

Breuk drinkwatertransportleiding naar Texel, zomer 2013

George Mesman (KWR), Ilse Dingerdis (PWN), Piet Beers (PWN)

In de zomer van 2013 kwam de drinkwatervoorziening van Texel in het nieuws door een breuk in één van de twee voedende leidingen van het eiland. Met verschillende maatregelen heeft PWN de drinkwatervoorziening gedurende de zomer overeind kunnen houden. Tegelijkertijd is er een onderzoek gestart naar de mogelijke oorzaken van de breuk. Hieruit komt een keten van gebeurtenissen naar voren die allemaal samen hebben geleid tot breuk. De basis voor de breuk ligt in het uit de bodem vrijkomen van de leiding waardoor deze in de eb- en vloedstroom is gaan 'kwispelen'. Hierbij raakte de wand afgesleten en zijn de materiaalspanningen te hoog geworden.

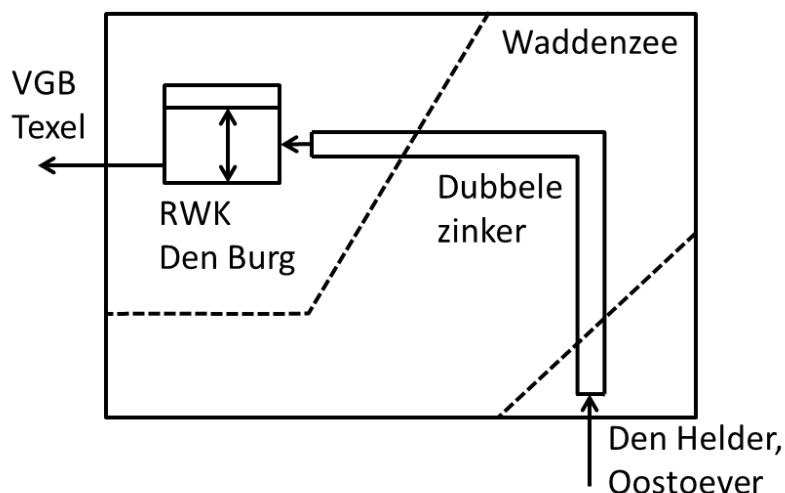
Texel wordt van drinkwater voorzien vanuit Den Helder, via twee zinkerleidingen over de bodem van de Waddenzee. Op 27 juni 2013 kwam de drinkwatervoorziening van Texel in het nieuws. Door de breuk van één van de twee zinkers tussen den Helder en Texel werd de leveringscapaciteit van drinkwater aan het eiland gehalveerd. Met de zomerperiode en een toename van het aantal toeristen in het vooruitzicht was de situatie ernstig.

PWN heeft na het constateren van het probleem de betreffende leiding dichtgezet en de drinkwaterlevering aan Texel met een aantal maatregelen zekergesteld. Normaal gesproken heeft de tweede leiding meer dan voldoende capaciteit om de 14.000 inwoners en de circa 45.000 toeristen die zich in deze periode ook op het eiland bevinden van voldoende drinkwater te voorzien. Op een drukke zomerdag wordt op het eiland circa 4.500 m³ drinkwater verbruikt. Dat is voor één leiding geen probleem. Vanwege de verwachte aanhoudende hittegolf eind juli, besloot PWN echter geen risico te nemen en vervoerde het bedrijf twee dagen lang extra drinkwater naar Texel. Tien speciale tankwagens brachten twee keer per dag elk 30.000 liter drinkwater naar de reinwaterkelder in Den Burg op het eiland. Vervolgens is er een tijdelijke mobiele zuiveringsinstallatie in Den Burg geplaatst om ter plekke extra drinkwater te produceren. Deze RO-unit (Reverse Osmosis) werd gehuurd van collega-waterbedrijf Evides Industriewater.

Er is onderzocht hoe de breuk kon ontstaan. Dat wordt in dit artikel beschreven. Met de opgedane kennis kan de kans op breuk in de overgebleven leidingdelen beter ingeschat worden.

Leidingsituatie

Het drinkwatertransportsysteem tussen Den Helder en het Waddeneiland Texel is aangelegd in 1988 en bestaat uit een ruim 7 km lange dubbele zinker van polyetheen (PE80). De onderlinge afstand tussen de twee leidingen bedraagt 100 m. Het systeem wordt gevoed via de opjager De Stolpen (ten noorden van Alkmaar) en de opjager Oostoever in Den Helder. De opjager Oostoever wordt ingeschakeld bij hoge vraag op Texel. In afbeelding 1 is de zinkersituatie weergegeven met daarin de meetpunten (bij de pijltjes) voor volumestroom, druk en reservoirhoogte in het systeem. Met deze set metingen is dit systeem één van de intensiefst bemeten drinkwatertransportleidingen in Nederland.



Afbeelding 1. Schematische weergave zinkersituatie Texel

RWK = reinwaterkelder; VGB = voorzieningsgebied

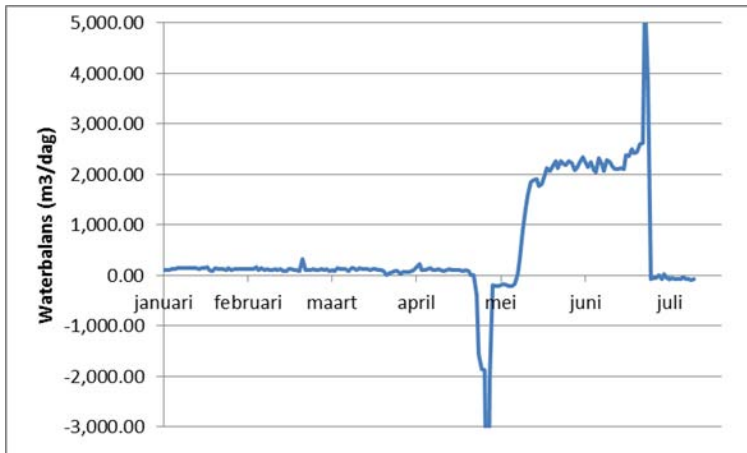
De zinkers kruisen in de Waddenzee het Balgzand (zandplaat), het Malzwin (stroomgeul), de Bollen (zandplaat en de Texelstroom (stroomgeul)). Ten zuiden van Oude Schild komen de zinkers aan wal. Vervolgens wordt het drinkwater onder lage druk afgeleverd in de reinwaterkelder (RWK) Den Burg van waaruit het over Texel gedistribueerd wordt. Afgezien van de reinwaterkelder bestaan er onder normale omstandigheden geen verbindingen tussen dit transportsysteem en het distributiesysteem op het voorzieningsgebied (VGB) Texel.

Meetgegevens

Uit alle geregistreerde gegevens kan worden afgeleid welke incidenten mogelijk het probleem veroorzaakt hebben. Elke minuut worden de volumestromen en de drukken momentaan geregistreerd en de gesommeerde volumestromen worden elk kwartier bepaald. Specifiek meet men hierbij:

- 1 volumestroom uitgaand bij opjager Oostoever (Den Helder)
- 2 druk uitgaand bij opjager Oostoever (Den Helder)
- 3 volumestroom ingaand bij RWK Den Burg
- 4 volumestroom uitgaand bij RWK Den Burg
- 5 druk uitgaand bij RWK Den Burg
- 6 inhoud van RWK Den Burg

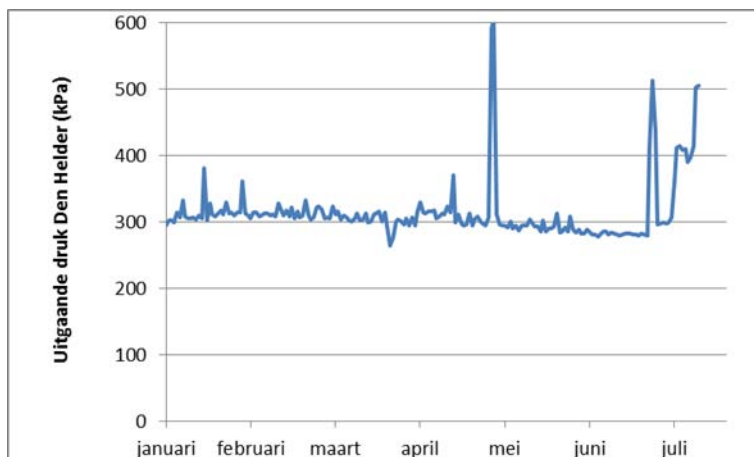
Voor de analyse van de bedrijfsvoering is gebruik gemaakt van de gegevens over de periode 1 januari 2013 – 15 juli 2013. Uit de volumestromen over het zinkersysteem is de waterbalans (uitgaand oostoever minus ingaand RWK Den Burg) op te stellen, zie afbeelding 2. Als de balans positief is, gaat er meer water het systeem in dan dat eruit gaat en is er een niet gemeten lekstroom. Een negatieve balans in dit systeem is opmerkelijk, want dat betekent dat er meer water uit komt dan erin gaat. Beide fenomenen komen voor, zoals in afbeelding 2 te zien is, en een nadere analyse is dus op zijn plaats.



Afbeelding 2. Waterbalans zinkersysteem Den Helder – Texel

In de waterbalans vallen de volgende zaken op:

- De waterbalans is gedurende het eerste deel van de meetperiode (tot half maart) continu positief. Deze hoeveelheid schommelt rond 120 m³/dag. Na half maart sluit de dagelijkse balans iets lager, rond de 90 m³/dag. De sluitfout in de balans in deze periode is nog niet verklaard.
- Op 24 april gaat de balans naar beneden tot -6800 m³/dag op 30 april. De uitgaande volumestroom in Den Helder bedraagt 7160 m³/dag terwijl er 13.967 m³/dag in Den Burg ingelaten wordt. Volgens opgave is er in die periode een schakelfout gemaakt met afsluiters op Texel waarbij een hoeveelheid water rondgepompt is tussen de hoge druk pompen van de kelder en de lage druk inlaat van de kelder Den Burg. Vanuit den Helder is er steeds een positieve waterstroom gemeten met als minimum 0 m³/uur in de nacht van 1 mei tussen 2:30 en 7:30 uur.
In de schakelingen rond dit incident is de begindruk op de het zinkersysteem opgelopen tot 600 kPa op 30 april rond 11:00 uur en op 1 mei rond 8:00 uur, zie afbeelding 3.
- Op 2 mei is de situatie genormaliseerd waarbij de waterbalans sluit op -200 m³/dag. Er is geen duidelijke oorzaak voor deze afwijking gevonden.
- Vanaf 11 mei begint de waterbalans op te lopen tot 1600 m³/dag op 15 mei en verder tot 2600 m³/dag op 26 juni. In deze periode is een verlies opgetreden van 90.000 m³.
- Op 27 juni bedraagt de waterbalans 5500 m³/dag. De vulling van de reinwaterkelder loopt hierbij terug. De afsluiters van de oostelijke zinkerleiding worden dichtgedraaid en de situatie normaliseert zich gedurende de dag op 28 juni.
- Vanaf 29 juni is de oostelijke zinkerleiding permanent gesloten en wordt er alleen water geleverd via de westelijke zinkerleiding. De waterbalans sluit rond -70 m³/dag gedurende deze periode. De begindrukken in Den Helder lopen op vanwege de hoge weerstand in de zinkerleiding als gevolg van de beperkte capaciteit van deze enkele zinkerleiding.



Afbeelding 3. Uitgaande maximumdruk per dag bij Den Helder

Schademateriaal

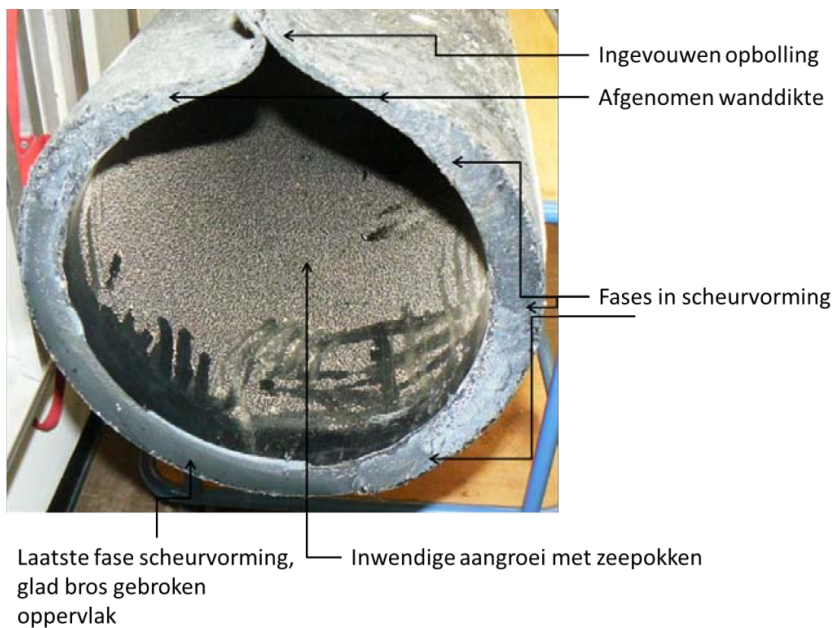
In opdracht van PWN zijn delen van de beschadigde zinker verzameld voor nader onderzoek. Dit materiaal is afkomstig van de breuk in de zinkerleiding. Nadat de zinkerleiding is gebroken, is het deel ten zuiden van de breuk boven komen drijven (polyetheen (PE) is met een soortelijke massa van 954 kg/m^3 lichter dan zeewater). Van dit drijvende deel zijn in eerste instantie drie stukken van ongeveer twee meter lengte afgezaagd. Van deze drie leidingdelen is één deel ter beschikking gesteld aan Pipelife (DrakaPolva) en één deel aan KWR Watercycle Research Institute. Het derde deel is niet verder onderzocht.

Pipelife heeft op het leidingdeel een barstdrukproef en een Oxidation Induction Time (OIT)-meting uitgevoerd. In de barstdrukproef bedroeg de ingestelde wandspanning 12,8 MPa. Het buisdeel is daaraan niet binnen 100 uur bezweken. Hiermee wordt ruim voldaan aan de keuringseis voor dit materiaal van 11,5 MPa gedurende 100 uur (Kiwa BeoordelingsrichtLijn BRL K533/02). In de Oxidation Induction Time-meting bij 200°C wordt voor de twee monsters gemiddeld 56 minuten gemeten. Hiermee wordt voldaan aan de eis van 20 minuten bij 200°C in BRL K17105. Geconcludeerd wordt dat het falen niet aan veroudering of degradatie van het leidingmateriaal kan worden toegeschreven.

Het deel dat ter beschikking is gesteld aan KWR is met Strain Hardening (SH) gekwalificeerd als PE80. Het materiaal uit 1988 voldoet aan de huidige verwachtingen.

Het breukvlak is visueel onderzocht. Afbeelding 4 is een foto van het breukvlak. Hierin zijn de verschillende fases van het breukproces herkenbaar.

Na enkele weken is de rest van het losse leidingdeel boven water gehaald. Dit vertoont op enkele plaatsen een afgenomen wanddikte zoals ook in afbeelding 4 zichtbaar is. Verder is er geen schade op dat deel aangetroffen.



Afbeelding 4. Dwarsbreuk in de leiding (bovenkant foto is onderkant leiding)

Eerder onderzoek

De leiding is in 1988 is aangelegd. Hierbij is de leiding bestort om de stabiliteit te waarborgen. Bij metingen is gebleken dat de gewenste dekking van stortsteen boven de leiding niet altijd aanwezig was. Wanneer nodig is een nieuwe bestorting aangebracht om de stabiliteit van de leiding te waarborgen zijn. In de jaren 2009 – 2010 zijn twee onderzoeken uitgevoerd naar de belastingen op de zinkers en de liggingssomstandigheden van de zinkers. Uit het belastingonderzoek komt naar voren dat bij de maximale stroomsnelheid van de eb- of vloedstroom de toegestane vrije overspanning ('free span': niet afgedekte of ondersteunde lengte van de leiding) 60 meter is. Als de vrije overspanning groter is, worden de spanningen in de leiding te groot. Het onderzoek naar de liggingssomstandigheden gaf aan dat de bodem van de Texelstroom niet stabiel is rond de zinkers. Bovendien hebben de bestortingen in een aantal gevallen onvoldoende filterwerking waardoor het zand door de bestorting weg spoelt bij de optredende stroomsnelheden en de bestorting niet stabiel is.

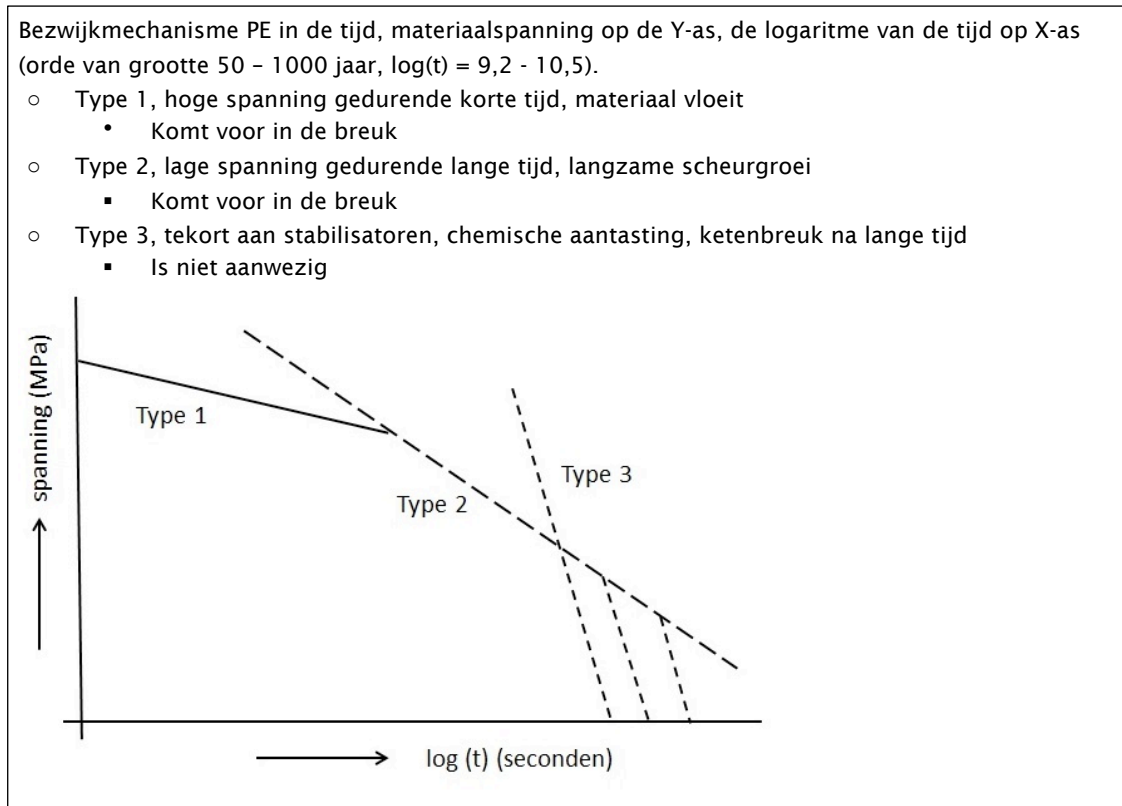
Oorzaken van het falen

Verschillende belastingen leiden tot verschillende mechanismes van bezwijken van PE (zie afbeelding 5):

- type 1, veel te hoge spanning, materiaal vloeit
- type 2, enigszins te hoge spanning, langzame scheurgroei
- type 3, tekort aan stabilisatoren, chemische aantasting, ketenbreuk

In de gebroken zinker zijn de breuktypen 1 en 2 aanwezig. In het deel van de buiswand dat erg dun was geworden, is een taaie vervorming opgetreden met grote rek. De karakteristieke bolling op de buis is aanwezig geweest, maar door inwendige materiaalspanning in de buis is de bolling ingevouwen op het moment dat de buis drukloos werd, zie afbeelding 6. De spanning in het materiaal heeft de vloeigrens van het materiaal overschreden. Er kunnen twee oorzaken worden aangewezen voor deze hoge materiaalspanning, namelijk de afnemende

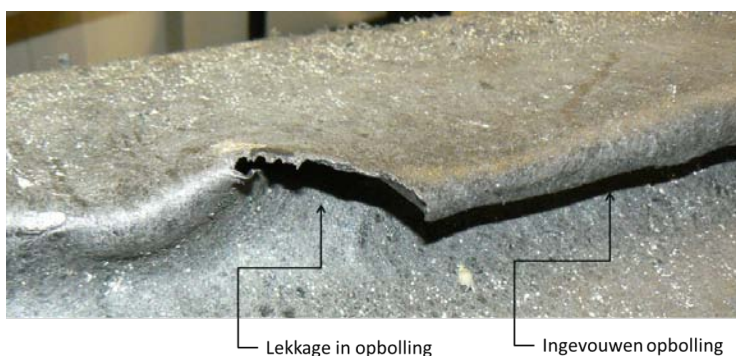
wanddikte, en de netschakeling rond eind april waarbij de uitgaande druk in Den Helder is opgelopen tot 600 kPa.



Afbeelding 5. Breuk in PE kan verschillende oorzaken hebben

Op de bolling is de buiswand plaatselijk volledig doorgesleten. De perforaties in dit deel van de leiding zijn enkele cm^2 groot en rafelig aan de randen, zie afbeelding 6.

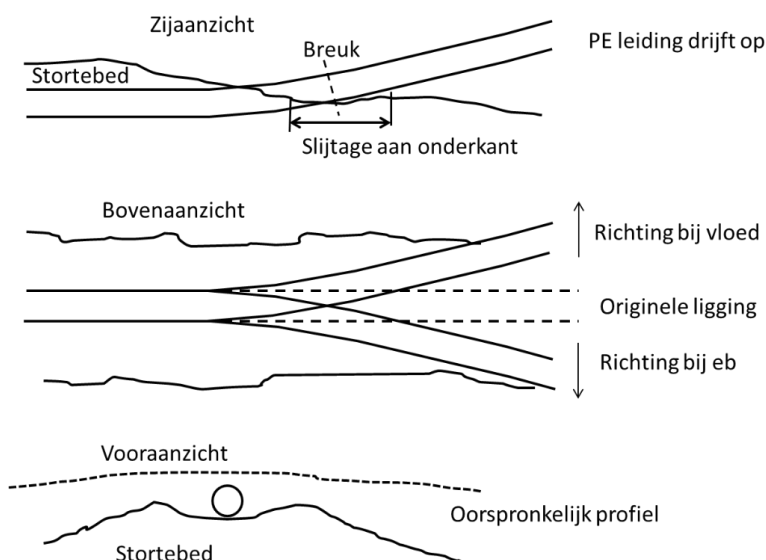
De dwarsbreuk in de leiding is een brosse breuk die in fasen is opgetreden (zie de aanduiding 'fasen in scheurvorming' in afbeelding 5).



Afbeelding 6. Vervorming als gevolg van een hoge materiaalspanning

De ligging van de leiding voordat de breuk optrad is schematisch weergegeven in afbeelding 7. De leiding is bloot komen te liggen door ontgraving rond de leiding als gevolg van de hoge watersnelheden die bij de eb- en vloedstroom optreden, en ligt in vrije overspanning. De PE-leiding gevuld met drinkwater is lichter dan zeewater en de leiding drijft op. De opwaartse

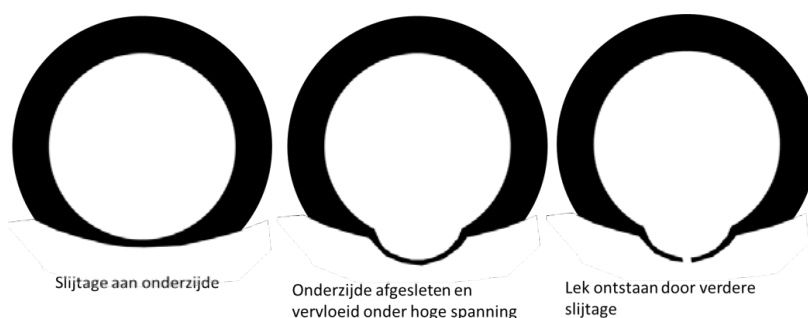
kracht bedraagt 40 N/m. Omdat de leiding opdrijft, ondervindt hij de volledige sleepkracht van de eb- en vloedstroom. Deze is bepaald op 473 N/m¹, en wisselt vier maal per dag van richting. De leiding schuurt hierdoor vier maal per dag over de bodem op het punt waar hij het stortebed verlaat. Omdat de leiding opdrijft is de lengte waarover hij over de bodem schuurt beperkt. Bij een visuele inspectie van het leidingdeel dat blootgelegd heeft, zijn zware slijtagesporen aangetroffen aan de noordelijke (Texelse) zijde van de breuk en lichtere aan de zuidelijke (Den Helderse) zijde.



Afbeelding 7. Schematische weergave van de leidingligging in vrije overspanning.

Oorspronkelijke ligging en profiel in stippellijn.

Omdat de wanddikte ter plaatse van de slijtplekken steeds verder is afgenomen, lopen de spanningen in het materiaal op. Bij de drukverhoging van eind april zijn de tangentiële wandspanningen zover opgelopen dat het materiaal is gaan vloeien op het punt met de kleinste wanddikte. Bij de geconstateerde druk in Den Helder van 600 kPa en een volumestroom van 480 m³/uur over de twee leidingen heerste er ter plaatse van de breuk een overdruk in de leiding van ongeveer 450 kPa. Bij deze inwendige druk en een vloeispanning van dit materiaal van 24 MPa zal bij een wanddikte van ongeveer 3 mm het materiaal vloeien. De wanddikte in het vervloeide deel bedraagt minder dan 3 mm. Bij het vloeien wordt de aanwezige wand verder uitgerekt en ontstaat een nog dunnere wand. Op deze plaats zijn de eerste lekkages ontstaan, het proces is schematisch weergegeven in afbeelding 8.

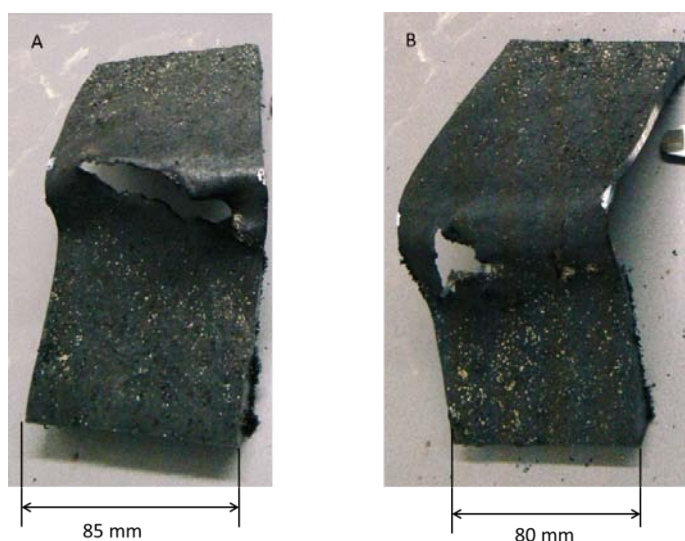


Afbeelding 8. Schematische weergave van het ontstaan van een lek

Met het afnemen van de wanddikte door de slijtage namen de spanningen toe. Hierdoor ontstond in de dwarsrichting langzame scheurgroei, wat te zien is aan de kenmerkende brose breuk met een glad breukoppervlak.

Ontwikkeling lekkage

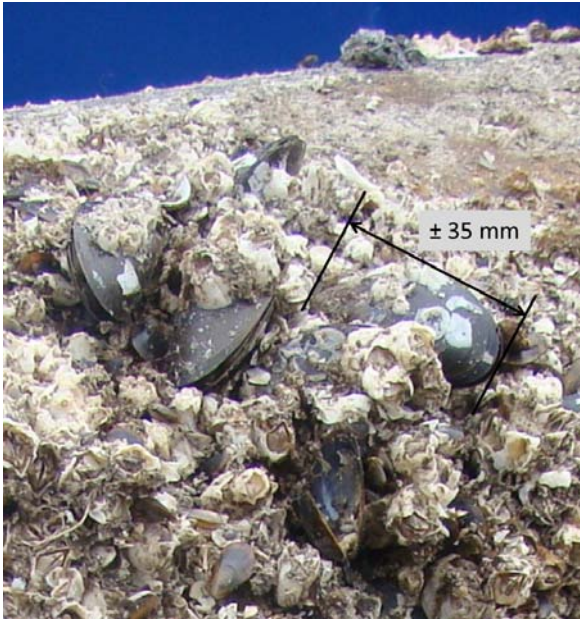
Uit de waterbalans van het zinkersysteem is de ontwikkeling van de lekkage te volgen. Vanaf 11 mei blijken de lekkages aanwezig te zijn. De balans sluit vanaf die datum op ongeveer 2000 m³/dag. Dit betekent een volumestroom over de lekken van 85 m³/uur. Bij een drukverschil over het lek van 150 Pa zou theoretisch het oppervlak van het lek ongeveer 1400 mm² moeten zijn. Later in de tijd heeft het lek zich ontwikkeld tot 2500 m³/dag (105 m³/uur). Het theoretische oppervlak van het lek bedraagt dan ongeveer 1600 mm². In afbeelding 9 zijn de in het onderzoeksmateriaal aanwezige beschadigingen vastgelegd. Hierbij is het in elkaar gevouwen deel van de leidingwand opengevouwen. De theoretische grootte komt redelijk overeen met gevonden lekken in het onderzochte buisdeel. In deel A van afbeelding 9 is de gatgrootte 60 x 15 mm² = 900 mm². In deel B zijn een driehoekig scheurtje van 30 x 20/2 mm² = 300 mm² en een langwerpige scheurtje van 20 x 5 mm² = 100 mm² te zien, tezamen 1300 mm². Onder de inwendige druk is er vervorming van de buiswand opgetreden waardoor de geconstateerde gatgrootte slechts een schatting is. Ook bestaat de mogelijkheid dat er in het leidingdeel ten noorden van de breuk nog scheurtjes aanwezig zijn.



Afbeelding 9. Lekken in de het onderzoeksmateriaal

Duur van de blootligging

Het is interessant na te gaan hoe lang de buis mogelijk niet ondersteund is geweest en dus bloot heeft gelegen, omdat de zinkers regelmatig gecontroleerd zijn en dit niet geconstateerd is. Op het vrijgekomen leidingdeel is aangroei van zeepokken, mosselen en zeewier aanwezig. De begroeiing verschilt sterk van plaats tot plaats. Op sommige delen is alleen broed van zeepokken van enkele mm doorsnede aanwezig. Dit broed is van zeer recente datum, omdat dit ook in de leiding aanwezig is en deze delen maar kort aan zeewater zijn blootgesteld. Op andere plaatsen zijn er onder andere mosselen aanwezig met een grootte van 35 – 40 mm, zie afbeelding 10. Dit betreft éénjarige mosselen.



Afbeelding 10. Aangroei op de leiding: zeepokken, broed van mosselen en éénjarige mosselen

Dit betekent dat de kruin van de leiding in ieder geval voor een deel een jaar boven de bodem heeft uitgestoken. Op de slijtplekken op de onderkant van de leiding zijn ook jonge zeepokken aanwezig. De volwassen exemplaren zijn alleen aanwezig op de plaatsen waar de leiding niet over de bodem geschuurd heeft.

Op het zuidelijke deel van de losliggende leiding zijn geen volwassen zeepokken zichtbaar. Over de hele lengte van het blootliggende deel van de leiding zijn meerdere slijtplekken te zien. Dit betekent dat de leiding gedurende het laatste jaar in fasen losgekomen is uit de zeebodem.

Breukscenario

Op basis van alle gegevens over de leiding van 31 juli 2013 komt het volgende scenario naar voren:

- 1 Door profielwijzigingen in de bodem van de Texelstroom kwam de leiding bloot te liggen. Gezien de aangroei van volwassen zeepokken en éénjarige mosselen op de leiding is dit bij een deel van de leiding minimaal een jaar geleden gebeurd. Uit de aanwezigheid van uitsluitend jonge zeepokken op andere delen van de leiding volgt dat er ook delen zijn die nog maar enkele weken blootlagen.
- 2 Er trad slijtage op van de leidingwand op de plaats waar de leiding het stortebed verlaat, doordat de leiding door de wisselende eb- en vloedstroom vier maal per dag over de bodem versleept werd.
- 3 De leiding werd door deze beweging verder uit de bodem losgetrokken. De spanningen als gevolg van sleepkrachten op de leiding namen toe met de toenemende losliggende leidinglengte.
- 4 De slijtage werd dusdanig groot dat de materiaalspanning bij een drukverhoging de vloeigrens overschreed (30 april en 1 mei tot 600 kPa uitgaand Den Helder, ± 450 kPa ter plaatse van de breuk);

- 5 Rond 11 mei trad er een perforatie op in het vervloeiende deel van de leidingwand. De lekkage begon met 65 m³/uur en liep in enkele weken op tot 100 m³/uur;
- 6 De leiding bezweek ten gevolge van een hoge spanning door de sleepkrachten op de leiding. Op 27 juni leidde langzame scheurgroei tot een dwarsscheur, waarbij bijna geen vervorming plaatsvond.

Met deze analyse is voldoende duidelijkheid ontstaan over de oorzaak van de breuk en daarmee over de risico's in de bestaande zinkerleidingen. PWN heeft besloten de zinker te repareren, door het leidingdeel dat in vrije overspanning heeft gelegen eruit te nemen en een nieuw buisdeel van ruim 130 meter in de gebroken zinker te plaatsen. De leiding is verankerd en afgestort. In het najaar van 2013 is de zinker weer volledig in gebruik genomen.

Toekomst

Het proces tot breuk is geïnitieerd met het in vrije overspanning komen van een deel van de zinker. PWN heeft de bewaking van de bestorting op de zinker geïntensiveerd van 2 maal per jaar naar 4 maal per jaar, waarmee een eventuele vrije overspanning eerder gedetecteerd wordt en tijdig maatregelen genomen kunnen worden. Op dit ogenblik worden de mogelijkheden voor een horizontale boring tussen Texel en Den Helder onderzocht. Hiermee kan een permanente oplossing voor de beschreven problemen gerealiseerd worden.