

**SUMMARY**

**Some safety aspects of oil pipelines**

The design and construction of oil pipelines, like other technical works, are governed by the requirement to establish a sound installation. Some salient aspects are discussed which contribute to the building of a safe oil pipeline.

## IV. Enkele veiligheidstechnische aspecten van oliepijpleidingen

### 1. Inleiding

Bij het ontwerpen en leggen van oliepijpleidingen wordt — evenals bij andere technische werken — uitgegaan van de eis, dat een verantwoorde constructie tot stand moet worden gebracht waarbij men kan spreken van bedrijfstechnische eisen en veiligheidstechnische eisen. Bij oliepijpleidingen zijn de financiële consequenties van het herstellen van eventuele schade en het verlies van olie in geval van bijvoorbeeld leidinglekage en vaak ook het verlies aan doorzet van dien aard dat hoge bedrijfstechnische eisen worden gesteld. Hierdoor worden de aan oliepijpleidingen te stellen verantwoorde veiligheidstechnische eisen geheel door bedrijfstechnische eisen gedekt.

De eisen die voor het ontwerpen en leggen van pijpleidingen worden gehanteerd, kunnen als volgt worden samengevat:

1. Geëigende ontwerpregels en berekeningsmethoden.
2. Scherp omlijnde materiaalspecificaties en uitgebreide controle op de vervaardiging en de kwaliteit van pijpen en andere onderdelen.
3. Gedetailleerde constructiespecificaties aangepast aan de terreingesteldheid en — bij bijzondere constructies — de individuele locaties. Toezicht en controle gedurende de bouw tot het moment dat de leiding na een drukproef gereed voor het gebruik wordt opgeleverd.

Van de vele factoren die hierbij een rol spelen zullen enkele aspecten hierna worden besproken.

### 2. Veiligheidsfactoren

Onder de veiligheidsfactor wordt gewoonlijk verstaan de verhouding tussen de gespecificeerde kleinste rekgrens en de toelaatbare spanning. Door pijpleidingingenieurs wordt veelal de term „ontwerpfactor” — de reciproque van de veiligheidsfactor — gebezigd, hetgeen m.i. de voorkeur verdient om mogelijke misverstanden ten aanzien van het begrip „veiligheid” uit te sluiten.

Om een indruk te geven hoe de berekeningsfactoren voor oliepijpleidingen zich verhouden tot die voor andere constructies wordt een vergelijking gegeven tussen: de „Voor-schriften voor het ontwerpen van stalen bruggen” (NEN 1008), het ontwerp „Leidraad voor oliepijpleidingen” van de „Benzine-Commissie 1927” en de Amerikaanse richtlijnen ASA/API. De volgende tabel geeft een vergelijking van een aantal verhoudingsgetallen voor een staal met een treksterkte van 52 kgf/mm<sup>2</sup>, hetwelk ongeveer overeenkomt met het internationaal gebruikte pijpleidingstaal API 5LX-52. Voor pijpen hebben de gegeven waarden betrekking op de spanning in tangentiële richting.

Verhouding	NEN 1008	Leidraad Benzine-Commissie	ASA/API
$\bar{\sigma}_t : \sigma_r$	0,67	0,69	0,72
$\sigma_r : \sigma_{tr}$	0,70	0,72	0,72
$\bar{\sigma}_t : \sigma_{tr}$	0,47 (0,50)	0,50 (0,52)	0,52 .....

waarin:  $\bar{\sigma}_t$  = toelaatbare spanning  
 $\sigma_r$  = rekgrens  
 $\sigma_{tr}$  = treksterkte

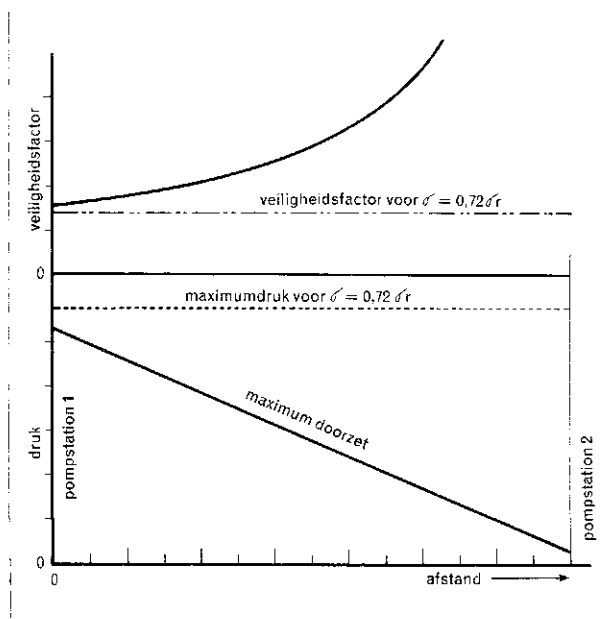
Vorenstaande tabel geeft aanleiding tot de volgende opmerkingen.

Het ontwerp (Leidraad) van de Benzine-Commissie geeft voor de verhouding  $\bar{\sigma}_t : \sigma_r$  (ontwerpfactor) een waarde van 0,72 gebaseerd op minimum wanddikte. Om een directe vergelijking mogelijk te maken is deze verhouding omgerekend op nominale wanddikte (0,69). Voorts gaat de Leidraad uit van pijpleidingstaal volgens API specificatie, die voor de kwaliteit X-52 een verhouding  $\bar{\sigma}_r : \sigma_{tr}$  van 0,72 vermeldt. Voor hoogwaardige staalsoorten mag volgens de Leidraad in de berekeningen geen grotere waarde voor de rekgrens dan 75 % van de treksterkte in rekening worden gebracht, waaruit een verhouding  $\bar{\sigma}_t : \sigma_{tr}$  van 0,52 resulteert, zoals tussen haakjes in de tabel is aangegeven. De vergelijkbare getallen voor  $\bar{\sigma}_t : \sigma_{tr}$  zijn in Duitsland en Frankrijk respectievelijk 0,48 en 0,58.

In NEN 1008 is bij de bepaling van de verhouding  $\sigma_r : \sigma_{tr}$  rekening gehouden met een nagelgatverzwakking van 20 %. Voor gelaste constructies met een lasfactor = 1, zoals bij pijpleidingen gebruikelijk is, kan daarom een hogere waarde verantwoord worden geacht dan in N 1008 wordt toegelaten. Het tussen haakjes geplaatste getal 0,50 in de kolom „N 1008” geeft de verhouding  $\bar{\sigma}_t : \sigma_{tr}$  voor een waarde van  $\sigma_r : \sigma_{tr}$  van 0,75.

Uit het vorenstaande moge blijken dat de in het ontwerp „Leidraad” van de Benzine-Commissie gebruikte verhoudingsgetallen alleszins verantwoord zijn. Bovendien zal uit het vervolg blijken dat het optreden van de maximale spanning ten gevolge van de bedrijfsdrukken slechts zeer plaatselijk voorkomt.

Tot zover is er alleen gesproken over de belasting van een pijpleiding ten gevolge van de inwendige druk. Er zijn nog andere belastingen, zoals bijvoorbeeld bij begraven pijpleidingen de grondbelasting en de bovenbelasting. In open terrein is er in het algemeen geen aanleiding hiermede apart



Afbeelding 1 - Drukval en veiligheidsfactor bij constante pijpwanddikte.

rekening te houden omdat de invloed van grondbelasting ten opzichte van de hoge inwendige druk van ondergeschikt belang is. Echter, bijvoorbeeld bij kruisingen met hoofdwegen, dient wel degelijk met uitwendige belastingen rekening te worden gehouden. M.i. is het daarbij van belang dat marges voor onzekerheden dáár in aanmerking worden genomen waar die onzekerheden zich voordoen. Dat wil zeggen: ten aanzien van toelaatbare spanningen in stalen pijpen dient men zich te baseren op de eigenschappen van het staal en mag men niet de ontwerpfactoren voor de inwendige belasting „aanpassen” om onzekerheden ten aanzien van bovenbelasting en eventuele zetting van de grond op te vangen.

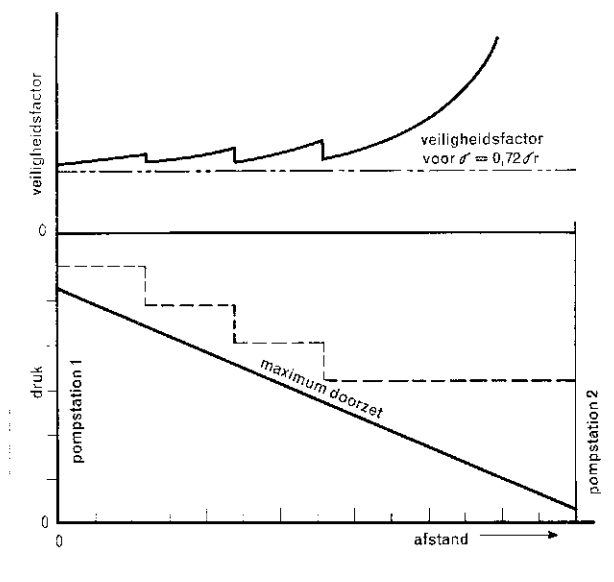
### 3. Pijpwanddikte

Bij het ontwerpen van oliepijpleidingen wordt uitgegaan van de geschatte doorzet over een aantal jaren. De keuze van de pijpdiameter, de pijpwanddikte, de klasse staal en het aantal pompstations wordt bepaald door een kostenvergelijking van een aantal alternatieven. Aan de hand van een voorbeeld van een oliepijpleiding in vlak terrein zal worden besproken hoe de wanddikte wordt bepaald voor de in de leiding optredende bedrijfsdrukken.

Afbeelding 1 laat zien hoe de druk in een pijpleiding tijdens normaal bedrijf verloopt als functie van de afstand voor de maximaal verwachte doorzet, d.w.z. de eindtoestand voor de leidingsectie tussen de pompstations 1 en 2. De horizontale streeplijn geeft de hoogst toelaatbare druk aan indien over de gehele leiding dezelfde pijpwanddikte wordt toegepast; de bovenste grafiek geeft de „veiligheidsfactor” (reciproque van de ontwerpdruk) als functie van de afstand.

Uit deze afbeelding blijkt dat — behalve de reserve tussen de hoogst toelaatbare druk en de hydraulische gradiënt — meer materiaal in de pijpwanddikte zou worden verwerkt dan nodig is.

Door de pijpwanddikte trapsgewijs in de leiding te verminderen zou materiaalbesparing kunnen worden verkregen zoals blijkt uit afbeelding 2. In het laatste gedeelte van de leiding wordt geen wanddiktevermindering toegepast omdat men in het algemeen bij een tijdelijke onderbreking van het bedrijf de afsluiters aan beide einden van de leiding zal sluiten, waardoor een evenwichtstoestand zal ontstaan ter hoogte van ongeveer de halve bedrijfsdruk. Bij het opnieuw



Afbeelding 2 - Drukval en veiligheidsfactor bij trapsgewijze wanddiktevermindering.

in bedrijf stellen helpt de in de leiding aanwezige energie dan de stroming weer tot stand te brengen.

Door discontinuïteiten in het bedrijf, b.v. het aan- of afschakelen van een pomp, kunnen in een leiding drukstoten ontstaan. De hoogste drukstoot treedt gewoonlijk op indien bijvoorbeeld door een onderbreking van de stroomvoorziening een pompstation uitvalt. De hoogste druk die ten gevolge van deze drukstoot in elk punt van de leiding kan optreden, kan worden uitgezet als een curve, zoals aangegeven in afbeelding 3. Thans blijkt dat de pijpwanddikte zoals aangegeven in afbeelding 2, en in afbeelding 3 weergegeven met een stippellijn, moet worden gecorrigeerd hoewel de eerste correctie aan de hogedrukzijde strikt genomen niet nodig is, aangezien een zeer tijdelijke overschrijding van de toelaatbare druk — waarvan hier sprake is — verantwoord wordt geacht mits de toelaatbare druk met niet meer dan 10 % wordt overschreden.

Het geval kan zich ook voordoen dat in de beginfase van het project pompstations 1 en 3 worden gebouwd terwijl de bouw van pompstation 2 tot een latere datum wordt uitgesteld. Uit afbeelding 4 blijkt dat voor het stromingsbeeld dat dan ontstaat wederom een correctie op de pijpwanddikte moet worden toegepast.

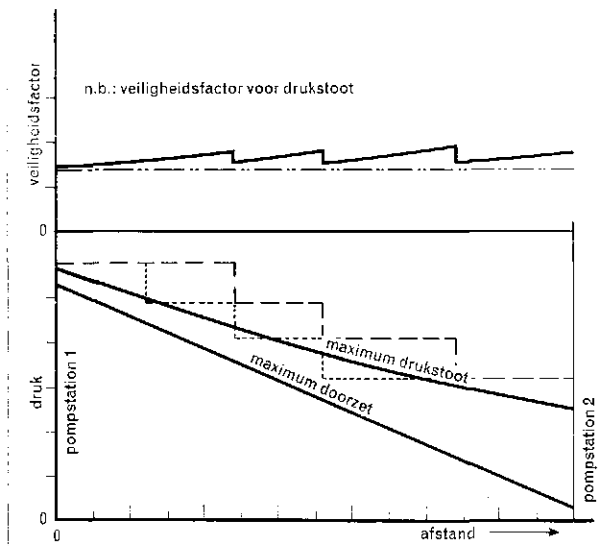
Het bovenstaande geeft aanleiding tot de volgende opmerkingen:

- De hoogste bedrijfsdruk waarvoor een pijpleiding wordt ontworpen komt slechts in een zeer gering aantal punten langs de leiding voor.
- Pijpwanddiktevariëaties komen in hoofdzaak voor bij pijpleidingen in sterk geaccidenteerd terrein. In vlak en heuvelachtig terrein zal men er vaak de voorkeur aan geven de pijpwanddikte niet te variëren en in plaats daarvan de in de wand aanwezige „reserve” te gebruiken voor het opvangen van externe belastingen, bijvoorbeeld in wijkruisingen.

### 4. Kruisingen

Het is niet mogelijk in dit bestek diepgaand op alle aspecten van de vele typen kruisingen in te gaan. Globaal kunnen kruisingen als volgt worden ingedeeld:

- kruisingen met wegen en spoorwegen
- kruisingen met waterwegen en waterkeringen.



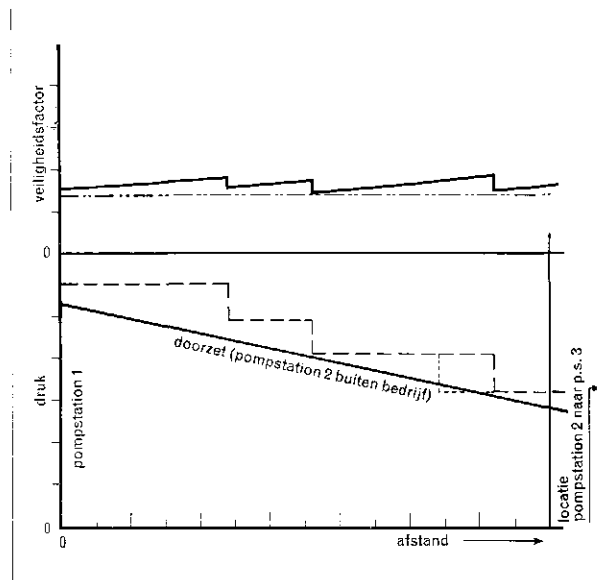
Afbeelding 3 - Invloed van drukstoten op pijpwanddikte.

Het is vele jaren gebruikelijk geweest de pijpleiding bij kruisingen met wegen en spoorwegen in een mantelbuis te leggen. Bij het gebruik van vooral stalen mantelbuizen worden daarbij problemen geïntroduceerd ten aanzien van de kathodische bescherming van de leiding, die ter plaatse van de mantelbuis wordt onderbroken. Het opnemen van de mantelbuis in het kathodische protectiesysteem van de leiding kan leiden tot het beschermen van de mantelbuis ten koste van de leiding. Doordat de inklemming van de leiding in de grond ter plaatse van een mantelbuis wordt onderbroken, kunnen bewegingen van de leiding ten opzichte van de mantelbuis optreden, waardoor de afdichting van de openingen van de mantelbuis wordt bemoeilijkt. Sinds enkele jaren is een bekledingsmateriaal op epoxy basis beschikbaar waardoor het mogelijk is geworden beklede leidingen door een weglichaam te boren of te persen, waardoor een mantelbuis achterwege kan worden gelaten. De opvatting wint dan ook meer en meer veld dat deze uitvoering de voorkeur verdient boven de toepassing van mantelbuizen. Het spreekt vanzelf dat de pijpleiding bij weglating van een mantelbuis zodanig moet worden gedimensioneerd dat de erop werkende uitwendige krachten kunnen worden opgenomen.

Kruisingen met waterwegen en waterkeringen, in het bijzonder in polders, kunnen netelige constructieproblemen opleveren. Zal men in het algemeen proberen een pijpleiding als slappe constructie uit te voeren, bij dit type kruisingen is dit niet altijd mogelijk, zodat een stijve constructie ontstaat waarbij ieder geval op zijn eigen merites moet worden beschouwd.

### 5. Sectie-afsluiters

Het doel van sectie-afsluiters is gedeelten van een pijpleidingsysteem te kunnen isoleren. Zij zullen dus worden toegepast ter weerszijden van pompstations, bij aftakkingen van hoofdleidingen en op strategische punten in de hoofdleiding zelf om een leidinggedeelte te isoleren en eventueel leeg te maken. Deze afsluiters mogen dus niet worden gezien als een afdoend hulpmiddel om het uitstromen van olie uit een leiding te voorkomen in geval van een beschadiging van de pijpleiding. Op het gebied van het isoleren van pijpleidinggedeelten hebben zich nieuwe ontwikkelingen voorgedaan waardoor het tegenwoordig mogelijk is van buitenaf afdichtingen in de leiding aan te brengen om een pijpleidinggedeelte van gewenste lengte te isoleren.



Afbeelding 4 - Invloed van het buiten bedrijf zijn van een pompstation op de pijpwanddikte.

### 6. Automatisering

In de techniek wordt veelal de uitdrukking automatisering gebruikt waar van mechanisering en automatisering moet worden gesproken. In dit licht bezien worden pijpleidingen met de meest geëigende apparatuur uitgerust. Onbemande pompstations welke vanuit een centrale controlepost worden bestuurd is een normaal verschijnsel. Zelfs kunnen pompstations automatisch worden bestuurd op basis van gegevens (doorzet, pers- en zuigdruk), die aan de pijpleiding ter plaatse van het pompstation worden ontleend.

Daarnaast worden beveiligingsinstallaties toegepast die ten dele tot doel hebben menselijke fouten te vermijden. Daarbij mag natuurlijk niet worden vergeten dat de toegepaste apparatuur — hoe klein de kans ook op een fout — niet onfeilbaar is. Men vindt dan ook in de praktijk dat de beveiliging van de essentiële onderdelen van het bedrijf niet door één enkel apparaat geschiedt. In deze gevallen gebeurt dit door meerdere apparaten, die vaak verschillende bedrijfs-onderdelen controleren, of door één apparaat met de mogelijkheid van ingrijpen door het bedieningspersoneel.

De beste bedrijfscondities en beveiligingen worden bereikt indien routinewerkzaamheden/controles worden uitgevoerd met daartoe geëigende apparatuur en een noodzakelijk minimum aan informatie wordt doorgegeven aan de centrale controlepost voor het uitoefenen van toezicht en de mogelijkheid van ingrijpen door het bedieningspersoneel.

### 7. Leidinglekkages

Met het vorenstaande is getracht een indruk te geven van enkele aspecten die een belangrijke rol spelen bij het tot stand komen van een technisch verantwoorde pijpleidingconstructie. De vraag kan nu worden gesteld hoe groot de kans is van het optreden van lekken en hoe eventuele lekken worden opgespoord.

Voor het bepalen van de kans op een pijpleidinglek is men in eerste instantie geneigd zich te verlaten op statistische gegevens. Statistieken zijn gebaseerd op gegevens uit het verleden en hebben in hoofdzaak betrekking op pijpleidingen die reeds (soms vele) jaren in bedrijf zijn. Gezien de technische ontwikkeling is dit soort statistische informatie ongeschikt om voorspellingen te doen voor pijpleidingen die gedurende de laatste 6-7 jaar zijn aangelegd. Uitwendige corrosie was in het verleden een belangrijke factor voor de mogelijkheid van lekkage, maar door de ontwikkeling

van bekleding en kathodische bescherming van pijpleidingen kan deze factor vrijwel worden verwaarloosd. Ook de fabricagemethoden van pijpen en het lassen van pijpleidingen aangevuld met moderne inspectietechnieken zijn tot een zodanig stadium van ontwikkeling gekomen dat pijpleidingen kunnen worden aangelegd die een lange reeks van jaren in bedrijf kunnen zijn zonder dat daarin een lek behoeft op te treden.

Ter aanvulling mag worden opgemerkt dat de pijpleidingbreuk die in 1967 in een pijpleiding in Duitsland is opgetreden, kan worden teruggevoerd tot een fabricagefout gedurende de eind vijftiger jaren toen het proces van het onder poeder lassen van langsnaden in pijpen nog in de beginfase was. Sinds het begin van de zestiger jaren wordt langsgelaste pijp geleverd die kwalitatief gelijkwaardig is aan naadloze pijp.

Een derde oorzaak voor pijpleidinglekken is de beschadiging door invloeden van buitenaf, bijvoorbeeld door een graafmachine. Door regelmatige controle langs of over het leidingtracé wordt getracht dit soort lekkages te voorkomen.

Als algemene conclusie mag worden gesteld dat pijpleidinglekken niet als een regelmatig voorkomend verschijnsel worden geaccepteerd, maar dat hier van incidentele ongelukken moet worden gesproken.

Het onderkennen en opsporen van grote lekken, bijvoorbeeld in geval van een pijpleidingbreuk, brengt technisch geen bijzondere problemen met zich: lekken in de orde van 100 m<sup>3</sup>/hr en groter zullen zeer snel worden onderkend met de apparatuur die gewoonlijk in de centrale controlepost wordt gebruikt. Kleinere lekken zullen ook worden onderkend, maar naar mate ze kleiner zijn zal er meer tijd voor nodig zijn. Hoewel geen wetenschappelijk bewijs kan worden geleverd, is het in de praktijk wel mogelijk gebleken lekken van 1 m<sup>3</sup>/hr soms direct te onderkennen. De moeilijkheid

komt indien een lek zou moeten worden onderkend dat binnen de nauwkeurigheidsgrenzen ligt van de kwantiteitsmetingen aan beide einden van de pijpleiding.

Het is voor dit gebied dat het Koninklijke/Shell Laboratorium te Amsterdam een apparaat heeft ontwikkeld voor het opsporen en lokaliseren van lekken langs akoestische weg. Dit apparaat — de ultrasonische lekdetector — wordt door de vloeistof in de pijpleiding voortbewogen en vangt het geluid op dat door de uit een lek stromende vloeistof wordt geproduceerd<sup>1</sup>). Door een negatieve bewijsvoering kan worden aangetoond dat — zoals als regel in de praktijk het geval is — geen lek in een leiding aanwezig is.

Ontwikkelingswerk op het gebied van opsporen van lekken wordt voortgezet en wellicht wordt het nog eens mogelijk de plaats op te sporen waar het eerste (of eerstvolgende) lek zou kunnen ontstaan.

#### 8. Slotwoord

Een pijpleiding is een betrouwbare constructie voor het transport van olie. Aangezien we in een moderne maatschappij niet kunnen leven zonder olieproducten, vervullen oliepijpleidingen een nuttige functie. Evenmin kunnen we leven zonder drinkwater en er kunnen zich in dit verband problemen voordoen die m.i. het best door de water- en oliedeskundigen gezamenlijk kunnen worden aangepakt, waarvoor de door de olie-industrie opgerichte Stichting CONCAWE van harte als gesprekspartner wordt aanbevolen.

<sup>1</sup>) Inmiddels gepubliceerd: „Het opsporen en lokaliseren van lekken in vloeistofpijpleidingen langs akoestische weg” door ir. A. J. van Riemsdijk en H. Bosselaar, „De Ingenieur”, no. 26, 21 juni 1968, blz. M 9 e.v.