

Effecten van klimaatverandering op drinkwaterdistributie in kaart gebracht

B.A. Wols, A. Moerman, P. van Thienen (KWR)

De verwachte klimaatverandering zal onder meer gepaard gaan met hogere temperaturen en veranderende neerslagpatronen. Dit kan ook gevolgen hebben voor ondergrondse leidingen, zoals het drinkwaterdistributienetwerk. In het onderzoeksprogramma van Kennis voor klimaat heeft KWR samen met de drinkwaterbedrijven onderzoek gedaan naar de effecten van temperatuurstijging en grondzetting op drinkwaterleidingen.

Veranderende neerslagpatronen zijn onderdeel van klimaatverandering. Hierdoor kunnen grotere bewegingen van de bodem plaatsvinden. Met name droogte is een belangrijke oorzaak voor zettingen van de bodem. Uit de klimaatscenario's van het KNMI blijkt dat droogte aanzienlijk kan toenemen, zeker in het meest extreme W+ scenario. Klimaatverandering kan resulteren in 10-20 cm additionele zetting in de veengebieden in Zuid- en Noord-Holland over de periode 2000-2050 [1]. Daarnaast kan het veranderende neerslagpatroon leiden tot opzwellen van kleigronden, met name als lange periodes van droogte gevolgd worden door zeer natte periodes. Vanwege variaties in grondwaterstanden en bodemsamenstelling zullen deze bodembewegingen meestal ongelijkmatig verdeeld zijn langs de lengte-as van een leiding.

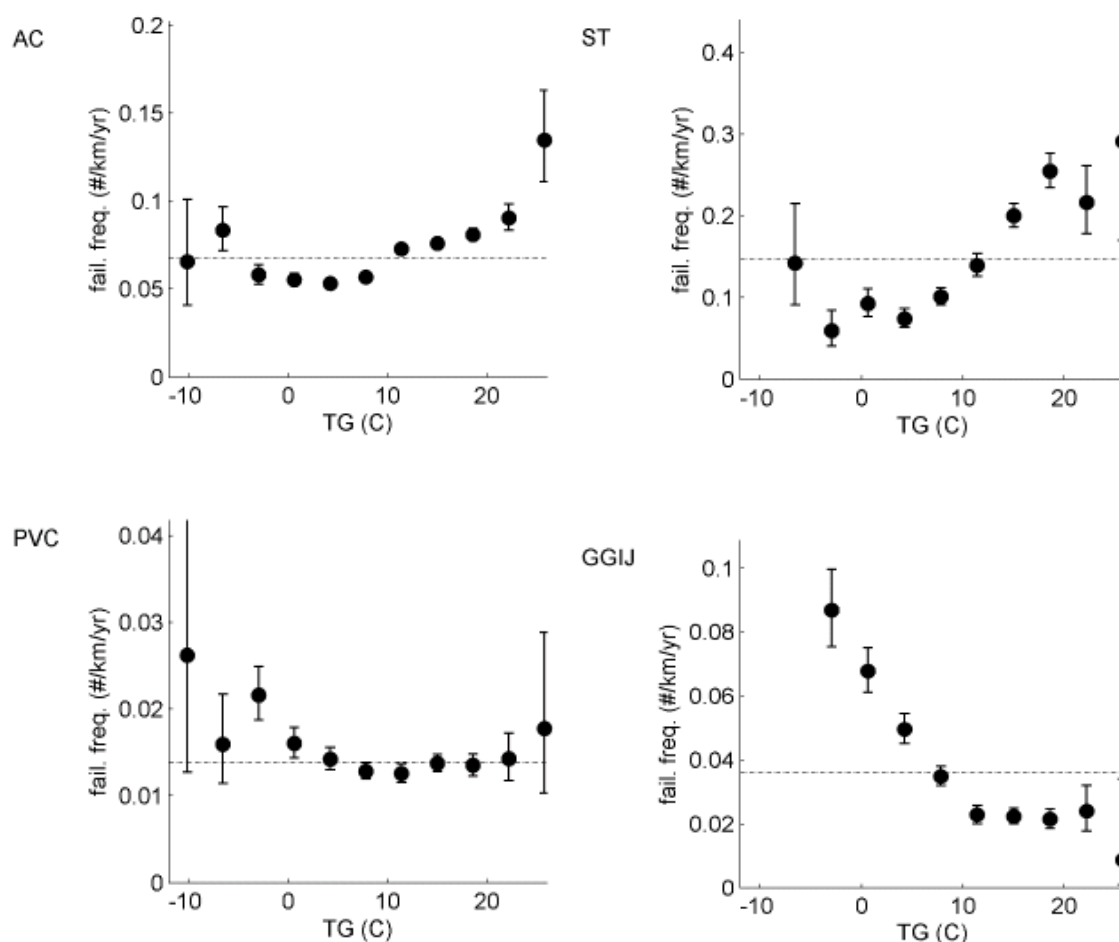
Hierdoor ontstaat een belasting op de leiding die kan leiden tot schade aan die leiding. De spanning die in het leidingmateriaal ontstaat, is afhankelijk van de stijfheid van de grond, de stijfheid van de leiding en de grootte van de zetting. Als de spanning te groot wordt breekt de leiding uiteindelijk. Onderzoeken aan drinkwaterleidingen in Canada, Australië en het Verenigd Koninkrijk laten zien dat in droge zomers het aantal leidingbreuken toeneemt [2, 3, 4], vooral in bodems die sterk uitdrogen. Daarnaast hebben temperatuur en temperatuurveranderingen een invloed op leidingbreuken [5, 6, 7]. Zowel in strenge vorstperiodes als in hete zomers kan het aantal leidingbreuken toenemen.

De hogere temperaturen en veranderende neerslagpatronen die verwacht worden bij klimaatverandering kunnen dus leiden tot een groter aantal leidingbreuken. Het effect van klimaatverandering in de Nederlandse situatie is op twee manieren onderzocht:

- Met statistische analyses is gekeken naar de invloed van temperatuur en neerslag op storingen in leidingen, en wat voor gevolgen dit heeft in de toekomst als het klimaat verder verandert.
- Met een mechanisch model is bepaald hoe zettingen in de ondergrond leiden tot spanningen in de leidingen. Dit is vervolgens geïmplementeerd in een geografisch informatiesysteem (GIS), waarmee de gevoeligheid van een heel distributienetwerk voor zettingen ingeschat kan worden.

Statistische analyses

Sinds vijf jaar worden storingen in drinkwaterleidingen in Nederland centraal geregistreerd in een database (USTORE) [8]. Momenteel gebeurt dit voor ongeveer de helft van Nederland en zijn er gegevens over ruim 15.000 storingen verzameld. De storingsgegevens van de leidingen en verbindingen zijn gecorreleerd aan weergegevens van het KNMI (afbeelding 1). Met name temperatuur blijkt van invloed te zijn op de storingsfrequenties [7]. Deze analyses lijken erop te wijzen dat asbest-cement (AC) en kleine stalen leidingen een sterke toename in storingen laten zien bij hogere temperaturen, terwijl gietijzeren leidingen het omgekeerde laten zien (hogere faalkansen bij vorst). PVC leidingen lijken ongevoelig voor temperatuur. De oorzaak van de temperatuurinvloeden volgt niet direct uit de statistische analyse. Een belangrijke oorzaak kan zijn dat bij hoge temperaturen het waterverbruik toeneemt waardoor grotere druk(variaties) in het leidingnet ontstaan. Bovendien kunnen warme periodes samengaan met droogte, wat kan leiden tot extra zettingen van de grond (hoewel het verband tussen droogte en storingsfrequenties niet zo eenduidig uit de analyse naar voren is gekomen).



Afbeelding 1. Storingsfrequentie van leidingen en verbindingen als functie van de luchttemperatuur (TG=gemiddelde dagtemperatuur) voor AC leidingen, kleine stalen leidingen (ST), PVC leidingen en grijs gietijzeren leidingen (GGIJ)

De foutbalken geven de 80% betrouwbaarheidsintervallen weer.

Vervolgens is onderzocht hoeveel storingen er in de toekomst verwacht kunnen worden bij een veranderend klimaat. Dit is gedaan op basis van het temperatuurafhankelijke storingsverloop en de verwachte temperatuurstijging. Het huidige Nederlandse drinkwaterleidingnetwerk bestaat voornamelijk uit PVC en PE (67.572 km), AC (32.489 km) en gietijzer (13.013 km) (gegevens uit 2010; [9]). Momenteel is er voor deze drie materiaalgroepen sprake van ca. 3.500 storingen per jaar. Voor alle drie samen wordt een toename van 35 (1%) storingen verwacht voor het meest gematigde klimaatscenario (G), en een toename van 330 (9-10%) storingen voor het meest extreme klimaatscenario (W+).

Let wel: dit zijn schattingen op basis van de storingsgegevens van de afgelopen 5 jaren. In deze jaren zijn geen extreme weersomstandigheden opgetreden (zoals extreme droogte of langdurige hittegolven), wat mogelijk betekent dat er een toename van het aantal storingen zal zijn, vooral voor het W+ scenario.

Daarnaast zal de samenstelling van het leidingnet veranderen. Ervan uitgaande dat een groot deel van het materiaal vervangen wordt door PVC, dat veel minder gevoelig is voor de temperatuur, zal de verandering van het klimaat weinig effect hebben op het aantal storingen. Overigens zal los daarvan de vervanging door PVC wel degelijk leiden tot minder storingen vanwege de grotere materiaalbetrouwbaarheid. Verandering van materiaaltype en leeftijd heeft een veel groter effect op de storingsfrequentie dan klimaatverandering.

De huidige PVC leidingen zijn veel jonger dan de AC leidingen. Mogelijk groeit de temperatuurgevoeligheid van PVC als het materiaal ouder wordt. In de statistische analyse is met deze mogelijkheid geen rekening gehouden.

Mechanisch model

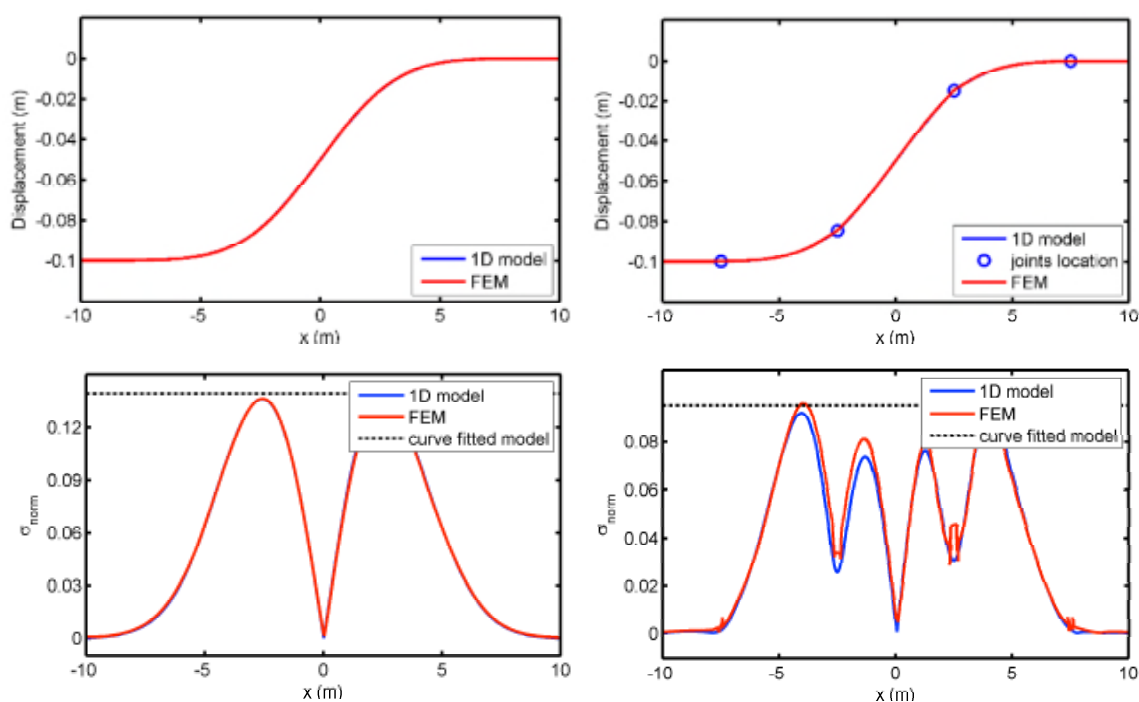
We hebben een mechanisch model (COMSIMA = COMputation Stresses In Mains) ontwikkeld dat de spanningen in een ondergrondse leiding berekent als gevolg van zettingen van de bodem [10]. De leiding is gemodelleerd als een ligger (Euler-Bernouilli), waarbij de interactie tussen bodem en leiding gemodelleerd is door middel van veren (Winklertype-veren). De stijfheid van deze veren hangt af van leidinggegevens en grondgegevens en is afhankelijk van de richting van de verplaatsing (een omlaag bewegende leiding ondervindt een stijvere grond dan een omhoog bewegende leiding). In dit model zijn ook de verbindingen tussen de leidingen meegenomen. Een verbinding kan door rotatie een deel van de groundbewegingen opvangen. De mate waarin dit gebeurt hangt af van de afstand tussen de verbindingen en van de rotatiestijfheid van de verbindingen.

Aan de hand van het mechanisch model is een empirisch verband gevonden tussen de rigiditeit (stijfheid van de leiding ten opzichte van de stijfheid van de grond) en het buigend moment (genormaliseerd naar het buigend moment zonder grond-leiding-interactie). Deze empirische relaties zijn ook afhankelijk van de eigenschappen van de verbindingen. Ervan uitgaande dat de verbindingen slap zijn ten opzichte van de buis, zijn er aparte empirische relaties opgesteld

afhankelijk van de verbindingsafstand. Daarnaast zijn er empirische relaties opgesteld voor de hoekverdraaiing.

Het mechanische model en de empirische relaties zijn vergeleken met 3D eindige-elementen-modellen (FEM) van een leiding. In de FEM-berekeningen is de grond-leiding-interactie eveneens gemodelleerd met behulp van veren, die aangrijpen op de buitenwand van de buis. Verbindingen zijn geschematiseerd door middel van een omliggende buitenring, die met rubberen ringen verbonden is met de buisdelen. Met FEM is eerst de stijfheid van een dergelijke verbindingsconstructie bepaald.

Een voorbeeldberekening is gemaakt voor een 300 mm PVC buis in zandgrond met en zonder verbindingen (afbeelding 2). De grond verplaatst met een verschilzetting van 10 cm over een lengte van ongeveer 10 m. De PVC buis volgt grotendeels de grondverplaatsing. De maximale spanningen (ten opzichte van de vloeispanning) treden op in het buisgedeelte waar de kromming het sterkst is. De verbindingen nemen een deel van de verplaatsing van de buis op, zodat de spanningen in de buis kleiner worden. Omdat de verbinding nog enige stijfheid heeft, treedt er ook nog vervorming van de buis op. Deze is echter minder dan zonder verbindingen. De berekende spanningen van het 1D mechanische model en de empirische relaties komen goed overeen met de FEM berekeningen.



Afbeelding 2. Voorbeeldberekening van verplaatsing in de leiding door een grondverplaatsing (links zonder en rechts met verbindingen) en de daarbij optredende spanningen in de leiding (maximale spanning in de doorsnede genormaliseerd met de vloeispanning)

Berekening voor een 300 mm PVC leiding in zandgrond.

GIS analyse

Met de empirische relaties kan snel en nauwkeurig de spanning en hoekverdraaiing in de leiding berekend worden. Het model kan geïmplementeerd worden in een GIS-omgeving [11, 12], zodat voor de leidingen in een voorzieningsgebied direct de potentiële kwetsbaarheden in kaart gebracht kunnen worden. Bovendien kunnen onzekerheden en variaties meegenomen worden door middel van Monte-Carlo-analyses. Voor de GIS-analyses is informatie nodig uit verschillende bronnen, zoals het leidinginformatiesysteem (LIS), de grondsoortenkaart en zettingenkaarten. De benodigde gegevens voor het GIS-model staan in tabel 1. Een fictief leidingnetwerk is doorgerekend (afbeelding 3). Dit voorbeeld laat zien dat met deze modellering een inschatting gemaakt kan worden van de kwetsbaarheid van een leidingnet voor zettingen als gevolg van klimaatverandering.

Tabel 1. Overzicht benodigde gegevens voor GIS-analyse

Gegevens	Bron	Alternatief
Ligging leiding	Leidinginformatiesysteem	-
Leidingmateriaal	Leidinginformatiesysteem	-
Diameter leiding	Leidinginformatiesysteem	-
Wanddikte leiding	Leidinginformatiesysteem	Ontwerprichtlijnen leidingen
Afstand tussen verbindingen	Ontwerprichtlijnen leidingen	
Fysische constanten leidingmateriaal (elasticiteitsmodulus, vloeispanning)	Literatuur	-
Grondsoort	Grondsoortenkaart	
Fysische constanten grond (dichtheid, hoek van interne wrijving)	Literatuur	
Groote verschilzetting	Zettingenkaart	(Satellietdata)
Afstand waarover de verschilzetting optreedt	Zettingenkaart	(Satellietdata)



Afbeelding 3. Voorbeeldberekening van COMSIMA (= COMputation Stresses In MAins)

Links de zettingen van de bodem en rechts de spanningen (ten opzichte van de vloeispanning van het leidingmateriaal) in een leidingnetwerk als gevolg van zettingen.

Conclusie

De effecten van klimaatverandering op drinkwaterleidingen zijn onderzocht. Voor de integriteit van het drinkwaterstelsel kunnen twee typen risico's als gevolg van klimaatverandering worden onderscheiden:

- a) leidingbreuk door ongelijkmatige zettingen van de bodem
- b) leidingbreuk door temperatuurstijgingen

Statistische analyse van storingsgegevens gerelateerd aan weergegevens laten zien dat bepaalde leidingmaterialen bij hoge temperaturen sneller kapot gaan. Omdat het distributienetwerk voor ruim de helft uit PVC en PE leidingen bestaat (en die fractie verder toeneemt), die minder gevoelig zijn voor klimaatverandering, is het effect van klimaatverandering voor het hele distributienetwerk in Nederland beperkt.

Daarnaast is een model ontwikkeld om de spanningen in drinkwaterleidingen als gevolg van veranderende bodembeweging te berekenen. Op basis van de grondsoort, leidingmateriaal, leidinggeometrie en zettingsverloop van de bodem worden de spanningen in de leiding berekend. Een vereenvoudigde versie van dit model is vervolgens in een GIS-applicatie verwerkt, zodat een leidingnetwerk in een willekeurig gebied doorgerekend kan worden. Deze methodiek kan functioneren als een quickscan voor de robuustheid van het leidingnetwerk bij klimaatverandering. De resultaten kunnen gebruikt worden om tot een juiste prioritering te komen voor het vervangen van leidingen (assetmanagement-beslissingen).

Plannen voor vervolgonderzoek zijn het toevoegen van andere belastingen aan het model, zoals verkeersbelasting en interne drukken, en uitbreiding van de statische analyses met ruimtelijke analyses. Hierbij worden ruimtelijke gegevens zoals zettingen en druk(verschillen) gebruikt om beter te achterhalen wat de oorzaak van het klimaatafhankelijk storingsgedrag is.

Referenties

1. Lange, G. en J. L. Gunnik (2011). Bodemdalingskaarten. Deltares, http://www.deltaportaal.nl/programfiles/46/programfiles/Rapport_bodemdalingskaarten_20110527.pdf
2. Hu, Y. and D. W. Hubble (2007). "Factors contributing to the failure of asbestos cement water mains." Canadian Journal of Civil Engineering 34(5): 608-621.
3. Clayton, C. R. I., M. Xu, J. T. Whiter, A. Ham and M. Rust (2010). "Stresses in cast-iron pipes due to seasonal shrink-swell of clay soils." Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management 163(3): 157-162.
4. Gould, S. J. F., F. A. Boulaire, S. Burn, X. L. Zhao and J. K. Kodikara (2011). "Seasonal factors influencing the failure of buried water reticulation pipes." Water Science and Technology 63(11): 2692-2699.
5. Rajani, B., Y. Kleiner and J. E. Sink (2012). "Exploration of the relationship between water main breaks and temperature covariates." Urban Water Journal 9(2): 67-84.
6. Laucelli, D., B. Rajani, Y. Kleiner and O. Giustolisi (2014). "Study on relationships between climate-related covariates and pipe bursts using evolutionary-based modelling." Journal of Hydroinformatics 16(4): 743-757.

7. Wols, B. A. and P. Van Thienen (2014a). "Impact of weather conditions on pipe failure: A statistical analysis." *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA* 63(3): 212-223.
8. Moerman, A., Beuken, R (2015). USTORE, hét kennisinstrument voor het onderbouwen van vervangingsbeslissingen van (water)leidingen. H2O-Online, juli 2015, www.vakbladh2o.nl/index.php/h2o-online/recente-artikelen/entry/ustore-het-kennisinstrument-voor-het-onderbouwen-van-vervangingsbeslissingen-van-water-leidingen
9. Vloerbergh, I. and M. Blokker (2010). "Sharing failure data to gain insight into network deterioration." *Water Asset Management International* 6(2): 09-14.
10. Vewin (2012). Drinkwaterstatistieken 2012 - de watercyclus van bron tot kraan. Vereniging van Waterbedrijven in Nederland, <http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Vewin%20Drinkwaterstatistieken%202012%20lowres.pdf>
11. Wols, B. A. and P. Van Thienen (2014b). "Modelling the effect of climate change induced soil settling on drinking water distribution pipes." *Computers and Geotechnics* 55: 240-247.
12. Van Daal, K. H. A. and B. A. Wols (2012). Spanningsberekeningen voor leidingen als gevolg van grond-leidinginteractie: modelimplementatie in GIS. BTO 2012.242(s),
13. Wols, B. A., K. Van Daal and P. Van Thienen (2014c). "Effects of climate change on drinking water distribution network integrity: Predicting pipe failure resulting from differential soil settlement." *Procedia Engineering* 70: 1726-1734.