

# Constructies van kruisingen

## 1. Inleiding

Transportleidingen bestaan uit een aaneengesloten keten van meestal ondergrondse kruisingen verbonden door terreinstrekingen.

In alle gevallen is voor het leggen van een leiding of het maken van een kunstwerk toestemming nodig van de eigenaar van het terrein resp. de gebruiker/beheerder.

Afgezien van de daartoe in bestemmingsplannen opgenomen kabelstroken, leidingstroken resp. leidingstraten, is er sprake van een belangentegenstelling tussen



IR. T.J. HOFKER

Gemeente Drinkwaterleiding  
Rotterdam

buisenlegger en terreinbeheerder/eigenaar/gebruiker. Het terrein heeft immers een andere bestemming dan het gebruik als leidingtracé.

Voor de vereiste toestemming of vergunning is nog steeds de medewerking van alle belanghebbenden van primair belang.

Voor moeilijke gevallen staan drie wetten ter beschikking:

- de belemmeringenwet privaatrecht;
- de belemmeringenwet verordeningen;
- de onteigeningswet.

De problematiek rond het verkrijgen van de toestemming (vergunning) en de toe te passen constructie varieert sterk en hangt in hoofdzaak af van factoren als: bestemming of gebruik van het terrein, eisen van de beheerder, gebruik van de leiding en de bodemgesteldheid.

Bij het kruisen van particuliere terreinen heeft de eigenaar resp. gebruiker zelden invloed op de constructie. De leidingmaatschappij kan hier naar eigen inzicht constructies en materialen toepassen.

Wel kan het gebruik en de configuratie van de grond bepalend zijn voor de te maken constructie. Zo kan ter plaatse van diepe sloten een betonnen transportleiding worden onderbroken door een stalen gedeelte.

Het aantal mogelijkheden voor toe te passen constructies en materialen in diverse situaties is groot en leent zich — zeker in dit kader — niet voor verdere uiteenrafeling en detaillering.

In het volgende zal daarom slechts nader worden ingegaan op de bijzondere kruisingen en dat alleen voor leidingen vanaf 1000 mm. Als belangrijkste

bijzondere kruisingen of kunstwerken zijn te noemen:

1. spoorwegkruisingen;
2. wegkruisingen;
3. rivierkruisingen;
4. dijk kruisingen.

## 2. Spoorwegkruisingen

Bij het kruisen van een spoorlijn heeft men te maken met één vergunninggever.

De eisen zijn zwaar, maar uniform en goed omschreven in de 'Technische Voorschriften bij vergunningen voor kabels en leidingen in spoorwegterrein'.

Constructief mondt dit steeds uit in een doorpersing van een mantelbuis van asbest-cement of, indien dat niet mogelijk is, van beton met plaatstalen kern (afb. 1).

De stalen watervoerende buis ligt hier dan in, elektrisch geïsoleerd d.m.v. afstandhouders.

De uiteinden van de mantelbuis zijn waterdicht afgesloten, terwijl een boven de grond uitstekend pijpje dienst doet als lekverklikker.

De uitvoering geschiedt als volgt:

Naast de spoorbaan wordt een rechthoekige damwandkuip geslagen die lang genoeg is om een boorbuis en een vijzelsysteem te bevatten.

In de damwand wordt op de juiste hoogte een gat van de vereiste diameter gebrand.

De eerste boorbuis wordt nu in het weglichaam geperst, waarna de vijzel naar

achteren wordt verplaatst en de tweede buis aan de eerste wordt bevestigd. Om het glijden van deze boorbuis te vergemakkelijken wordt deze afgesmeerd met bentoniet.

Kleine correcties in de buisrichting verkrijgt men door het richten van de snijkop.

Deze snijkop wordt voor de buis geplaatst en heeft een diameter die  $\pm 1\frac{1}{2}$  cm groter is dan de diameter van de door te persen buis.

Na het inschuiven van de watervoerende buis ontstaat een constructie met een zeer grote veiligheid. Een speciale berekening van de constructie wordt door de Nederlandse Spoorwegen niet vereist.

De uitvoeringswijze en de hoeveelheid materiaal betekenen wel een kostbare kruising.

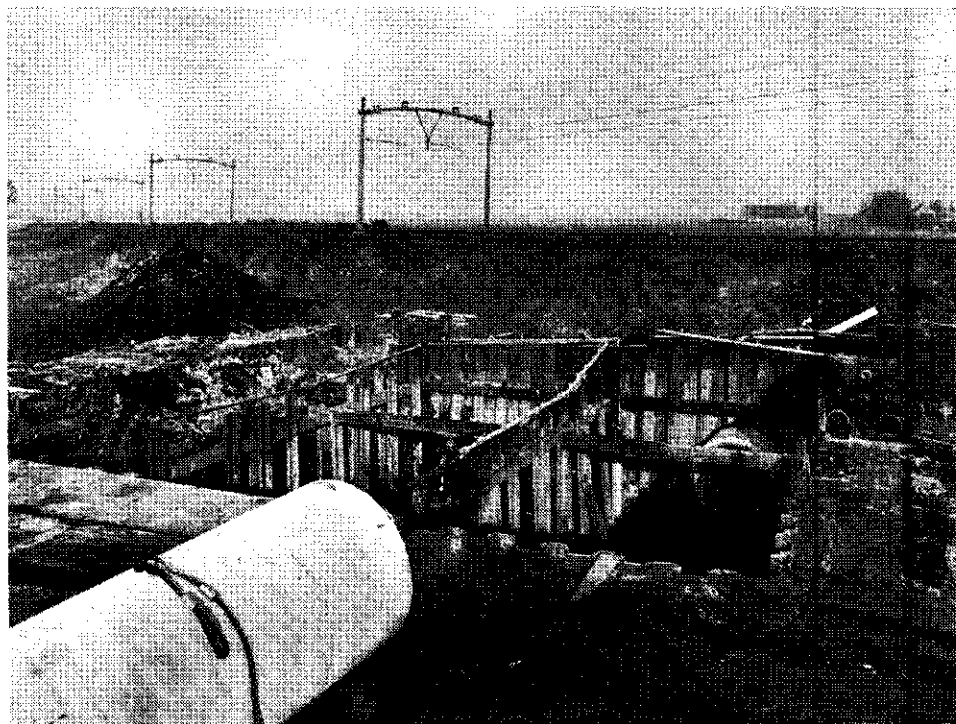
## 3. Wegkruisingen

Bij kruisingen met wegen kan eveneens gebruik gemaakt worden van een doorgeperste mantelbuis. Dit is met name het geval indien:

- de weg niet kan worden afgesloten;
- er onvoldoende ruimte is voor een tijdelijke wegomlegging;
- het verkeer niet over de halve rijbaan kan worden geleid.

Als alternatief voor een doorgeperste mantelbuis bestaat de mogelijkheid om de watervoerende buis door te persen. Deze

Afb. 1 - Doorpersing van een betonnen mantelbuis onder een spoorlijn (spoorlijn Dordrecht-Breda 2 Ø 1600 mm en 1 Ø 2000 mm).



buis is dan meestal van gewapend beton met doorgelaste plaatstalen kern. Een andere mogelijkheid is een stalen buis met een gesinterde bekleding van voldoende sterkte. Dit is echter in de waterleiding-wereld nog weinig toegepast, o.a. door het bezwaar dat bij grote diameters de lassen niet doelmatig behandeld kunnen worden. Uit economische motieven zal de voorkeur van de buizenlegger meestal uitgaan naar een in de open sleuf gemaakte wegkruising.

De mogelijkheden voor de uitvoering zijn dan:

- de buis wordt in één keer gelegd, nadat de weg tijdelijk is afgesloten of omgelegd;
- de buis wordt gelegd in stappen, waarbij het verkeer tijdelijk over één baan wordt geleid.

Ook bij een in de open sleuf gelegde buis kan de wegbeheerder een mantelbuis eisen. Dit is met name het geval indien de weg voor reparatie van de buis niet afgesloten kan worden, of indien de watervoerende buis onvoldoende sterk is om de verkeersbelasting over te brengen. Het is uiteindelijk de wegbeheerder die de constructie en uitvoeringswijze bepaalt. Men kan zich afvragen of de meeste wegbeheerders niet te snel kiezen voor een doorpersing, louter op grond van de overweging, dat de uitvoering voor het wegverkeer geen inconvenient betekent. Nadat het overleg over de constructie en

uitvoeringswijze is afgerond, komt de toestemming gewoonlijk snel tot stand. Het komt de laatste tijd voor dat berekeningen moeten worden overgelegd overeenkomstig die voor kruisingen met waterkeringen.

Zowel voorbereidingstijd als kosten kunnen hierdoor sterk toenemen.

#### 4. Rivierkruisingen

Voor kruisingen met grote wateren — rivieren, kanalen, boezems — wordt de kruisingsconstructie, de zinker, gewoonlijk elders gebouwd en in zijn geheel boven de van tevoren gebaggerde sleuf gebracht en afgezonken. Deze manier van zinkerlegging is feitelijk mogelijk geworden door de ontwikkeling van de lastechniek. De oude gietijzeren zinkers werden uitgevoerd met scharnierende delen. Tot omstreeks 1959 werden in Rotterdam ook de stalen zinkers, in de Nieuwe- en Oude Maas, met scharnierende delen uitgevoerd, ondanks het feit dat het toen technisch mogelijk was om de zinkers in één geheel te leggen. Door de eis van de Rijkshavendienst dat het scheepvaartverkeer niet mocht worden gestremd, was een zinkerlegging in één geheel namelijk onmogelijk. De scharnierende constructie had als voordeel dat het bodemprofiel beter kon worden gevolgd waardoor een besparing aan baggerwerk kon worden verkregen, vergeleken bij de huidige methode.

Een moderne stalen zinker bestaat gewoonlijk uit een horizontale vloerbuis met aangepaste opgaande einden. Het langspanprofiel van de zinker wordt in overleg met de beheerder zo goed mogelijk afgestemd op het bodemprofiel van de watergang. Zo mogelijk wordt hierbij rekening gehouden met toekomstige wijzigingen van het profiel.

De vereiste minimale gronddekking kan tot 3 m bedragen. De rivierbeheerder bemoeit zich niet met de constructie, sterkteberekening en veiligheid van de zinker.

Als de zinker op de montageplaats aan elkaar is gelast, wordt hij opgenomen in een vormvaste brug, samengesteld uit bokken en bakken. De kostbare bokken zijn nodig om de zinker overeind te houden tijdens het transport en het afzinken (afb. 2).

De gehele brug wordt boven de sleuf gevaren waarna de buis wordt afgezonken en de sleuf aangevuld.

Zinkers zijn een zeer kostbaar onderdeel van een transportleiding. Afhankelijk van de situatie, de leidingdiameter en de door de beheerder gestelde eisen, zullen de kosten voor het grondwerk in dezelfde orde van grootte, tot aanzienlijk hoger, liggen dan voor het maken en leggen van de zinker.

Deze hoge kosten voor het grondwerk hebben er toe geleid zoveel mogelijk zinkerprojecten te combineren. Dit temeer, daar de voor iedere afzonderlijke zinker benodigde ruimte groot is en het aantal plaatsen waar een waterloop gekruist kan worden vaak beperkt is.

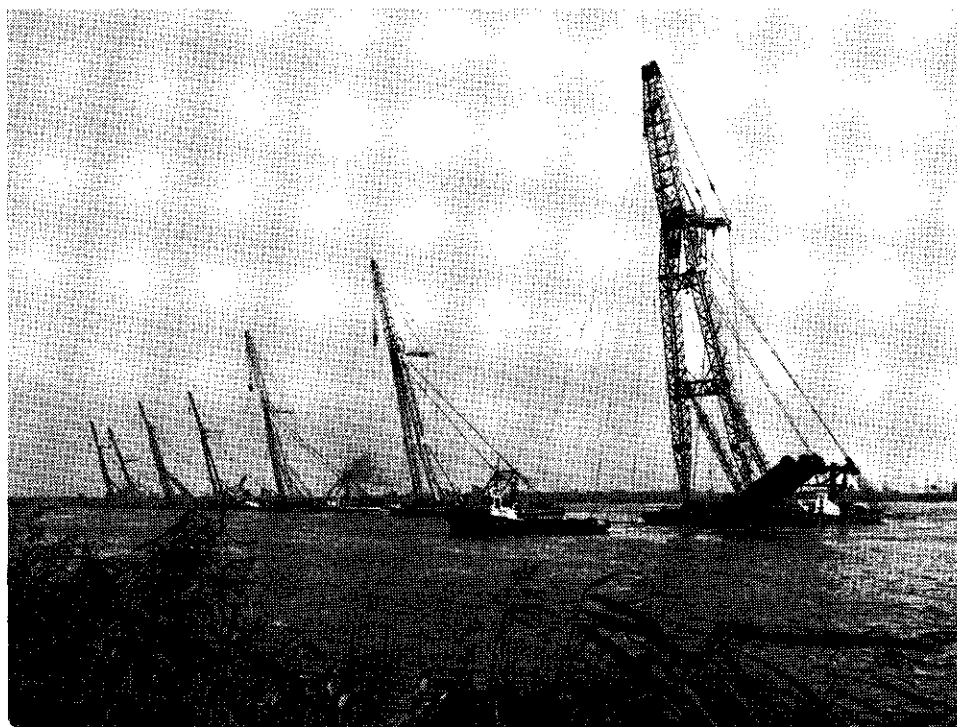
De beheerder zal daarom vaak combinaties van zinkers eisen. Diverse zinkers worden dan in één of meer bundels tot zinkerpakketten samengesteld en geplaatst in dezelfde zinkersleuf. Zo zijn in het Calandkanaal 4 zinkerbundels met in totaal 54 leidingen voor water, gas, olie, chemicaliën en steunleidingen voor hoogspanningskabels in één sleuf geplaatst.

Een andere methode om de kosten van het grondwerk te drukken is de volgende: De sleuf wordt zodanig gebaggerd dat de sleufbodem een cirkelboog in het verticale vlak vormt, met het laagste punt in het midden. Wordt de zinker, die uitgevoerd is als een rechte buis, in deze sleuf afgezonken, dan zal hij door zijn eigen gewicht de vorm van de sleuf aannemen.

De minimale kromtestraal waarin de sleuf gebaggerd mag worden, wordt bepaald door de toelaatbare spanning, de elasticiteitsmodulus van het buismateriaal en de uitwendige buisdiameter.

De winst in het grondwerk ligt bij de oevers, waar de zinker aanzienlijk minder

Afb. 2 - Plaatsing van een zinker d.m.v. drijvende bokken (rivierzinker Nieuwe Merwede 2 Ø 1400 mm en 1 Ø 1800 mm).



gronddekking heeft dan bij uitvoering met een rechte vloerbuis.

Andere voordelen zijn:

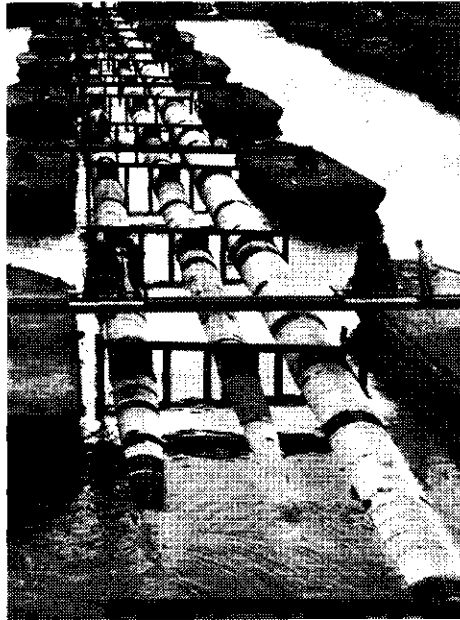
- de zinker is eenvoudiger samen te stellen wegens het ontbreken van opgaande einden;
- voor de zinkerlegging zijn in principe geen bokken nodig omdat de drijvende zinker stabiel is (afb. 3). Overigens worden voor het afzinken in stromend water meestal wel bokken gebruikt, omdat het afzinken bij dood tij moet gebeuren en de werksnelheid met bokken veel groter is dan met bakken waarop handbediende lieren geplaatst zijn.

De hiervoor genoemde zinkerconfiguratie, de gehele zinker uitgevoerd als cirkelboog, wordt zelden gemaakt. Meestal wordt door een combinatie van verschillende kromtestralen en rechte gedeelten het bodemprofiel zo goed mogelijk gevolgd. Een voorbeeld hiervan is de in december 1973 in het Beerkanaal geplaatste zinker. Deze bestaat uit één bundel van 11 leidingen met een minimale kromtestraal van 600 m; de maximale buisdiameter is 42".

Het bijzondere van deze zinker is dat op het diepste punt de sleufbodem op 36,5 m beneden NAP ligt.

Niettegenstaande de diepe bressen in de oevers bleek deze zinker goedkoper dan de traditionele vorm.

Een combinatie van de traditionele zinker en de zinker in de vorm van een cirkelboog is te vinden in het Gat van den Kleinen Hil in de Brabantse Biesbosch. Hierin liggen 2 zinkerbundels met totaal 7 leidingen, waarvan de grootste een diameter heeft van 1800 mm. Door een combinatie van een cirkelboog, met een straal van 2000 m, en rechte stukken is het bodemprofiel zo goed mogelijk gevolgd. Bij één oever lag de



Afb. 3 - Plaatsen van een zinker d.m.v. bakken (grienzinker Nieuwe Merwede 2 Ø 1400 mm en 1 Ø 1800 mm).

zinker toen nog zó diep, dat besloten is toch een opgaand eind toe te passen. De blijvende maximale axiaalspanning in de grootste buis bedraagt ca.  $10^9 \text{ N/m}^2$  ( $1000 \text{ kg/cm}^2$ ).

Naast stalen zinkers werden en worden ook betonnen zinkers toegepast, voorzien van een doorgelaste plaatstalen kern. Zo werd omstreeks 1954 in de transportleiding Bergambacht-Den Haag een gewapend betonnen zinker geplaatst op grond van de filosofie dat in een betonnen transportleiding zo mogelijk geen stalen onderbreking moest komen. Bovendien bleek een betonnen zinker toen nog aanmerkelijk goedkoper dan een stalen. Een bijzondere zinker is voorts toegepast tussen twee spaarbekkens in het Biesbosch project.

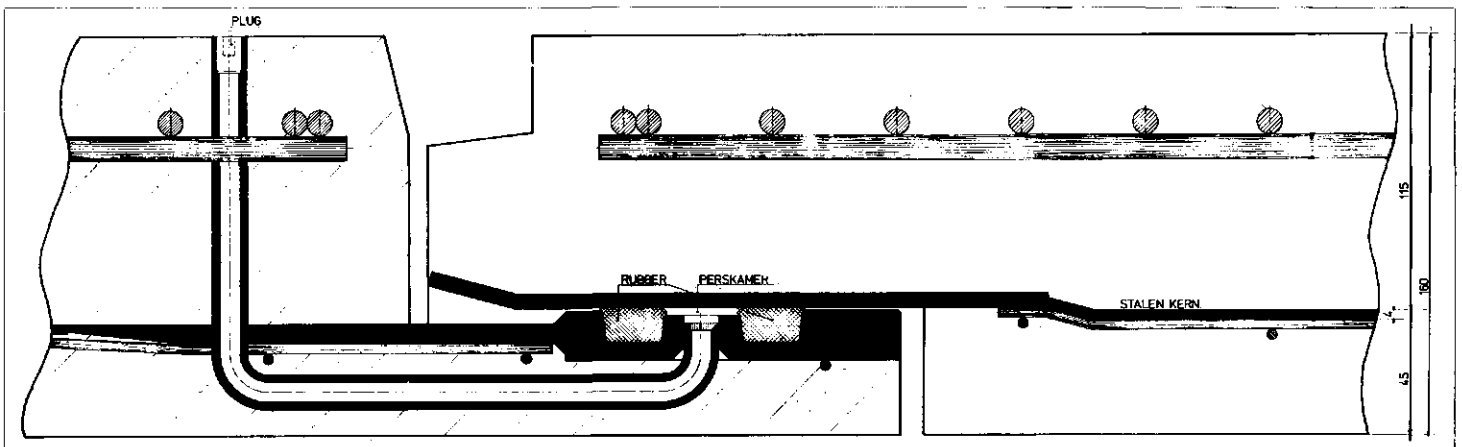
Wegens de grote lengte (1250 m) kon de zinker niet als één geheel worden gelegd. Omdat de zinker bestemd is voor het transport van ongezuiverd water moet hij kunnen worden drooggezet om mogelijke aangroei te verwijderen. Het eigen gewicht diende dus hoog te zijn, en wegens de grote diameter (2 m) is de zinker uitgevoerd in gewapend beton met plaatstalen kern. Op de wal werden delen van 50 m samengesteld en boven de sleuf gevaren. Onder het toezien van een duiker werden de delen onder water gekoppeld met het reeds afgezonken gedeelte. De verbinding is een gladde mof-spie met een dubbele rubbering, teneinde door afpersing van de ruimte tussen de ringen een controle op de waterdichtheid te kunnen uitoefenen (afb. 4).

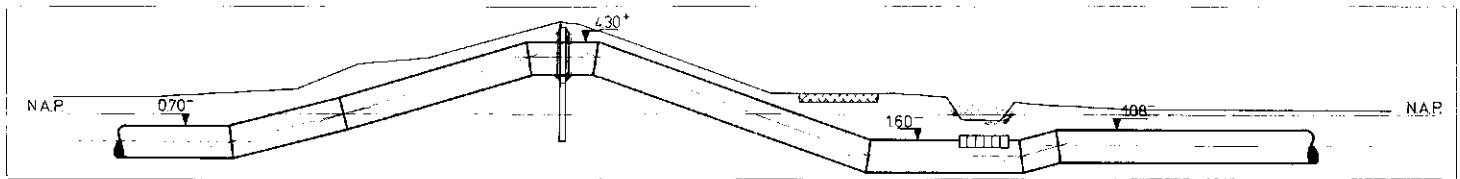
Hoewel voor grote diameters bij mijn weten niet toegepast, mag toch de zogenaamde sleepzinker niet onvermeld blijven. Hierbij wordt weer uitgegaan van een sleufbodemprofiel dat de buis door het eigen gewicht kan volgen. De zinker wordt in het verlengde van de sleuf op het land samengesteld en op rollen geplaatst. Vervolgens wordt de zinker door de sleuf getrokken tot hij op de tegenovergestelde oever het vereiste punt bereikt heeft. Voor deze methode van zinkerlegging is veel ruimte nodig, terwijl hoge eisen worden gesteld aan de bescherming van de buiskleding.

## 5. Kruisingen met waterkeringen

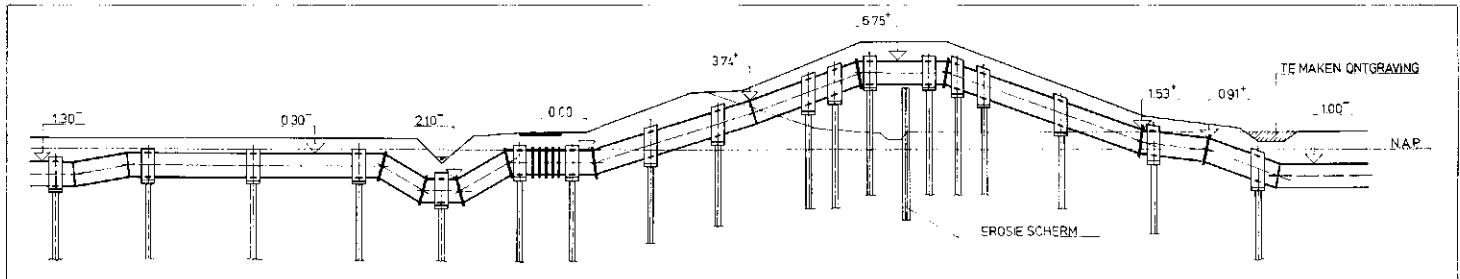
Sinds het begin van het transport van drinkwater werd de bedrijfstak geconfronteerd met het kruisen van waterkeringen. Overeenkomstig weg- en spoorwegkruisingen ontstond de kruisingsconstructie in het overleg tussen dijkbeheerder en leidinglegger. De dijkbeheerder stelde eisen en gaf uiteindelijk toestemming; de leidingmaatschappij bepaalde de constructie aan de hand van de gestelde eisen.

Afb. 4 - Verbinding van 2 zinkersecties m.b.v. mof-spieverbinding met dubbele rubbering. (Verbindingsleidingen Ø 2000 mm spaarbekkens Biesbosch.)





Afb. 5 - Dijkkruising waarbij de leiding door de waterkering gevoerd wordt. (Fundering op staal vanwege geringe zettingsverschillen. Waterkering linker oever Nieuwe Merwede.)



Afb. 6 - Dijkkruising waarbij de leiding over de waterkering gevoerd wordt. (Fundering op palen vanwege grote zettingsverschillen. Waterkering rechter oever Nieuwe Merwede.)

Gewoonlijk kwam men snel tot overeenstemming. Een nadeel was, dat vanwege het grote aantal dijkbeheerders en leidingmaatschappijen een aanzienlijke diversiteit in constructies werd aangetroffen. De volgende uitgangspunten werden vaak gehanteerd:

- Het zoveel mogelijk terugbrengen van het dijklichaam in zijn oorspronkelijke staat. Hiermee werden stabiliteitsverstoringen voorkomen en werden geen grote zettingen geïntroduceerd.
- Het aanbrengen van damwandschermen teneinde bij lekkage of breuk van de leiding een vervangende waterkering te hebben.
- Het toepassen van kwelschermen.
- Het gebruik maken van de vloei-eigenschappen van St. 37.

Een voorbeeld van een kruising volgens deze principes is de kruising van de waterkering van de Catharinapolder, de linker oever van de Nieuwe Merwede (afb. 5). Met name de soms erbarmelijke kwaliteit van de dijken — vele verkeren qua stabiliteit in een evenwichtstoestand — heeft de waterleidingbedrijven vaak noodzaak constructies toe te passen om de eigen leiding te beschermen, waardoor ter plaatse een waterkering ontstond, aanzienlijk veiliger dan het dijklichaam aan weerszijden.

De kruisingen werden opgezet zonder diepgaande berekeningen. Ze waren hoofdzakelijk gebaseerd op constructief inzicht en ervaring opgedaan in vergelijkbare situaties.

Tengevolge van de hausse in leidingaanleg — gas, olie, chemicaliën — van de laatste

jaren ontstond aan de zijde van de beheerders van de waterkeringen behoefte aan dieper inzicht in de veiligheid van diverse kruisingsconstructies, teneinde te komen tot gelijkwaardige oplossingen voor het gehele land.

In de provincie Zuid-Holland heeft dit reeds in 1968 geleid tot het opstellen van een pijpleidingcode voor hogedruk gas- en olieleidingen.

In 1971 heeft de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen een 'Leidraad voor constructie en beheer van vloeistofleidingen in en nabij waterkeringen' uitgegeven.

Deze leidraad geeft een aantal richtlijnen voor het opstellen van voorschriften waaraan een dijkkruising moet voldoen en is toegezonden aan alle dijkbeheerders. De dijkbeheerders kunnen zich wat betreft de toepassing van de leidraad laten adviseren door het centrum voor Onderzoek van Waterkeringen.

Voorzover mij bekend beschikt tot dusverre slechts de provincie Zuid-Holland over voorschriften, waarvan de leidraad deel uitmaakt, de zogenaamde pijpleidingcode 1972. Alle kruisingen van waterleidingen met waterkeringen en provinciale wegen vallen onder deze voorschriften.

Een van de belangrijkste bepalingen is wel dat van iedere kruising zowel een grondmechanisch onderzoek als een sterkteberekening moet worden overlegd.

Zoals reeds eerder gesteld, ontbrak bij de overwegingen welke in het verleden tot een kruisingsconstructie hebben geleid een voldoende theoretisch inzicht voor wat betreft de sterkte en derhalve ook de veiligheid van de constructie. Erkend moet dan ook worden dat de berekeningen die thans worden gemaakt, bijdragen tot een

grotere kennis van de constructie en uiteindelijk ongetwijfeld zullen leiden tot verbeteringen.

Wat de sterkteberekening betreft dient te worden gememoreerd dat thans nog slechts toepassing van de elasticiteitstheorie is toegestaan.

De belangrijkste constructieve eis uit de pijpleidingcode is dat, waar het maar enigszins mogelijk is, waterkeringen boven het ontwerppeil gekruist moeten worden. Hiervoor zijn grote grondaanvullingen vereist, die niet alleen zeer kostbaar zijn doch tevens in de meeste gevallen in West-Nederland een zodanige zetting introduceren, dat een fundering op staal onmogelijk wordt.

Een paalfundering, en daarmee het vergroten van het gevaar voor kwel, dient dan voor lief te worden genomen. Voor grote leidingdiameters zijn de verticale krachten zo groot, dat aan een fundering op betonnen palen niet valt te ontkomen.

Een voorbeeld van een dergelijke kruising is de kruising met de rechter oever van de Nieuwe Merwede (afb. 6). De meest opmerkelijke zaken aan deze kruising zijn de volgende:

- Een fundering op betonpalen.
- Een zadeloplegging met een ondersteuningshoek van 180° en afscherming van de buis tegen bovenbelasting.
- Verstijvingsringen om de buis onder het wegdek van de langs de waterkering lopende weg.
- Verstijvingsringen in de knikken die scherper zijn dan 15°.

Hoe ingrijpend de pijpleidingcode en de leidraad zijn, blijkt o.a. ook uit de



Afb. 7 - Voorzetting van een kruisingsconstructie buiten het dijkprofiel. (De buizen worden op de juiste hoogte gesteld. In de scherpe knikken is een verstijvingsring aangebracht.)

kostenvergelijking, voor dezelfde waterkering, tussen een staalfundering zonder uitgebreide berekeningseisen en de uitgevoerde constructie met een paalfundering. Voor deze kruising, die bestaat uit 3 buizen  $\varnothing$  1400 mm en 1 van  $\varnothing$  1800 mm bedroegen de extra kosten tengevolge van het toepassen van de pijpleidingcode en de leidraad 430.000 gulden.

Door de VEWIN werkgroep 'Vloeistofleidingen in waterkeringen' is een schatting gemaakt betreffende de extra kosten benodigd voor de aanleg van nieuwe kruisingen en de bescherming en eventuele aanpassing van bestaande kruisingen; men kwam daarbij tot een bedrag van 440 miljoen gulden.

Opmerkelijk is ook dat de kruisingsconstructie niet meer beperkt is tot de kruising met de eigenlijke waterkering. Als eis wordt gesteld dat de voorschriften, zowel wat berekening als constructie betreft, gelden over een zo groot gebied, dat lekkages buiten dat gebied geen invloed meer hebben op de stabiliteit van de waterkering (afb. 7).

Niettemin moet de eis om een grondige sterkteberekening over te leggen als positief element worden onderkend. Deze eis leidt er immers toe dat het inzicht in de aanleg van transportleidingen wordt verdiept, hetgeen tot verbetering kan leiden van de toegepaste constructies.

Hoop mag worden gekoesterd dat straks

ook berekeningen gebaseerd op de plasticiteitsleer worden toegestaan.

Samen met gas- en oliemaatschappijen heeft de Vereniging van Waterleidingbedrijven in Nederland aan TNO opdracht gegeven te onderzoeken in hoeverre de plasticiteits-theorie voor de onderhavige constructies kan worden toegepast. (Het onderzoek wordt gecoördineerd en staat onder leiding van prof. Van Douwen.)

Ten aanzien van een reeks van bepalingen uit de pijpleidingcode evenwel blijven ernstige bedenkingen bestaan en dient te worden betreurd dat bij het samenstellen van de voorschriften zo weinig gebruik is gemaakt van het inzicht en de ervaring van de deskundigen uit de waterleidingsector.

## 6. Conclusies

Hoewel niet of ternauwernood in het voorgaande met cijfers geïllustreerd moge het duidelijk zijn dat het transport van water grote financiële offers vraagt, nog afgezien van de moeite en de tijd verbonden met de aanleg van transportleidingen.

Met een kleine wijziging van de basisgedachte van de leidraad, namelijk dat 'vloeistofleidingen in of nabij waterkeringen ongewenst zijn', ben ik geneigd te zeggen dat 'niet strikt noodzakelijk transport van water moet worden vermeden'. Onze eerste zorg en onze grootste aandacht

moet derhalve gericht blijven op het op een aanvaardbaar niveau houden, of helaas meestal op een aanvaardbaar niveau brengen, van de kwaliteit van het in Nederland beschikbare oppervlakte water en het vermeerderen van kennis en het verrichten van onderzoek om dit ruwe water om te zetten in drinkwater.

Afstandstransport kan, wanneer in de onmiddellijke omgeving van de productiebedrijven kwaliteitswater voorhanden is, worden vermeden.

Het is een gelukkige omstandigheid dat ons belang hier parallel loopt met dat van al degenen die het welzijn in ons land ter harte gaat.

## 7. Verantwoording

Bij het tot stand komen van deze voordracht werd medewerking verleend door de heren ing. J. J. de Jong, ir. B. Kuijt, ir. W. P. Nelisse en ing. F. van der Vate van de Gemeente Waterleiding Rotterdam.

