

Figuur 1
Visie van een systeem van autonome robots die zich vrij door het netwerk kunnen bewegen (A), lokaal ingebracht en uitgenomen kunnen worden (B) voor onderhoud, op diverse plaatsen in het netwerk van energie kunnen worden voorzien en hun data kunnen afgeven (C), en overal waar ze komen metingen uitvoeren (D)

toestand in enige mate leveren, maar hebben beperkingen die brede toepassing op een voldoende grote fractie van het leidingnet hinderen. Een andere benadering, hier nader beschreven, moet uitkomst bieden.

Uitdagingen

Het inwendig inspecteren van een drinkwaterleiding is bepaald niet hetzelfde als het inspecteren van een olie- of gaspijpleiding, waarvoor al veel technieken zijn ontwikkeld. De aard van het drinkwaternetwerk is anders door de vorm (vermazing, bochten, T-stukken, afsluiters, diameterovergangen, toegangspunten), variatie in stroming (snelheid en richting), ligging (1 meter onder de grond en midden tussen klanten en andere infrastructuur) en het grote belang van hygiëne en leveringscontinuïteit. Het gebruik van verschillende materialen in een netwerk betekent ook dat een enkele meetsonde niet voor alle stukken leidingen gebruikt kan worden. De universeel toepasbare inspectietool moet dus voorzien zijn van meerdere soorten sensoren.

Beoogde oplossing

In het project *Ariel*, een samenwerking tussen de Nederlandse drinkwaterbedrijven, KWR Watercycle Research Institute en Wetsus, is een concept ontwikkeld dat op dit moment wordt uitgewerkt tot een prototype. Dit concept biedt een oplossing voor de hierboven genoemde uitdagingen en is specifiek toegespitst

op de eisen rondom drinkwater. Het gaat hierbij om een systeem van autonoom opererende robots (AIRs, autonome inspectierobots) die zich permanent in het leidingnet bevinden en die voorzien zijn van diverse sensoren voor onder andere het bepalen van de toestand van leidingen.

De robots kunnen zichzelf voortbewegen en vastzetten in leidingen van verschillende diameters. Her en der in het netwerk verspreid bevinden zich leidingsegmenten waar de robots zich via inductie kunnen opladen, waar ze hun vergaarde data kunnen afleveren, en nieuwe instructies kunnen ontvangen.

De robots bewegen en navigeren autonoom door het leidingnet. Omdat zij autonoom opereren, kunnen zij 24 uur per dag metingen uitvoeren, waarbij geen actieve besturing door een operator noodzakelijk is. Dit concept is weergegeven in figuur 1.

Uitgangspunten en ontwerpfilosofie

Het bedachte systeem is in de basis complex.

De stormachtige ontwikkelingen op het gebied van micro-elektronica, actuatoren (componenten die invloed kunnen uitoefenen op hun omgeving, bijvoorbeeld servomotoren) en software van de afgelopen decennia maken het echter mogelijk om bij het realiseren van dit systeem veel bestaande componenten 'van de plank' te gebruiken.

Dit is dan ook het uitgangspunt van het project: het reduceren van de complexiteit en het aantal taken in het ontwikkeltraject door zoveel mogelijk beschikbare en beproefde onderdelen te gebruiken. Voor enkele specifieke onderdelen is dit echter onmogelijk gebleken. Een voorbeeld volgt later in dit artikel.

De focus van de ontwikkeling ligt op de robot als drager van sensoren en in eerste instantie niet op de sensoren zelf. Ook op dit vlak zijn veel ontwikkelingen gaande. In eerste instantie zal de robot worden uitgerust met een nieuw ontwikkelde *ultrasoonsensor* voor het bepalen van de effectieve wanddikte in cementgebonden leidingen en een in ontwikkeling zijnde sensor voor het opsporen van defecten in PVC-leidingen (naast de camera en sensoren voor positiebepaling). De robot wordt echter zo ontworpen dat deze goed is voorbereid op de inpassing van diverse andere sensoren die in de toekomst beschikbaar zullen komen.

Robots op inspectie in drinkwaterleidingen

8

AUTEURS



Peter van Thienen
(KWR Watercycle Research Institute)



Maurits Maks
(KWR Watercycle Research Institute, Wetsus)



Doekle Yntema
(Wetsus)

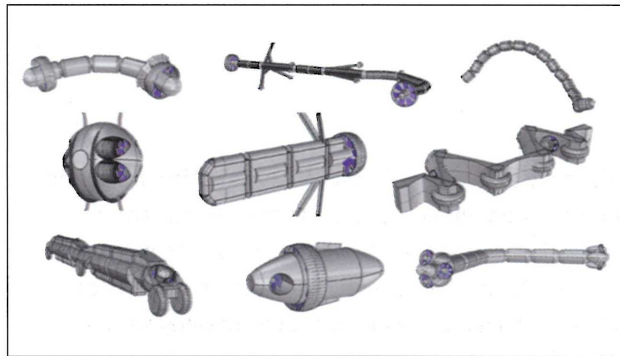
PROTOTYPE IN ONTWIKKELING ROBOTS OP INSPECTIE IN DRINKWATERLEIDINGEN

Drinkwaterleidingen wil je niet te vroeg vervangen, dat is zonde van het geld. Maar ook niet te laat, want dan ontstaan calamiteiten en die zijn ook kostbaar. Hoe is de levensduur van een leiding het meest nauwkeurig te bepalen en wat voor robot kan hierbij een rol spelen? KWR, Wetsus en de Nederlandse drinkwaterbedrijven werken aan een prototype.

De netwerken van de Nederlandse drinkwaterbedrijven wordt (enkele uitzonderingen daargelaten) niet meer op grote schaal uitgebreid. Sinds twee decennia is een nieuwe fase aangebroken, die van het *beheer*. Kernvraag is daarbij: hoe houden we het tegen acceptabele kosten in een goede conditie?

Veel leidingen naderen intussen wel het einde van hun levensduur en zullen de komende decennia vervangen moeten worden. Om dit efficiënt te doen, is het van belang de daadwerkelijke toestand van leidingen te kennen, zodat alleen de leidingen waarvoor het echt nodig is, worden vervangen.

Materiaal en leeftijd alleen zeggen hierbij niet genoeg; andere factoren beïnvloeden de veroudering eveneens. Bestaande technieken kunnen de benodigde informatie over de



Figuur 2
Diverse gegenereerde ideeën uitgewerkt tot visuele concepten voor discussie, met in het midden het gekozen concept voor de inspectierobot

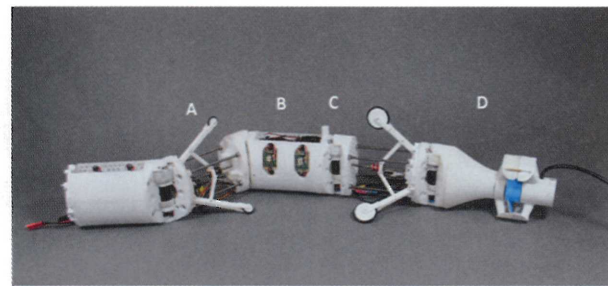
Ontwerp en bouw

Er zijn diverse mogelijkheden voor de vorm van de beoogde robot. Niet alle vormen zijn echter even geschikt, bijvoorbeeld vanwege het vermogen voldoende accucapaciteit te dragen, door T-splitsingen te bewegen of zich stabiel te kunnen positioneren ten opzichte van de buiswand. In een aantal pogingen is (in samenspraak met experts van de waterbedrijven), vanuit een brede waaier aan bij aanvang bedachte ideeën (figuur 2) gekomen tot de selectie van het ontwerp dat het beste aan de gestelde eisen en randvoorwaarden voldoet: een gesegmenteerde slang. De gesegmenteerde slang kan tussen alle segmenten actief buigen in één vlak. Dit betekent veel actuatoren en regelsystemen, maar ook stabiliteit, flexibiliteit en ruimte voor alle benodigde functies. Doordat er gewerkt wordt met een aaneenschakeling van modules kunnen functies eenvoudig verdeeld worden en ook van plek gewisseld worden om tot een optimale werking te komen.

Tijdens de bouw van het prototype (figuur 3) wordt veelvuldig gebruik gemaakt van 3D-printen, om een korte doorlooptijd te realiseren en een grote ontwerp-vrijheid te hebben. Met deze techniek is het bovendien gemakkelijk met lichtgewicht en waterbestendige materialen te werken. Waar nodig worden de geselecteerde bestaande onderdelen aangepast aan het functioneren in drinkwater en onder druk.

Specifieke componenten

De keuze van het ontwerp stelt ons in staat veel bestaande en beproefde mechanische en elektronische componenten te gebruiken, in lijn met de ontwerpfilosofie. Een voorbeeld van een onderdeel waarbij dit niet direct mogelijk bleek, is bij de rotatie van de



Figuur 3
Huidige prototype inspectierobot, met daarin klemmodules (A), modules voor elektronica (B), actuatoren voor bewegen (C), propellermodule met camera en verlichting (D)

segmenten ten opzichte van elkaar.

Bestaande oplossingen gaan uit van motoren met een gesmeerde as, die door de wand van de robot heen zou moeten gaan en onder druk de binnenkant van de robot droog zou moeten houden. Technisch gezien niet onmogelijk, maar vanuit hygiënisch oogpunt is er toch de voorkeur voor een oplossing zonder gat in de wand en smeermiddel. Een oplossing is ontwikkeld in de vorm van een magnetisch koppeling, die draai-bewegingen door een ononderbroken wand kan overbrengen. Figuur 4 toont het ontwerp en de realisatie.

Stand van zaken

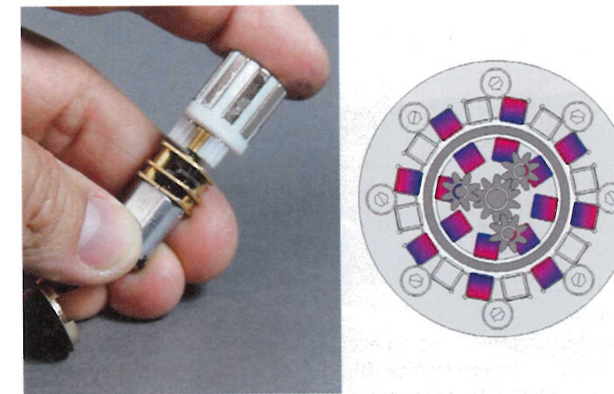
Grote delen van het eerste prototype inspectierobot zijn gebouwd en worden getest. Het gaat hierbij met name om de romp, voortstuwing, een klemmechanisme voor het centreren van de robot (voor metingen en geleiding door bochten).

Actuatoren tussen de modules zorgen ervoor dat bochten gepasseerd kunnen worden. De aansturing hiervan is nog per afstandsbediening – autonomie maakt geen deel uit van het huidige project. De modules zijn zo gebouwd dat ze onderling uitwisselbaar zijn, zodat een optimale samenstelling bepaald kan worden. De voorkant van de inspectierobot is tevens voorzien van een camera; dit maakt visuele feedback voor de gebruiker mogelijk.

Op dit moment vinden tests plaats met de propeller om het energieverbruik van de voortstuwing van de robot te meten. De elektronica die de bewegende onderdelen regelen zijn waterbestendig gemaakt en in de robot geplaatst. Aansturing van de onderdelen gebeurt momenteel op afstand met een gamepad.

Vooruitblik

Binnen het lopende project Ariel zullen de tests die nu worden uitgevoerd (onder andere met betrekking



Figuur 4
Foto van het binnenwerk van de waterdicht afgesloten actuator, bestaande uit een motor, meerdere tandwieloverbrengingen en ring met magneten. Kracht en rotatie worden overgebracht door magneten naar een buitenste ring met magneten, die zich buiten de ononderbroken, waterdichte huls bevindt (rechts)

tot energieverbruik) tot inzichten leiden die enerzijds een verfijning van het huidige ontwerp opleveren en ons anderzijds ook leren hoeveel accucapaciteit de robot nodig zal hebben voor een langdurig verblijf en daarmee de lengte van de slang bepalen.

Daarmee zal een grote stap gezet zijn van het oorspronkelijke idee naar een prototype aan de kabel. Het einddoel is echter een volledig functionerend autonoom robotsysteem. Om dit te realiseren hebben de Nederlandse drinkwaterbedrijven besloten om een nieuw, groter project op te zetten dat als einddoel een toepasbaar systeem heeft. Hierin moeten dus ook zaken als autonomie, sensoren en dataopslag voor conditiebepaling, communicatie, energieoverdracht, et cetera worden gerealiseerd. Dit project wordt op dit moment vormgegeven, en moet binnen enkele jaren leiden tot het gewenste systeem.

Toepassingsperspectief

Gebruik van een robotsysteem in het leidingnet zal leiden tot een grote sprong in kennis. Waar we nu de toestand van enkele stukjes leiding denken te kennen, zullen we weten wat de toestand is van alle leidingen die bezocht kunnen worden. Dit betekent dat leidingen in het netwerk op het juiste moment vervangen zullen worden; kosten van te vroege vervanging vallen weg, evenals de kosten van te late vervanging bij incidenten die het gevolg zijn van deze te late vervanging (bijvoorbeeld leidingbreuken).

Nevenopbrengsten als exacte lokalisatie van lekken, betere bepaling van de positie (van leidingen en dergelijke, vergroten de kennisbasis voor handelen verder. De grote uitdaging van dit moment is, naast de uitontwikkeling van het robotsysteem, het voorbereiden op de komst van de grote datastromen die gegenereerd gaan worden, zowel in technische als in organisatorische zin, zodat deze effectief ingezet zullen kunnen worden.

Peter van Thienen
(KWR Watercycle Research Institute)
Maurits Maks
(KWR Watercycle Research Institute, Wetsus)
Doekle Yntema
(Wetsus)

Dit project is tot stand gekomen in samenwerking tussen Wetsus, European Centre of Excellence for Sustainable Water Technology, in het kader van de Thematabel Smart Water Grids, en KWR Watercycle Research Institute, in het kader van het Bedrijfstakonderzoek van de Nederlandse drinkwaterbedrijven (BTO). In de thematabel Smart Water Grids participeren Vitens, PWN, Brabant Water, Oasen en Acquaint. In het BTO participeren alle Nederlandse drinkwaterbedrijven en De Watergroep (België).

SAMENVATTING

Om op een kostenefficiënte wijze de benodigde vervangingen van drinkwaterleidingen in de komende decennia uit te kunnen voeren, is betere kennis van de toestand van deze ondergrondse leidingen noodzakelijk. Omdat bestaande inspectietechnieken slechts in beperkte mate in deze behoefte kunnen voorzien, werken KWR en Wetsus samen met de drinkwaterbedrijven aan een autonoom robotsysteem dat deze informatie op veel grotere schaal moet ontsluiten.

Robots op
inspectie in
drinkwater-
leidingen