



## Samenvatting

Dit afstudeerverslag behandelt de problemen die optreden bij het gebruik van stalen zinkerleidingen. Allereerst is er een literatuurstudie gedaan naar het gebruik van zinkerleidingen en de hierbij optredende problemen. Vervolgens is er een aantal 'zinkerspecialisten' geïnterviewd om de praktijkproblemen te identificeren. Met behulp van een methodische ontwerpmethode [Kroonenberg, 1992] is er een alternatief ontwikkeld voor de conventionele stalen zinkerleiding.

Vanwege geologische en klimatologische ontwikkelingen is er langs de Nederlandse kust een vorm van kustbescherming noodzakelijk. In het huidige beleid hebben zandsuppleties de voorkeur boven kustbescherming in de vorm van dijken en golfbrekers. Bij zandsuppleties wordt er extra zand op de voorover of op het strand aangebracht. Voor het uitvoeren van strandsuppleties bestaan er verschillende methoden. In de praktijk blijkt de combinatie van sleephopperzuigers en een zinkerleiding de meest geschikte methode.

Een zinker is een leiding, die tijdens gebruik op de bodem van een water ligt. Samen met een overgangsconstructie, een drijvende leiding en verankeringen vormt dit het zinkerleidingsysteem. In het verleden zijn er zeer veel verschillende zinkerleidingsystemen gebouwd. In loop der jaren is het zinkerconcept steeds verder vereenvoudigd. Het nu toegepaste systeem van een stalen zinkerleiding met Dunlop drijvende leiding is eenvoudig van opzet. Ook de handling van het systeem is eenvoudig.

Zinkerleidingen worden op het land samengesteld, waarna ze te water worden gelaten. Meestal gebeurt dit, door de zinkerleiding met behulp van bulldozers en kranen naar de waterlijn te brengen. Transport van de leiding gaat eenvoudig door verslepen van de drijvende zinkerleiding met behulp van sleepboten. Afzinken gebeurt door water in de leiding te pompen. Opdrijven gebeurt door het water uit de leiding te drijven door er lucht in te pompen.

In de praktijk blijken stalen leidingen vaak te bezwijken ten gevolge van knik. Dit wordt doorgaans veroorzaakt door het gebruik van te weinig machines tijdens het verplaatsen. (Shovels en bulldozers tijdens het tewaterlaten, en hulpboten tijdens het transport over water). Opdrijven en afzinken tijdens een getijdenkentering vermindert de kans op knikken, doordat de stromingsbelasting op de leiding dan het laagst is. Het gebruik van een pig tijdens afzinken en opdrijven voorkomt luchtinsluiting, zodat bulten in de leiding worden voorkomen. De kans op knikken van de leiding is dan kleiner. De organisatie van zinkeroperaties is van grote invloed op het slagen ervan.

Het programma K\_pijp is ontwikkeld voor de berekening van spanningen in een zinkerleiding tijdens opdrijven en afzinken. Leidingen met een grotere wanddikte zijn dieper af te zinken. Dit geldt ook voor leidingen van een sterker materiaal. Een zinkerleiding (staal 52) met een binnendiameter van 800 [mm] en wanddikte 20 [mm], zoals in de praktijk gebruikt, kan theoretisch tot  $x$  [m] diep worden afgezonken. De leiding mag dan geen imperfecties vertonen. Een leiding met een binnendiameter van 1000 [mm] kan bij een wanddikte van 20 [mm] tot  $x$  [m] diepte worden afgezonken. Het programma K\_pijp kent beperkingen, doordat er niet kan worden gerekend met bijzonderheden als het optreden van kleef en het toevoegen van ballast. De invloed van een trekkracht in de leiding, op de maximaal te bereiken waterdiepte is marginaal bij gebruik van lichte sleepboten.

Voor bepaling van de spanningen in de leiding als gevolg van de stromingsbelasting, in drijvende toestand, is gebruik gemaakt van een Excel spreadsheet. Hierbij wordt de leiding gemodelleerd als een reeks stijve segmenten. Een trekkracht in de leiding heeft een gunstig effect op de optredende spanningen. Een voordeel van een trekkracht is dat de uiterste leidingpositie verder in zee komt te liggen.

Lange kolommen onder axiale belasting knikken uit, bij het bereiken van de Euler kniklast, lang voordat de vloeispanning in het materiaal wordt bereikt. Het faalmechanisme van een leiding belast door buiging is sterk vergelijkbaar met dat van een axiaal belaste kolom.



Willekeurige, kleine imperfecties zorgen voor een reductie van de kniklast. Om dit te modelleren is er gebruik gemaakt van een reductiefactor. De invloed van een bepaalde deuk is zo echter niet te beschrijven, terwijl dit van grote invloed is op het gedrag van een zinkerleiding. Voornamelijk deuken in de drukzone van de zinkerleiding zijn van invloed op het knikgedrag. In de praktijk zullen leidingen met een deuk, die een diepte heeft groter dan de wanddikte, moeten worden afgekeurd als zinkerleiding. Onrondheid van een leiding heeft slechts een marginale invloed op de maximaal mogelijke afzinkdiepte.

Door de schaalvergroting van sleehopperzuigers, neemt ook de lengte van de zinkerleiding toe. Dit is van invloed op de maximaal te behalen productie. De dichtheid van het mengsel is sterk van invloed op de drukval. Bij persen op een langere leiding, zal de concentratie moeten worden verminderd. De maximaal te behalen productie neemt in dat geval ook af (bij gelijke mengselsnelheid).

Met behulp van een methodische ontwerpmethodode zijn er een aantal concepten bedacht. Deze ontwerpmethodode [Kroonenberg, 1992] onderscheidt drie fasen: de probleemdefiniërende fase, de werkwijzenbepalende fase en de vormgevende fase. Voor iedere (deel-)functie, die een ontwerp moet vervullen, worden verschillende mogelijke werkwijzen bedacht. Dit wordt samengevat in een morfologisch overzicht. Door het maken van verschillende combinaties zijn uit dit overzicht mogelijke concepten af te leiden, die met elkaar kunnen worden vergeleken, om zo tot een ontwerp te komen. Vergelijken van verschillende concepten met een methodische ontwerpmethodode, op grond van zeer veel verschillende eisen is niet zinvol. Toetsen op een klein eisenpakket, bestaand uit hoofdeisen geeft wel een goede vergelijking van concepten. De concepten van een leiding met sterktemantel en de kunststofleiding blijken het meestbelovend.

De levensduur van een kunststofleiding is sterk afhankelijk van de bedrijfstemperatuur en bedrijfsdruk. Bij kunststofleidingen is het toevoegen van ballast noodzakelijk, om te kunnen opdrijven en afzinken en om voor voldoende stabiliteit op de zeebodem te zorgen. De waterdieptes, die mogelijk zijn met kunststofleidingen zijn bij gelijke wanddiktes vergelijkbaar met stalen leidingen. In stroming is een kunststofleiding eenvoudig onder controle te houden, zonder dat de maximale spanningen in het materiaal worden overschreden. Het gladde oppervlak van het materiaal zorgt voor een lage drukval. Leidingen gemaakt van HDPE kennen een lagere slijtage bij transport van zandwatermengsels dan stalen leidingen. Bij temperaturen boven de 50 °C treedt er verhoogde slijtage op. Bij gebruik van voldoende ballast (>100 kg/m) blijft een HDPE-leiding stabiel op de bodem. Knikken van een kunststofleiding zal minder snel optreden dan bij stalen leidingen, vanwege de flexibiliteit van het materiaal (HDPE). De kerfslaggevoeligheid van HDPE is zeer laag. De lage soortelijke massa van het materiaal zorgt voor een grote mate van handelbaarheid. Verder is HDPE een materiaal met een hoge mate van weersbestendigheid. De persdrukbestendigheid van HDPE is sterk afhankelijk van de bedrijfstemperatuur en veel lager dan van stalen leidingen. Om de persdruk (Nominaal 15 Bar) aan te kunnen hebben kunststofleidingen (ID 800 -1000 mm) wanddiktes nodig groter dan 60-70 mm. Ook piekdrukken van 20 [Bar] kunnen zo worden weerstaan. Tot voor kort (half 2004) werden leidingen met deze persdrukbestendigheid (klasse 12.5 voor slijtage) geleverd tot maximaal 900 [mm] uitwendige diameter. Dit komt neer op een inwendige diameter van 767 [mm].

Bij gebruik van een leiding met sterktemantel, zal de voering van een materiaal gemaakt moeten zijn met een lagere E-modulus, dan de sterkte laag. Een plaatselijk doorgesleten voering zorgt voor versnelde slijtage van de sterktemantel. Fabricage van een dubbelwandige leiding en vervangen van de voering geeft grote praktijkproblemen. De kosten van een dubbelwandige leiding zijn significant groter dan van een enkelwandige stalen leiding.

Kunststofleidingen geschikt voor een nominale persdruk van 15 [Bar] (piekdruk 20 [Bar]) worden momenteel (sinds half 2004) geleverd tot een maximale uitwendige diameter van 1.6 [m]. De inwendige diameter van deze leiding is 1365 [mm] voor slijtage. De benodigde wanddikte is afhankelijk van de plaats langs de zinkerleiding. Om materiaal te besparen, kan de zinkerleiding dus worden samengesteld uit een aantal segmenten met een verschillende wanddikte bij gelijke uitwendige diameter. Door na een bepaalde gebruiksperiode van de



zinkerleiding een nieuw dikwandig leidingdeel van een bepaalde lengte toe te voegen en een leidingdeel met dezelfde lengte en de kleinste wanddikte te verwijderen, is de wanddikte van de zinkerleiding optimaal te benutten.

Toepassing van meerdere parallelle leidingen met een kleinere diameter is ongunstig vanwege materiaalkosten en drukval. Parallelle leidingen hebben een lager gebruiksgemak dan een enkele leiding.

Voldoende drukweerstand van een HDPE-leiding kan worden verkregen, door het toevoegen van een sterkteband in de leidingwand. Een Reinforced Thermoplastic Pipe (HDPE-leiding met sterkteband) heeft ten opzichte van onversterkte HDPE-leidingen een (veel) hogere druksterkte bij behoud van flexibiliteit. Gebruik van RTP-leidingen is onaantrekkelijk vanwege de hoge kosten, die het gebruik van de sterkteband met zich meebrengt. Een risico van gebruik van RTP-leidingen is, dat bij beschadiging van de sterkteband de leiding de druksterkte verliest.

Koppelen van HDPE-leidingdelen kan zowel met mechanische koppelingen als door middel van lassen. Bij lassen ontstaat een verbinding, die sterker is, dan de leiding zelf. Bij de overgang naar de drijvende leiding en naar de walleiding kan er een flens aan de zinker worden gelast.

Toevoegen van ballast is noodzakelijk om de leiding af te kunnen zinken. Als ballast kunnen stalen ringen worden gebruikt. Deze kunnen tegelijkertijd worden gebruikt om een deel van de sterkte te verzorgen, zodat een HDPE-leiding, met een kleinere wanddikte kan worden gebruikt. De meest eenvoudige manier om de stalen ringen te fixeren, is met behulp van een gelast 'rupsje' HDPE aangebracht in een sleuf in de stalen ring.

De aanschafkosten van een HDPE-leiding zijn ongeveer een factor 1,5 hoger, dan van een conventionele stalen zinkerleiding van gelijke diameter. Per miljoen m<sup>3</sup> getransporteerd zand is een HDPE-leiding echter voordeliger vanwege de langere levensduur als gevolg van de kleinere slijtage en grotere slijtlaag. De kosten van een HDPE-leiding tijdens gebruik zijn waarschijnlijk lager, dan van stalen leidingen. Hieronder vallen onder andere; assemblagekosten, installatiekosten, reparatiekosten en ontmantelingkosten. Dit komt doordat HDPE-leidingen lichter en flexibeler zijn, zodat een snellere installatie mogelijk is, met minder kans op falen van de constructie.

Een HDPE-leiding is een geschikt alternatief voor de conventionele stalen zinkerleiding. Met het nieuwste leveringsprogramma van Pipelife is het nu mogelijk om onversterkte HDPE zinkerleidingen samen te stellen met inwendige diameters groter dan 1000 [mm]. De kosten hiervan zijn, over de totale levensduur, lager dan van een stalen zinkerleiding. De kans op falen tijdens gebruik, door overschrijding van de toelaatbare buigstraal, is veel lager dan bij stalen leidingen. Installatie van een HDPE zinkerleiding is mogelijk onder extremere weersomstandigheden, dan het geval is bij stalen zinkerleidingen. Om de werkbaarheid te vergroten is een HDPE zinkerleiding dus een geschikt alternatief voor stalen zinkerleidingen.