij behorende vochtafhankelijke constante, $R(w)$ is in dat geval gelijk aan 0,04.

Figuur 6: erosiezone lage druk gasleidingen gelegen in zand met een vochtgehalte van circa 5%



5.2.2 Lengte van de erosiezone bij parallel gelegen leidingen

De lengte van de erosiekrater wordt bepaald door middel van navolgende vergelijking:

$$G_L = \frac{1}{2}(G_B + D)$$

Waarin: D uitwendige diameter, in m

5.2.3 Breedte erosiezone bij kruisende leidingen

Conform figuur 2 is de breedte van de erosiezone bij kruisende leidingen gelijk aan $\frac{1}{4} \cdot G_B$.

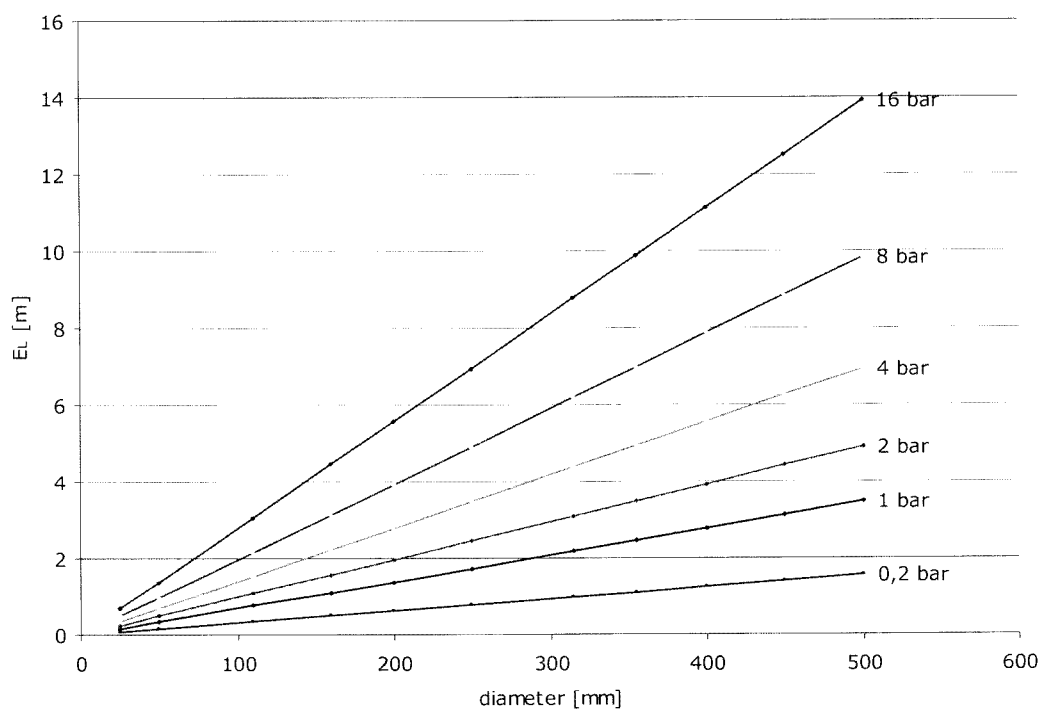
5.2.4 Samenvatting

In bijlage C zijn op basis van de voorgaande paragrafen de afmetingen van de erosiezone van lage druk gasleidingen tabellarisch weergegeven. In tabel C.1 zijn de gegevens voor verzadigde grond samengevat. Tabel C.2 geeft de resultaten voor zand met een vochtgehalte van circa 5%.

5.3 Verwekingszone

5.3.1 Breedte van de verwekingszone bij parallel gelegen gasleidingen

In navolgende figuur zijn de berekende waarden voor de breedte van de verwekingszone, E_L , weergegeven voor gasleidingen.



Figuur 7: verwekingszone lage druk gasleidingen

5.3.2 Lengte van de verwekingszone bij kruisende leidingen

Conform figuur 2 is de lengte van de verwekingszone bij kruisende leidingen gelijk aan $E_k = \frac{1}{2} E_L$.

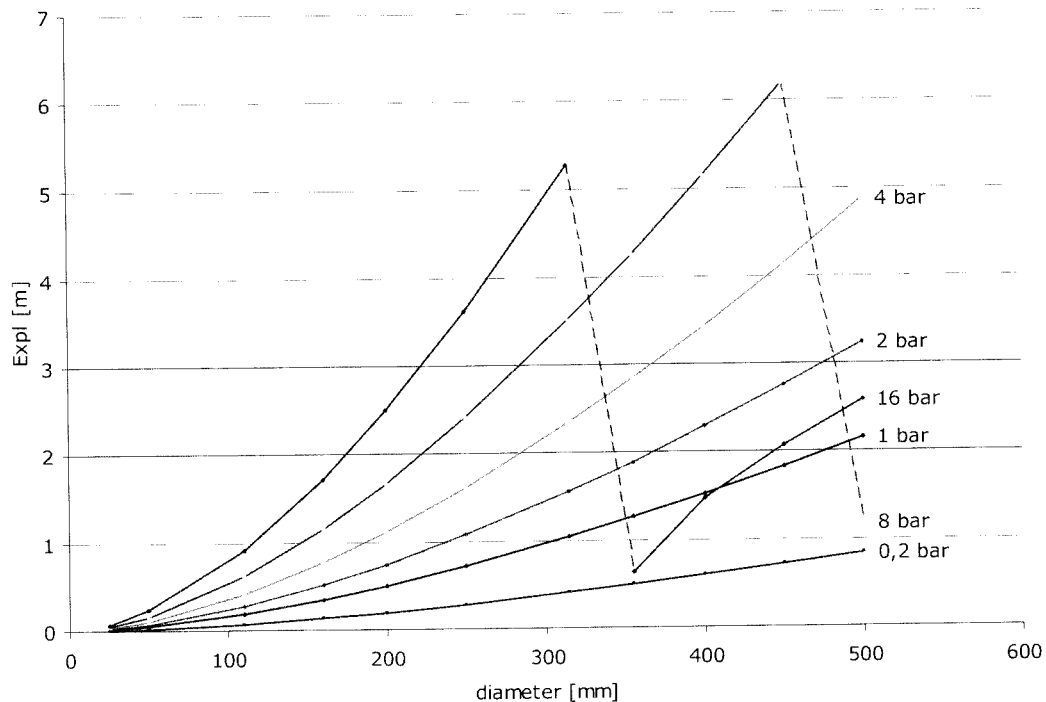
5.3.3 Samenvatting

In bijlage D zijn op basis van de voorgaande paragrafen de afmetingen van de verwekingszone van lage druk gasleidingen tabellarisch weergegeven.

5.4 Explosiekrater

In navolgende figuur zijn de berekende waarden voor de maximale afmeting van de explosiekrater bij lage druk gasleidingen weergegeven.

Figuur 8: afmetingen explosiekrater lage druk gasleidingen



In bovenstaande figuur is bij drukken van 8 en 16 bar een sprong waarneembaar in de straal van explosiekrater. Deze sprong wordt veroorzaakt door het feit dat er onvoldoende explosielading in de leiding aanwezig is om een krater te creëren, zie ook paragraaf 2.3.1.

In bijlage D zijn de gegevens uit bovenstaande figuur tabellarisch weergegeven.

6. HOGE DRUK LEIDINGSYSTEMEN

Ten behoeve van het vaststellen van de zone waarbinnen leidingen getoetst dienen te worden in het kader van de vijfjaarlijkse toetsing is verzocht om de maximale verstoringszone te bepalen.

Door de opdrachtgever is aangegeven dat binnen het beheergebied van het Waterschap Rijn en IJssel vooralsnog de volgende maximale combinatie van druk en diameter voor zowel vloeistof- als gasleidingen voorkomt:

- vloeistofleidingen: DN 1000, maximale ontwerpdruk 8 bar
- gasleidingen: DN 1200, maximale ontwerpdruk 60 bar

Voor vloeistofleidingen zijn mogelijk ook grotere diameters aanwezig binnen het beheergebied van het Waterschap. Omdat in principe lage druksystemen een ontwerpdruk hebben tot 16 bar, is voor het bepalen van de maximale verstoringszone aangehouden dat de leidingen een maximale diameter van 1200 mm hebben met een maximale ontwerpdruk van 16 bar.

Omdat Gasunie thans de voorbereidingen aan het treffen is voor een transportleiding binnen het beheergebied van het Waterschap met een ontwerpdruk van 80 bar, is voor gasleidingen deze ontwerpdruk als bovengrens aangehouden.

De berekening van de verstoringszone is analoog aan de berekeningen in de voorgaande hoofdstukken.

6.1 Vloeistofleidingen

Voor vloeistofleidingen met een diameter van 1200 mm en een ontwerpdruk van 16 bar is de halve breedte van de erosiekrater gelijk aan (zie ook bijlage E):

$$R_B = 20,7 \text{ m}$$

De breedte van de verstoringszone is daarmee gelijk aan 20,7 m.

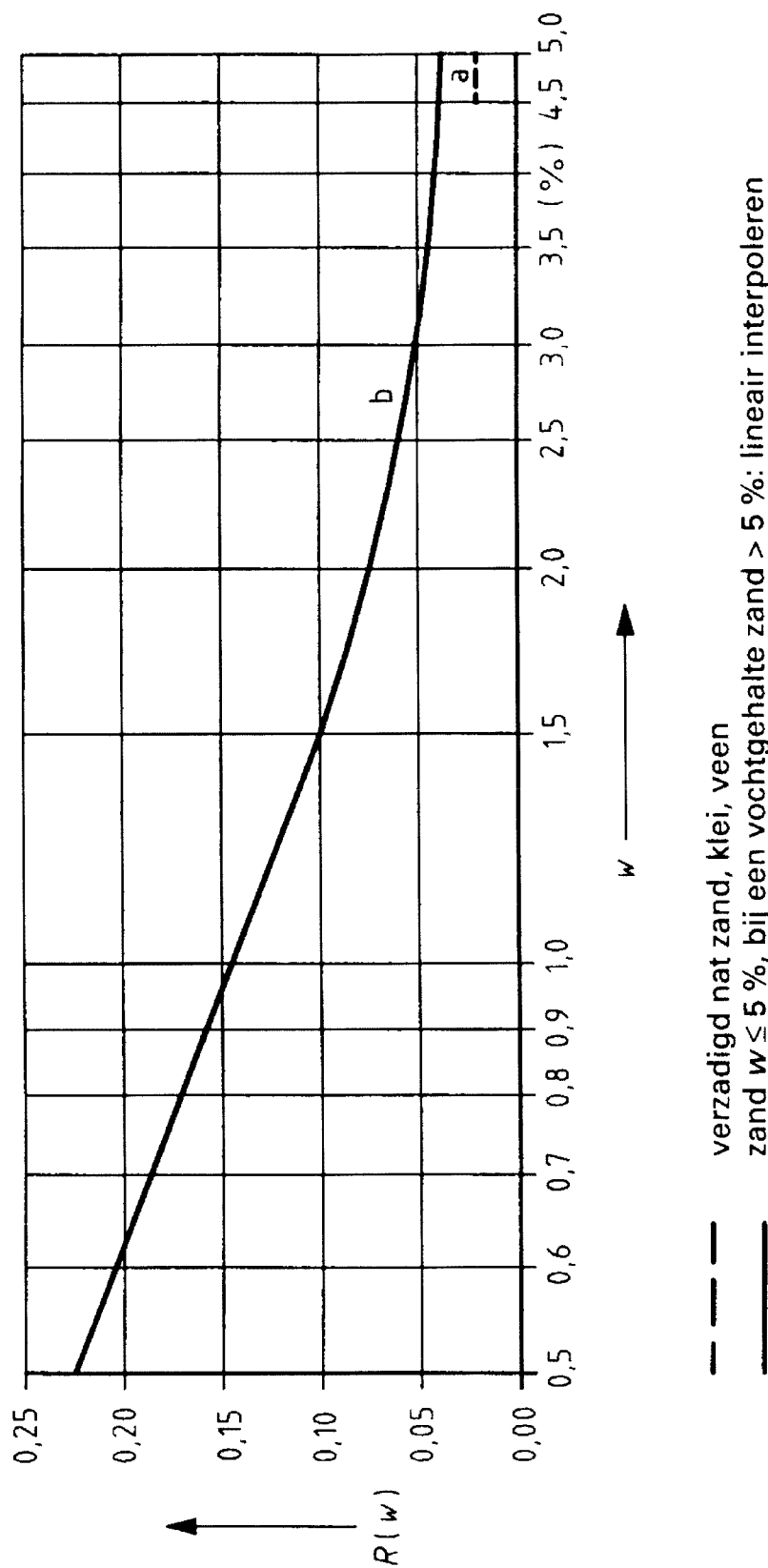
6.2 Gasleidingen

Voor gasleidingen met een diameter van 1220 mm (in overeenstemming met ø 48 inch) en een ontwerpdruk van 80 bar zijn de afmetingen van de verstoringszone berekend in bijlage F.

De maximale breedte van de verstoringszone van een parallel gelegen gasleiding is gelijk aan 75,9 m.

BIJLAGE A

BEPALING R(W)



Bepaling $R(w)$ conform ref. [2]

BIJLAGE B

EROSIEZONE VLOEISTOFLEIDINGEN

tabel B.1: afmetingen erosiekrazer vloeistofleidingen

diameter [mm]	inwendige druk [bar]											
	0,2			1			2			4		
	R _B [m]	R _L [m]	R _{la} [m]	R _B [m]	R _L [m]	R _{la} [m]	R _B [m]	R _L [m]	R _{la} [m]	R _B [m]	R _L [m]	R _{la} [m]
25	0,6	0,6	1,2	0,9	0,9	1,8	1,1	1,1	2,2	1,3	1,3	2,6
50	1,0	1,0	2,0	1,4	1,4	2,8	1,7	1,7	3,4	2,0	2,0	4,0
110	1,6	1,6	3,2	2,3	2,3	4,7	2,8	2,8	5,5	3,3	3,3	6,6
160	2,0	2,0	4,0	2,9	2,9	5,9	3,5	3,5	7,0	4,2	4,2	8,3
200	2,3	2,3	4,6	3,4	3,4	6,8	4,0	4,0	8,0	4,8	4,8	9,6
250	2,6	2,6	5,2	3,9	3,9	7,8	4,6	4,6	9,3	5,5	5,5	11,0
315	3,0	3,0	6,0	4,5	4,5	9,0	5,3	5,3	10,7	6,4	6,4	12,7
355	3,2	3,2	6,4	4,8	4,8	9,7	5,8	5,8	11,5	6,8	6,8	13,7
400	3,5	3,5	7,0	5,2	5,2	10,4	6,2	6,2	12,4	7,4	7,4	14,8
450	3,8	3,8	7,6	5,6	5,6	11,2	6,7	6,7	13,4	7,9	7,9	15,9
500	4,0	4,0	8,0	6,0	6,0	12,0	7,1	7,1	14,3	8,5	8,5	17,0

Opmerking:R_B: betreft de halve breedte van de erosiekrazerR_L: betreft de lengte van de erosiekrazer zonder volledige afschuivingR_{la}: betreft de lengte van de erosiekrazer met volledige afschuiving

BIJLAGE C

EROSIEZONE GASLEIDINGEN

tabel C.1: afmetingen erosiezone gasleidingen in verzadigde grond (zand/klei/veen)

diameter [mm]	inwendige druk [bar]											
	0,2			1			2			4		
	G _B [m]	G _L [m]	¼G _B [m]	G _B [m]	G _L [m]	¼G _B [m]	G _B [m]	G _L [m]	¼G _B [m]	G _B [m]	G _L [m]	¼G _B [m]
25	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1
50	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,4	0,2	0,1
110	0,1	0,1	0,0	0,3	0,2	0,1	0,4	0,3	0,1	0,9	0,5	0,2
160	0,2	0,2	0,0	0,4	0,3	0,1	0,6	0,4	0,1	1,4	0,8	0,3
200	0,2	0,2	0,1	0,5	0,4	0,1	0,7	0,5	0,2	1,7	0,9	0,4
250	0,3	0,3	0,1	0,6	0,4	0,2	0,9	0,6	0,2	2,1	1,2	0,5
315	0,3	0,3	0,1	0,8	0,5	0,2	1,1	0,7	0,3	2,6	1,4	0,6
355	0,4	0,4	0,1	0,9	0,6	0,2	1,3	0,8	0,3	2,9	1,6	0,7
400	0,4	0,4	0,1	1,0	0,7	0,2	1,4	0,9	0,4	3,2	1,8	0,8
450	0,5	0,5	0,1	1,1	0,8	0,3	1,6	1,0	0,4	3,5	2,0	0,9
500	0,5	0,5	0,1	1,2	0,8	0,3	1,7	1,1	0,4	3,9	2,2	1,0

Opmerking:

G_B: breedte erosiezone parallel gelegen leiding

G_L: lengte erosiezone parallel gelegen leiding

¼G_B: breedte erosiezone kruisende leiding

tabel C.2: afmetingen erosiezone gasleidingen in zand (vochtgehalte 5%)

diameter [mm]	inwendige druk [bar]											
	0,2			1			2			4		
	G _B [m]	G _L [m]	¼G _B [m]	G _B [m]	G _L [m]	¼G _B [m]	G _B [m]	G _L [m]	¼G _B [m]	G _B [m]	G _L [m]	¼G _B [m]
25	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,3	0,1	0,1
50	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2	0,1	0,5	0,3	0,1
110	0,2	0,2	0,1	0,5	0,3	0,1	0,8	0,4	0,2	1,1	0,6	0,3
160	0,3	0,2	0,1	0,8	0,5	0,2	1,1	0,6	0,3	1,6	0,9	0,4
200	0,4	0,3	0,1	0,9	0,6	0,2	1,3	0,8	0,3	2,0	1,1	0,5
250	0,5	0,4	0,1	1,1	0,7	0,3	1,6	0,9	0,4	2,4	1,3	0,6
315	0,6	0,5	0,2	1,4	0,9	0,3	2,0	1,2	0,5	3,0	1,7	0,7
355	0,7	0,5	0,2	1,6	1,0	0,4	2,2	1,3	0,6	3,3	1,8	0,8
400	0,8	0,6	0,2	1,7	1,1	0,4	2,5	1,4	0,6	3,7	2,0	0,9
450	0,8	0,6	0,2	1,9	1,2	0,5	2,8	1,6	0,7	4,1	2,3	1,0
500	0,9	0,7	0,2	2,1	1,3	0,5	3,0	1,8	0,8	4,5	2,5	1,1

Opmerking:G_B: breedte erosiezone parallel gelegen leidingG_L: lengte erosiezone parallel gelegen leiding¼G_B: breedte erosiezone kruisende leiding

BIJLAGE D

VERWEKINGSZONE EN EXPLOSIIEKRATER GASLEIDINGEN

tabel D.1: afmetingen verwekingszone en explosiekrater gasleidingen

diameter [mm]	inwendige druk [bar]																	
	0,2			1			2			4			8			16		
	E _L [m]	E _k [m]	Exp [m]	E _L [m]	E _k [m]	Exp [m]	E _L [m]	E _k [m]	Exp [m]	E _L [m]	E _k [m]	Exp [m]	E _L [m]	E _k [m]	Exp [m]	E _L [m]	E _k [m]	Exp [m]
25	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	0,7	0,3	0,1
50	0,2	0,1	0,0	0,3	0,2	0,0	0,5	0,2	0,1	0,7	0,3	0,1	1,0	0,5	0,2	1,4	0,7	0,2
110	0,3	0,2	0,1	0,8	0,4	0,2	1,1	0,5	0,3	1,5	0,8	0,4	2,2	1,1	0,6	3,1	1,5	0,9
160	0,5	0,2	0,1	1,1	0,6	0,3	1,6	0,8	0,5	2,2	1,1	0,8	3,1	1,6	1,2	4,5	2,2	1,7
200	0,6	0,3	0,2	1,4	0,7	0,5	2,0	1,0	0,7	2,8	1,4	1,1	3,9	2,0	1,7	5,6	2,8	2,5
250	0,8	0,4	0,3	1,7	0,9	0,7	2,5	1,2	1,1	3,5	1,7	1,6	4,9	2,5	2,4	7,0	3,5	3,6
315	1,0	0,5	0,4	2,2	1,1	1,0	3,1	1,5	1,6	4,4	2,2	2,3	6,2	3,1	3,5	8,8	4,4	5,3
355	1,1	0,6	0,5	2,5	1,2	1,3	3,5	1,7	1,9	4,9	2,5	2,8	7,0	3,5	4,3	9,9	4,9	0,6
400	1,2	0,6	0,6	2,8	1,4	1,5	3,9	2,0	2,3	5,6	2,8	3,4	7,9	3,9	5,1	11,1	5,6	1,5
450	1,4	0,7	0,7	3,1	1,6	1,8	4,4	2,2	2,8	6,3	3,1	4,1	8,9	4,4	6,2	12,5	6,3	2,1
500	1,6	0,8	0,8	3,5	1,7	2,2	4,9	2,5	3,3	7,0	3,5	4,9	9,8	4,9	1,2	13,9	7,0	2,6

Opmerking:E_L: breedte verwekingszone parallel gelegen leidingE_k: lengte verwekingszone kruisende leidingExp: max. straal explosieve zone (max. waarde t_p:r)

BIJLAGE E

VERSTORINGSZONE DN 1200 / 16 BAR VLOEISTOFLEIDING

Lieveense

Veiligheidszone vloeistofleidingen (NEN 3651)

Project: Verstoringzones in het kader van de vijfjaarlijkse toetsing
Leiding: DN 1200 vloeistofleiding, ontwerpdruk 16 bar
Datum: 08-08-2008
Code: WRVR

Invoerparameters

Uitwendige diameter	D_u	1200 mm
Wanddikte	t_n	0 mm
Werkdruk	P_0	16 bar
Ontwerpdruk	P_d	16 bar
Stroomsnelheid	v	2 m/s
Dekking	h	1 m
Medium		water -
Dichtheid water, bij omgevingsdruk	ρ	1000 kg/m ³
Type gat		groot -
Hoogteverschil kruin waterkering en maaiveld	H	m

Tussenresultaten

Maximale drukhoogte	$H_{\max}$	163,1 m.v.k.
Pompcapaciteit	$Q_{\max}$	2,26 m ³ /s
Debiet bij rendementspunt	Q_0	1,31 m ³ /s
Veronderstelde drukhoogte bij rendementspunt	H_0	109,3 m.v.k.
Veronderstelde stroomsnelheid bij rendementspunt	v_0	1,16 m/s

Resultaten NEN 3651: rekenwijze volgens pompkarakteristiek

Halve breedte ontgrondingskuil	R_B	20,7 m
Halve lengte ontgrondingskuil	R_L	20,7 m

BIJLAGE F

VERSTORINGSZONE DN 1200 / 80 BAR GASLEIDING

Lieveense

Veiligheidszone gasleidingen (NEN 3651)

Project: Verstoringzones in het kader van de vijfjaarlijkse toetsing
Leiding: DN 1200 gasleiding, ontwerpdruk 80 bar
Datum: 08-08-2008
Code: WRVR

Invoerparameters

Uitwendige diameter	D_u	1220	1220 mm
Wanddikte	t_n	0	0 mm
Werkdruk	P_0	80	80 bar
Ontwerpdruk	P_d	80	80 bar
Stroomsnelheid ter plaatse van opening	v	20	20 m/s
Dekking	h	1	1 m
Vochtgehalte van de grond	w	5	5 %
Vochtafhankelijke constante	$R(w)$	0,02	0,04 -
Dichtheid gas, bij omgevingsdruk	ρ	0,8334	0,8334 kg/m ³
Hoogteverschil kruin waterkering en maaiveld	H		m

Resultaten: verstoringzone t.g.v. erosie

Diepte van de kuil	D	2,0	3,0 m
Impulsflux van de straal	i	11876904	11876904 N
Maximaal haalbare impulsflux	i_{max}	1020997	1020997 N
In rekening te brengen impulsflux	i	1020997	1020997 N
Breedte van de erosiekuil (parallelle leiding)	G_B	27,2	60,0 m
Lengte van de erosiekuil (parallelle leiding)	G_L	14,2	30,6 m
Breedte van de erosiekuil (kruisende leiding)	G_B	27,2	60,0 m
Lengte van de erosiekuil (kruisende leiding)	G_L	6,8	15,0 m

Resultaten: verstoringzone t.g.v. verweking

Verwekingszone (parallelle leiding)	E_1	75,9	75,9 m
Verwekingszone (kruisende leiding)	E_k	38,0	38,0 m

Resultaten: erosiekrater

Straal explosiekrater	t	4,6	4,6 m
Straal plastische zone rondom explosiekrater	t_p	13,8	13,8 m
straal plastische zone i.g.v. van kwetser	r	---	--- m

Conclusie

Veiligheidszone parallelle leiding		75,9	75,9 m
Veiligheidszone kruisende leiding		38,0	38,0 m