T

BEPROEVING INWENDIG GECEMENTEERDE STALEN BUIS ϕ 1500 MM

afgeperst tot 10 bar

OPDRACHTGEVER EN RAPPORTAGE :

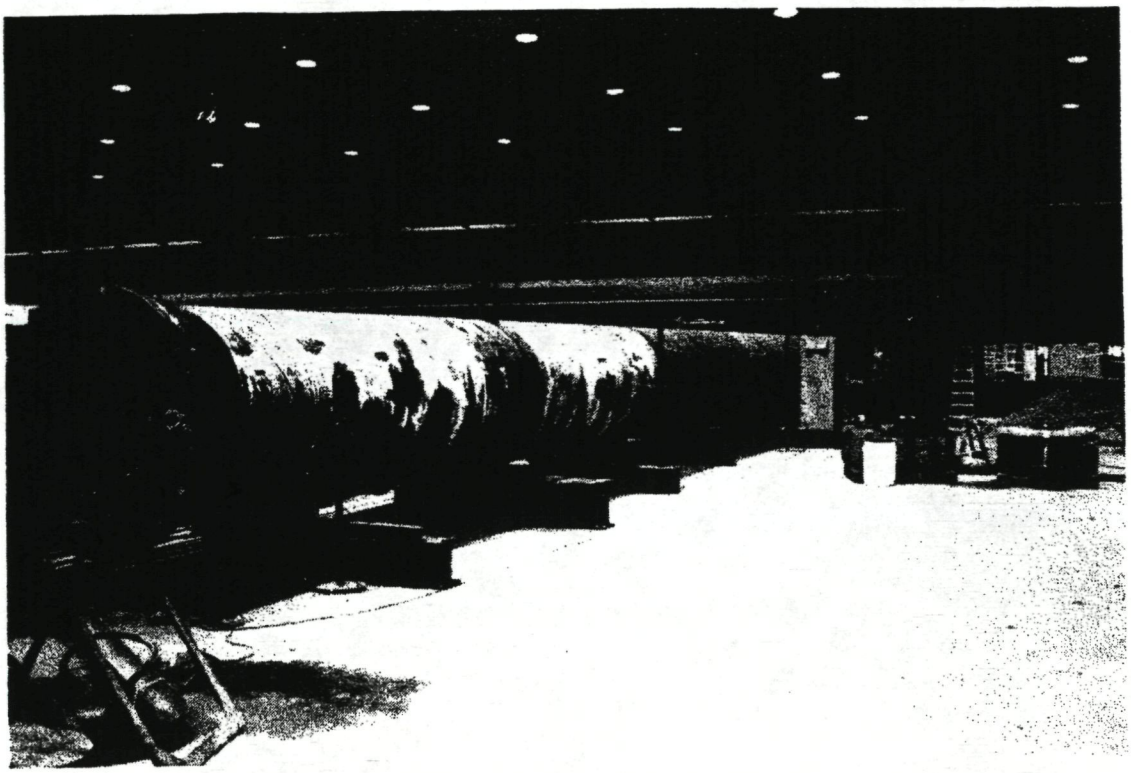
DUINWATERBEDRIJF ZUID-HOLLAND (e.a.)

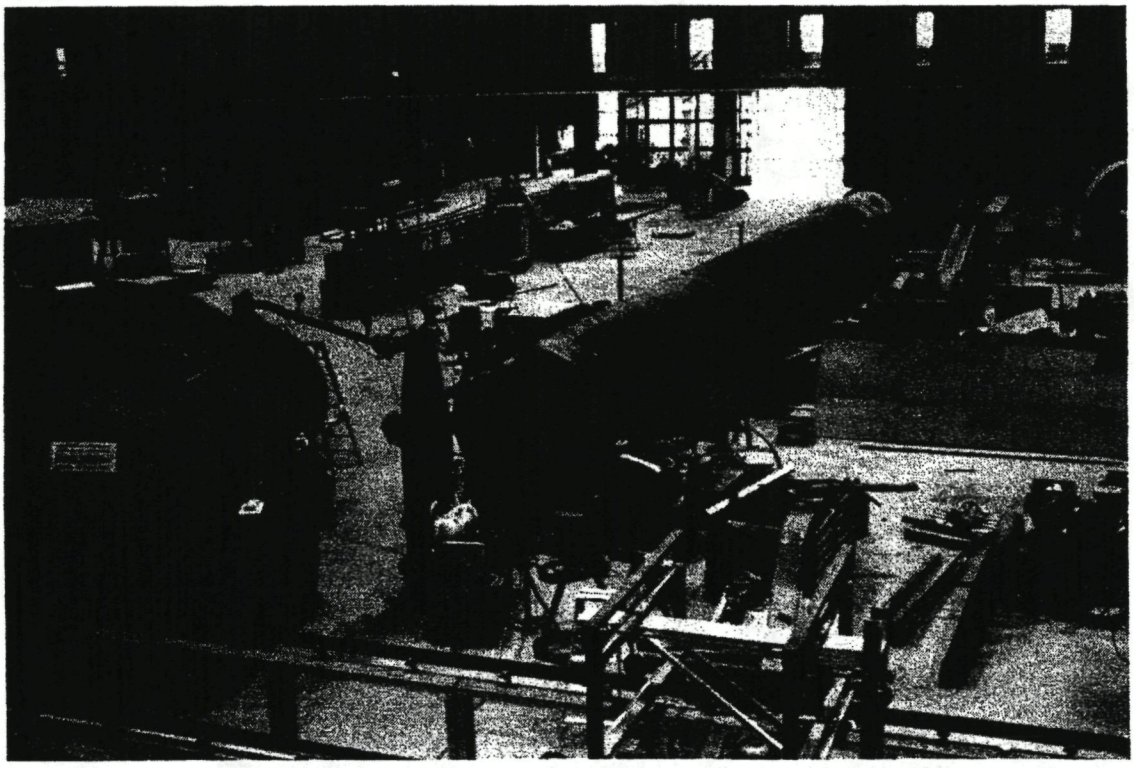
Door ir. K. Rop en Ing. L.J. Nijland

UITGEVOERD BIJ HET WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM TE DELFT

JULI 1992

NUMMER 48011





Proefopstelling van de inwendig gecementeerde aaneengelaste stalen buisdelen A-4, B-3, C-2 en D-1, totaal lang 22 meter, diameter 1524 mm, in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft.

INHOUDSOPGAVE

1.	INLEIDING	3
1.1	ALGEMEEN	3
1.2	PARTICIPANTEN	4
2.	BESCHRIJVING VAN DE PROEF	5
2.1	TYPEN CEMENTMORTELBEKLEDING	5
2.2	PROEFOPSTELLING EN UITVOERING	6
3.	PROEFRESULTATEN	7
3.1	ALGEMEEN	7
3.2	VISUELE INSPECTIE	7
4.	CONCLUSIES	9
5.	AANBEVELINGEN	10
Figuur 1	Proefopstelling gecementeerde aaneengelaste stalen buis	

BIJLAGEN

BIJLAGE 1	VOORSTEL BEPROEVINGEN DOOR HET WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
BIJLAGE 2	PROCEDURE CEMENTEREN BUISDEEL C EN D
BIJLAGE 3	TIJDSCHEMA VOORBEREIDING EN UITVOERING
BIJLAGE 4	AFNAMEKEURINGEN DOOR HET N.V. KIWA
BIJLAGE 5	RAPPORTAGE BEPROEVINGEN DOOR HET WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
BIJLAGE 6	OPMERKINGEN BEPROEVINGEN DOOR HET N.V. KIWA
BIJLAGE 7	OPMERKINGEN UITVOERING PROEVEN DOOR CONLINE HOLLAND B.V.
BIJLAGE 8	DRUKDIAGRAMMEN
BIJLAGE 9	RASTERFOTO'S

1. INLEIDING

1.1 ALGEMEEN

Het doel van de proeven is het vaststellen van de kans op beschadiging (vooral loskomen) van diverse typen cementmortelbekleding in een stalen buis ten gevolge van waterslag (inclusief cavitatie) in lange transportleidingen.
De veronderstelling is dan dat bij drukwisselingen drukverschillen over de bekleding kunnen ontstaan.
Op dit punt is namelijk niet veel bekend noch van gebruikers, noch van leveranciers, noch uit de literatuur. Reden om dit onderzoek zelf ter hand te nemen is het materiaalkeuzeprobleem met betrekking tot de voorgenomen aanleg van de tweede Bergambachtleiding door het Duinwaterbedrijf Zuid-Holland.
Voor een aanmerkelijk deel van deze leiding is staal, gelet op de voorgeschreven uitvoeringsmethode (floaten), de keus. Voor de inwendige bekleding gaat voorshands de voorkeur uit naar cement op grond van hygiënische en financiële overwegingen.
De markt voor cementmortelbekleding biedt in feite drie procédés aan en wel:

1 met een roterende sproeikop aanbrengen van de cementmortel en daarna het bij lage omwentelingssnelheid van de buis verdelen van de mortel in de buis (dus niet centrifugeren, zodat geen ontmenging van de mortel ontstaat, maar wel een relatief ruw oppervlak. Na uitharding is er doorgaans sprake van een relatief grof scheurenpatroon (lengte en wijdte).

2 het bij hoge omwentelingssnelheid centrifugeren (>20 g) van de mortel, zodat een zekere ontmenging optreedt en een glad oppervlak ontstaat. Na uitharding van de cement is er sprake van een relatief fijn scheurenpatroon (lengte en wijdte).

3 het "in situ" met een roterende sproeikop aanbrengen en afstrijken van de mortel , dus geen ontmenging en een relatief ruw oppervlak (relatief grof scheurenpatroon). Deze methode wordt na het leggen toegepast vooral in bestaande leidingen.

Aanvankelijk was het de bedoeling twee soorten cementmortelbekleding volgens de procédés 1 en 2 te beproeven in een ND 1400 mm stalen buis met een lengte van 12 m.
Uiteindelijk is gekozen voor een ND 1500 mm stalen leiding met vier verschillende cementmortelbekledingen (zie hoofdstuk 2).

De beproevingen zijn uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium te Delft op basis van hun voorstel IHB-1350/jo-184, gedateerd 17 november 1988 (bijlage 1).

De bekledingen zijn aangebracht door Conline Holland B.V. en Betonson Arkel B.V..

De specificaties en keuringen zijn geleverd door KIWA (bijlage 2 en bijlage 4).
De uitvoering van de proef is gestart op 25 februari, 1991 en de laatste proefserie is beëindigd op 30 oktober 1991.

Het volledige tijdschema is opgenomen in bijlage 3.
Tenslotte wordt verder hier opgemerkt dat lopende het onderzoek in verband met de praktische beperkingen niet altijd aan specificaties en normen kon worden voldaan.
Ook allerlei op zich zeer relevante openstaande vragen bijvoorbeeld laagdikte, wandruwheid, enzovoort konden niet uitputtend worden behandeld en gingen verder dan de oorspronkelijke doelstelling.

1.2 PARTICIPANTEN

De uitvoering van de proef werd mede mogelijk gemaakt door een actieve inzet en een financiële bijdrage van de volgende waterleidingbedrijven:
N.V. Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland
N.V. Waterwinningbedrijf Brabantse Biesbosch
N.V. Watermaatschappij Zuid-West-Nederland (thans N.V. Delta Nutsbedrijven)
Drinkwaterleiding Rotterdam (thans Waterleidingbedrijf Zuid-Holland-Zuid)
Gemeentewaterleidingen Amsterdam
Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Hollland

Bovendien werd een actieve bijdrage geleverd door de volgende bedrijven:
Conline Holland B.V.
Hoesch Nederland B.V.
Betonson, Arkel
N.V. Kiwa

2. BESCHRIJVING VAN DE PROEF

2.1 TYPEN CEMENTMORTELBEKLEDING

De navolgende typen cementmortelbekleding zijn in vier onderscheiden buisdelen aangebracht:

BUISDEEL A-4 : lengte 5 m, type bekleding in-situ over een ruw-zwarte buiswand.

BUISDEEL B-3 : lengte 5 mm, type bekleding in-situ over een oude bitumencoating.

BUISDEEL C-2 : lengte 6 m, type bekleding op lage snelheid mortel ingieten en daarna op hoge snelheid (centripetale versnelling 33 G) roteren gedurende 8 minuten.

BUISDEEL D-1 : lengte 6 m , type bekleding op hoge snelheid cementmortel sproeien en daarna op lage snelheid (centripetale versnelling 2 G) roteren gedurende 60 seconden.

Buisdeel C-2 en D-1 zijn gesneden uit één buis met een lengte van 12 m van een onder poederdek langsnaadgelaste stalen buis, staalsoort St 37.0 volgens DIN 1626. Technische leveringsvoorwaarden volgens DIN 1626, met een afnamecertificaat volgens DIN 50049-3.1.b..
De uitwendige diameter is 1524 mm en de wanddikte is 14,2 mm.
Het gewicht van de buis is 528 kg/meter.
Deze buis is geproduceerd door Bergrohr Siegen en geleverd door Hoesch Nederland.

Buisdeel A-4 en B-3 zijn gesneden uit één buis met een lengte van 10 m.
De uitwendige diameter is 1524 mm en de wanddikte is 17,5 mm.
Het gewicht van de buis is 650 kg/meter.
Deze met een bitumenlaag gecoate buis is afkomstig uit de voorraad van de Afgedamde Maas leiding.

De cementmortelbekleding van de buisdelen C-2 en D-1 is aangebracht volgens de procedure opgesteld door het N.V. Kiwa, in dit rapport opgenomen in bijlage 2.

Omdat Conline Holland B.V. voor het buisdeel C-2 niet aan de specificatie met betrekking tot de hoge snelheid kon voldoen is door het Duinwaterbedrijf Zuid-Holland besloten deze te laten uitvoeren door Betonson te Arkel, een bedrijf dat normaliter geen stalen buizen cementeert. Dit betekent dat gebruik is gemaakt van een geboden gelegenheid, waar dan ook een aantal nadelen aan zijn verbonden.
In afwijking van de door het N.V. Kiwa opgestelde procedure is door Betonson een cementliningsprocedure doorgevoerd afgeleid van de fabricage van voorgespannen betonbuizen.
De gebruikte cementsoort is Portland C, de watercementfaktor is 0,3 en de centripetale versnelling is 33 G bij een rotatieduur van 8 minuten.

De in-situ gecementeerde buisdelen A-4 en B-3 zijn uitgevoerd volgens DIN 2614, Verfahren II.
Bij buisdeel B-3 is de cementmortelbekleding over een oude schoongespoten bitumenlaag aangebracht.
Bij alle buisdelen zijn de buiseinden 3 cm vrijgehouden.
Na het samenstellen van de buisdelen zijn de lassen handmatig met een cementmortel afgewerkt identiek aan de cementmortel gebruikt voor buisdeel D-1.
Hierbij moet opgemerkt worden dat de las is afgewerkt tegen een reeds droge cementlining (zie ook commentaar van Conline, opmerking E in bijlage 7).

2.2 PROEFOPSTELLING EN UITVOERING

De proeven werden uitgevoerd in één leidingstuk, bestaande uit de buisdelen A-4, B-3, C-2 en D-1 (zie figuur 1).
De uiteinden van het leidingstuk zijn voorzien van blindflenzen, één hiervan voorzien van een mangat, en de nodige F-stukken.
Voor ontluchting van de buis is het leidingstuk onder een helling van 10 cm geplaatst.
Het leidingstuk is aangesloten op een hogedruktank en een vacuumtank en tevens een verbinding naar de atmosfeer.
Door middel van kogelkranen kan de korte aansluitleiding met persleiding en daarmee de met water gevulde tank in zeer korte tijd van overdruk op "vacuüm" worden gebracht. Cavitatie kan dan plaatselijk worden opgewekt door een rondpompsysteem van kleine capaciteit een cavitatienozzle bij de bovenwand.
Op elk buisdeel is een drukopnemer geplaatst waarmee het drukverloop tussen de cementlining en de stalen buiswand via een tweekanaals recorder geregistreerd kan worden. Eén kanaal registreert het drukverloop in de buis (referentiedruk met drukopnemer E in de blindflens) terwijl het tweede kanaal wisselend het drukverloop op de meetpunten A, B, C en D registreert.Tijdens de uitvoering van de beproevingen zijn de 1/2 " gaatjes in de buiswand van de drukopnamepunten B en D schoongeboord tot op de cementlining (zie verslag W.L., bijlage 5).

A – 4 in–situ cementbekleding
B – 3 in–situ over asfalt cementbekleding
C – 2 hoge snelheid cementbekleding
D – 1 lage snelheid cementbekleding
E – referentie drukmeetpunt
F – pomp voor opwekken cavitatie
G – handafblaas
H – mangat
J – expansievat
Ø – drukmeetpunt

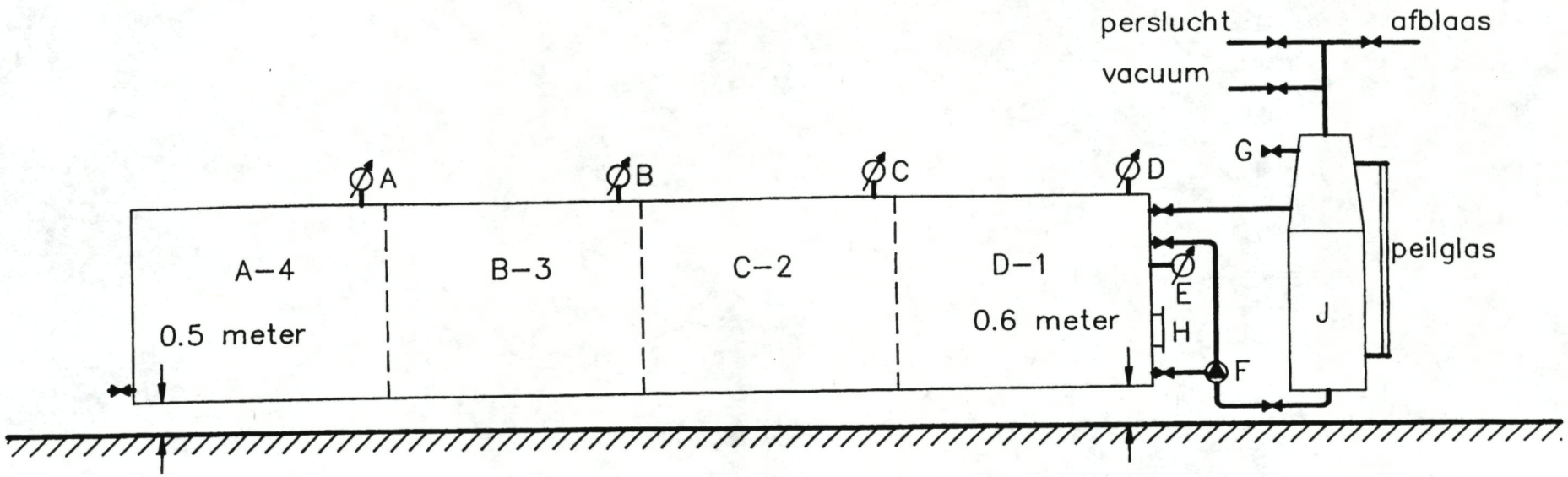


fig. 1 Proefopstelling gecementeerde en aaneengelaste stalen buisdelen

3. PROEFRESULTATEN

3.1 ALGEMEEN

Allereerst dient te worden opgemerkt, dat het tijdens de proeven niet mogelijk bleek een zodanig diep vacuüm op te wekken, dat in het hoogste deel van de pijp cavitatie (dampbelvorming) optrad. Blijkens de geregistreerde drukdiagrammen (zie bijlage 8.10) was de laagste absolute druk circa 0,25 bar. Ook de cavitatienozzles konden niet meer dan een nauwelijks hoorbare zeer lokale cavitatie veroorzaken. Dit heeft tot gevolg, dat de oorspronkelijke doelstelling om de invloed van cavitatie op de bekleding vast te stellen niet is gehaald.
Uit de drukdiagrammen komt wel onomstotelijk naar voren dat er over de bekleding drukverschillen optreden, niet alleen bij **drukdalingen** (drukspanning in de bekleding), maar ook bij **drukstijgingen** (trekspanning in de bekleding). Als gevolg van naijlende druk tussen de bekleding en de stalen buiswand zijn in beide gevallen drukverschillen tot 3,5 bar gedurende circa 1 minuut gemeten (zie bijlage 8.9). In aanleg betekent dit, dat wanneer de bekleding geheel los wordt gedacht van de buiswand, dat in de cementlining trekspanningen optreden van circa 17,5 N/mm2. Duidelijk is dat dit spanningen zijn waarvan de schadelijke gevolgen zeker op termijn niet denkbeeldig hoeven te zijn.
Tenslotte is ook onderzoek gedaan naar het optreden van drukverschillen in geval het bovendeel van de buis is gevuld met lucht. De reden hiervoor was enerzijds een simulatie van cavitatie (op hoge punten) bovenin (grote luchtbel i.p.v. waterdampbel) en anderzijds de vraag of bij aanwezigheid van drukverschillen de afwezigheid van "ondersteunend water" aldaar een verzwarende factor zou zijn voor de bekleding. Het resultaat hiervan was, dat er ter plaatse van de luchtschil juist geen drukverschil is gemeten. Als verklaring kan hiervoor kan gelden, dat (in dit geval) lucht veel gemakkelijker en sneller door de cement heen diffundeert, dan water, waardoor geen (naijlende) druk- verschillen worden waargenomen. Aangezien deze redenering ook geldt voor waterdamp (cavitatie), is een mogelijk verzwarende belasting als gevolg van cavitatie terzijde geschoven en de aandacht vooral gericht op de naijlende drukverschillen tijdens snelle drukstijgingen. Deze drukverschillen veroorzaken in potentie aanzienlijke trekspanningen en worden in dit verband dan ook als de meest kritische invloedsfactor gezien.

3.2 VISUELE INSPECTIE

Na elke proefreeks zijn de vier buisdelen inwendig geïnspecteerd. Daarbij zijn van markante punten foto's gemaakt, waarbij de plaats werd vastgelegd t.o.v. een vooraf aangebracht raster. Bijlage 9 geeft hiervan een indruk. Samenvattend kan hiervan worden gezegd, dat nergens loskomen van de bekleding is vastgesteld. Ook hebben zich geen waarneembare nieuwe scheuren gevormd.

Wel is vastgesteld, dat in alle buisdelen de bij aanvang reeds aanwezige scheurpatronen zich steeds duidelijker aftekenden als gevolg van kalkafzetting. Dit geldt nadrukkelijk het minst voor de bekleding, die op hoge snelheid is gecentrifugeerd.
De oorzaak hiervan zit enerzijds in de lichte kleur (minder zichtbaar) van de bekleding, maar vooral in het feit, dat de scheurpatronen vooraf al van een veel fijnere structuur waren (lengte en wijdte). Vooral met name van buisdeel B-3 werd op een aantal plaatsen afschilfering geconstateerd van de scheurranden (zie foto 10).
Een ander mogelijk mechanisme (niet bevestigd) is het volgende:
Wanneer de buis op druk wordt gehouden gaan de relatief wijde scheuren openstaan en door kalkafzetting dichtgroeien. Als dit voldoende lange tijd is gebeurd en vervolgens de druk wegvalt wordt deze kalk opgesloten in de scheur en drukt aan de oppervlakte schilfers af. Zeker wanneer de drukwissselingen zich op voldoende tijdsafstand voordoen, zou dit proces zich kunnen herhalen en de afschilfering zich in de diepte kunnen voortplanten met alle denkbare gevolgen vandien. Binnen het tijdsbestek van de proef heeft zich dit mechanisme niet gemanifesteerd. Dit geldt ook voor een na afloop nog gehouden langeduur drukproefserie van circa 3 maanden op 10 bar. Hierbij werd eenmaal per week de druk kortstondig afgelaten.
Bij de op hoge snelheid gecentrifugeerde buis (fijne scheuren) is van dit afschilfermechanisme in ieder geval niets gebleken.

In buisdeel A-4 en B-3 is ter plaatse van gerepareerde langsscheuren het volgende afschilfermechanisme geconstateerd.
Ter weerszijden van deze gerepareerde scheuren breken schilfers af met een dikte van circa 1 mm en een breedte van circa 8 mm. De meest voor de hand liggende verklaring hiervoor is dat het surplus aan reparatiemortel door uitzetting van de cementlining er uitgedrukt wordt.
Dit proces wordt ook gemeld door Gemeentewaterleidingen Amsterdam.

4. CONCLUSIES

Onderzocht is de invloed van snelle drukwisselingen in inwendig gecementeerde leidingen op de bekleding. Hierbij is het volgende vastgesteld:

1 Bij snelle drukdalingen of drukstijgingen treden tijdelijk (tot 1 minuut) aanzienlijke (tot 3,5 bar) drukverschillen op over de bekleding. Deze drukverschillen treden plaatselijk niet op, als zich daar lucht of waterdamp (cavitatie) bevindt.

2 De als gevolg van drukstijgingen te verwachten trek spanningen hebben niet geleid tot extra scheurvorming of loswerken van de bekleding ook niet ter plaatse van de voegen.

3 Voor de als gevolg van de drukdalingen te verwachten drukspanningen geldt hetzelfde. Wel is in geval van relatief wijde scheuren afschilferen vastgesteld,mogelijk door in deze scheuren opgesloten kalkafzettingen. In geval van een langer tijdsbeslag dan bij de proef is een voortschrijdend proces denkbaar met alle gevolgen van dien. Nader onderzoek met 1 drukwisseling per week gedurende 3 maanden, wees uit dat afschilferen alleen voorkomt bij gerepareerde scheuren met de in de scheuren aangebrachte reparatiemortel als oorzaak.

4 Destructief onderzoek vooral ter plaatse van afschilferingen gaf nergens loszittende bekleding te zien. Eerder ontstond daarbij de indruk dat in een gevulde pijp een zekere voldoende mate van hechting ontstaat. Dit geldt ook voor de ter plaatse van de voegen aanwezige aanhelingen .
Achteraf zijn ook monsters van circa 30 mm diameter uit de cementbekleding geboord. Bij buisdeel C-3 was er sprake van een zekere mate van hechting aan de stalen binnenwand.

5 Visueel maakt de op hoge snelheid gecentrifugeerde pijp de beste indruk met een fijn scheurenpatroon, waar zich niet veel kalk afzet en waarbij geen afschilfering optrad.

6 Tenslotte dient het volgende te worden opgemerkt.
Leidingdeel C-3 is door praktische redenen niet conform de door het Kiwa opgegeven procedure van een cementmortelbekleding voorzien.
Aangezien het hier gaat om afwijkingen in negatieve zin tast het de conclusies niet aan in die zin dat ze te geflatteerd zouden zijn.

5. AANBEVELINGEN

1 Uit de proef zijn geen bezwaren tegen het toepassen van inwendige cementering naar voren gekomen ten aanzien van de gevoeligheid voor snelle drukwisselingen.

2 Dit resultaat is zonder voorbehoud voor kleinere diameters geldig. Voor grotere diameters is voorzichtigheid geboden, hoewel 1600 mm (de inmiddels gekozen diameter voor de tweede Bergambachtleiding) geen probleem kan zijn t.o.v. 1500mm.
Wel dient men zich te realiseren dat de randvoorwaarden bij de proef wezenlijk en onvermijdelijk anders zijn geweest dan in de praktijksituatie.

3 Er is een duidelijke voorkeur ontstaan voor het hoge snelheidsprocédé vanwege een gladder oppervlak, geringe scheurgevoeligheid en een betere hechting aan de buiswand.

4 Bij de specificatie van een cementbekleding dient nadrukkelijk naar normen te worden verwezen. Vooral de voegen verdienen bijzondere aandacht. Ook de uitharding van de mortel is voor alle toepassingen een zeer kritisch punt en kan bijna niet genoeg aandacht krijgen. De kwaliteit van het eindprodukt wordt dermate beïnvloed door het fabricageproces dat kwaliteitsborging volgens de principes van de ISO 9000 serie door een deskundige keuringsinstantie (b.v. KIWA) moet geschieden.

5 Het repareren van scheuren moet worden afgeraden, het middel is erger dan de kwaal.
Bij een scheurbreedte groter dan volgens de norm is toegestaan kan zonodig de hele cementbekleding van de buis worden afgekeurd.

6 Hoewel niet tot de proef behorend is nader onderzoek c.q. het specificeren van het produkt van belang, waaronder:
- wandruwheid
- opbouw van de cementbekleding (ontmenging)
- mengverhouding cement/zand en maximale korrelgrootte van het zand
- kalkuitstoot en nagroeiaspecten
- hechting van de cementbekleding op de stalen wand

Op bovenstaande punten geven noch DIN 2614, noch kriteria 72 hieraan voldoende aandacht.
Het is aan te bevelen kriteria 72 aan te passen met name ten aanzien van de hoge snelheid/lage snelheid procédés en bovengenoemde punten, identiek aan de manier waarop criteria 49 (in-situ cementlining) is herzien.

BIJLAGE 1

VOORSTEL BEPROEVINGEN DOOR HET WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

postadres
postbus 177
2600 mh delft

telefoon
(015) 569353

telefax
(015) 619674

bezoekadres
rotterdamseweg 185
delft

telex
38176 hydel-nl

waterloopkundig laboratorium | WL

Actie door:	Ir. R	Paraaf
uw brief	Ir. Tettero	
uw kenmerk	INK	
...dtum d.d.:		
...ie aan:	IC	

Duinwaterleiding Den Haag
t.a.v. ir. K. Rop
Postbus 710
2501 CS DEN HAAG

D.W.L. 's-Gravenhage
18.NOV 1988 470216

onderwerp
Offerte beproeving bekleden leiding

in behandeling bij
ir. J. Teijema

ons kenmerk
IHB-1350/J0184-00

datum
17 november 1988

Geachte heer Rop,

Bijgaand ontvangt U ons voorstel voor de beproeving van een van een cementlaag voorziene 1400 mm leiding.

Algemeen
Het doel van de proeven is het vaststellen van de kans op beschadiging (afdrukken) van de bekledingslaag tengevolge van het optreden van waterslag in een leidingsysteem waar de leiding wordt toegepast.
Bij het optreden van waterslag in een leidingsysteem kunnen naast snelle drukdalingen, vacuum en cavitatie optreden.
Bij de proeven zal dus een snelle drukdaling tot vacuum gerealiseerd moeten worden met zo mogelijk een mogelijkheid tot het opwekken van cavitatie tijdens de vacuumperiode.

Opzet van de beproeving (zie fig.)
De proeven worden uitgevoerd in leidingstuk voorzien van blindflenzen zonder doorstroming. In het leidingstuk is tevens een las opgenomen.De leiding wordt aangesloten op een hogedruktank en vacuumtank met tevens een verbinding naar de atmosfeer. Door middel van kogelkranen kan de korte aansluitleiding met lucht en daarmee de met water gevulde tank in zeer korte tijd van overdruk op vacuum worden gebracht.
Cavitatie bij de cementwand kan plaatselijk worden opgewekt door een rondpompsysteem van kleine capaciteit met een caviterend object. Onder in de leiding treedt dan geen cavitatie op.
De verzadidingsgraad, het drukverloop in de cementlaag en de druk tussen de cementlaag en leidingwand zal van belang zijn voor mogelijk afdrukken van de cementlaag.

bijlage(n)
1 schets en algemene voorwaarden

advisering & research
estuaria en zeeën
havens, kusten en offshore technologie
rivieren, scheepvaart en kunstwerken
waterbeheer en milieu
buitenmetingen
industriële hydrodynamika
snij- en baggertechnologie

BIJLAGE 2

PROCEDURE VOOR HET INWENDIG CEMENTEREN VAN DE BUISDELEN C EN D

- uiterlijk van de cementmortelbekleding na aanbrengen.
- afwerking van de cementlaag aan de uiteinden.
- afsluiten van de uiteinden t.b.v. de uitharding.

Van beide mortelsamenstellingen dienen balkjes gegoten te worden t.b.v. de bepaling van de druksterkte, buigsterkte en waterabsorptie (bepaling door TNO).

4. Uitharding

De buisdelen dienen gedurende een periode van 14 dagen in afgesloten toestand uit te harden alvorens transport kan plaatsvinden.

5. Keuring

Na 14 dagen uitharden dient de cementmortellaagdikte niet-destructief gemeten te worden en dient het uiterlijk te worden beoordeeld. Scheuren > 0,8 mm zijn niet toelaatbaar.

6. Transport buizen naar het pompstation te Scheveningen en aanlassen van de buizen.

7. Keuring

Keuring van de inwendige bekleding op eventuele transportschade, keuring van de lasnaad en van de ter plaatse van de las aangebrachte reparatiemortel.

8. Aanlassen flenzen en appendages.

9. Transport buis naar het Waterloopkundig Laboratorium.

BIJLAGE 3

TIJDSCHEMA VOORBEREIDING EN BEPROEVINGEN

Een tijdschema van de meest relevante activiteiten in de voorbereidingsfase en de proefuitvoeringsfase is in deze bijlage opgenomen, en waar nodig geacht, van commentaar voorzien.

10-05-1990	Voorbereidingsvergadering met het N.V. Kiwa, D.Z.H. en het W.L..
05-10-1990	Cementeren buisdeel A-4, B-3 en D-1 bij Conline te Bergen op Zoom.
18-10-1990	Keuring door het N.V. Kiwa van buisdeel A-4, B-3 en D-1 bij Conline te Bergen op Zoom.
22-10-1990	Transport buisdeel A-4, B en D van Conline naar het Pompstation te Scheveningen.
15-11-1990.	Cementeren buisdeel C-2 bij Betonson te Arkel (volgens fabrieksprocedures). In afwijking van de specificaties (rotatiesnelheid 155 rpm gedurende 60 seconden) werd geroteerd op 200 rpm gedurende 8 minuten.
06-12-1990	Keuring door het N.V. Kiwa van buisdeel C-2
06-12-1990	Transport buisdeel C-2 van Arkel naar het pompstation te Scheveningen.
	Nov/dec-1990 Constructiewerkzaamheden aan de buisdelen door de afdeling Werkplaatsen op het pompstation te Scheveningen, opslag buiten zonder eindkappen.
21-12-1990	Transport van de twee samengestelde buisdelen naar het W.L. te Delft.
17-01-1991	Keuringen van de samengestelde buisdelen door het N.V. en Kiwa op verzoek van het D.Z.H..
Jan/feb-1991	Montagewerkzaamheden en reparatie van scheuren > 0,8 mm in de cementbekleding (vooral in A-4 en B-3) bij het W.L. te Delft.
15-02-1991	Scheurvorming in de cementmortelbekleding is veroorzaakt door uitdroging en mogelijk versterkt door het veelvuldig lopen op de droge cement-lining.
25-02-1991	Start beproevingen van de gecementeerde stalen buis. Vergadering met de participanten.
22-03-1991	Beëindiging eerste proefserie (drukdaling van 7 bar naar 1 bar) en inwendige inspectie. Vergadering met participanten.
11-04-1991	Beëindiging eerste deel van proef 2A (20 drukdalingen van 7 bar naar 0,25 bar), gevolgd door een inspectie. Vergadering met de participanten.
24-04-1991	Beëindiging proefserie 2A (80 drukdalingen van 7 bar naar 0,25 bar) en inwendige inspectie.Vergadering met de participanten.
16-05-1991 t/m 27-05-1991	Ingelaste proefserie uitgevoerd, de zogenaamde "luchtbelproef".
29-05-1991 t/m 10-06-1991	Uitvoering proefserie 3 (100 drukdalingen van 10 bar naar 0,25 bar) gevolgd door inspectie.
18-06-1991	Inspectie en vergadering met participanten.
17-07-1991 t/m 30-10-1991	Proefserie 4 (1* wekelijks drukdaling van 10 bar naar 0,25 bar).

BIJLAGE 4

AFNAMEKEURINGEN DOOR HET N.V. KIWA

Tabel 1: meetresultaten van monster 1096.

merk prisma	massa prisma voor beproeven (g)	buigtrek-sterkte (N/mm^2)	druk-sterkte (N/mm^2)	water-opneming (% V/V)	volumieke massa droog (kg/m^3)
574	581,3	10,34	88,8	12,4	2120
578	585,8	9,05	89,2	12,7	2130
583	591,0	10,25	81,5	12,4	2120
gemiddeld	586,0	9,88	86,5	12,5	2120

Keuringsinstituut
voor Waterleidingartikelen
KIWA nv

Hoofdkantoor
Sir Winston Churchillaan 273
Postbus 70
2280 AB Rijswijk
Telefoon (070) 395 35 35
Telefax (070) 395 34 20
Telex 32480 kiwa nl

Hoofdvestiging Operatiek
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein
Telefoon (03402) 6 95 11
Telefax (03402) 6 11 65

001.4:621.643.2-033.3(kiwa)

BCU
(hr. Nijland)

NV DZH

10 JULI 91 bij 002574

IR V.G.
IR R.
HR. Offers
fotocopie ontv.

Aanvulling op rapportnummer 311.699.045 en 311.023.038

Opdrachtgever:	Duinwaterbedrijf v Zuid-Holland Postbus 710 2501 CS '-Gravenhage
Werk:	Waterslagbeproeving
Kenmerk opdracht:	475631/PG/MD
Fabriek waar materialen zijn gekeurd:	Betonson te Arkel
Datum keuring:	15-11-1990
Keuring volgens:	opdracht
Keurmeester:	N. van Dijkhuizen

In het rapport d.d 19 april 1991 ontbreekt de laagdikte van de cementbekleding van buisdeel 2 (20 G).
De gemeten laagdikte was 11-14mm.

BIJLAGE 5

RAPPORT VAN HET WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

naar 7 bar.
Een half uur op 7 bar laten staan.
De proef herhalen door weer naar atmosfeer af te blazen enz.

Deze proeven zijn viermaal per dag gedaan en wel op donderdag 3, vrijdag 4, maandag 6, dinsdag 7 en woensdag 8 april dus in totaal twintig metingen. 's Avonds en in het weekeinde is de buis op 7 bar gehouden. Van enige proeven zijn drukregistraties gemaakt met een tweekanaals recorder.
Drukpunt B is niet meegenomen omdat hier geen drukverandering gemeten kon worden.
De drukmeting op E (direct op het water in de buis) is op alle registraties meegenomen.
De andere drukmeetpunten zijn gewisseld.
Ook zijn nog een aantal proeven gedaan met een korte leiding tussen het drukpunt en de opnemer, en de opnemer direct op het drukpunt (zie registraties).
De oorspronkelijke afstand tussen drukpunt en opnemer was 2,20 meter, de korte was 0,30 meter.
De buis weer leeg laten lopen en mangat geopend voor inspectie. Er werden geen beschadigingen geconstateerd.

Proef 2A, vierde proeven serie.

Maandag 15 april werd de buis schoon gespoten, gevuld en weer langzaam op 7 bar gebracht.
De daarop volgende proeven serie bestond uit:

Druk in buis op 7 bar.
Druk snel laten wegvallen naar atmosfeer.
Pomp voor cavitatie gestart (wordt niet meer gestopt).
Na ongeveer 5 seconden naar vacuüm.
Ongeveer 10 minuten onder vacuüm laten.
Snel naar atmosfeer.
Direct door naar 7 bar.
Weer naar atmosfeer enz.

Dit gebeurde 80 keer. Op de registraties is de naast drukpunt E afwisselend drukpunt A, C of D gegeven.
Drukpunt B is weer niet gemeten omdat dit nog niet mogelijk was.
De proeven zijn gedaan op woensdag 17, donderdag 18 en vrijdag 19 april. 's Avonds is de druk op 7 bar gehouden.
Woensdag 24 april is nog een extra demonstratie proef gedaan voor belangstellenden, tot deze tijd is de druk ook op 7 bar gehouden.
Daarna de buis leeg laten lopen en mangat voor inspectie geopend. Er werden lichte beschadigingen geconstateerd:

- Tussen 12A 90 en 9A 90 loslaten van schilfers op horizontale scheur.
- Stuk losgelaten bij grote blindflens (A) tussen 0A 270 en 0A 360.
- Bij horizontale scheur tussen 12B 90 en 7B 90 ook loslaten van schilfers.
- Bij 16B 90 loslaten van schilfers.

Op buis D-1, vlak bij het drukpunt, is onderin en

7 bar gebracht.
Maandag 3 juni de druk langzaam in 1 uur naar 10 bar gebracht.
De nu volgende serie proeven is gelijk aan die van de serie van 80 stuks behalve dat de begindruk nu 10 bar is.
woensdag 5, donderdag 6 en vrijdag 7 juni zijn deze proeven gedaan (zie registraties proef 7, 8 en 9).
's Nachts is de buis onder 10 bar druk gehouden.
Na deze proeven is de druk atmosferisch gehouden en maandag 10 juni buis leeg laten lopen en geïnspecteerd op 18 juni.
De leiding voor de cavitatienozzles is weer losgeschoten bij blindflens A-4.
Op dinsdag 2 juli geprobeerd een stuk bekleding van deel A-4 en B-3 los te nemen, dit is niet gelukt omdat het cement te hard was voor de gebruikte slijpschijf.
Met een beitel is vervolgens toch een deel van de wand van beide buisgedeelten weggehakt. Deze beschadigingen zijn niet weer hersteld.
Dinsdag 16 juli het totale inwendige oppervlak gefotografeerd.

Verlengde proef 3, achtste proeven serie.

Dinsdag 16 juli de buis weer geheel gevuld.
Woensdag 17 juli buis in 5 uur op 10 bar druk gebracht.
De buis werd daarna een week lang op 10 bar druk gehouden, vervolgens werd de druk snel afgeblazen tot atmosferisch.
De buis werd ongeveer een half uur op atmosferische druk gehouden, waarna de druk in ongeveer 2 minuten weer naar 10 bar werd gebracht. Deze proef werd wekelijks herhaald.
De buis is op atmosferische druk gebracht op:
Woensdag 24 juli, 31 juli, 7 augustus, 14 augustus tot en met 30 oktober 1991.

Om een duidelijk beeld te verkrijgen van de drukcondities in de gehele proefperiode is in tabel 1 een overzicht gegeven van de uitvoering van de proeven in de tijd met de daarbij behorende randvoorwaarden.

Toelichting proevenseries

Proevenseries 1 en 2.
De drukveranderingen werden langzaam uitgevoerd om vast te stellen wat er gebeurde bij drukveranderingen. De drukdaling vond plaats van 7 bar naar atmosferisch.

Proevenseries 3 en 4.
110 snelle drukdalingen werden uitgevoerd van 7 bar naar 0,1 bar. Hierbij treedt bovenin de buis geen volledige dampvorming op, de buis blijft gevuld met water. In de praktijk kan bovenin de pijp wel vacuümvorming optreden, met dichtlopende dampbellen.
De invloed van individuele dichtklappende cavitatiebellen op de cementlaag is vastgesteld door cavitatiebellen op te wekken via nozzles in de buis. Deze bellen klappen samen bij de cementlaag met de daarbij optredende drukfluktuaties. Deze effecten bleken niet te leiden tot beschadiging van de cementlining. Met de cavitatienozzles werd niet de situatie gecreëerd waarbij het bovenste deel van de leiding gevuld is met

damp zoals bij waterslag op kan treden.
Tijdens de snelle drukdaling bleek een aanzienlijk drukverschil van 3 à 4 bar over de cementlaag te bestaan.

Om het effect van een met gas gevulde ruimte bovenin de pijp bij een dergelijke druk over de cementlaag te beoordelen werden proevenseries 5 en 6 uitgevoerd.

Proevenseries 5 en 6.
Een snelle drukdaling van 7 bar naar atmosferisch werd uitgevoerd, waarbij de buis niet geheel gevuld was. Ook in deze situatie traden geen extra beschadigingen van de cementlining op. De geconstateerde drukverschillen over de cementlaag zijn beduidend lager.

Proevenserie 7
Bij grotere lijndrukken van 10 bar zijn 100 snelle drukdalingen uitgevoerd tot 0,25 bar.

Proevenserie 8.
Tot slot is 1 x per week een drukdaling uitgevoerd van 10 bar naar 1 bar om te zorgen dat de druk tussen pijpwand en leidingwand zich volledig kan ontwikkelen en de cementlaag volledig is verzadigd met water. Bovendien werd de druk snel in korte tijd opgevoerd van 1 atm. naar 10 bar om de invloed van de drukverschillen over de cementlaag in de andere richting vast te stellen. Ook deze proeven geven geen extra beschadigingen.

Datum	Proef	Aantal	Drukdaling / druk	Vullings-graad	Cavita-tie	Inspek-tie
21-12-90	Aankomst	-	-	droog	-	-
22-12-90/17-01-90	Samenvoeging pijpen	-	-	droog	-	-
17-01-91 en 18-01-91	Inspektie	-	-	droog	-	KIWA
18-01-91 - 22-02-92	Opbouw beproevingsvoorzieningen					
25-02-91 - 01-03-91	Eerste proef	-	langzaam, 6 naar 1 bar	100%	nee	-
04-03-91	Inspectie	-	atmosferisch	laagje water	-	allen
05-03-91 - 17-03-91	Modificatie opstelling	-	atmosferisch	5%	-	-
18-03-91 - 22-03-91	Tweede proef	1	langzaam, 9 naar 1 bar	100%	-	WL
22-03-91	Inspectie	-	atmosferisch	5%	-	-
22-03-91- 02-04-91	Voorbereiding cavitatie proeven	-	atmosferisch	5%	-	-
03-04-91 - 08-04-91	Proevenserie 2	20	snel, 7 naar 0,3 bar	100%	+	WL
09-04-91 - 14-04-91	-	-	-	5%	-	-
15-04-91 - 19-04-91	Proevenserie 3	80	snel, 7 naar 0,3 bar	100%	+	-
24-04-91	Inspectie	-	Tussentijds steeds 7 bar	5%	-	allen
26-04-91	Inspectie	-	Tussentijds atmosferisch	5%	-	KIWA
07-05-91	Proevenserie 4	10	snel, 7 naar 0,3 bar	100%	-	-
16-05-91	Proevenserie 5	1	snel, 7 naar 1 bar	95%	-	allen
27-05-91	Proevenserie 6	1	snel, 7 naar 1 bar	95%	-	WL
03-06 t/m 07-06-91	Proevenserie 7	100	snel, 10 naar 0,25 bar	100%	+	
08 en 09-06-91	-	-	atmosferisch	100%	-	-
10-06-91	Inspectie	-	-	5%	-	allen
11-06-91 - 16-07-91	Diversen	-	atmosferisch	5%	-	-
17-07-91 - 30-10-91	1 wekelijkse drukdaling 16	-	snel, 10 naar 1 bar	100%	-	WL

Tabel 1. Overzicht uitgevoerde proeven met randvoorwaarden

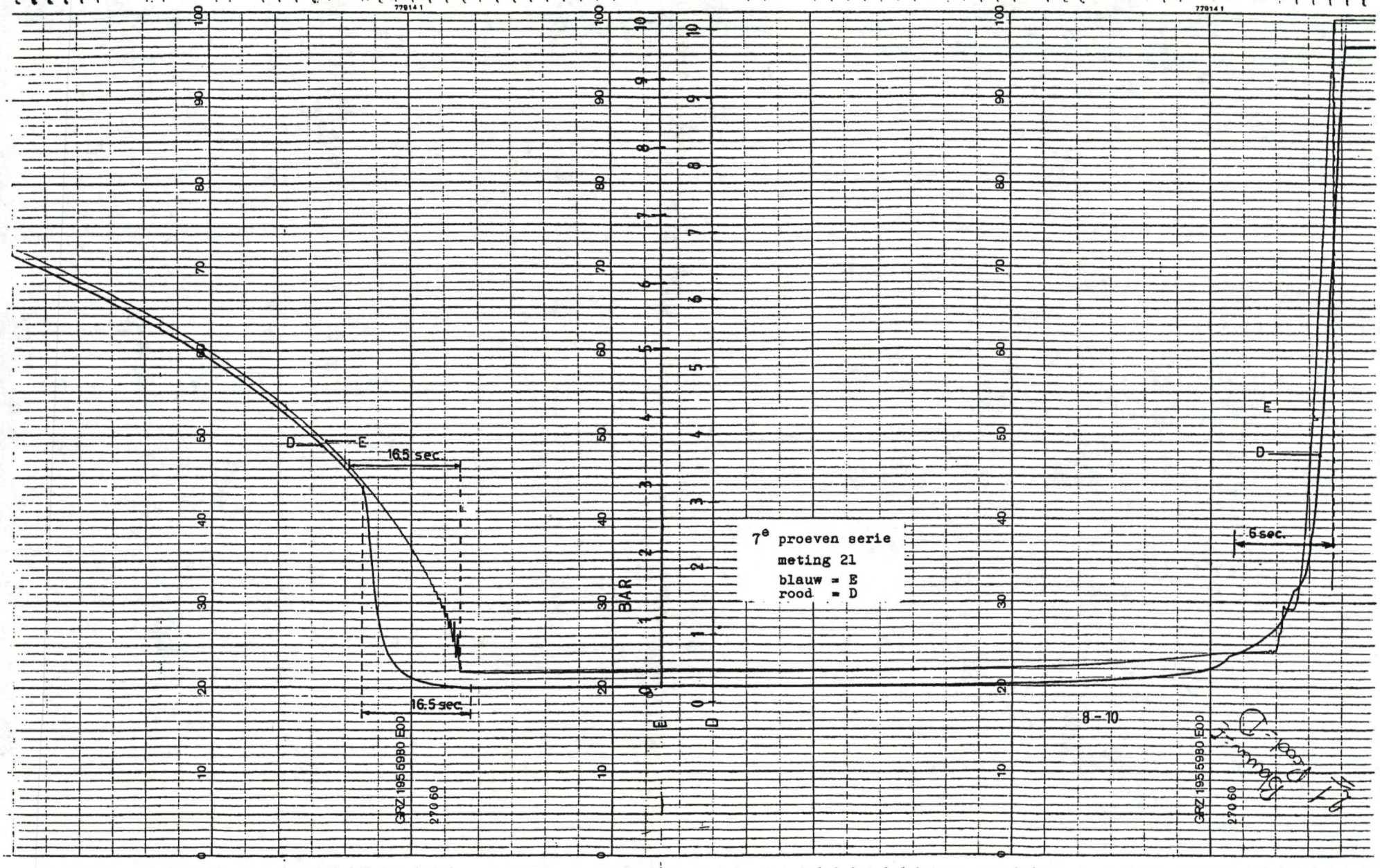
BIJLAGE 6

OPMERKINGEN VAN HET N.V. KIWA

BIJLAGE 7

OPMERKINGEN VAN CONLINE HOLLAND B.V.

7e proeven serie
meting 18
blauw = E
rood = C
6 sec.
C
E
BAR
E
GRZ 195 5980 B00
270 60
6-8


7e proeven serie
meting 21
blauw = E
rood = D
BAR
16.5 sec.
16.5 sec.
5 sec.
D
E
F
8 - 10
GRZ 195 5980 EOD
270 60

BIJLAGE 9

RASTERFOTO'S

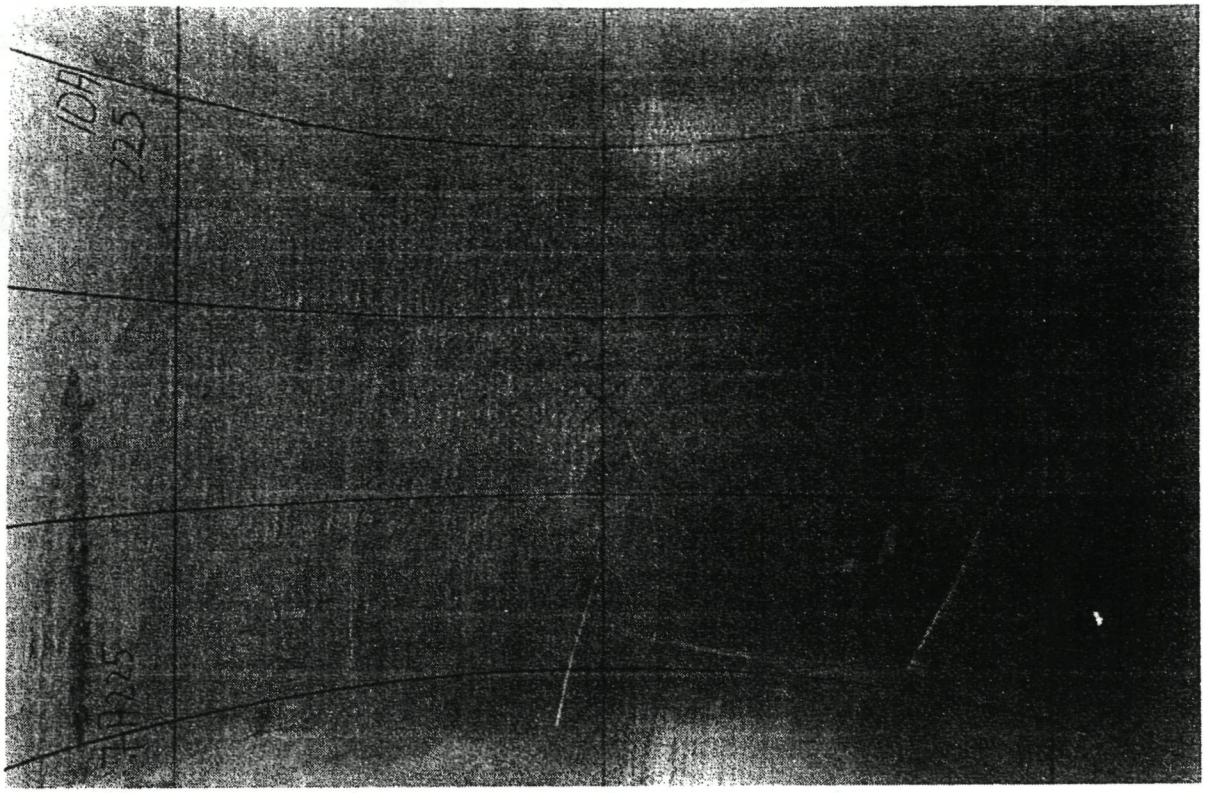


FOTO 1A: BUISDEEL A VOOR UITVOERING VAN DE PROEVEN.

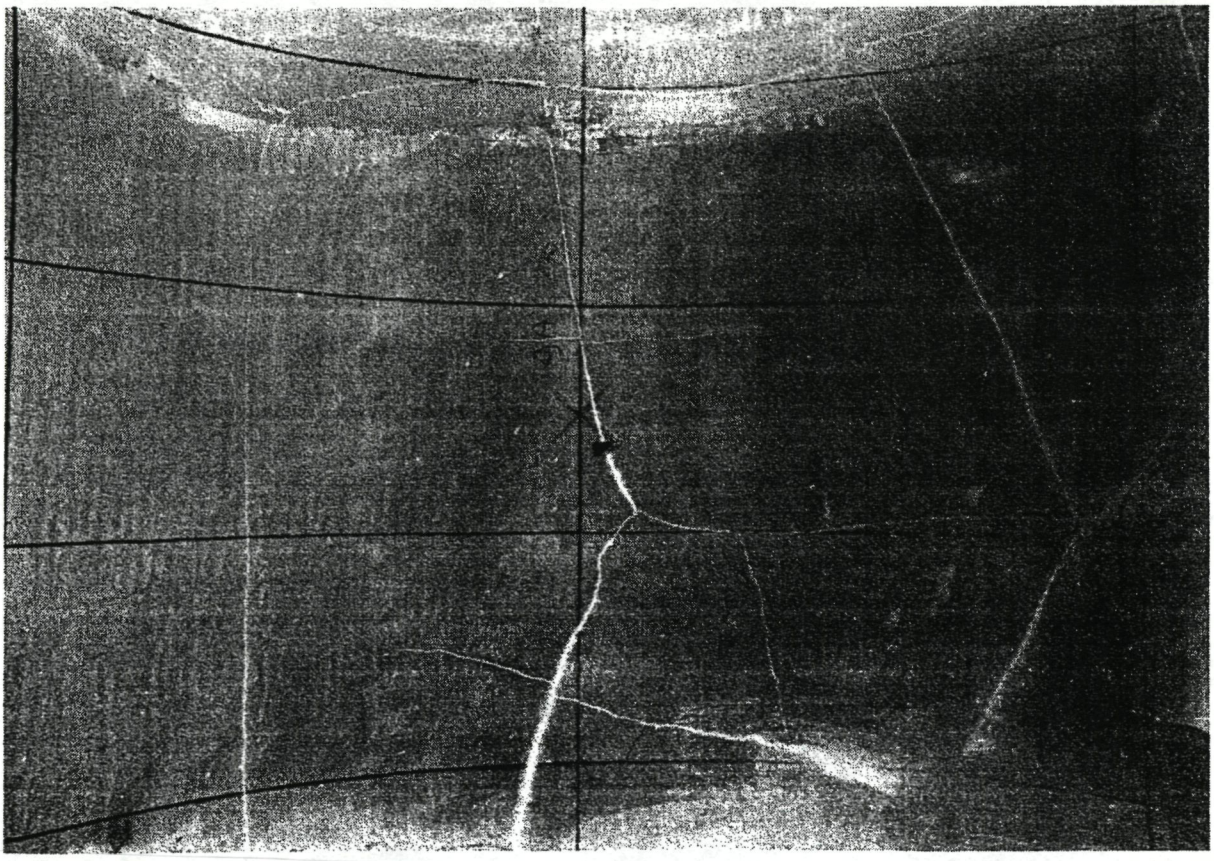


FOTO 1B: BUISDEEL A NA UITVOERING VAN DE PROEVEN.

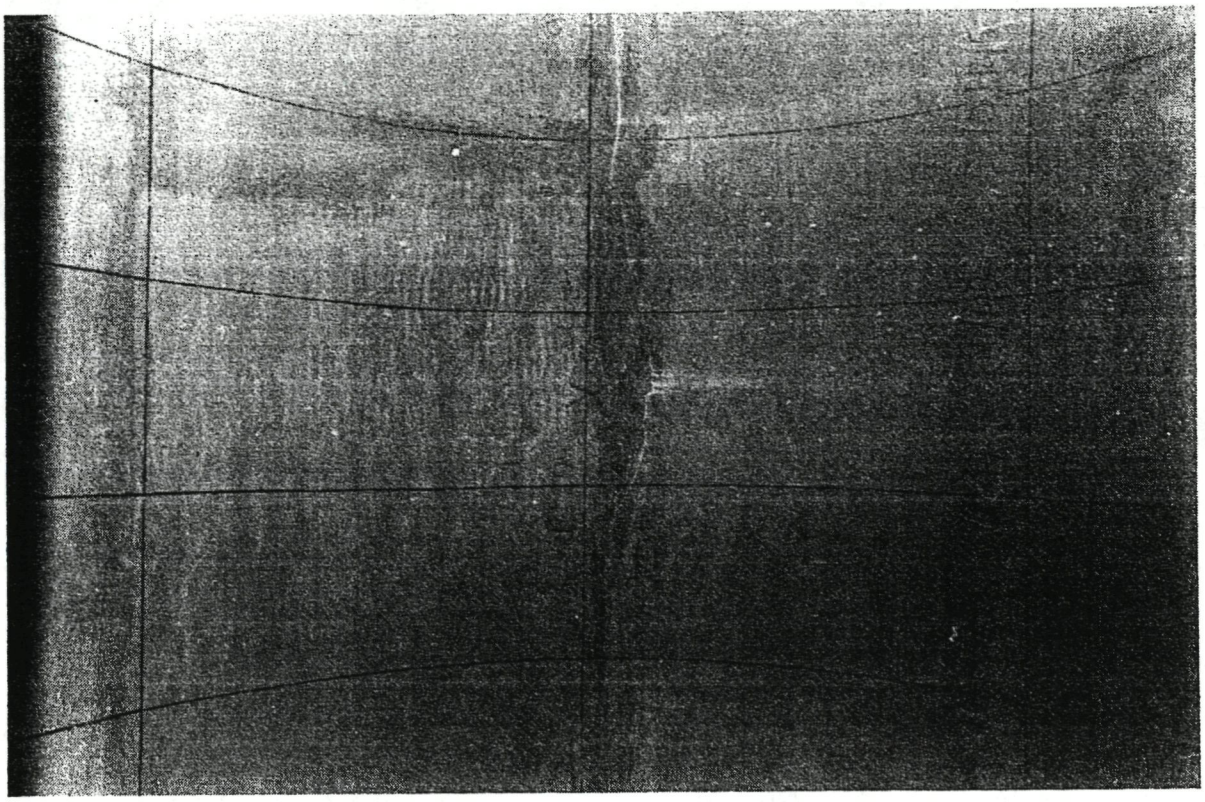


FOTO 2A: BUISDEEL A VOOR UITVOERING VAN DE PROEVEN.

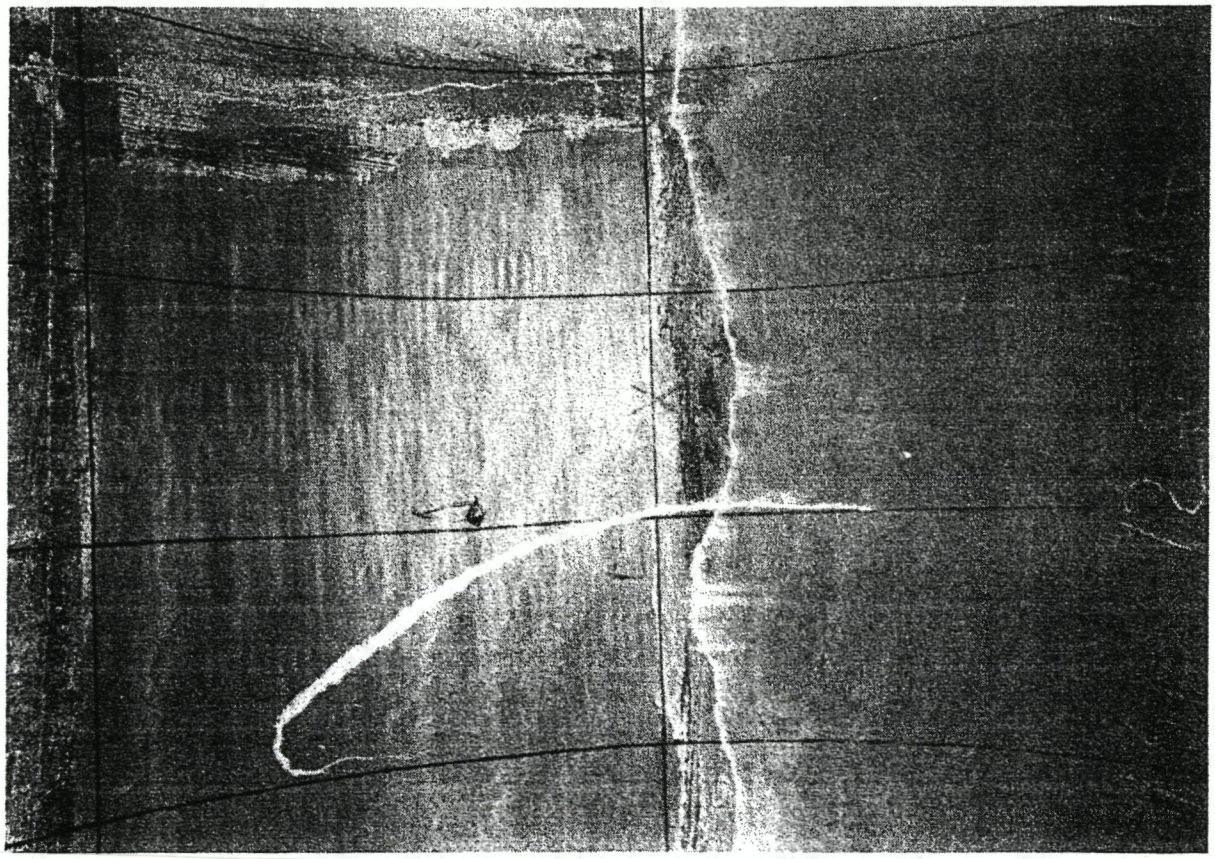


FOTO 2B: BUISDEEL A NA UITVOERING VAN DE PROEVEN.

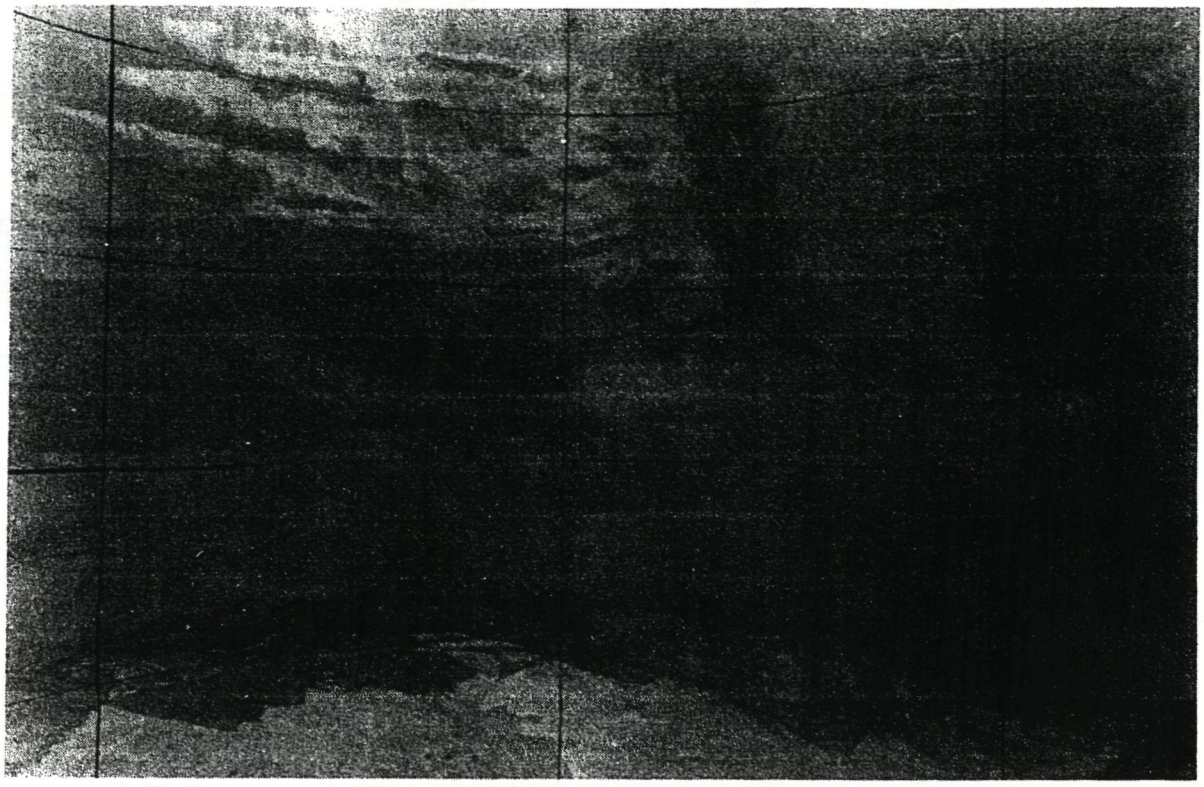


FOTO 3A: BUISDEEL B VOOR UITVOERING VAN DE PROEVEN.

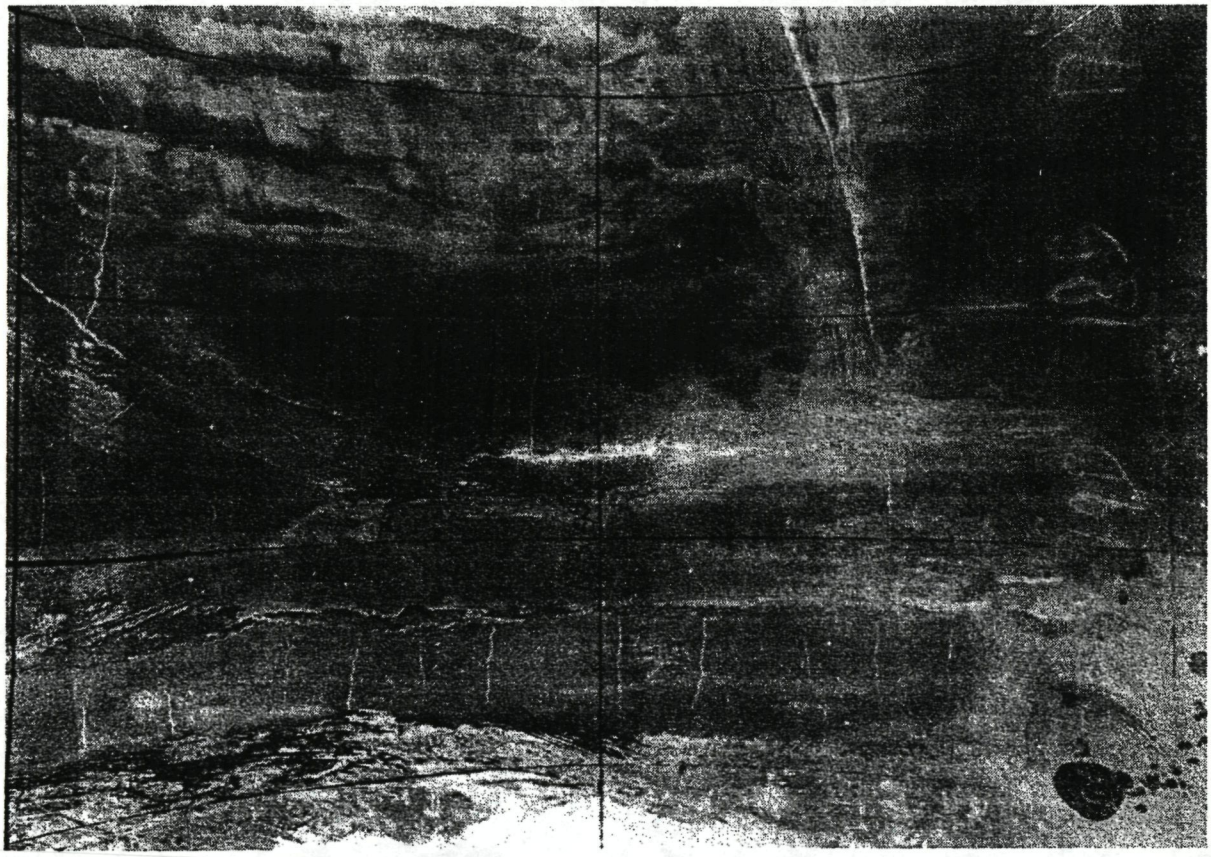


FOTO 3B: BUISDEEL B NA UITVOERING VAN DE PROEVEN.

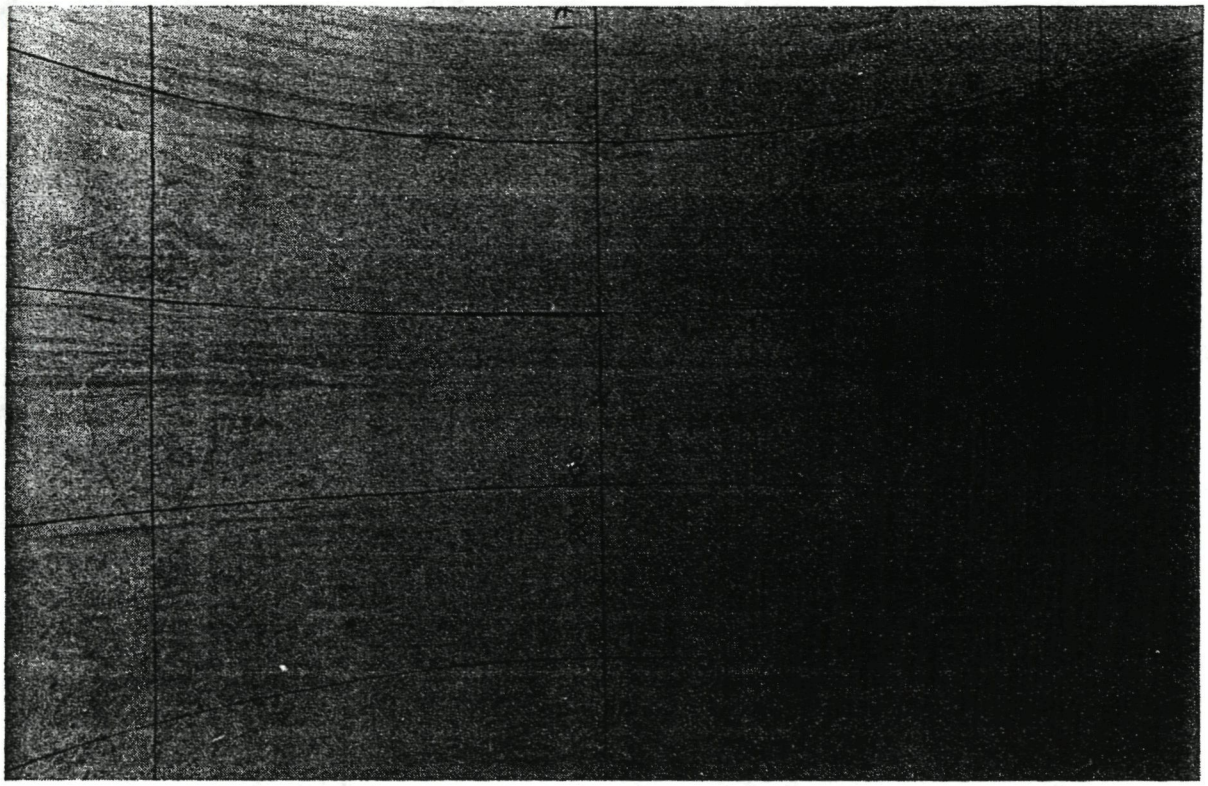


FOTO 6A: BUISDEEL C VOOR UITVOERING VAN DE PROEVEN.

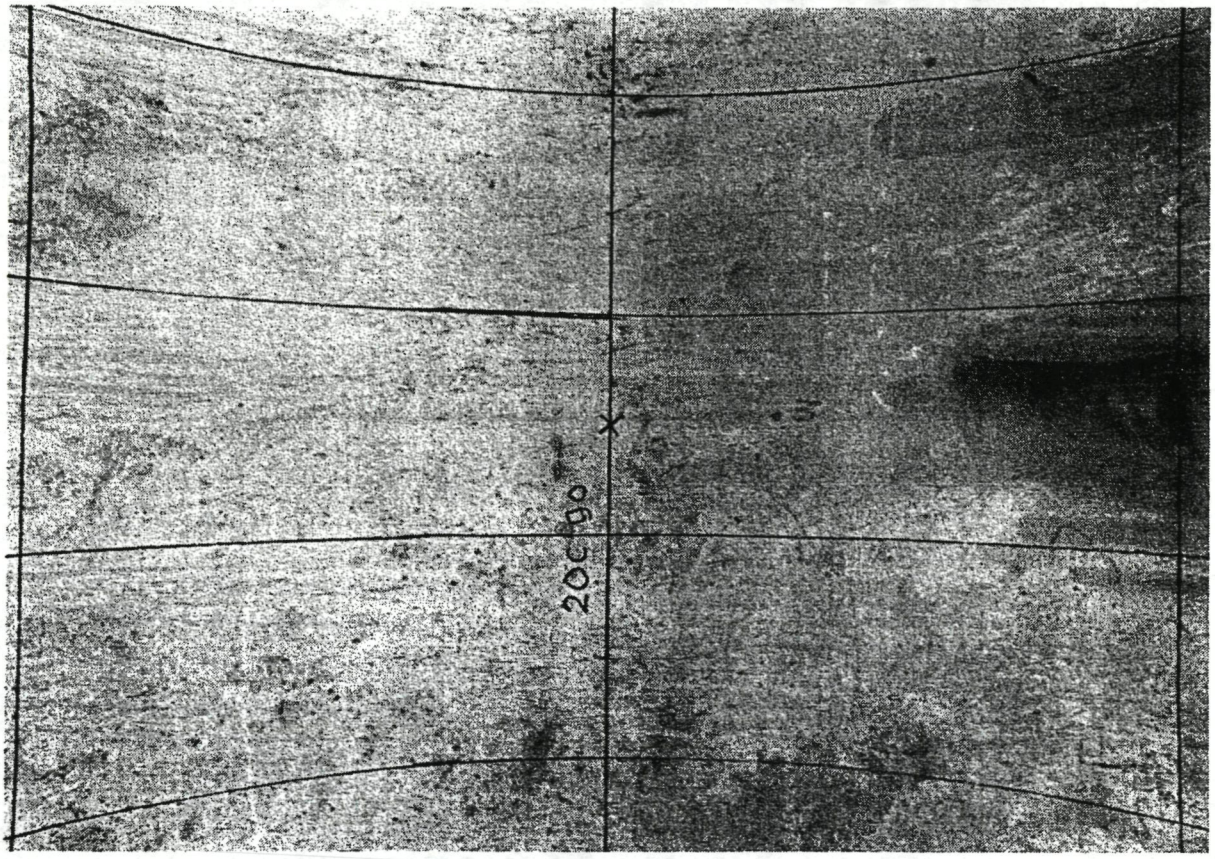


FOTO 6B: BUISDEEL C NA UITVOERING VAN DE PROEVEN.

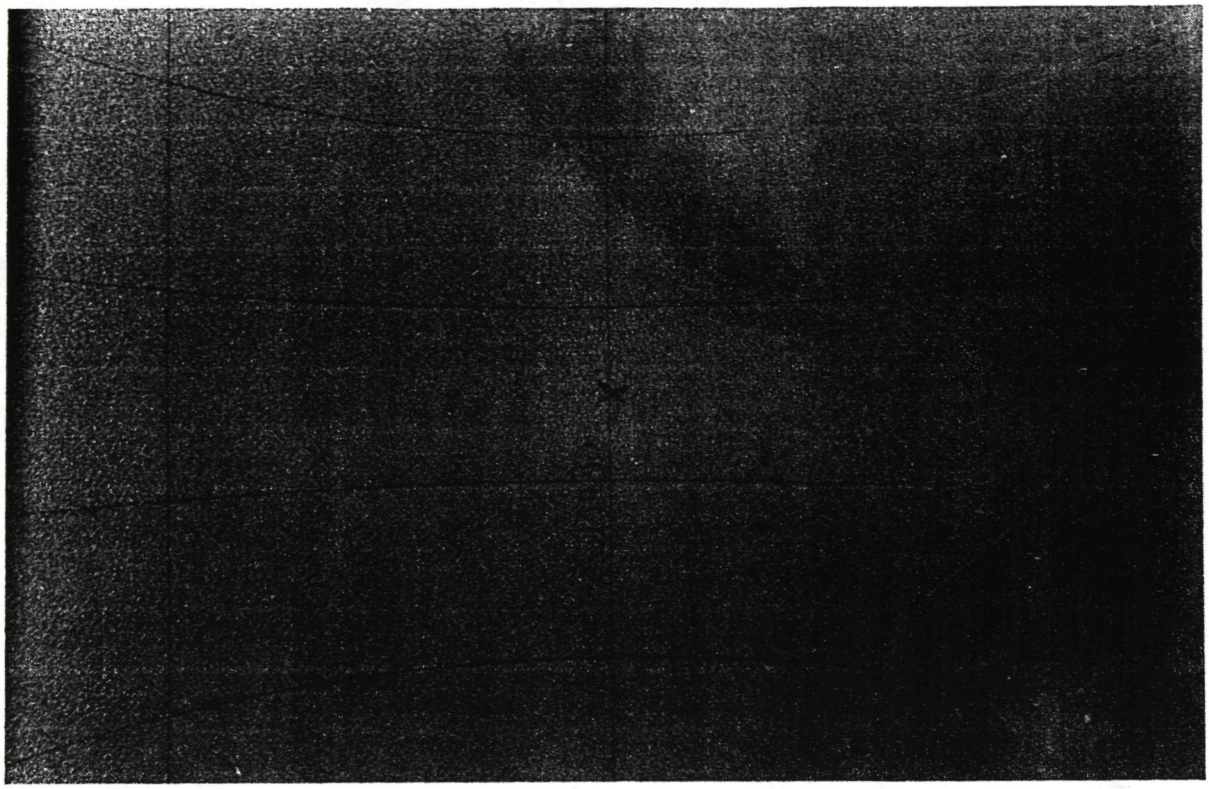


FOTO 7A: BUISDEEL D VOOR UITVOERING VAN DE PROEVEN.

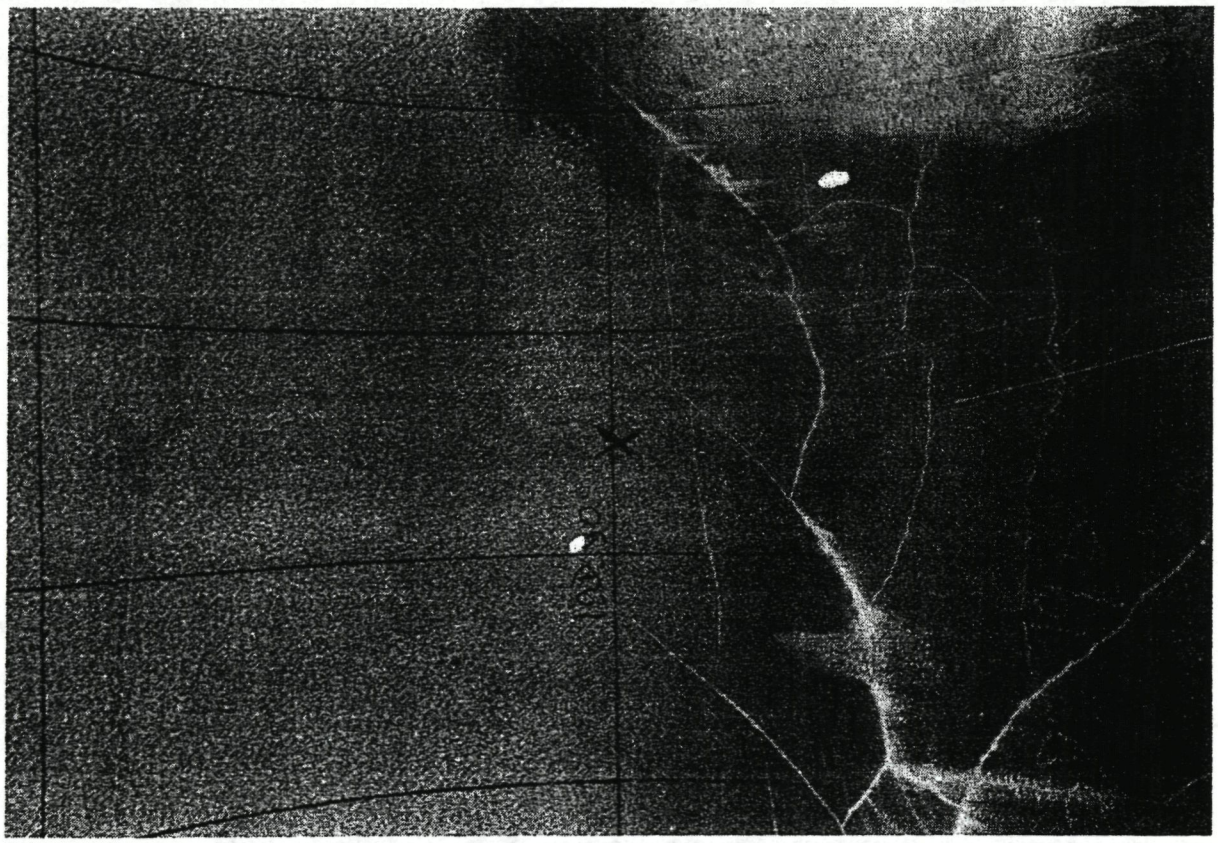


FOTO 7B: BUISDEEL D NA UITVOERING VAN DE PROEVEN.

FOTO 8A: VOEGREPARATIE TUSSEN BUISDEEL C EN D VOOR UITVOERING VAN DE PROEVEN.

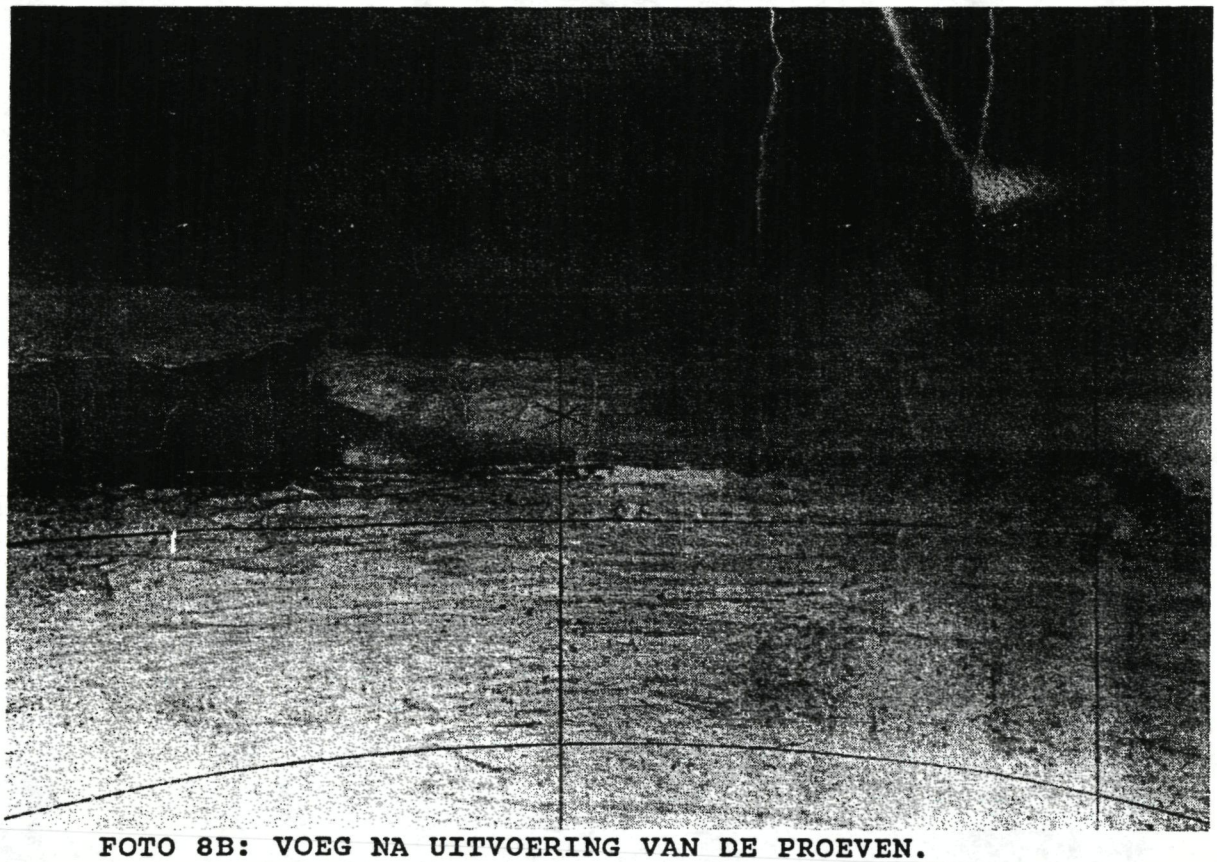


FOTO 8B: VOEG NA UITVOERING VAN DE PROEVEN.

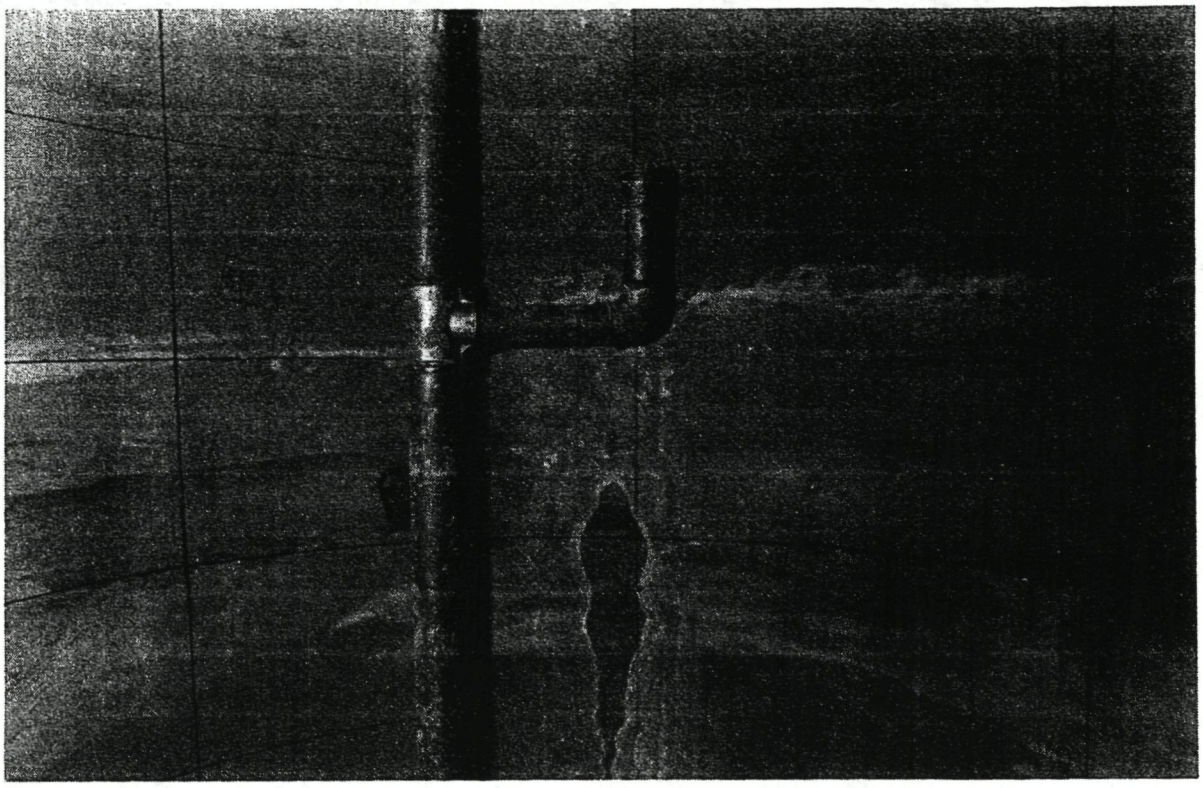


FOTO 9A: DETAIL CAVITEREND OBJECT VOOR BUISDEEL B. HET GAT IN DE VOEG IS GEDURENDE DE UITVOERING VAN DE PROEVEN OPEN GELATEN.

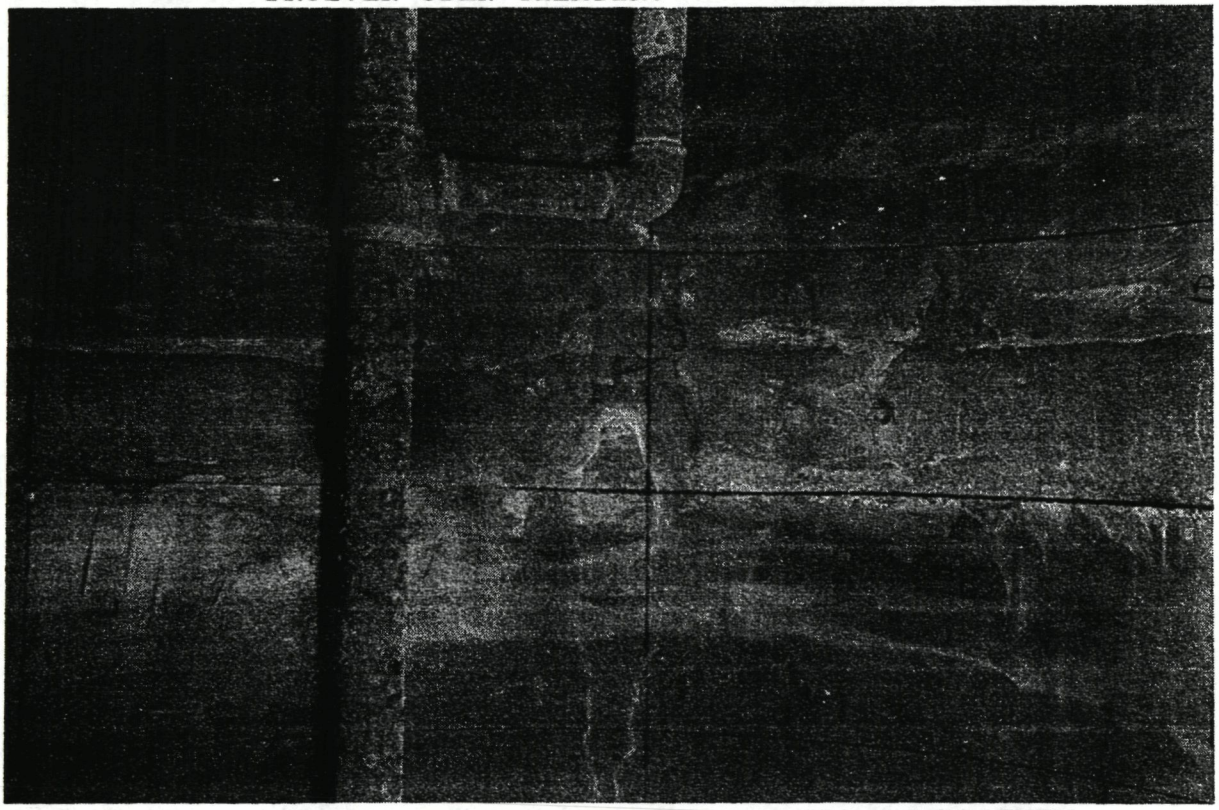


FOTO 9B: DETAILOPNAMEN NA UITVOERING VAN DE PROEVEN.

FOTO 10: DETAILOPNAME VAN EEN SCHEUR IN BUISDEEL B. HET GAT IS NA UITVOERING VAN DE PROEVEN INGEHAKT.