



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

Onderwerp

Lekkage proeven ter simulatie van het falen van waterleidingen

1 Doelstelling

Het falen van een waterleiding kan invloed hebben op nabijgelegen verschillende soorten boven- en ondergrondse infrastructuur of waterkeringen.

Bij het falen van een waterleiding kan een groot lek ontstaan (een gapend lek) of er kan een klein lek ontstaan (een sluipend lek). Bij een gapend lek kan ontgroning optreden. Bij een sluipend lek stijgt de waterspanning en neemt daardoor de sterkte van de grond rondom de leiding af. Het debiet dat door het lekkage-gat kan uitstromen bepaalt of er een gapend lek of een sluipend lek ontstaat. Naast de afmeting van het lekkage-gat en de druk in de waterleiding is dit kritische debiet ook nog afhankelijk van de grondsoort en de diepteligging van de leiding. Bij ontstaan van een gapend lek worden het maximale debiet en de druk ter plaatse van het lek bij opgetreden ontgroning bepaald door de kenmerken van het leidingnetwerk (zoals pompstations en klepinstellingen).

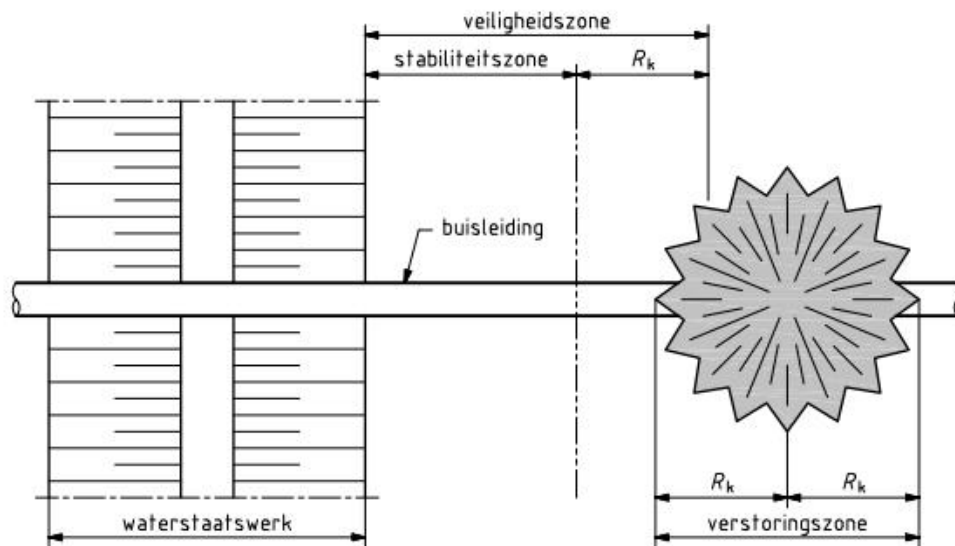
De doelstelling van het onderzoek met het uitvoeren van lekkageproeven die het falen van (pers-)waterleidingen simuleren is het vaststellen van de ontgroning, het meten van de waterstanden/-spanningen in de ondergrond en het vaststellen van de overgang van een sluipend lek naar een gapend lek, zodat deze kunnen worden vergeleken met de resultaten van verbeterde voorspellingsmodellen. Bij een positief resultaat kunnen de huidige modellen, die beperkingen hebben hierop worden aangepast.

Er wordt momenteel gewerkt aan de opzet van een proevenprogramma in de Hedwige/-Prosper polder met o.a. bresgroeiproeven en infiltratieproeven. Stowa heeft een belangrijke rol bij deze opzet. Het team van de Projectoverstijgende Verkenning Kabels en Leidingen (POV-K&L) dat onder andere onderzoek doet naar lekkende waterleidingen zou graag de mogelijkheden tot samenwerking met Rijkswaterstaat, TU Delft en Vewin 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 vloeistofleidingen op waterkeringen beschreven. In deze norm worden formules gegevens om het effect van falen van waterleidingen te kwantificeren. Er zijn formules beschikbaar voor de omvang van de erosiekrater bij een gapend lek (kraterstraal R_k en diepte krater D_k). Deze formules zijn gebaseerd op modelonderzoek uitgevoerd bij het Waterloopkundig Laboratorium begin jaren '70. Er zijn geen formules beschikbaar voor de zone met verhoogde waterspanningen bij een sluipend lek.

De bepaling van de erosiekrater is beschreven in NEN 3651. In de onderstaande figuur is de schematisatie uit de NEN 3651 weergegeven. In bijlage A zijn formules voor de bepaling van R_k en D_k uit de NEN 3651 opgenomen.



Figuur 2.1 Ontgrondingskrater bij een fakkende leiding

3 Onderzoeksvragen

De bestaande formules c.q. ontwerpregels om kraterafmetingen te bepalen hebben beperkingen. Ze zijn vastgesteld op basis van conservatieve uitgangspunten. Voor de grondsoort waarin de leiding zich bevindt, wordt in de beschikbare formules uitgegaan van fijn zand. Uitsluitend ondiep gelegen leidingen, dus met geringe gronddekking boven de leiding, worden beschouwd.

Om de bestaande formules te toetsen, te verbeteren en specifieker te maken voor de relevante situaties in de praktijk, zoals verschillende grondsoorten en uit te breiden met een sluipend lek is onderzoek noodzakelijk. De doelstelling die hiervoor is beschreven is vertaald in de volgende onderzoeksvragen:

- 1 Hoe hangen de diepte en de diameter van de krater samen met de lekgrootte, de druk in de leiding, de diepte van het lek en de grondsoort?
- 2 Wat is de invloed van de locatie van het lek in de leiding op de kraterafmetingen en wat is de vorm van de krater?
- 3 Wanneer is er sprake van een sluipend lek en hoe groot is de zone met een verhoogde grondwaterstand/spanning?

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 proefresultaten. Daarna kunnen deze modellen worden toegepast om verbeterde ontwerpregels te ontwikkelen en op te nemen in NEN 3651.

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-/Prosperpolder ter beantwoording van de onderzoeksvragen wordt de hieronder beschreven proefopzet voorgesteld

Proeven ter plaatse van vlak maaiveld op een aan te leggen leiding met variatie in:

- Diepteligging; lekdiepte 1,3 m (ondiep) en 2,6 m (diep)
- Grondsoort; zandgrond, kleigrond
- Lekgrootte; 0,002 m² en 0,01 m² (voorlopige inschatting, is afhankelijk van de beschikbare equipment)
- Lekrichting; opwaarts, neerwaarts en zijwaarts

Per proef wordt begonnen met een lage druk zodat er een sluipend lek zal ontstaan. Daarna wordt de druk verder opgevoerd om een gapend lek te veroorzaken. Bij elke proef per grondsoort en diepteligging zal de eind druk een andere waarde hebben. Per proef zal bij uitvoering in zand de waterspanning worden gemeten op 3 afstanden vanaf het lek. Na het afronden van de proef zal de krater worden ingemeten.

De leiding met aan het uiteinde een lekkage gat wordt door een HDD-rig op een verdiept niveau op een grond verdringende wijze (eventueel met fluidisatie om compactie te vermijden) in de grond geduwd, zodat lekwegen langs de leiding kunnen worden vermeden.

De opzet voor de proeven is in de onderstaande tabel uitgewerkt.

Nr.	grond	diepte (m)	gatgrootte *(m ²)	richting	Druk * (bar)
1	zand	1,3	0,002	opw	1-4
2	zand	1,3	0,002	opw	1-5
3	zand	1,3	0,002	opw	1-6
4	zand	2,6	0,002	opw	1-4
5	zand	2,6	0,002	opw	1-5
6	zand	2,6	0,002	opw	1-6
7	zand	1,3	0,01	opw	1-4
8	zand	1,3	0,01	opw	1-5
9	zand	1,3	0,01	opw	1-6
10	zand	2,6	0,01	opw	1-4
11	zand	2,6	0,01	opw	1-5
12	zand	2,6	0,01	opw	1-6
13	zand	1,3	0,002	zijw	1-5
14	zand	1,3	0,002	neerw	1-5
15	zand	1,3	0,01	zijw	1-5
16	zand	1,3	0,01	neerw	1-5
17	klei	1,3	0,002	opw	1-4
18	klei	1,3	0,002	opw	1-6
19	klei	2,6	0,002	opw	1-4
20	klei	2,6	0,002	opw	1-6
21	klei	1,3	0,01	opw	1-4
22	klei	1,3	0,01	opw	1-6
23	klei	2,6	0,01	opw	1-4
24	klei	2,6	0,01	opw	1-6

* Voorlopige inschattingen gat grootte en druk. Moet nog definitief worden vastgesteld afhankelijk van de beschikbare equipment.

Tabel 5.1 Opzet proeven Hedwige-/Prosper polder (afstand tussen de proeven ca 40 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 Rijkswaterstaat en de TU Delft, Deltares, het team van de POV-KL en Vewin zal nog afstemming moeten plaatsvinden met betrekking tot de kosten en de planning.

Bijlage A NEN 3651 formules

De halve breedte van de geërodeerde kuil, gemeten loodrecht op de lengte-as van de buisleiding (zie ook figuur A.1.a en figuur A.1.b), kan worden beschreven met de volgende formule, ontleend aan [36]:

$$R_B = 7,8 \times d_g \times \left(\frac{P}{\rho \times g^{1,5} \times \mu \times d_g^{3,5}} \right)^{0,243}$$

waarin:

- R_B is de halve breedte van de ontgrondingskuil, in m;
- d_g is de middellijn van het door lek of breuk veroorzaakte gat in de leiding ($0 \leq d_g \leq D_i$), in m;
- D_i is de inwendige middellijn van de leiding, in m;
- ρ is de dichtheid van de vloeistof in kg/m^3 ;
- g is de versnelling van de zwaartekracht in m/s^2 ;
- μ is de afvoercoëfficiënt van het door lek of breuk veroorzaakte gat (= 0,6 voor een klein gat bij hoge druk en 1 voor een groot gat bij lage druk);
- P is het hydraulisch vermogen van de uitstroming = $\rho \times g \times Q \times h$, in W;
- h is de maatgevende drukhoogte ter plaatse van het gat, in m;
- Q is het debiet door het gat, in m^3/s .

Het debiet dat uit het gat stroomt, is afhankelijk van de lokale druk, de gatgrootte d_g en de afvoercoëfficiënt μ . Voor diverse waarden van d_g behoort een berekening te worden uitgevoerd, waarbij de waarde voor d_g varieert ($0 \leq d_g \leq D_i$). De gatgrootte waarbij de grootste waarde voor R_B optreedt, is maatgevend.

De waarde μ wordt bepaald door de inwendige drukhoogte en kan worden berekend met de formule:

$$\mu = 0,0002h^2 - 0,02h + 1 \text{ of } \mu = 0,5 \text{ indien geldt } h > 50 \text{ mwk.}$$

De lengte van de erosiekrater ter weerszijden van het lek is R_L .

De grootte van R_L is afhankelijk van de grootte van het lek en de mogelijkheid van volledige afschuiving.

Zonder volledige afschuiving (zoals voor staal) geldt:

— voor een klein gat: $R_L = 0,5 R_B$;

— voor een groot gat: $R_L = R_B$.

Met volledige afschuiving geldt: $R_L = 2 R_B$.

Datum
26 februari 2019

Pagina
9 van 10

Voor de diepte van de ontgrondingskuil kan worden aangehouden:

$$D_K = 1,2 (D_o + H)$$

waarin:

D_o is de uitwendige middellijn van de leiding, in m;

H is de gronddekking op de kruin van de leiding, in m.

