



Bijlage 13

Rapport TU Delft:
Bepaling van de rekapaciteit van oud leidingmateriaal
datum: 27 januari 2003

Bepaling van de Rekcapaciteit van oud Leidingmateriaal

Veiligheidstoetsing van een 1272 x 11 mm stalen leidingkruising met de waterkering in het Pernisse hoofd welke is aangelegd in 1967 en vervaardigd uit St37.2.

Aan Ing. J. Kreber,
 Waterbedrijf Europoort
 Postbus 59999
 3008 RA Rotterdam

Van Prof. Dr. Ir. A. Bakker
 TU-Delft, Laboratorium voor Technische Materiaalwetenschappen,
 Postbus 5025,
 2600 GA Delft.

 Ir. A.M. Gresnigt
 TU-Delft, Civiele Techniek en Geowetenschappen
 Postbus 5048,
 2600 GA Delft.

Datum 27 januari 2003

INHOUD

1. Inleiding en probleemstelling.....	3
2. Gegevens	3
3. Belangrijke aspecten	4
4. Methode van aanpak	4
5. Defectgeometrie en defectgrootte	5
5.1 Defectgeometrie.....	5
5.2 Defectgrootte	6
5.2.1 <i>Op basis van NEN 3650</i>	<i>6</i>
5.2.2 <i>Op basis van Keuringsrapporten RTD en IIW klassering.....</i>	<i>7</i>
5.2.3 <i>Maatgevende discontinuïteiten bij de RRP kruising met de</i>	
<i>Vondelingenweg</i>	<i>9</i>
5.2.4 <i>Conclusie defectafmetingen.....</i>	<i>9</i>
6. Beproeving.....	10
6.1 Proefstukken	10
6.2 Proefopstelling.....	10
6.3 Proefresultaten.....	10
7. Evaluatie	11
8. Conclusies en aanbevelingen	13
Bijlage 1: Bestek van een 1400-15 mm ruwwater transportleiding	17

1. Inleiding en probleemstelling

In het kader van het toetsen van de veiligheid van oude leidingkruisingen van het Waterbedrijf Europoort is gevraagd de rekcapaciteit te bepalen van de buiswand van een Ø 1272-11 mm watertransportleiding uit 1967. De betreffende transportleiding is vervaardigd uit St37.2 en is gelegen in een dijk kruising / rivierkruising met de Nieuwe Maas in Rotterdam.

Bij grote belastingen (met name buiging door zettingsverschillen en grondreacties) kan vloeien van het buismateriaal optreden. De buiswand inclusief de daarin voorkomende lassen moet voldoende rekcapaciteit hebben om de buigvervorming mogelijk te maken zonder het optreden van scheuren. Maatgevend voor de rekcapaciteit zijn de rondlassen ter plaatse van de mijterbochten.

Aan het Laboratorium voor Technische Materiaalwetenschappen, TU-Delft, is gevraagd onderzoek uit te voeren naar de aanwezige rekcapaciteit in het betreffende leidingmateriaal. Daartoe is zowel theoretisch als experimenteel onderzoek uitgevoerd aan door opdrachtgever ter beschikking gesteld buismateriaal. De resultaten van het onderzoek zijn in dit rapport vermeld.

De belangrijkste conclusie is dat dank zij het taaie plaatmateriaal, de grote mate van overmatching van de lassen en de destijds gehanteerde keuringseisen, het buismateriaal zeer aanzienlijke rekken kan opnemen. Als veilige waarde voor de rekcapaciteit wordt aanbevolen de lengte van het vloeigebied tot aan versterking in het spanning - rek diagram. Voor het onderhavige ST37.2 kan voor deze waarde 2 % worden aangehouden.

Bij de uitgevoerde proeven met kunstmatig aangebrachte defecten die aanzienlijk groter waren dan in de destijds en in de huidige specificaties aanvaardbaar zijn, is steeds breuk buiten de laszones opgetreden bij rekken groter dan 13 %.

2. Gegevens

De buizen 1272-11 mm zijn vervaardigd uit St 37.2. Verdere gegevens zijn:

- Leiding productnorm: Volgens opgave opdrachtgever werden vanaf 1965 stalen buizen (St 37-2) besteld volgens DIN 1626, blad 3, "Geschweißte kreisförmige Rohre aus unlegierten Stählen für besondere Anforderungen; Technische Lieferbedingungen".
- Materiaaleigenschappen buiswand: Materiaalcertificaten van de buizen 1272-11 mm zijn niet meer beschikbaar. Omdat het materiaal voldoet aan DIN 1626, blad 3, mag er van uit worden gegaan dat de mechanische eigenschappen en verwerkingseigenschappen (lasbaarheid) goed zijn. Lasspecificatie rondnaad: De lasspecificatie rondnaad van de onderhavige 1272-11 mm buis is niet meer beschikbaar. In de bijlage 1 is een gedeelte van het bestek van de 1400-15 mm ruwwater transportleiding vanaf de Oude Maas naar de doorpersing onder de spoorlijn Rotterdam – Dordrecht nabij de molenweg in de gemeente Heerjansdam opgenomen. Dit bestek geeft een goede indruk voor watertransportleidingen in terreinstrekkingen uit de betreffende periode. De bestekseisen voor de kruisingen waren strenger.
- NDO Keuringsspecificatie – keuringsrapporten: Volgens informatie van de opdrachtgever (en RTD) zijn in de onderhavige kruisingen destijds alle verstek en rondlassen radiografisch onderzocht. Als keuringscriterium is daarbij de IIW classificatie van lasfouten aangehouden

waarbij alleen de klassen 1 en 2 werden geaccepteerd. Keuringsrapporten zijn echter niet meer beschikbaar.

- **Beproevingsmateriaal:** Omdat beproevingsmateriaal van buizen 1272-11 mm niet meer beschikbaar was en destructief onderzoek aan de betreffende leiding uiteraard niet mogelijk is, is gebruik gemaakt van leidingmateriaal uit ongeveer dezelfde periode (1955) en dezelfde staalsoort, namelijk een ca. 614-7 mm leiding.

3. Belangrijke aspecten

Belangrijke aspecten bij de beoordeling van de rekcapaciteit zijn de volgende.

- **Overmatched lasmetaal.** Bij overmatched lasmetaal is de vloeigrens van het lasmetaal groter dan die van het plaatmateriaal. Als de vloeigrens van het lasmetaal voldoende hoger is dan die van het plaatmateriaal, zal bij belasten vloeien in het plaatmateriaal optreden en niet in de las (van de rondnaad). Hierdoor wordt een veel kleiner beroep gedaan op de (breuk-)taaiheid van het lasmetaal dan wanneer de vloeigrenzen van beide metalen aan elkaar gelijk zijn of indien de vloeigrens van het lasmetaal lager is dan die van het plaatmateriaal. Naarmate de sterkte van het plaatmateriaal groter is wordt het moeilijker om aan de eis van overmatched lasmetaal te voldoen. In dit geval met St37.2, zal de eis van overmatched lasmetaal vermoedelijk geen problemen geven.
- **Discontinuïteiten (lasfouten).** Ter plaatse van lasfouten treden rekconcentraties op, waarvan de grootte afhankelijk is van de aard, de positie en de grootte van de lasfout en van de gemiddelde rek in de doorsnede.
- **Breuktaaiheid van de las.** De breuktaaiheid van lasmetaal is in het algemeen kleiner dan die van het plaatmateriaal.
- **Overdikte van de las.** Overdikte van de las draagt in het algemeen bij aan de sterkte van de las en is daardoor gunstig. Opgemerkt wordt dat hieraan grenzen zijn. Excessieve overdikte heeft nadelen en moet worden voorkomen.

4. Methode van aanpak

De meest gangbare aanpak van het onderhavige probleem is het uitvoeren van een z.g. "fitness for purpose" (FFP) analyse, waarbij voor een aangenomen of waargenomen defectgeometrie moet worden aangetoond dat deze niet tot bezwijken leidt. De meest toegepaste FFP methodieken zijn de z.g. R6 procedure (oorspronkelijk ontwikkeld door het Engelse CEGB) en het CTOD (Crack Tip Opening Displacement) Design Curve concept (gebaseerd op grootschalige "wide plate" tests bij het Engelse Welding Institute, en als procedure vastgelegd door het British Standardisation Institute, BSI).

Hoewel de oorspronkelijke aanpak van deze methodieken totaal verschillend was, zijn de huidige versies sterk naar elkaar toe geconvergeerd. Het enige wezenlijke verschil is nog de toegepaste breukparameter, de kritische J-integraal (J_{Ic}) bij de R6 procedure en de kritische CTOD bij de CTOD Design curve.

Gezien de afmetingen van het beschikbare materiaal (wanddikte 7 mm) is het uitvoeren van geldige J_{Ic} metingen uitgesloten. Ervaring met "subsized" proefstaven met afmetingen gelijk aan Charpy kerfslagstaven (10 mm) heeft dit geleerd. Voor CTOD proeven mag de hoogte gelijk zijn aan de wanddikte zijn, maar ook CTOD metingen aan proefstaven met een hoogte van 7 mm zijn zeer moeilijk met voldoende nauwkeurigheid uit te voeren.

Een alternatieve aanpak is het in Gent (prof. W. Soete, prof. R. Denys) ontwikkelde "gross yield" concept. Als een constructie plastisch vervormt door algemeen plastisch vervormen van het basismateriaal, ondanks een defect in een las met "overmatching", kan ervan uit worden gegaan dat de situatie veilig is. Vanwege mogelijke schaafeffecten moeten de proeven wel op ware grootte worden uitgevoerd, hetgeen in het onderhavige geval echter geen probleem is.

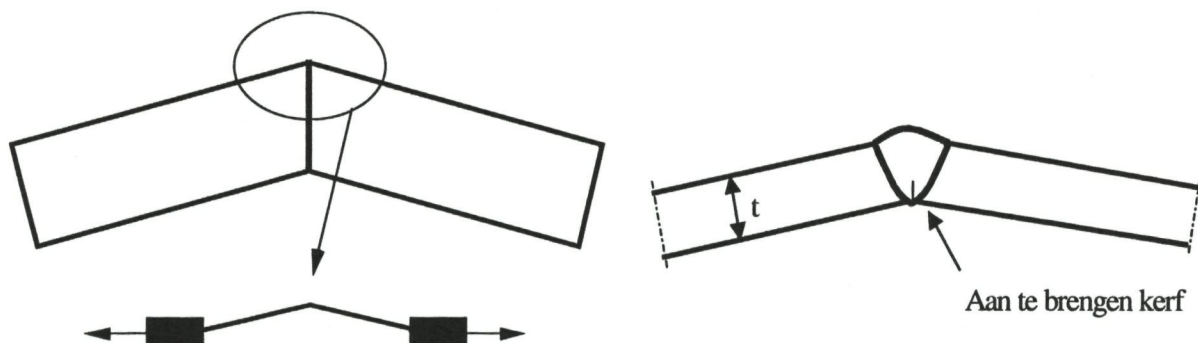
Op basis van het voorgaande is daarom voorgesteld om proeven uit te voeren op de delen van de pijpleiding waar de grootste plastische vervormingen optreden, in combinatie met de meest waarschijnlijke defect locatie. In dit geval is dat de rondlas ter plaatse van een mijterbocht.

5. Defectgeometrie en defectgrootte

5.1 Defectgeometrie

Bij de meeste FFP beoordelingen vormen vermoeiingsdefecten de belangrijkste bron van zorg. Daar is bij het onderhavige geval echter geen sprake van. Alleen defecten die al vanaf het begin aanwezig waren spelen een rol. Dit zijn zeer waarschijnlijk defecten als gevolg van onvoldoende doorlassing aan de binnenzijde van de leiding. Een dergelijk defect heeft de grootste invloed aan de buitenzijde van een bocht als deze op trek (vanwege externe buiging) wordt belast.

Omdat in dit geval de rondlas in de mijterbocht het zwaarst wordt belast op een combinatie van trek en buiging, is voorgesteld om uit de buitenkant van soortgelijke bochten proefstukken uit te nemen, deze te voorzien van een kunstmatig defect aan de binnenzijde van de leidingwand en daarna te onderwerpen aan een bezwijkproef als aangegeven in de onderstaande figuur. Deze wijze van belasten sluit nauw aan bij de belasting die de buis in werkelijkheid ondergaat. De "knik" wordt als het ware gestrekt; de binnenzijde van de buiswand zal meer rekken dan de buitenzijde.



Figuur 1 – Proefopzet.

Omdat geen (geschikte) mijterbocht beschikbaar was om proefstukken uit te vervaardigen, is in overleg met de opdrachtgever besloten gebruik te maken van een recht buisgedeelte met

een rondlas uit hetzelfde materiaal en ongeveer dezelfde periode. Mogelijk zal in een later stadium het onderzoek worden vervolgd met beproevingen op een mijterbocht.

Voor wat betreft de diepte en de lengte van het aan te brengen defect is een (ruime) bovengrens gekozen van hetgeen mogelijkwerijs in dergelijke leidingen aanwezig kan zijn, namelijk een defect met een lengte van 25 mm en een diepte van 2 mm. In par. 5.2 is een toelichting gegeven op deze gekozen defectafmetingen.

Gekozen is om de defecten door vonkverspaning aan te brengen. De scherpte van dergelijke kerven is weliswaar minder dan van vermoeiingsdefecten, maar zoals reeds opgemerkt zijn vermoeiingsdefecten hier niet aan de orde. Voorts is uit eerder onderzoek gebleken dat een minder scherpe kerf weliswaar iets later initieert dan een vermoeiingskerf, maar dat het stabiele scheurgroeigedrag na initiatie vrijwel identiek is.

5.2 Defectgrootte

5.2.1 Op basis van NEN 3650

In de discussie met de Provincie Zuid-Holland is door de heer De Kock aan WBE voorgesteld de dubbele foutgrootte te nemen die volgens NEN 3650 aanvaardbaar is. Op blz. 301 van NEN 3650 (1992) is onder het hoofd "4 Beoordeling van radiografieën" de volgende informatie gegeven.

4 Beoordeling van radiografieën

Samenvatting aanvaardbaarheidsmaatstaven.

Deze samenvatting is gemaakt als hulp voor de filmbeoordeler in de doka.

De maatstaven zoals omschreven in par. 3 blijven maatgevend.

type inhomogeniteit	aanvaardbaarheid 1)		par.
onvolkomen doorlassing	$\bar{l} \leq 0,33 d_c$ max. 6 mm $\bar{l}_{tot} \leq 25$ mm per 300 mm laslengte		3.2
holle doorlassing	zwarting afbeelding $\leq$ zwarting mat. Indien zwarting afbeelding $>$ zwarting mat. dan beoordelen als onvolkomen doorlassing (zie 3.2)		3.3
doorbranding	zwarting afbeelding $\leq$ zwarting mat. Indien zwarting afbeelding $>$ zwarting mat. dan geldt : $\bar{l} = 0,33 d_c$ max. 6 mm $\bar{l}_{tot} \leq 12$ mm per 300 mm		3.4
langgerekte insluiting ($l > 3b$)	b	$\bar{l}$ of $\bar{l}_{tot}$ per 300 mm	3.5
	$b \leq 1$ mm $1 \text{ mm} < b \leq 2$ mm $2 \text{ mm} < b \leq 3$ mm $3 \text{ mm} < b$	$4d_c$ max. 50 mm $2d_c$ max. 25 mm d_c max. 12 mm niet aanvaardbaar	
korte insluiting ($l < 3b$)	$\bar{l} \leq 0,25 d_c$ max. 4 mm max. 3% geprojecteerd lasoppervlak, zie voorbeelden paragraaf 5		3.5
bindingsgebrek	mits ingesloten $\bar{l} \leq d_c$ $\bar{l}_{tot} \leq 25$ mm per 300 mm laslengte		3.6
scheuren	niet toelaatbaar		3.7
samengaan van lasgebreken	met uitzondering van korte insluitingen $\bar{l}_{tot} \leq 50$ mm per 300 mm laslengte		3.8
1) Indien de beoordeelde laslengte minder is dan 300 mm, dient $\bar{l}_{tot}$ evenredig te worden verminderd.			

Geconcludeerd kan worden dat indien wordt uitgegaan van bijvoorbeeld een in de wortel van de las aangebrachte kerf met een diepte van 0,25 t met een maximum van 3 mm en een lengte van 25 mm ruimschoots voldoen aan het voorstel van de Provincie Zuid-Holland. Immers de afmetingen zijn groter, de vorm (scherpte van de door vonkverspaning aan te brengen kerf) is ongunstiger dan bij een onvolkomen doorlassing en voor wat betreft de bindingsfout is vooral van belang dat deze in NEN 3650 ingesloten moet zijn en hier een aan de oppervlakte grenzende fout wordt aangebracht.

5.2.2 Op basis van Keuringsrapporten RTD en IIW klassering

Opdrachtgever, de heer Kreber heeft bij de RTD, die destijds de lassen heeft gekeurd, geïnformeerd naar de destijds gehanteerde eisen en naar relevante rapporten van uitgevoerde keuringen (NDO-onderzoek). De belangrijkste informatie is dat in dergelijke kruisingen destijds alle rondnaden en versteklassen radiografisch werden onderzocht. Als keuringscriterium is daarbij de IIW classificatie

van lasfouten aangehouden waarbij alleen de klassen 1 en 2 werden geaccepteerd. Keuringsrapporten zijn echter niet meer beschikbaar.

Onderstaand volgt een overzicht van de klassering volgens IIW waartegen destijds doorgaans keuringen werden uitgevoerd.

Omschrijving en klassering van lasfouten volgens IIW (International Institute of Welding)	
Omschrijving van de lasfouten	klassering
• homogene las of las met een enkele verspreid liggende gasholte (Aa)	1 (zwart)
• zeer geringe afwijkingen in homogeniteit d.w.z. één of meer fouten in de norm van: - gasholten (Aa ...Ab) - slakinsluitels (Ba ...Bf) - inkartelingen (F)	2 (blauw)
• geringe afwijkingen in homogeniteit d.w.z. één of meer fouten in de vorm van: - gasholten (Aa...Ab) - dakinsluitels (Ba...Bf) - inkartelingen (F) - fouten in de grond van de las (C)	3 (groen)
• opvallende afwijkingen in de homogeniteit d.w.z. één of meer fouten in de vorm van: - gasholten (Aa ... Ab) - slakinsluitels (Ba ...Bf) inkartelingen (F) - fouten in de grond van de las (C) - bindingsfouten (D)	4 (bruin)
• zeer ernstige afwijkingen in homogeniteit d.w.z. één of meer fouten in de vorm van - gasholten (Aa...Ab) - slakinsluitels (Ba ...Bf) - inkartelingen (F) - fouten in de grond van de las (C) - bindingsfouten (D) - scheuren (E)	5 (rood)
Opmerkingen: - De achter de omschrijving tussen () vermelde letters zijn de internationale hiervoor gebruikte coderingen. - De achter de klasseringscijfers vermelde kleuren zijn de overeenkomstige kleurcoderingen volgens de IIW-collectie van reference radiografieën.	

Opgemerkt wordt dat indien bindingsfouten voorkomen, de klassering ten hoogste een 4 is.

Op basis van het bovenstaande en het gegeven dat destijds alleen 1 en 2 werd geaccepteerd, kan worden geconcludeerd dat de NEN 3650 zeker niet strenger is dan waartegen de onderhavige leidingen destijds werden gekeurd.

5.2.3 Maatgevende discontinuïteiten bij de RRP kruising met de Vondelingenweg

In 1989/1990 zijn berekeningen uitgevoerd aan een kruising van de 24 inch leiding van de Rotterdam Rijn Pijpleiding maatschappij (RRP) met de Vondelingenweg in Rotterdam. Aanleiding waren onder meer de grote zettingen die waren geconstateerd in de Vondelingenweg. De oorzaak was gelegen in de slechte ondergrond, gecombineerd met een aanzienlijke verbreding en ophoging van de Vondelingenweg.

Bij de beoordeling van de veiligheid van de bestaande kruising is uiteraard ook gekeken naar de rekcapaciteit van het leidingmateriaal. In het door TNO opgestelde rapport (B-89-615) is in par. 6.2.2 het volgende vermeld:

6.2.2 Maatgevende discontinuïteiten

De aan te nemen discontinuïteiten kunnen worden afgeleid met de pijpleiding specificaties die op de onderhavige pijpleiding van toepassing waren.

De maximale afmetingen (lengte ℓ en diepte a) van de toegelaten discontinuïteiten zijn:

- *langlassen: $\ell = 25 \text{ mm}$, $a = 1 \text{ mm}$;*
- *rondlassen : $\ell = 25,4 \text{ mm}$, a is niet gegeven. Voor de beoordeling van de betreffende leiding is a gesteld op $a = 0,25 \text{ t}$, ofwel in dit geval de dikte van een laslaag.*

In 1978 is door de Dienst voor het Stoomwezen een onderzoek uitgevoerd naar de aard en ernst van lasfouten die zijn vastgesteld in een aantal rondgaande lassen uit de 24" pijpleiding Pernis-Venlo ter plaatse van de dijk kruising bij Barendrecht. Hierbij werden slak insluitingen met een maximale dikte van 2 mm geconstateerd en een onvolkomen doorlassing met een hoogte van in één geval van 2,8 mm en overigens maximaal 1,2 mm.

Voor de rondlassen (in de Vondelingenweg kruising) is gerekend op een defect met een dikte van $0,25 \text{ t} = 3,08 \text{ mm}$. Deze aanname is ongunstiger dan de geconstateerde defecten, zodat de berekening niet behoeft te worden herzien.

Opgemerkt wordt dat het leidingmateriaal in de betreffende kruising API-5LX-46 was, met een vloeigrens $\geq 323 \text{ N/mm}^2$. Aan Gasunie is toen advies gevraagd over te hanteren CTOD waarde om de rekcapaciteit te berekenen volgens de toen geldende inzichten. In de onderhavige WBE leiding is de toegepaste staalsoort St37.2 (vloeigrens $> \text{ca. } 240 \text{ N/mm}^2$).

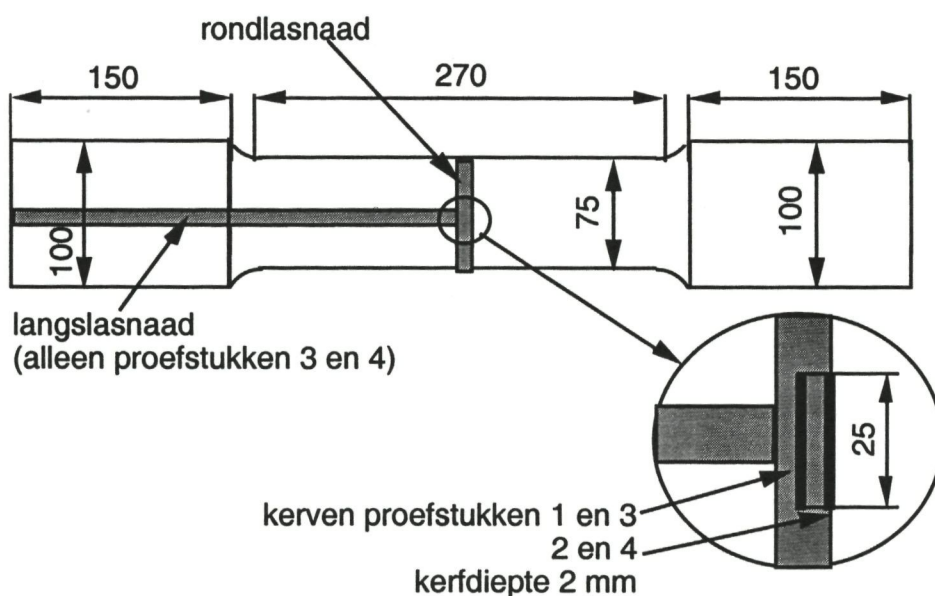
5.2.4 Conclusie defectafmetingen

Het geheel overziende kan worden geconcludeerd dat als wordt uitgegaan van een in de wortel van de las aangebrachte kerf met een diepte van $0,25 \text{ t}$ met een maximum van 3 mm en een lengte van 25 mm, defectafmetingen zijn gekozen die ruim boven hetgeen destijds werd toegelaten liggen en aanwezig zouden kunnen zijn in de onderhavige kruisingen.

6. Beproeving

6.1 Proefstukken

Uit het ontvangen leidinggedeelte zijn vier proefstukken genomen met afmetingen volgens Figuur 2. De dikte van het materiaal bedraagt 7,2 mm. De eerste twee proefstukken (nummers 1 en 2) bevatten centraal in dwarsrichting een stuk van de rondnaad van de leiding. De overige twee (nummers 3 en 4) bevatten over de helft van de lengte ook een stuk langснаad. Zoals eerder aangegeven zijn kerven in deze proefstaven aangebracht middels vonkverspaning. De tipradius van deze kerven is 0,1 mm, lengte en diepte zijn resp. 25 en 2 mm ($0.25 \times \text{wanddikte} = 1,8 \text{ mm}$, afgerond 2 mm). Bij proefstukken 1 en 3 bevinden de kerven zich centraal in het lasmateriaal, bij proefstukken 2 en 4 zijn de kerven in het grensgebied tussen las- en basismateriaal aangebracht.



Figuur 2 - Proefstukken

6.2 Proefopstelling

De proeven zijn uitgevoerd op servo-hydraulische trek/vermoeiingsmachines. Proefstuk 1 werd beproefd op een 1 MN machine van het Laboratorium voor Maritieme Techniek van de TU Delft. Toen bleek dat de maximale kracht onder de 250 kN bleef zijn de overige proefstukken beproefd op een 500 kN machine van het Laboratorium voor Technische Materiaalwetenschappen van de TU Delft (de grens van 250 kN betreft de capaciteit van de hydraulische inklembekken van deze machine). De verlenging werd gemeten met op het proefstuk aangebrachte elektronische verplaatsingsopnemers. De meetlengte was 270 mm.

6.3 Proefresultaten

Tijdens de proeven werden de kracht en de verlenging geregistreerd, zodat het vervormingsgedrag tot breuk kon worden gevolgd. De figuren 4 tot en met 7 (opgenomen na hoofdstuk 8. Conclusies en aanbevelingen), geven de uit deze meetresultaten bepaalde spanning-rek diagrammen.

Alle proefstukken zijn gebroken in het basismateriaal, dus buiten de laszone met de daar aangebrachte kerf. Figuur 8 geeft hiervan een voorbeeld voor proefstuk 2. Dit betekent dat de lassen met de daarin aangebrachte kerven geen invloed hebben gehad op de sterkte en rekcapaciteit van de proefstukken.

De proefstukken met uitsluitend een deel van de rondnaad (proefstukken 1 en 2) vertonen een maximale uniforme rek (bij maximale belasting, d.w.z. vlak voor het moment van insnoering) van ca. 20% en een breukspanning van ca. 360 MPa, hetgeen een normale waarde is voor deze materiaalklasse.

De maximale uniforme rek van de proefstaven met ook een gedeelte van een langsnaad (proefstukken 3 en 4) bedraagt ca. 13%. De breukspanning is onveranderd ca. 360 MPa.

7. Evaluatie

Het feit dat alle proefstukken, ondanks de aanwezigheid van een kerf in of bij de las, breken in het basismateriaal kan worden veroorzaakt door overmatching laseigenschappen en/of een grotere wanddikte ter plaatse van de las. Dit laatste is waar te nemen, en blijkt ook het geval te zijn.

Om een uitspraak te kunnen doen of er sprake is van overmatching van de las zijn hardheidsmetingen uitgevoerd. De hardheid van het basismateriaal is ca. HV 140, die van het lasmateriaal ca. HV 170. Dit toont inderdaad aan dat er sprake is van overmatching. Deze is echter niet zo groot dat geen plastische vervorming in de las optreedt.

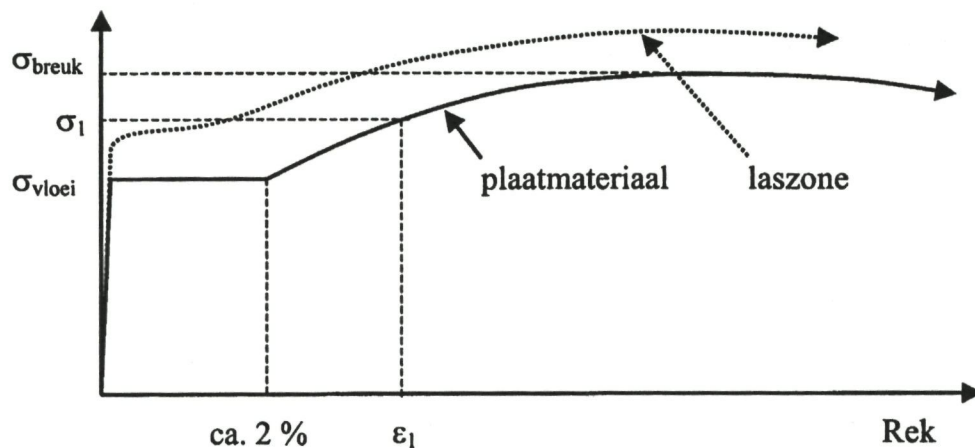
Uit de permanente breedtevermindering van de las kan een globale plastische rek van ca. 2,6 % in de laszone worden afgeleid. Bij de kerftip zullen echter veel grotere rekken optreden. Dit blijkt ook uit een doorsnede ter plaatse van de kerf in de las van proefstuk 1, zie figuur 9. De scheurtip opening is toegenomen van 0,2 mm tot ca. 0,6 mm, hetgeen zeer hoge rekken impliceert. Verder blijkt er alleen sprake te zijn van "scheurafstomping", en is er (nog) geen sprake van scheuruitbreiding.

Al deze constatering bewijzen dat de las sterker is (hetgeen dikwijls gepaard gaat met afname van de ductiliteit) en tegelijkertijd over een hoge mate van taaiheid beschikt, waarbij in de las (bij de aangebrachte kerf) minimaal rekken zijn opgetreden van 2,5 tot 3%. Deze rekken zijn opgetreden bij het ontstaan van breuk, dus bij overall rekken in de orde van 13 tot 20 %.

Uiteraard moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat in ander buismateriaal en laswerk de omstandigheden (taaiheid, overmatching, belastingswijze) ongunstiger kunnen zijn, ondanks het feit dat in dit onderzoek, vooral voor wat betreft de aangebrachte kerf, van een ongunstige situatie is uitgegaan. Er wordt op gewezen dat in het onderhavige onderzoek gebruik is gemaakt van niet hetzelfde buismateriaal (andere wanddikte) dat onder niet geheel dezelfde omstandigheden is belast (las in rechte buis en niet in de mijterbocht) dan het buismateriaal in de betreffende 1272-11 mm mijterbocht.

Een veilige benadering is de overall rekken (de rekken die volgen uit de pijpleidingberekening) te beperken tot het vloeigebied van het moedermateriaal. Voor het onderhavige ST37.2 kan voor deze waarde 2 % worden aangehouden.

De reden hiervoor is dat door het overmatched zijn van de lassen, tot de verstevigingsrek van ca. 2 % de plastische vervormingen worden geleverd door het plaatmateriaal (met zeer grote rekcapaciteit). Dit betekent dat het voor de lassen (laszone) dan niet uitmaakt hoeveel rek wordt aangebracht. Immers de spanning in de lassen blijft in het elastisch gebied. In figuur 3 is dit geïllustreerd. Tot $\sigma = \sigma_{\text{vloeï}}$ van het plaatmateriaal is de rek in de laszone lager dan de vloeirek van de laszone. Bij grotere belasting, bijvoorbeeld tot $\sigma = \sigma_1$ zal ook in de laszone vloeien optreden en zal er een beroep worden gedaan op de rekcapaciteit van de laszone zelf.



Figuur 3 - Spanning-rek diagrammen van het plaatmateriaal en de laszone (kwalitatief)

Bij het beproefde buismateriaal bleek dat de mate van overmatching en de eigen taatheid van de lassen (laszone) zo groot waren dat ondanks de aangebrachte kerven, breuk buiten de laszone optrad. Rekening houdend met mogelijke variaties in de mate van overmatching en taatheid (het buismateriaal in leidingkruising bij het Pernisse hoofd is niet direct onderzocht), wordt aanbevolen de maximale spanning te beperken tot de vloeigrens en daarmee de rekken tot de verstevigingsrek van ca. 2 %.

8. Conclusies en aanbevelingen

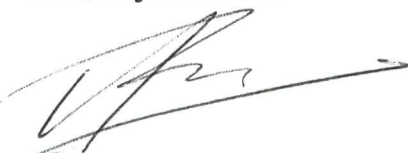
In het kader van het toetsen van de veiligheid van oude leidingkruisingen is gevraagd de rekcapaciteit te bepalen van een Ø 1272-11 mm watertransportleiding uit 1967 vervaardigd uit St37.2, gelegen in een dijk kruising / rivierkruising met de Nieuwe Maas in Rotterdam.

Omdat dit type leidingmateriaal niet beschikbaar was, is voor het materiaalonderzoek gebruik gemaakt van een buis Ø 614-7 mm uit ongeveer dezelfde periode (1955).

Naar aanleiding van het uitgevoerde onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

1. Bij de uitgevoerde proeven met kunstmatig aangebrachte defecten die aanzienlijk groter waren dan in de destijds en in de huidige specificaties aanvaardbaar zijn, is steeds breuk buiten de laszones opgetreden bij rekken groter dan 13%.
2. Dankzij het taaie plaatmateriaal, de overmatching van de lassen en de destijds gehanteerde keuringseisen is gebleken dat het beproefde buismateriaal zeer grote rekken kan opnemen.
3. Rekening houdend met mogelijk ongunstiger omstandigheden in de te beoordelen kruisingen, wordt aanbevolen om voor de in rekening te brengen rekcapaciteit de lengte van het vloeigebied tot aan versteviging in het spanning - rek diagram te nemen. Bij het onderhavige materiaal is dat ongeveer 2 %. Dit betekent dat mag worden uitgegaan van een rekcapaciteit van tenminste 2 %. Deze waarde voor de rekcapaciteit is zeker als veilig te beschouwen.
4. Gezien het feit dat bij de beproeving gebruik is gemaakt van een rechte buis, en er in de onderhavige kruisingen mijterbochten aanwezig zijn, wordt aanbevolen om zo mogelijk door middel van aanvullende proeven op dergelijke mijterbochten, zoals aangeven in hoofdstuk 5, de bovenstaande conclusies te bevestigen. Verwacht wordt dat met de daaruit verkregen resultaten de aanbevolen waarde voor de rekcapaciteit in gunstige kan worden bijgesteld.
5. Tenslotte wordt er op gewezen dat het hier uitgevoerde onderzoek betrekking heeft op buizen vervaardigd uit St37.2. Buizen uit hogere sterkte materialen hebben, afhankelijk van de vloeigrens, andere verhoudingen tussen de sterkte van het lasmetaal en het plaatmateriaal. Verder zullen ook de taaiheidseigenschappen etc anders kunnen liggen. In verband daarmee is het niet toegestaan de conclusies uit dit onderzoek zonder meer te gebruiken voor andere buisleidingen.

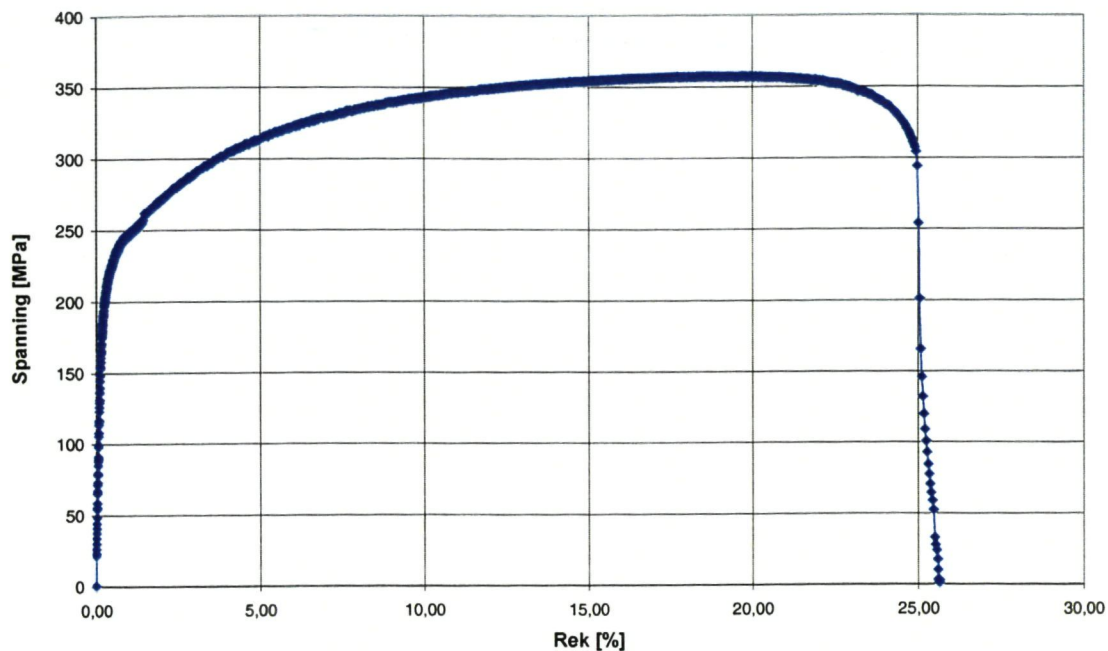
Delft, 27 januari 2003



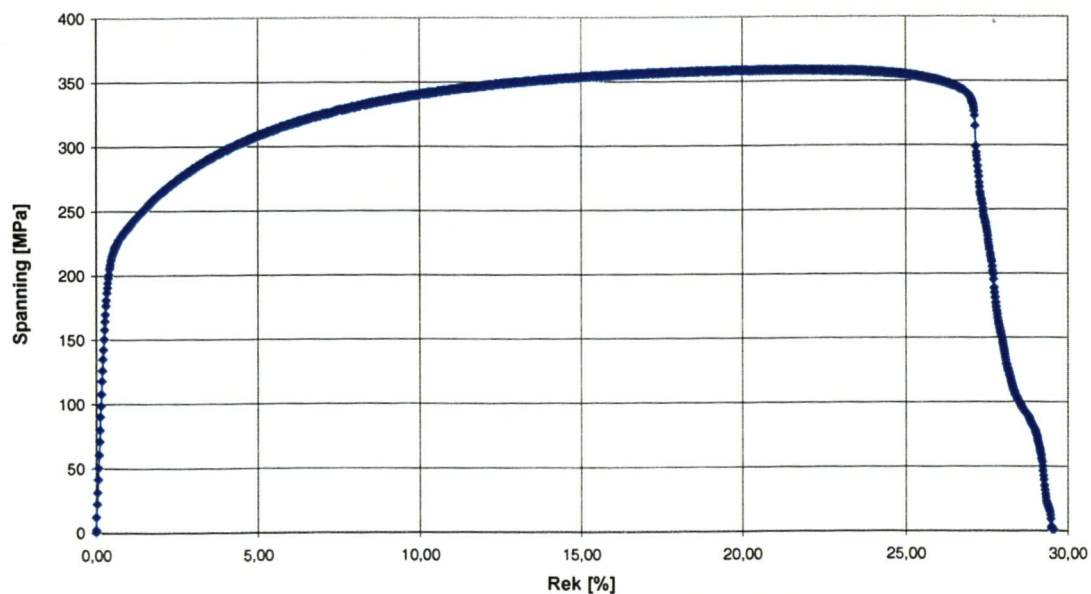
Prof. Dr. Ir. A. Bakker



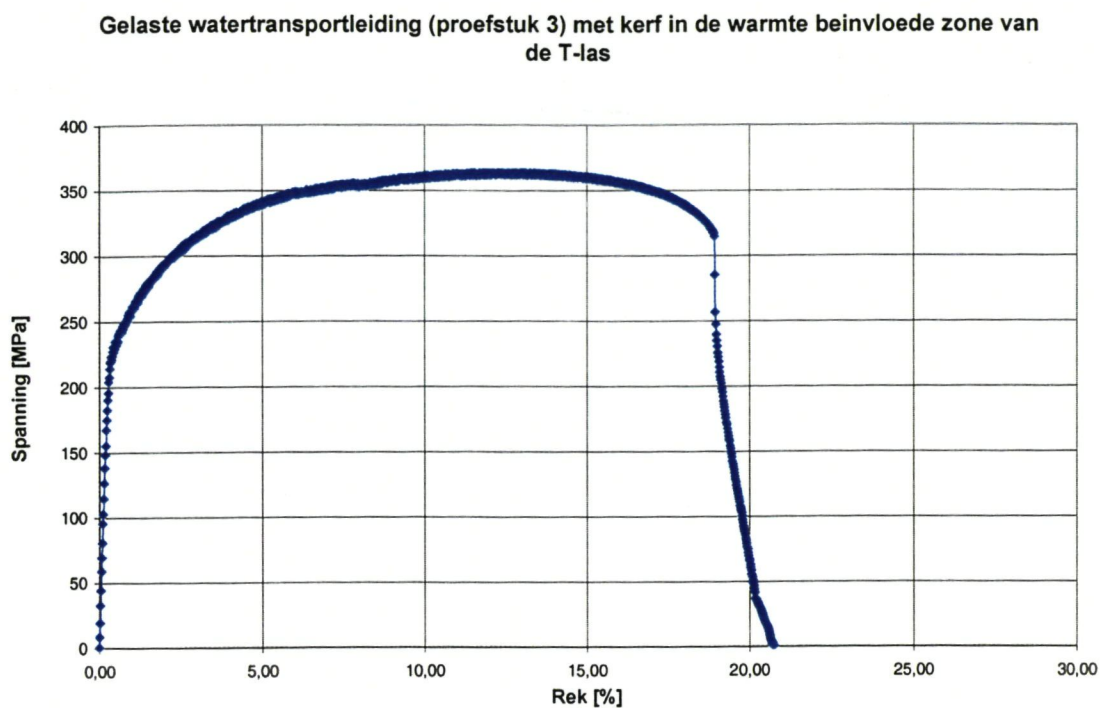
Ir. A.M. Gresnigt

Gelaste watertransportleiding (proefstuk 1) met kerf in de rondlas

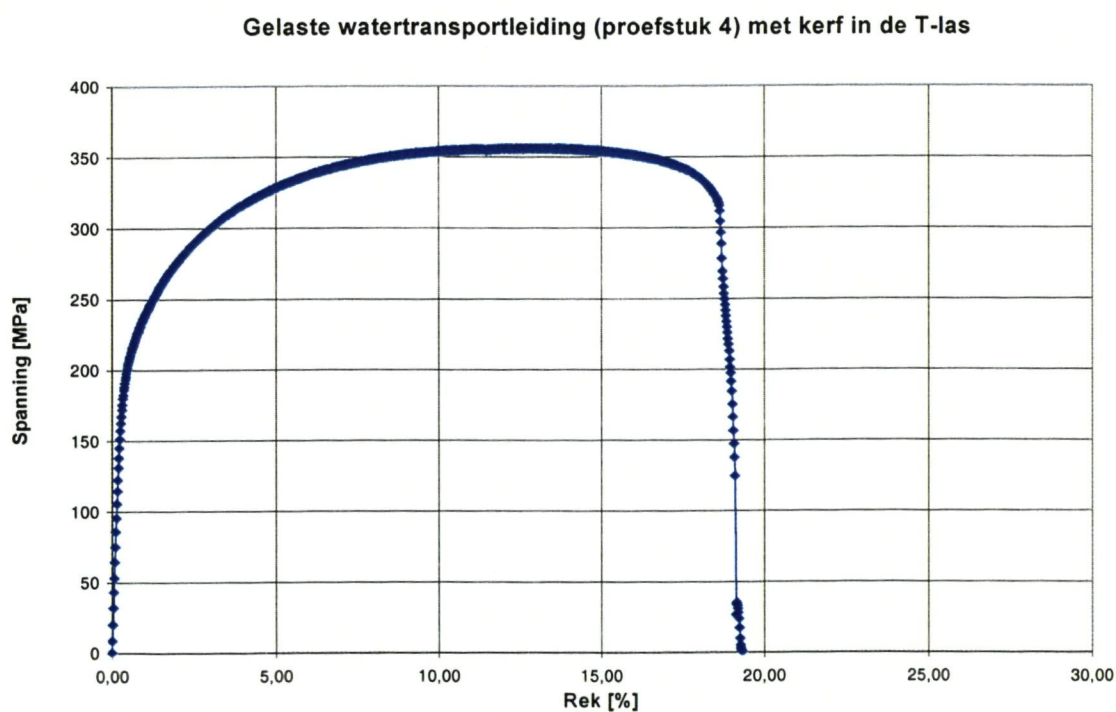
Figuur 4 – Gemeten spanning-rek diagram voor proefstuk 1

Gelaste watertransportleiding (proefstuk 2) met kerf in warmte beïnvloede zone van de rondlas

Figuur 5 – Gemeten spanning-rek diagram voor proefstuk 2



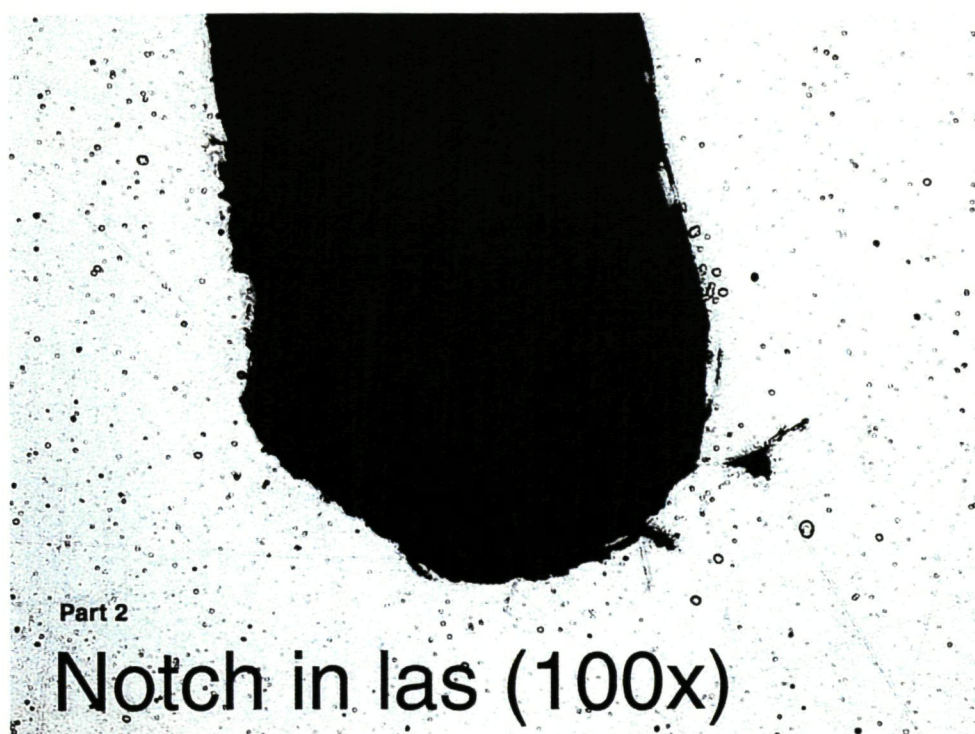
Figuur 6 – Gemeten spanning-rek diagram voor proefstuk 3



Figuur 7 – Gemeten spanning-rek diagram voor proefstuk 4



Figuur 8 – Proefstuk 2 kort voor breuk (insnoering zichtbaar boven en onder de las)



Figuur 9 – Afgestompte kerftip (proefstuk 1)

Bijlage 1: Bestek van een 1400-15 mm ruwwater transportleiding

Het in deze bijlage opgenomen bestek is aangeleverd door de opdrachtgever. Het is bedoeld als voorbeeld om een indruk te krijgen van de kwaliteitszorg die destijds van toepassing was.

Opgemerkt wordt dat dit voorbeeld de aanleg van een veldstrekking betreft, waar niet altijd 100 % NDO (Niet Destructief Onderzoek, bijvoorbeeld röntgenen) werd toegepast terwijl dat in kruising wel het geval was.

N.V. WATERWINNINGBEDRIJF
BRABANTSE BIESBOSCH.

-1-
JL 33

Bestek nr. 72.19

Bestek en Voorwaarden, waarnaar door de Directeur van de N.V.
Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch zal worden aanbesteed:

"Het leggen van een + 4.530 m lange ruwwatertransportleiding inw.
Ø 1400 mm vanaf de Oude Maas naar de doorpersing onder de spoorlijn
Rotterdam - Dordrecht nabij de Molenweg in de Gemeente Heerjansdam."

Bijlagen:

- I Vergunningen voor derden.
- II Rapport grondbehandeling en afwatering K.N.H.M. met tekeningen
nrs. 7-72.015 blad 1 t/m 8 met bijlage diepboringen blad 10
- III Sonderingen van Gemeentewerken Rotterdam, afd. 2, tekeningen
17C-01 t/m 17C-08.
- IV Fundatie rapport van Gemeentewerken Rotterdam, afd. 2
met aanvullingen.
- V Inschrijvingsbiljet in 2-voud.

Tekeningen:

- nr. 7-70.117 deksels op schoonmaakstuk voor Ø 1400 mm leiding.
- nr. 3-70-123 detail betonnen beschermkappen Ø 1400 mm.
- nr. 5-70.124 detail schoonmaakstukken op stalen buis Ø 1400 mm.
- nr. 2-70.131 detail flensspruit Ø 50 mm op stalen buis Ø 1400 mm.
- nr. 5-70-133 Opstellingstekening toestellen.
- nr. 5-72.052 Leggen van zinkers Ø 1400 mm door de Devel.
- nr. 7-71.163 blad 1 t/m 10 tracé en details.

7-70-117 is er niet bij
5-72-052 is er niet bij

3-70-123 } zie bestek 70.04
2-70-131 }
5-70-133 }

5-70-124 zie bestek 70.05

Volgnr.	Omschrijving	Eenheid	Hoeveelheid
11	Het aanbrengen van houten damwand en het aanbrengen van stempelingen in de hoofdwatgangen.	m ²	zie tek.
	d. <u>Hulpwerken en bemalingen.</u>		
12	Het uitvoeren van alle hulpwerken met inbegrip van het afheien, stempelen en afschermen van de sleuven en putten, het nemen van alle maatregelen voor het verkeer en het verrichten van alle open bemalingen, nodig voor het uitvoeren van de in dit bestek genoemde en op de tekeningen aangegeven werken.	-	p.m.
13	Het verrichten van alle nodige bronbemalingen.	m ¹	tracé is 4530 m.
14	Het beschikbaar stellen van de nodige waterdichte sluitstukken met rubberbanden voor de $\varnothing$ 1400 mm stalen buizen en de $\varnothing$ 1400 mm betonbuizen, gedurende de gehele periode van het werk i.v.m. buitensluiten van grondwater.	-	p.m.
	e. <u>Leg- en stelwerken.</u>		
15	Het leggen, stellen en lassen van stalen buizen Qmc 37-2, inwendige diameter $\varnothing$ 1400 mm, wanddikte 15 mm, lengte 15 m, met spiraal naad, gewicht per buis 8,25 ton, als bocht, als rechte leiding, als zinker.	m ¹	1190
16	Het leggen, stellen en verbinden van:		
	a. Voorgespannen Bonna-Sentab buizen, inwendig $\varnothing$ 1400 mm, werkende lengte 5 of 6 m, gewicht $\pm$ 6500 kg, met spie-en mofeind.		
	b. Voorgespannen Bonna-Sentab buizen, inwendig $\varnothing$ 1400 mm, met 1½" ontluichtingsaansluiting.		
	Totaal	m ¹	3280

-8-

4 Laswerk.

De stalen gelaste buizen met een wanddikte van 15 mm en 19 mm moeten aaneengelast worden met inachtname van het volgende:

- a. De buizen moeten met zo weinig mogelijk materiaalverlies worden pasgesneden. Indien de voorbereekte einden van de buizen dusdanig zijn ingedeukt of anderszins beschadigd, dit uitsluitend ter beoordeling van de directie, moeten deze beschadigde einden over voldoende lengte worden afgesneden en de uiteinden opnieuw worden voorbereekt. Ook indien buiseinden niet zijn voorbereekt, b.v. bij passtukken of te maken hulpstukken, moeten deze buiseinden worden voorbereekt volgens NEN 1074, verrekening van de hieraan verbonden kosten zal niet plaatsvinden.
- b. Alvorens tot het lassen van buizen over te gaan, moeten de uiteinden over een breedte van tenminste 5 cm uit de kant van de buis met een staalborstel of een geschikt niet giftig oplosmiddel zorgvuldig worden schoongemaakt, waarbij alle asfalt, roest, olie en vuil moeten worden verwijderd.
- c. De voorbereekte buiseinden moeten zorgvuldig worden bijgewerkt. Alle beschadigingen, zoals baarden, oxydelaagjes, snijgroefjes, enz. op de bewerkte vlakken of in de directe omgeving daarvan, moeten met behulp van elektrische- of pneumatische slijptollen worden verwijderd.
- d. De buizen moeten met de voorgeschreven "vooropening" worden gesteld. De vooropening tussen de voorbereekte einden van de buizen zal over het algemeen tussen de 1,5 en 2,5 mm worden gehandhaafd. Het is niet toegestaan om door verschil in de vooropening kleine hoeken te maken.
- e. Het centreren en richten van de buizen moet met de meeste zorg geschieden, eventueel zal van inwendige hydraulische vizels of pijpenklemmen gebruik mogen worden gemaakt. Over het algemeen zal een "high-low" groter dan 2 mm over een beperkte laslengte niet worden geaccepteerd. Het wel of niet accepteren van deze eventuele uitlijning na het stellen van de buizen voor elk geval, berust uitsluitend bij de directie. Het lassen aan de oppervlakte van de buizen ten behoeve van het "aarde maken" voor het pijplassen is de aannemer niet toegestaan. Alle lassen moeten worden opgebouwd uit tenminste 3 of meer lagen, afhankelijk van de betreffende wanddikte.

-9-

- f. De te volgen lasprocedure moet zijn het handbooglassen met gebruikmaking van de neergaand techniek of de opgaand techniek. Het is de aannemer niet toegestaan de hiervoor genoemde "vooropening" te vergroten om van buitenaf aan de binnenzijde de eerste laag te lassen.
- g. De grondlas mag aan de buitenzijde niet bol zijn en moet voor het leggen van de volgende lagen worden uitgeslepen. Elke volgende laag moet zorgvuldig worden ontdaan van de verontreinigingen en slakken door middel van uitslijpen, voordat de daarop volgende laag mag worden aangebracht. Krater en krateruiteinden moeten worden uitgeslepen. Het het aanzetten van een nieuwe elektrode moet begonnen worden op tenminste 3 cm voor het uiteinde van de reeds gelegde en aldaar uitgeslepen las. Het ontsteken van de boog op het pijpoppervlak buiten de afgeschuinde laskanten is verboden. Indien dit toch is gedaan, kan worden geëist, dat de gehele las en het beschadigde pijpgedeelte worden verwijderd. De lassen mogen geen inkarteling, ondichte plaatsen, verbrandingen, slakinsluitingen, gebrekkige aanhechting of gasholten vertonen en moeten goed in de wortel zijn doorgelast.
- Er mogen geen baarden in het inwendige van de leiding voorkomen.
- h. Bij slechte weersomstandigheden, zoals regen, sterke wind en temperaturen beneden -5°C ., mag alleen worden gelast onder lastenten, die nauw om de te lassen buizen heensluiten en moeten verder zijn ten genoeg van de directie. Er moet voor worden zorggedragen, dat in het materiaal geen extra spanning ontstaat. Bij een omgevingstemperatuur lager dan -5°C ., of wanneer vocht is neergeslagen op de buis, moeten de beide buiseinden nabij de laskanten gedurende het lassen tot handwarm worden voorverwarmd.
- i. De lasverbindingen moeten zorgvuldig door geoefend personeel worden gemaakt. Voor de uitvoering van het werk en voor de bekwaamheidseisen van de lassors gelden de in NEN 1074 en NEN 1062 I, IV. V.

- j. De te gebruiken elektroden moeten voldoen aan de bepalingen genoemd in NEN 1062 III. Op een nader, ter plaatse te houden bouwvergadering zal worden vastgesteld, welke elektroden zullen worden gebruikt. Voor het opslaan van elektroden is de aannemer verplicht hiervoor een droogkast beschikbaar te stellen.
- k. De lassen in de leiding zullen door de R.T.D. röntgenologisch worden onderzocht, waarbij alleen de beoordelingscijfers 1 en 2 worden geaccepteerd. Indien de lassen ultrasonoor worden onderzocht, zullen de resultaten equivalent moeten zijn aan eerdergenoemd beoordelingscijfer. Bij goedkeuring van de lasverbindingen zijn de kosten van het hernieuwde onderzoek voor rekening van de aannemer. De aannemer dient maatregelen te nemen dit onderzoek mogelijk te maken en moet de directie tijdig waarschuwen, teneinde dit onderzoek te kunnen doen verrichten.

-11-

E Bekledingswerken van de stalen buizen.

1. Nadat de lassen zijn goedgekeurd, moeten deze het gedeelte ter weerszijden van de lassen en eventueel beschadigde gedeelten van de asfaltago worden bekleed.
De bekleding van de buizen bestaat uit een primerlaag gevolgd door een bitumenlaag, een omwikkeling van in bitumen gedrenkt glasdoek, een tweede bitumenlaag tot een totale dikte van 4 mm en tenslotte een omwikkeling van in bitumen gedrenkt asbestvilt. De totale dikte van de bekleding bedraagt 4,5 mm; gevolgd door de cremekleurige kalklaag met een groene merkband.
2. Het bekleden van de lassen moet als volgt worden uitgevoerd:
 - a. Het zorgvuldig reinigen en drogen van het te bekleden gedeelte.
 - b. Het aanbrengen van een laag pijpenprimer.
 - c. Na droging van de primerlaag, het aanbrengen van een gelijkmatig verdeelde laag pijpenasfalt (asfaltbitumen met vulstof) van 2 à 3 mm dikte d.m.v. "slingen".
 - d. De fabrieksbekleding moet daar, waar deze aansluit op de aangebrachte laag (punt c), tevoren worden week gemaakt en worden ontdaan van kalk.
 - e. Het aanbrengen van een omwikkeling van in pijpenasfalt gedoopte glasdoek (gewicht 200 g/m^2) met een overlapping van 3 à 5 cm.
 - f. Het aanbrengen van een laag pijpenasfalt van 2 à 3 mm dikte d.m.v. "slingen" of borstelen.
 - g. Het aanbrengen van een omwikkeling van in pijpenasfalt gedoopt asbestvilt met een overlay van 2 à 5 cm (15 LBS)
3. Het bekleden van beschadigde plekken in de fabrieksbekleding moet als volgt worden uitgevoerd:
Bij kleine beschadigingen wordt de kalklaag verwijderd; de plek wordt verwarmd en vervolgens bijgestreken met warme pijpenasfalt
Bij grote beschadigingen wordt de kalklaag verwijderd; op de plek wordt achtereenvolgend pijpenprimer, pijpenasfalt, asfaltbandage (lodorite vitrix extra) en pijpenasfalt aangebracht.

-12-

- 4 De bekleding van buizen bestemd om door plaatsen waar wortelingroei te verwachten is, bestaat uit een primerlaag, gevolgd door een laag pijpenasfalt, een laag glasdoek, een folielaag (melinex) gedronkt in pijpenasfalt, een laag pijpenasfalt en tenslotte een laag asbestvilt, gevolgd door de cremekleurige kalklaag, met een rode merkband. Het bekleden van de lasverbindingen in deze buizen is identiek aan de bekleding vermeld in punt 2 van deze paragraaf, met dienverstande dat over de laag asbestvilt nog een omwikkeling van Densitband wordt geplakt. Dit Densitband wordt geplakt met Densitprimer H Nr. 69025.
- 5 De lasverbindingen moeten aan de binnenzijde van de leiding éénmaal worden bestreken met primer zonder vulstof.
- 6 Na het aanbrengen van de asfaltbekleding moet deze over de gehele oppervlakte van de leiding worden getest op eventuele doorslag met een vonkapparaat. Dit afvonken moet worden gedaan in tegenwoordigheid van de directie. De aannemer moet de directie een deugdelijk vonkapparaat ter sterkte van 20.000 volt ter beschikking stellen, voorzien van bijpassende spiraalveren om het afvonken te vergemakkelijken. Een reserve batterij moet op het werk aanwezig zijn.
- 7 Bij vochtig weer mag niet worden afgevonkt.
- 8 Indien een gedeelte van de asfaltbekleding niet wordt goedgekeurd, moet de aannemer dit herstellen.

F Kathodische bescherming.

Het aanbrengen van kathodische bescherming bestaat normaliter uit het oplassen van meetnokken, het plaatsen van magnesiumanoden, het plaatsen en optuigen van meetpunten en het geheel oordeelkundig verbinden van $2\frac{1}{2}$ mm² VD-draad.

De meetnokken moeten omgeven zijn met een p.v.c.-buisje, dat moet worden volgegoten met bitumen, de magnesiumanoden moeten tot in het grondwater geplaatst zijn op normaliter 4 m naast de leiding; een meetpunt bestaat uit een mootdoos, waarin draden uitkomen, een straatpot met betonnen rand, een aanwijspaal met aanwijsplaatje; de draad moet omgeven zijn door p.v.c.-buis 16 = 14 mm.

De aannemer stelt de directie tijdig in kennis van deze werkzaamheden en voert deze werkzaamheden alleen uit, wanneer een vertegenwoordiger van de directie ter plaatse aanwezig is.