trilnaalden nota

2ETRI-N-81003

oosterscheldekering
trilnaalden MYTILUS

apr./mei 1981

INHOUD :

- Samenstelling werkgroep
- Inleiding
- Taakstelling

HOOFDSTUK 1.

- Korte beschrijving van het verdichtingsproces
- Aantal trillingen per naald per locatie om de vereiste dichtheid te verkrijgen
- Totaal aantal trillingen volledig verdichtingsgebeuren

HOOFDSTUK 2.

- Korte beschrijving van de trilnaaldconfiguratie met korte motivering van de vormgeving.
- Vermoeiingsproblematiek

HOOFDSTUK 3.

- Wijzigingen van de schacht

HOOFDSTUK 4.

- Levensloop van de schacht

Hoofdstuk 5.

- Reparatiemethoden

HOOFDSTUK 6

- Reserve trilnaalden

HOOFDSTUK 7

- Beleid t.a.v. het verwisselen van de trilnaalden(inspectie e.d.)

HOOFDSTUK 8

- Aanbevelingen

SAMENSTELLING VAN DE WERKGROEP "REPARATIE TRILNAALDEN".

Dit rapport is opgesteld door de werkgroep "Reparatie Trilnaalden", welke ressorteert onder Projectbureau II.
De samenstelling van de werkgroep is als volgt :

- P. Davis	WWW	
- L. van Herwerden	WWW	
- E. Ypey	Directie Bruggen	Voorzitter
- G. Hertogh	Directie Bruggen	
- E. Suister	Directie Bruggen	
- P. Kleijn	Dosbouw	
- A. Sandberg	Dosbouw	
- T. Dankbaar	Dosbouw	

Inleiding

Het verdichtingsschip de "Mytilus"(mossel) is gebouwd om de bodemstructuur ter plaatse van de Stormvloedkering, t.w. de pijlerdam, te verbeteren.
In eerste instantie is de "Mytilus" uitgerust met zes zogenaamde trilnaalden(vier trilnaalden in bedrijf en twee trilnaalden reserve).
Een trilnaald bestaat, eenvoudig gezien, uit een 30m lange buis - schacht genaamd - met een gemiddelde diameter van ca. 0,5 m.
De schacht is voorzien van een speciaal ondereind - resonator - genaamd, om de bodem te verdichten(zie figuur 9 en foto 4).
De trilnaald wordt verticaal in trilling gebracht door een vibrator-unit (zie foto 1).
De verticale beweging van de trilnaald wordt door de resonator overgedragen aan de omliggende zandkorrels die ook in trilling geraken, dit heeft tot gevolg dat de viscositeit van de bodem verhoogd wordt.
Dit proces breidt zich - met de tijd - zijdelings uit.
Doordat de aldus verdichte zandmassa's met de trilnaald meetrillen neemt de in trilling te brengen massa van de trilnaald toe.
De trilling kan alleen dan in stand worden gehouden als het toegevoerde vermogen toeneemt.
Als de verdichtingsprocedure ten einde is worden de vier trilnaalden opgehesen waarna de "Mytilus" m.b.v. lieren naar de volgende locatie verhaald wordt.

Bij de ontwikkeling en de testfase van de trilnaalden zijn, in chronologische volgorde, de navolgende problemen opgetreden :

1. De gerolde verbinding van de water- en luchtpijpen in de schacht bleek na zeer korte tijd te bezwijken(zie figuur 10).
2. De rubber afstandsringen in de schachten bleken niet op hun plaats te blijven zitten(het zogenaamde "wandeleffect").
3. Er traden scheuren op in de kelklasverbinding(zie figuur 11).
   De kelklasverbinging was een alternatief van de gerolde verbinding.

Om de nog steeds aanwezige problemen met de water-en luchtpijpen op te lossen is men twee alternatieven gaan onderzoeken, t.w. :

a. De kelklasverbinding vervangen door een geschroefde verbinding (werd beproefd door TNO-Apeldoorn).

b. De stalen water- en luchtpijpen vervangen door rubberslangen.

4. Het beschikbare vermogen van de vibratorunit bleek onvoldoende te zijn. De electromotoren van de vibrators schakelden zichzelf uit doordat ze thermisch overbelast werden.
5. Er traden scheuren in de naaldschachten op.
6. Er traden scheuren in de adaptersteunen op.
7. De boutverbinding waarmee de resonatorpunt aan de resonator bevestigd was bleek ondeugdelijk (zie figuur 14).
8. Nadat het vibrator vermogen vergroot is zijn er olielekkages aan een vibratorunit opgetreden.

Taakstelling :

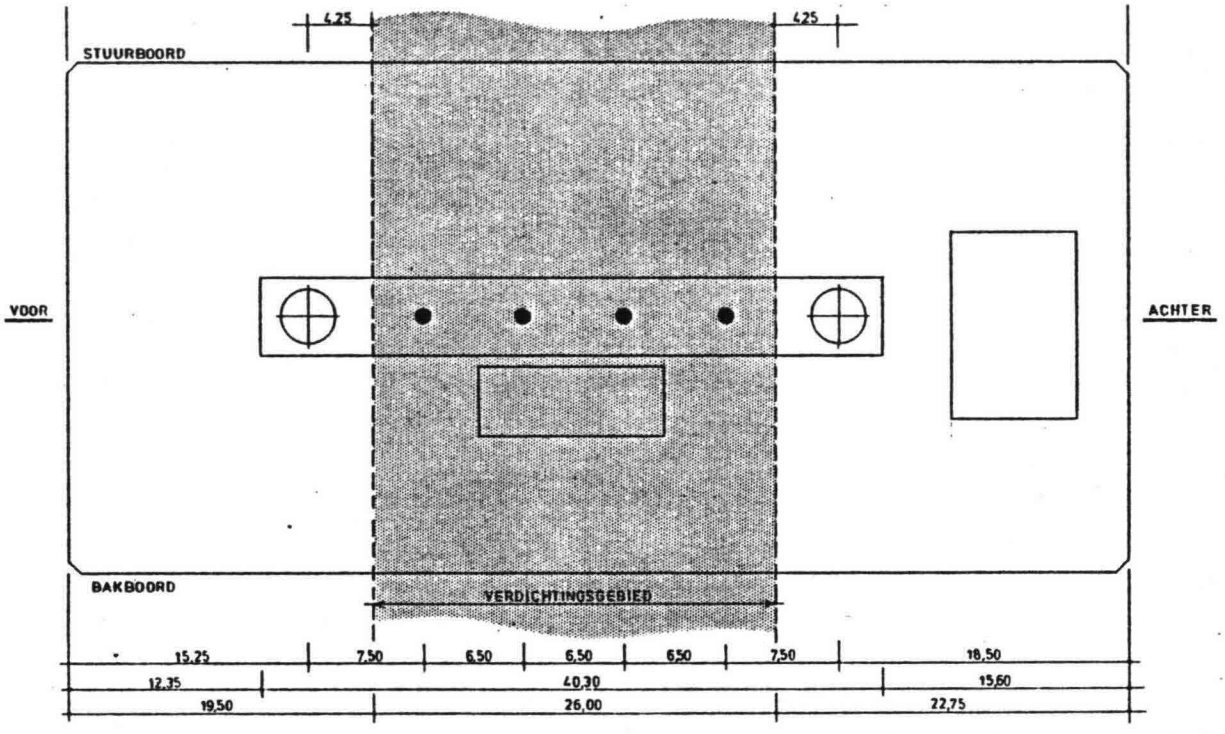
De opzet van dit rapport is, om in eerste instantie,een overzicht te geven van de problemen die zich, in het tijdvak november 1979 tot maart 1981, met de trilnaalden van de Mytilus voorgedaan hebben Tevens worden de gekozen oplossingen voor deze problemen genoemd. Ten slotte worden de voorstellen voor de oplossing van de nog lopende problemen en de voorstellen t.a.v. het zogenaamd preventief onderhoud genoemd.

35.000-78

1. Beschrijving van het verdichtingsproces.

Nadat de "Mytilus" m.b.v. ankerlieren op de te verdichten locatie is gemanoeuvreerd, laat men de beide spudpalen naar beneden vallen.

Tussen de spudpalen bevinden zich de geleidebalk en de vier trilnaalden in de zogenaamde beun van het verdichtingsschip (zie figuur 1 en 2).

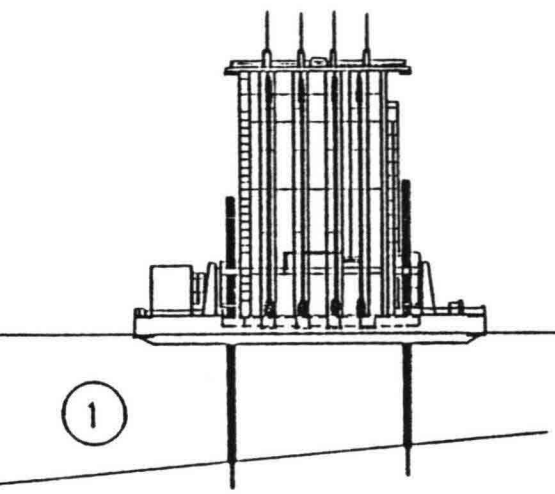


Figuur 1

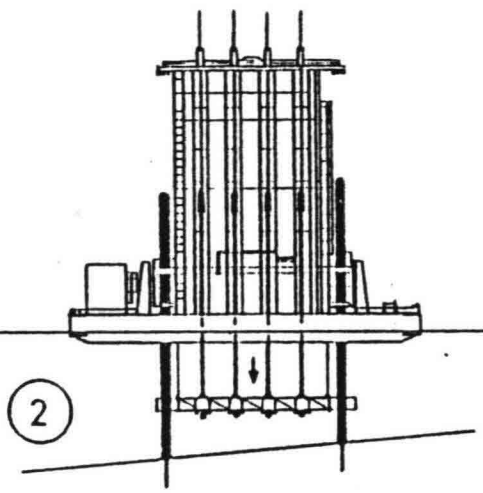
De geleidebalk dient om de vier trilnaalden gedurende het proces te geleiden.

De trilnaalden zakken synchroon met de geleidebalk naar beneden. Wanneer men op ca. 1,5m vanaf de bodem gekomen is worden de vibratoren van de trilnaalden gestart (frequentie 25 herz).

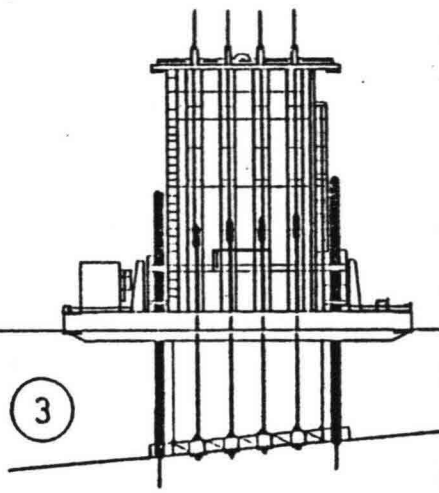
Om de trilnaald vervolgens in de grond te kunnen brengen wordt de onder- en bovenspoeling aangezet(zie foto 4).



spuds neer- naalden en geleide balk in beun

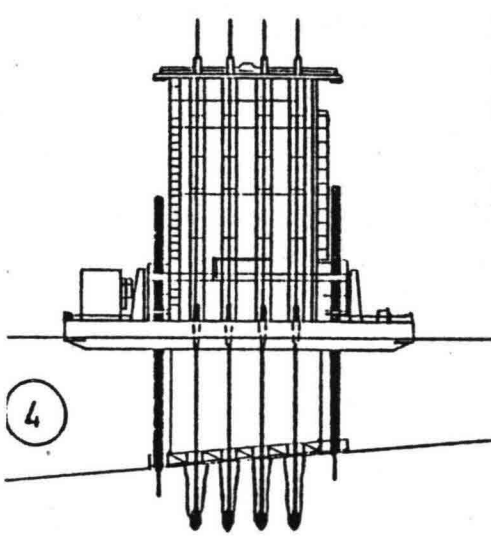


naalden en balk halverwege

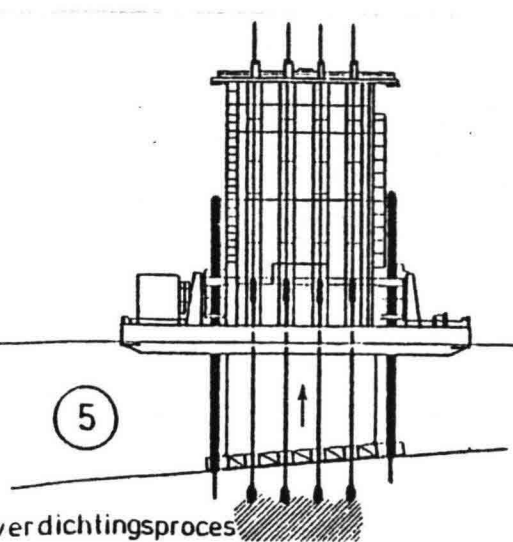


balk gesteld naar bodemtalud

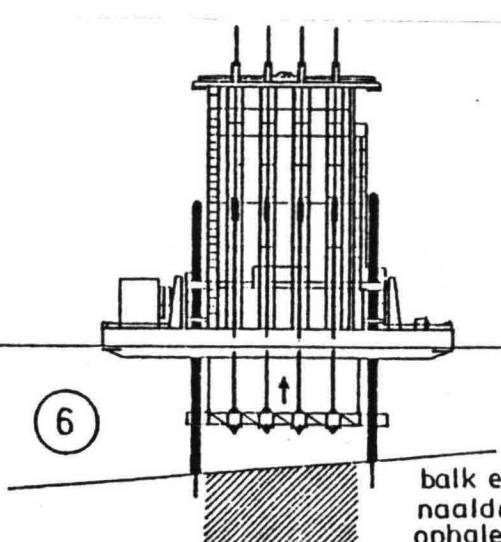
Het zand wordt door de krachtige waterstraal van de onder- en bovenspoeling weggespoten, waardoor men de trilnaald in de bodem kan brengen. Als men op 1 à 2 m van de te verdichten diepte is aangekomen wordt de onderspoeling stopgezet, de trilnaald zakt vervolgens door zijn eigen gewicht op de juiste te verdichten diepte (diepte varieert van 5 m tot 15 m). De bovenspoeling blijft voortdurend aan staan, dit om een goede aanvoer van zand naar de resonator te waarborgen.



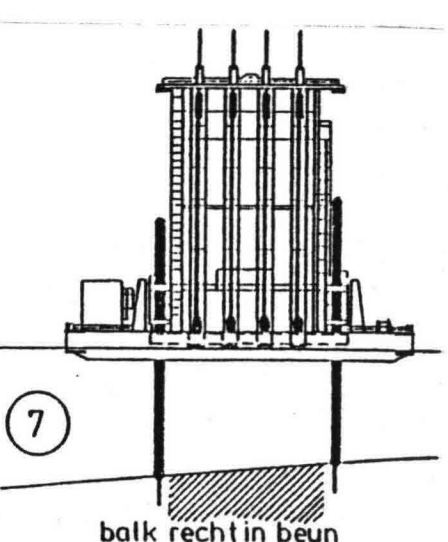
naalden maximaal ingedaald



verdichtingsproces



balk en naalden ophalen



balk recht in beun

Het eigenlijke verdichten kan nu gaan beginnen.
Belangrijke parameters voor het verdichtingsproces zijn of het door de electromotoren afgegeven vermogen of de maximale triltijd.

A. Verdichten tot 6 m - bodemlijn
- Verdichten tot een opgegeven vermogen van 210 KW*
- Indien het opgegeven vermogen niet wordt gehaald dan moet maximaal 10 minuten worden verdicht.
- Daarna 1 m trekken.

B. Verdichten vanaf 6 m - bodemlijn tot bodemlijn (alternerend proces)

1e stap
- Verdichten tot een opgegeven vermogen van 210 KW.
- Indien het opgegeven vermogen van 210 KW niet wordt gehaald, dan maximaal 6 minuten verdichten.
- Daarna de naald een halve meter laten vieren. Afhankelijk van diepte en weerstand zakt de naald 0-0,5 m.

2e stap
- Verdichten tot een opgegeven vermogen van 210 KW.
  Gezien na het zakken van de naald het vermogen snel oploopt is de minimum verdichtingstijd ca. ½ minuut.
- Bij het niet halen van het vermogen wordt, vooral in de bovenste meters minimaal 6 minuten verdicht.
- Daarna de naald 1 m trekken.
  Vervolgens herhalen van de 1e en de 2e stap.

* Het nominale motorvermogen bedraagt 3 x 60 = 180 KW, waardoor de motoren ca. 17% worden overbelast.

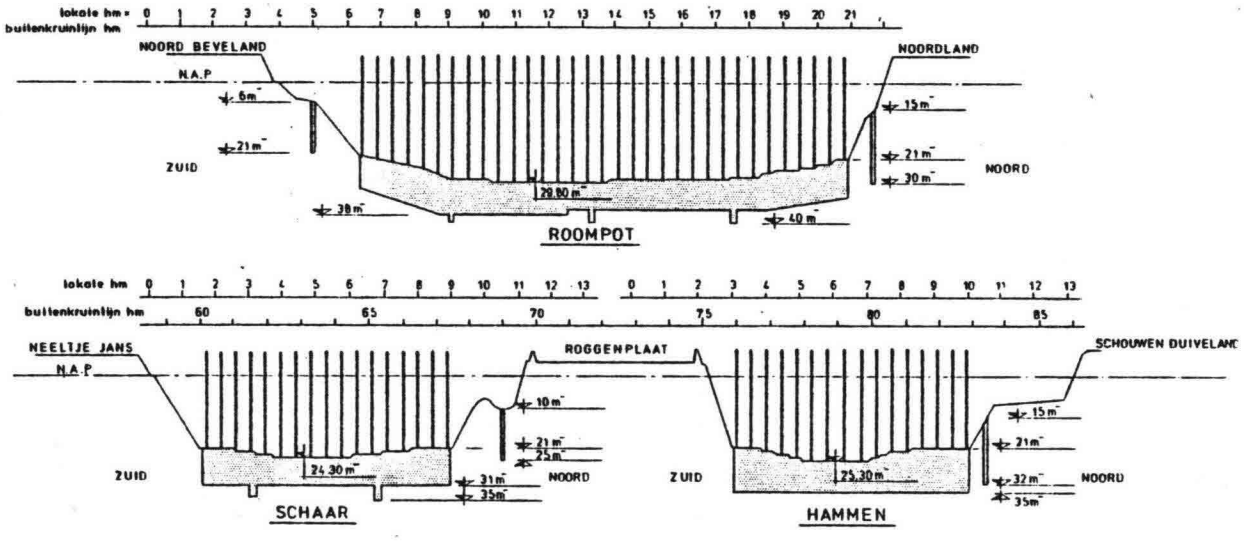
Na het verdichten worden de vier trilnaalden met de geleidebalk synchroon omhoog bewogen tot ze zich in de beun bevinden (zie figuur 2). De spudpalen worden vervolgens uit de bodem getrokken waarna de "Mytilus" kan worden verhaald. Daarna kan de verdichtingscyclus opnieuw beginnen.

Totaal aantal trillingen volledige verdichtingsgebeuren (zie bijlage 1 t/m 5)
Uitgegaan is van een frequentie van 25 Hz.
Eén verdichtingsuur = 25 x 3600 = 90.000 trillingen.

Gemiddeld aantal trillingen per naald per locatie om de vereiste dichtheid te verkrijgen bij verdichten in de as :

Triltijd verdichten in de as : 6.550 - 1.750 = 4.800 uren
Per verdichtingsstrook : 4.800/3 = 1.600 uren
Aantal cycli per strook : ca. 700
Triltijd per cyclus : $\frac{1600}{700}$ = 2,3 uren

Aantal trillingen per naald per cyclus : 2,3.90.000 = 207.000



VOOR GEDETAILLEERDE HECTOMETREERING EN DIEPTEMATEN VAN HET TE VERDICHTEN GEBIED ZIE TEK. RWS. DD Nr 79.4.267. VERTIKALE VERDICHTINGSOMVANG

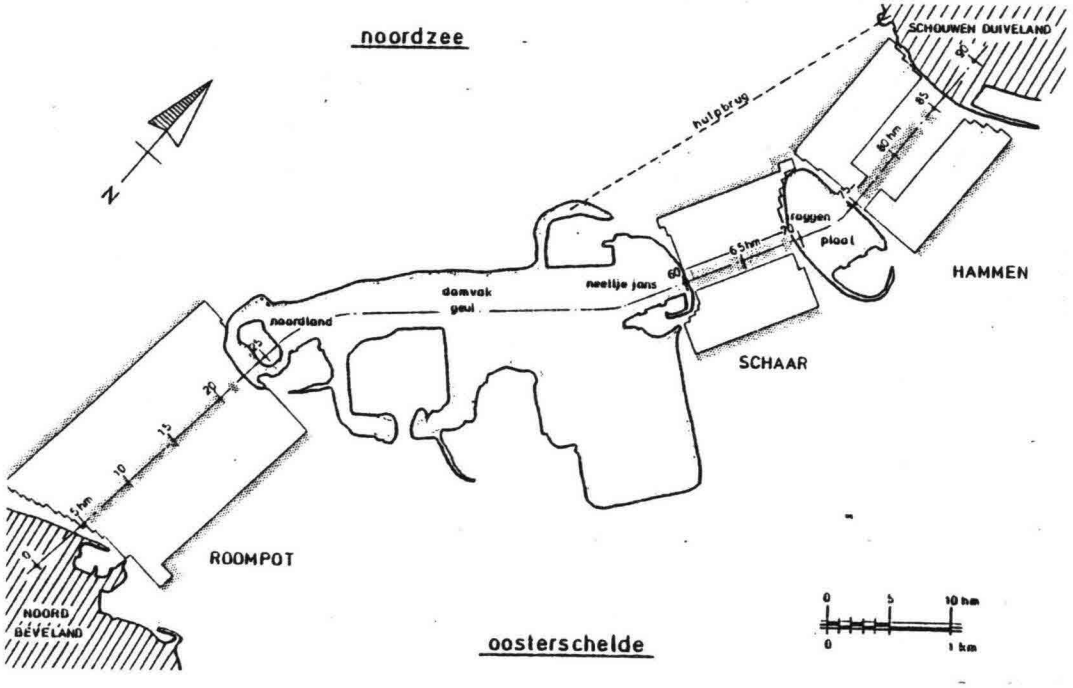
Figuur 3

Stroomgat	Totaal aantal trillingen per naald	Totaal aantal triluren per naald
Hammen	108×10^6	1.200
Schaar	108×10^6	1.200
Roompot	216×10^6	2.400
Rand	158×10^6	1.750
Totaal	590×10^6	6.550

Onvoorzien t.g.v. een langere cyclustijd 7.000 triluren.

Verdichtingsrandvoorwaarden

- Maximaal te verdichten diepte, vanaf bodemlijn, ca. 15 m.
- Maximale diepte tot waar verdicht moet worden 40-NAP.
- Bodemhelling dwars op de stroom maximaal 1:10
- Bodemhelling evenwijdig aan de stroom maximaal 1:7
- Verdichtingsstrookbreedte : 4 naalden x 6,5 m = 26 m.
- In de as 3 stroken = 78 m.
- Aan de randbodembescherming 1 strook = 26 m.
- Minimale waterdiepte waarin verdicht kan worden 7,5 - NAP.



Figuur 4

2. Beschrijving van de trilnaaldconfiguratie

De trilnaald bestaat uit de volgende hoofdonderdelen :

(zie figuur 5)

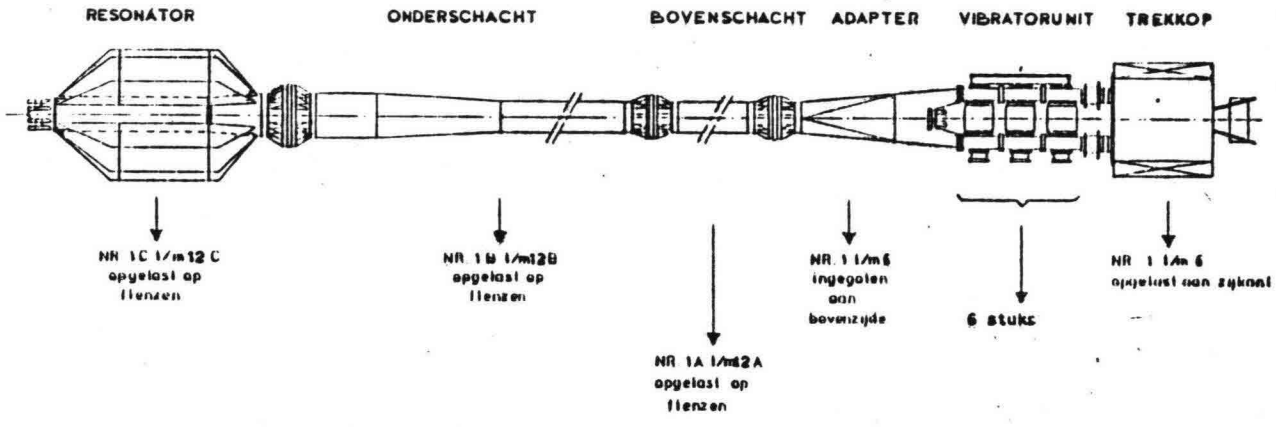
a. trekkop en vibratorunit

b. adapter

c. bovenschacht

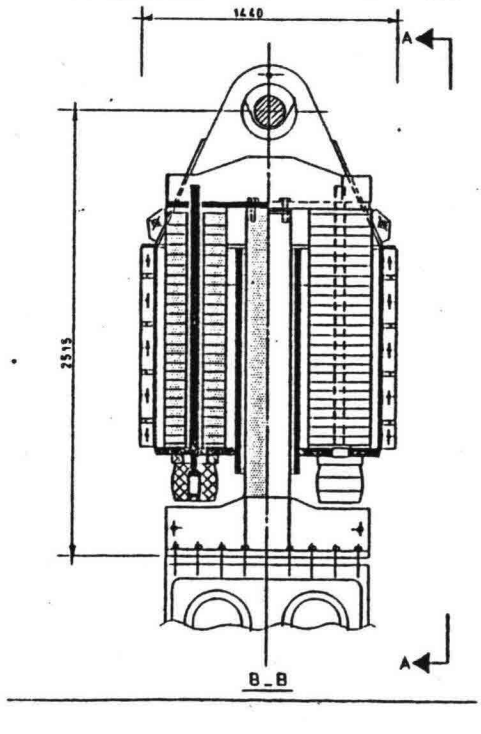
d. onderschacht

e. resonator



Figuur 5

Aan de bovenzijde van de trilnaald bevindt zich de trekkop met de vibratorunits. De trekkop biedt de mogelijkheid dat de naald, middels een hijsinrichting, verticaal bewogen kan worden zonder dat de trillingen naar het schip worden doorgeleid(zie figuur 6).

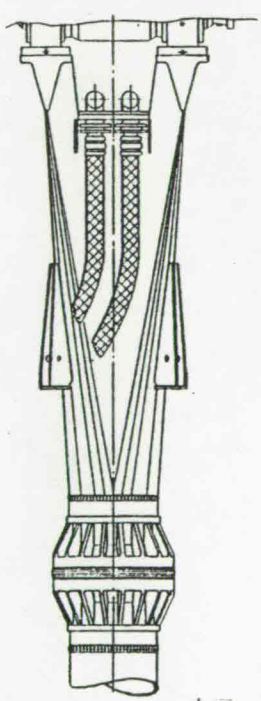


Figuur 6

De vibratorunits wekken de vereiste trillingen op(25 Hz).
Elke trilnaald is uitgerust met drie vibratorunits.
Eén vibratorunit heeft een nominaal vermogen van 2 x 30 = 60 KW.
Het totaal vermogen per trilnaald bedraagt dan : 2 x 30 x 3 = 180KW (zie foto 1).

De adapter dient om een vloeiende overgang te krijgen van de vibratorunit naar de naaldschacht.
(overgang van een vierkante naar een ronde doorsnede(zie figuur 7 en foto 2).

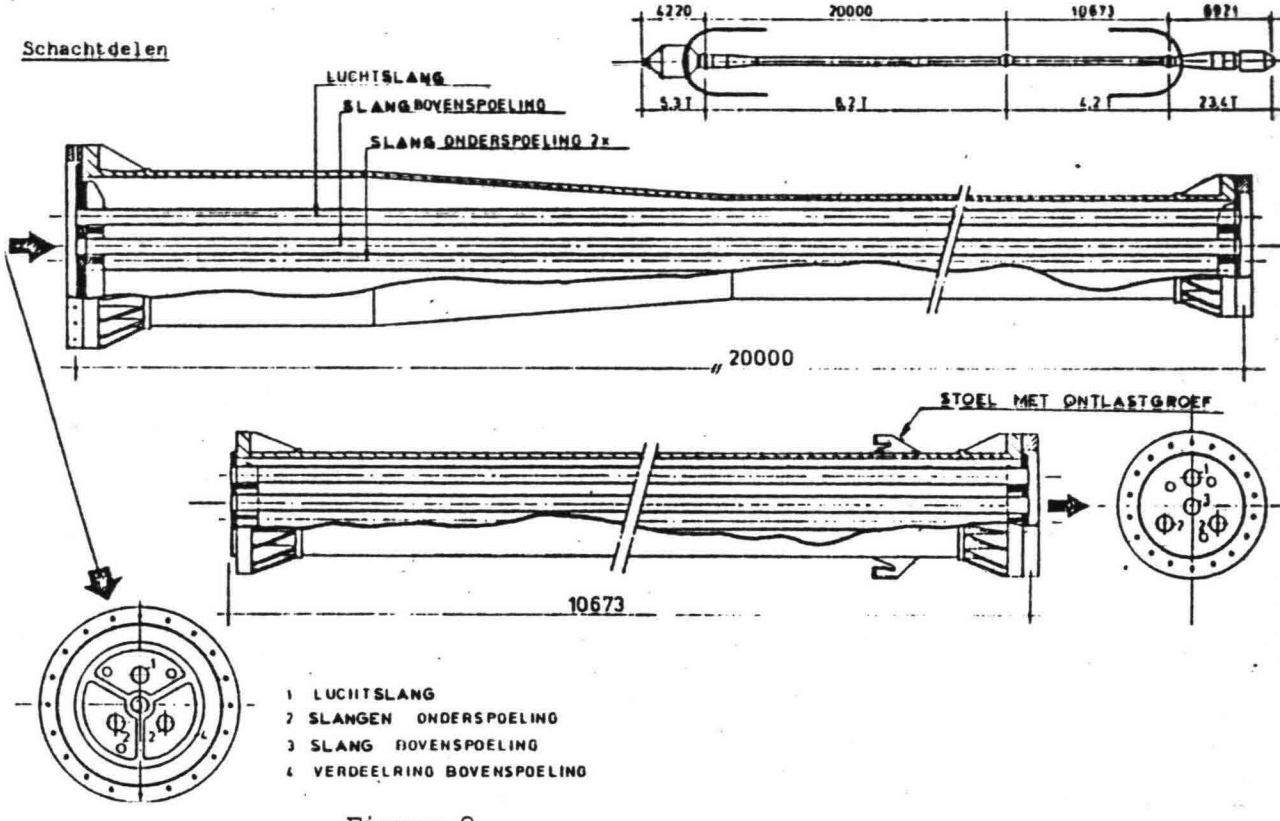
Foto 1



Figuur 7

Foto 2

De onder- en bovenschacht dienen om de opgewekte trillingen naar de resonator door te leiden(zie figuur 8 + foto 3).



Figuur 8

De korte bovenschacht en de lange onderschacht respectievelijk 10 m en 20 m lang- worden d.m.v. flenskoppelingen verbonden.
Om voldoende ruimte voor de bovenspoeling te creëeren heeft men de onderschacht aan de onderkant conisch uitgevoerd.
Om de trilnaald van en naar de verschillende ophangpunten te kunnen transporteren zijn er op de bovenschacht stoelen gelast.
In de buisvormige schachten zijn de rubber slangen, ten behoeve van de onder- en bovenspoeling ondergebracht.
De met de normale schachtlengten maximaal te bereiken diepte is ca. 36 - NAP.
In de Roompot moet tot 40 - NAP worden verdicht, (locaties R6 t/m R14, R16 en R26) hier moet gebruik worden gemaakt van een verlengschacht(lengte 4 m).

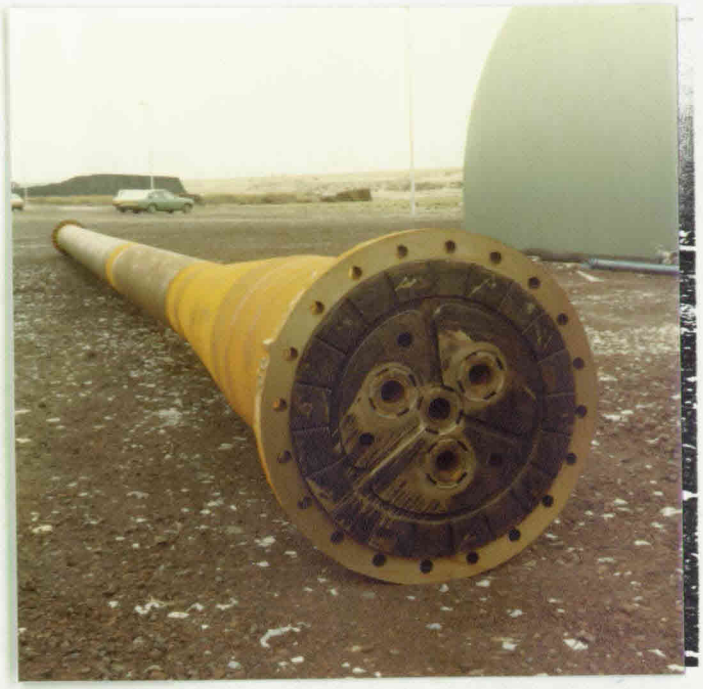
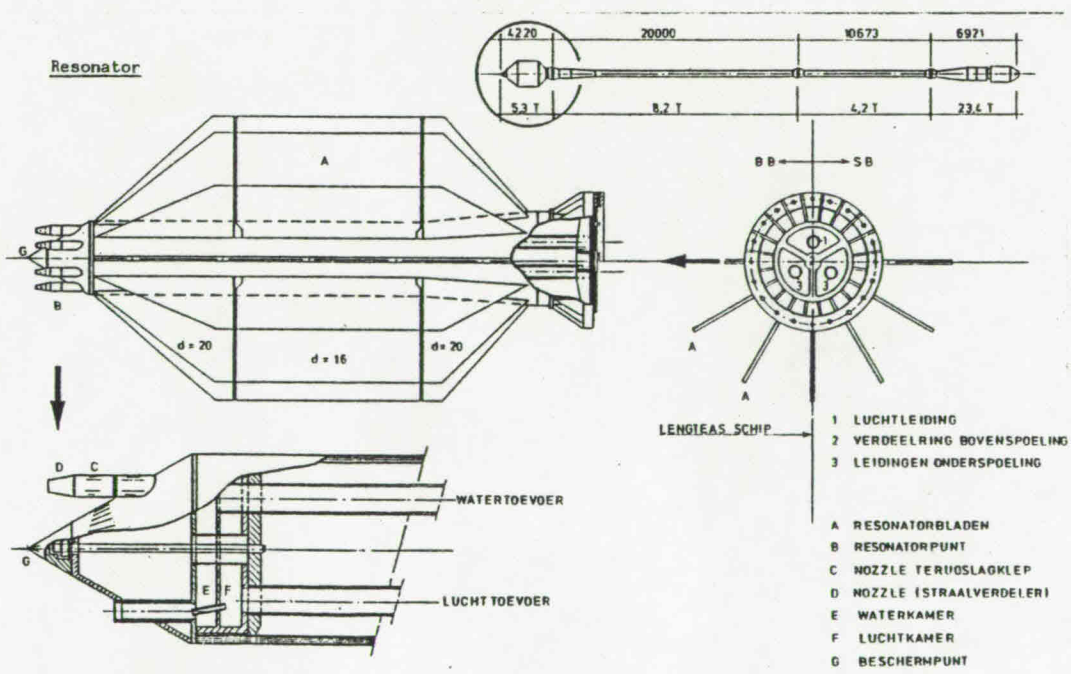


Foto 3

De resonator bestaat uit een buis(Ø56 cm) waarbij aan de omtrek een twaalftal verticale bladen zijn gelast(zie figuur 9 en foto 4).



Figuur 9

De bladen dienen om de opgewekte trillingen aan de grond door te geven.
Onder aan de resonator bevindt zich de verwisselbare resonatorpunt met de mengkamers voor water en lucht en de houders waarin zes spuitmonden geschroefd kunnen worden(zie foto 8)

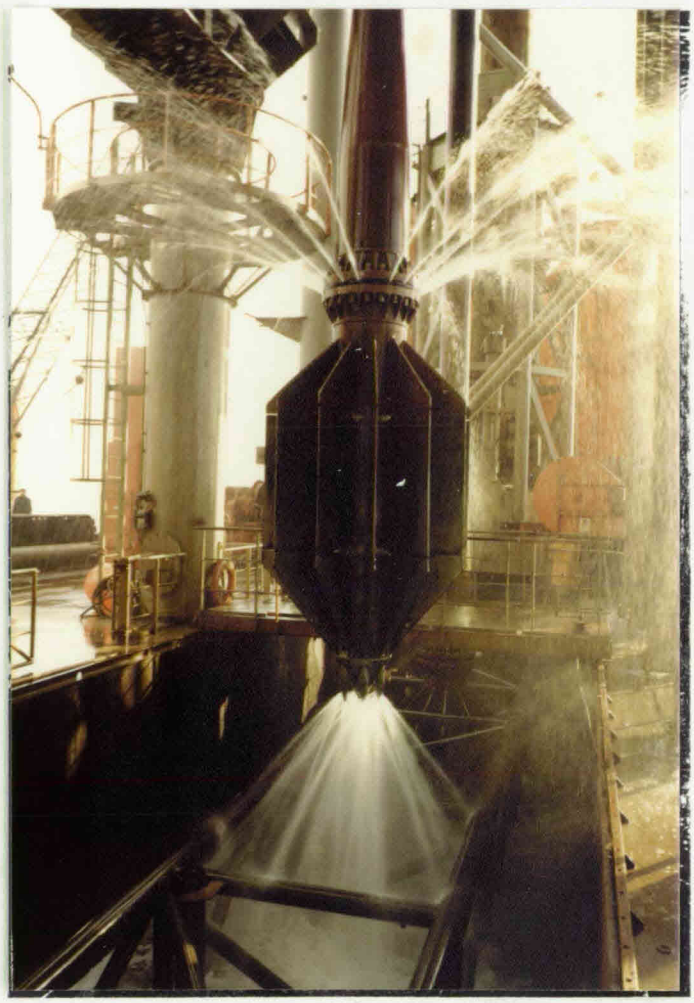


Foto 4

Trilnaaldspecificaties

Resonatorgedeelte

Lengte : 4,22 m^1

Gewicht : 5300 kg

Resonatorbladen d=16 mm, boven- en onderbladen d=22 mm

Omgeschreven cirkel resonatorbladen Ø 210 cm

Flensdiameter Ø 84 cm met 20 bouten M36(10.9), voorspankr. 58 ton

Schachtdiameter : Ø 56 cm met conus naar Ø 76 cm

Onderschacht

Flens onderzijde als resonatorgedeelte

Lengte : 20,00 m^1

Gewicht : 8200 kg

Flens bovenzijde diameter Ø 70 cm met 20 bouten M30(10.9), voorspankr. 40 ton

Schachtdiameter : Ø 76 cm over 1,4 m^1 ; verloop over 2 m^1 naar Ø 51 cm

Bovenschacht

Flenzen als onderschacht

Standaardlengte 10,67 m^1

Gewicht : 4200 kg

Extra lengte : 14,67 m^1

Gewicht : 5700 kg

Schachtdiameter Ø 51 cm

Nozzles

Openingsdruk op klep $\pm$ 2 bar

Slangen in schachten

Fabr. Trelleborg

Buitendiameter Ø 102 mm

Binnendiameter Ø 76 mm

Zowel voor water als voor lucht.

Vermoeiingsproblematiek

De problemen bij de ingebruikname van de "Mytilus" (november 1979) spitsten zich vooral toe op de water- en luchtpijpen van de trilnaalden.

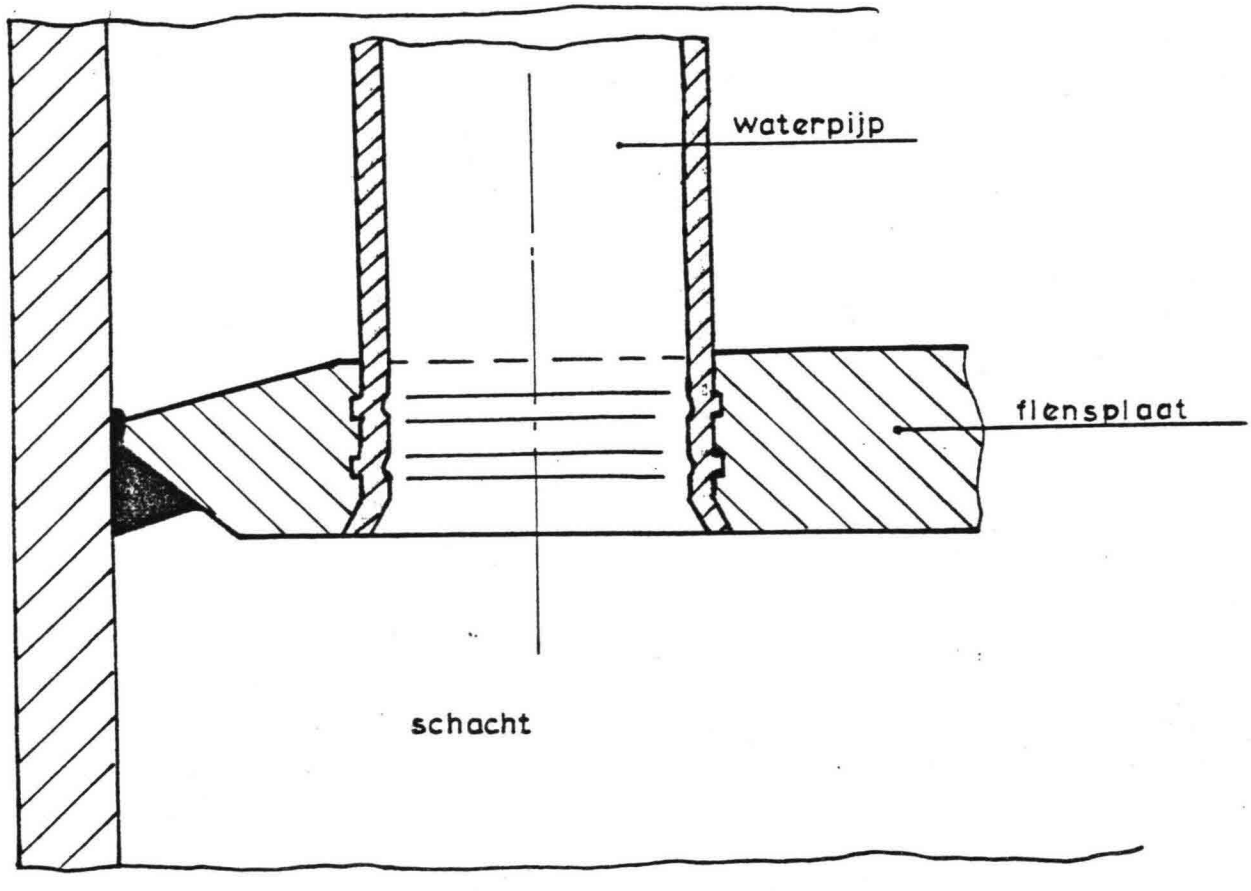
Het ging hierbij om de ingerolde verbinding van de pijpen met de flensplaat (zie figuur 10).

De verbinding scheurde weliswaar niet maar de pijpen werden uit de flens getrokken.

Bij een statische belasting voldoet een gerolde verbinding goed, bij een dynamische belasting voldoet de verbinding niet meer.

De levensduur van de gerolde verbinding varieerde van 3 tot 23 uur.

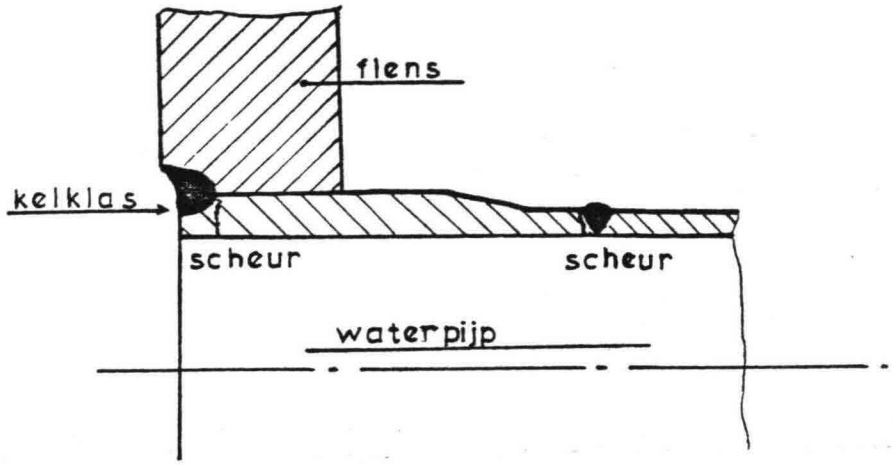
Het probleem met de gerolde verbinding trad bij alle schachten op.



gerolde verbinding

Figuur 10

Ter verbetering van de bevestiging werd de gerolde verbinding vervangen door een gelaste verbinding hierbij werd een kelklas toegepast(zie figuur 11)



Figuur 11

Bij de kelklassen begonnen zich, na ca. 200 triluren scheuren te manifesteren.
De scheuren ontstonden in de voet van de kelklas.
Tevens trad scheurvorming op in de rondlassen van de pijpen.
Om één gescheurde pijp te repareren moesten de andere pijpen los gebrand worden.

Omdat de reparatieprocedure te veel tijd vergde is men twee alternatieven gaan ontwikkelen t.w. :

1. Een geschroefde verbinding(zie foto's 5 en 6).
2. Het toepassen van rubberslangen i.p.v. stalen pijpen(zie foto 7).

ad. 1.

De geschroefde verbinding is beproef door TNO-Apeldoorn.
De verbinding heeft het 30.10^6 wisselingen uitgehouden, hierna is men met de proef gestopt (30.10^6 = 333 triluren).
Over een uitgebreidere rapportage wordt met TNO nog overleg gepleegd.

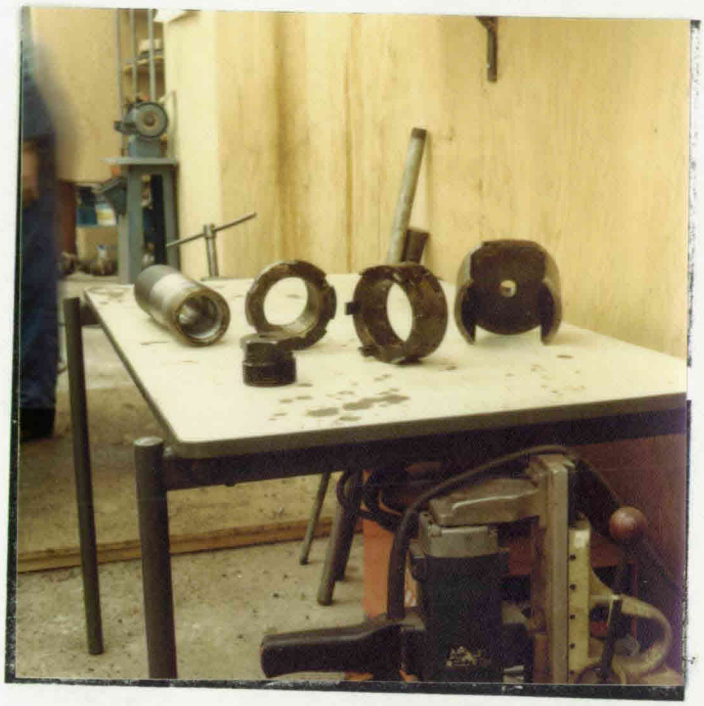


Foto 5

Foto 6

Ad. 2.

Het alternatief met de rubberslangen is geboren uit het feit dat men tijd wilde winnen totdat er eventuele oplossingen voor het probleem gevonden waren.
Het schroefdraadonderzoek was toen al in volle gang.
Om een verantwoorde "slangenkeuze" te kunnen doen, heeft men op de"Mytilus"verschillende merken en typen uitgeprobeerd zoals :

Heineman Heipaalspuitslang	: voldeed niet	: 1 x beproefd
Vredestein Fuel Fix slang	: idem	: meerdere
Cleton+Meyer Butaflexslang	: idem	: 1 x beproefd
Cleton+Meyer Tankaslang	: idem	: 1 x beproefd
Trelleborg Cement Hose slang	: ca. 400-800 uur.	
Dunlop Mining slang	: ca. 400 uur	: nadeel : lange levertijd

De Trelleborg Cement Hose slang kwam hierbij als beste uit de bus.

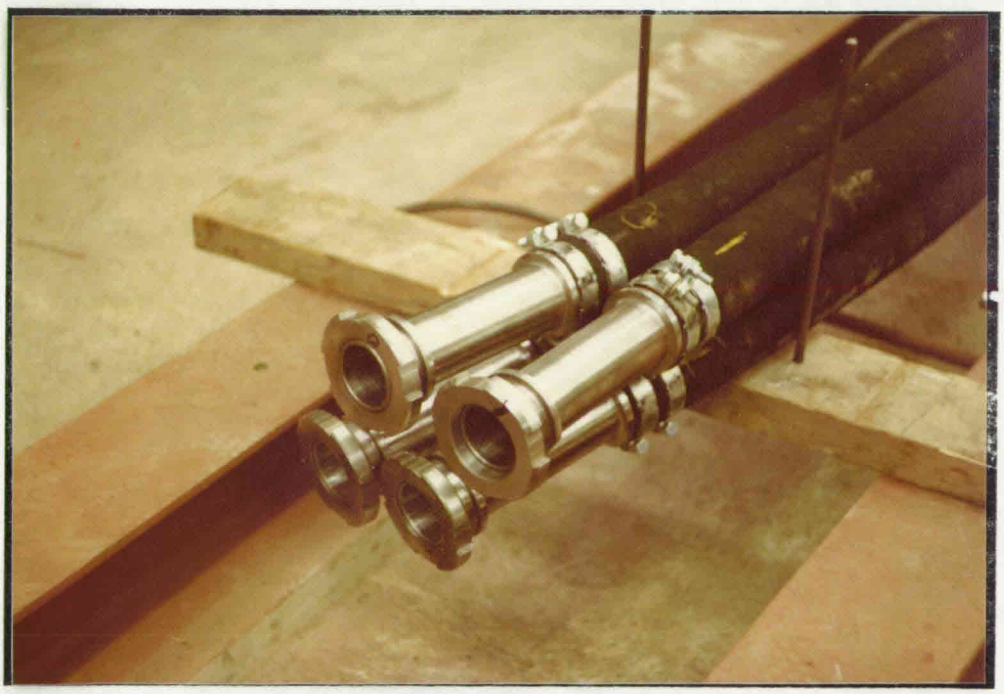
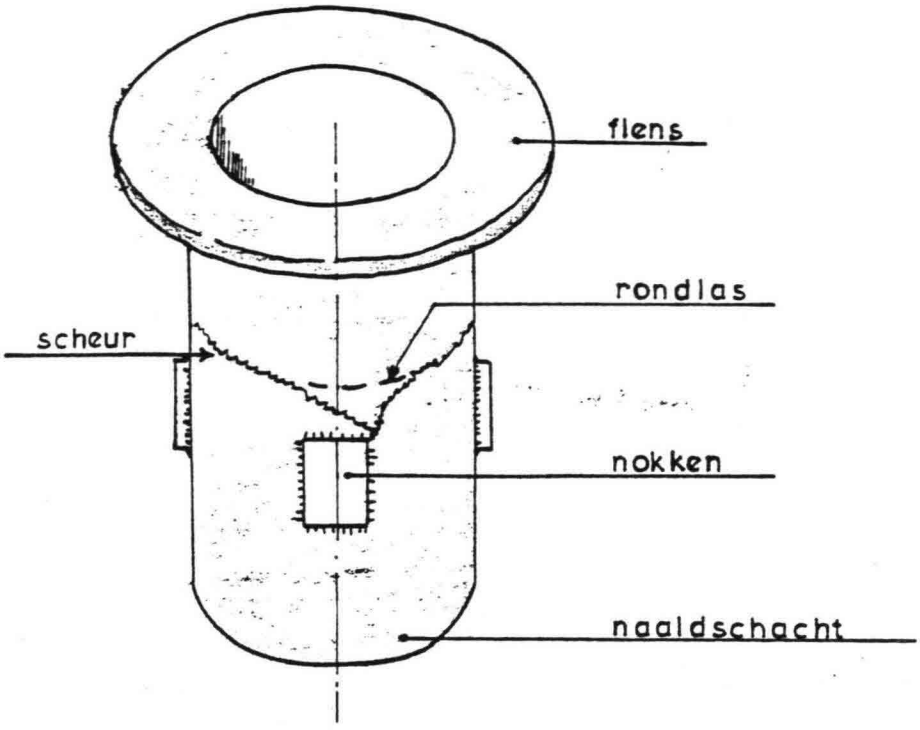


Foto 7

Vergelijking van de schroefdraadoplossing en de rubberslang oplossing toonde aan dat de rubberslangoplossing economisch de beste oplossing was, indien de slang minimaal ca. 150 triluren doorstond. (zie ook het KEMA-rapport, Van Otterloo, Juni 1980) Gezien de resultaten en de gunstige levertijd is de keuze gevallen op de Trelleborg Cement Hose slang.

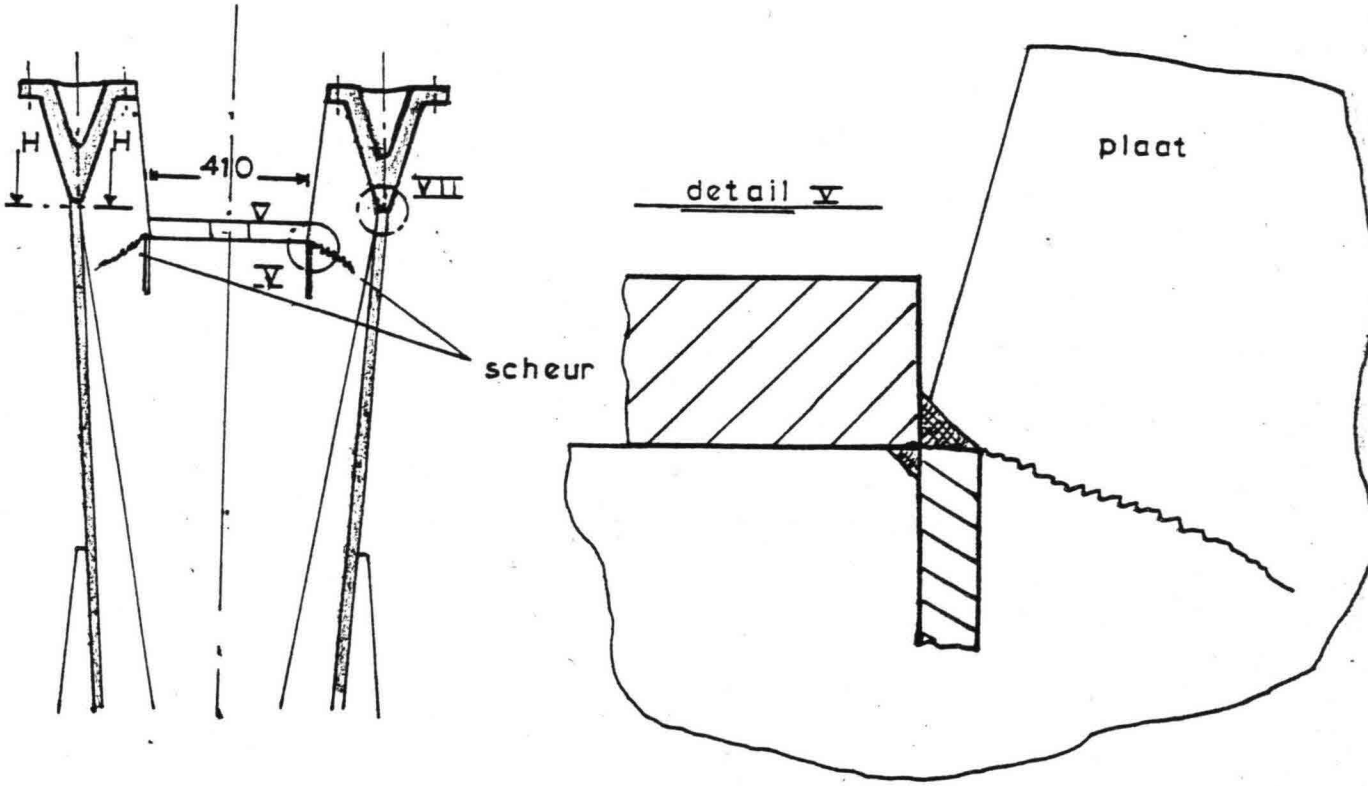
Nadat bovengenoemde problemen waren opgelost waren de naaldschachten in de buurt van de voorspelde levensduur gekomen.
In het TNO-rapport van Aanhold is er vanuit gegaan dat de schacht rondlassen het ca. 600 triluren uithouden*.
(bij een breukkans van 50%).
Er werd nadrukkelijk op gewezen dat de schachtlevensduur sterk wordt beinvloed door lasfouten e.d.
Sommige rondlassen scheurden al na ca. 200 triluren.
Het meest opvallende was dat de scheuren zich veelal in de rondlas onder de ophangnokken manifesteerden, de scheuren werden door de nokken ingeleid (zie figuur 12 + foto 11).
Ook blijkt dat de middelste rondlas van de onderschacht scheurt. Deze rondlas is de enige die, vanwege lastechnische problemen, niet is tegengelast.

* Al eerder is er door Overbeeke THE vermoeiingsonderzoek gedaan aan een schachtmodel. Overbeeke wist toen echter niets over het bestaan van het kritieke punt op de schacht t.p.v. de nokken. De S-N-lijnen van Van Aanhold zijn ook gebaseerd op het schachtmodel van Overbeeke.



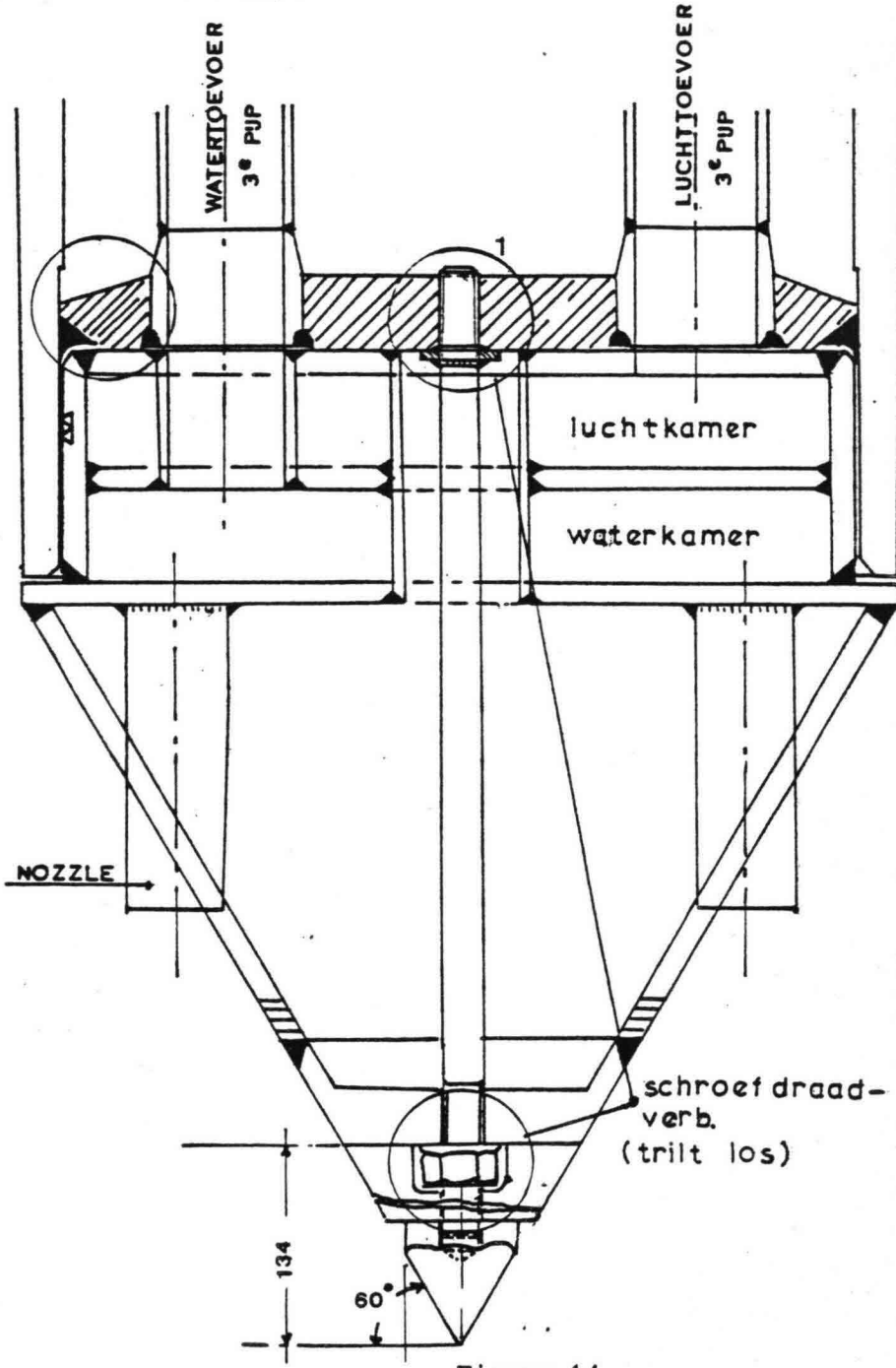
Figuur 12

Naast de genoemde problemen met de schachten traden bij de adaptersteunen ook scheuren op.
De scheuren ontstonden na ca. 350 triluren(zie figuur 13).

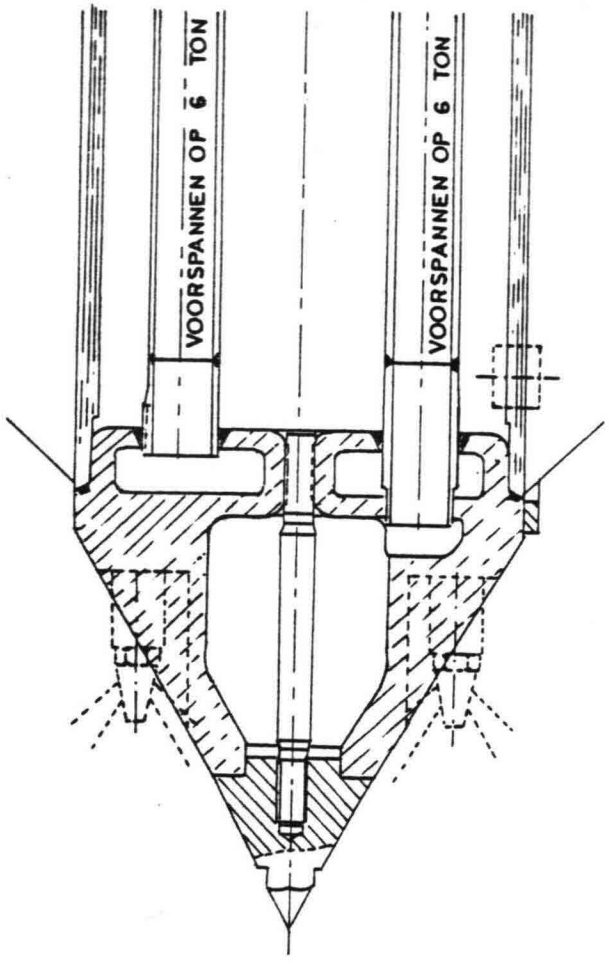


Figuur 13

Bij de resonator traden cavitatieproblemen* op.
De ontstane gaten konden gemakkelijk gerepareerd worden.
De resonatorpunt is echter aanleiding geweest tot vrij veel storingen(zie figuur 14 en foto 8).
De punt trilde nl. herhaaldelijk los, dit was hoofdzakelijk te wijten aan de boutverbinding waarmee de punt met de resonator verbonden was(zie figuur 14).
Vandaar dat er is besloten een andere verbindingsmethode toe te passen waarbij de gelaste punt vervangen werd door een gegoten exemplaar(zie figuur 15 en foto 13).



* Cavitatie is het imploderen van dampbellen waardoor erg grillig gevormde gaten in een voorwerp kunnen ontstaan.



Figuur 15

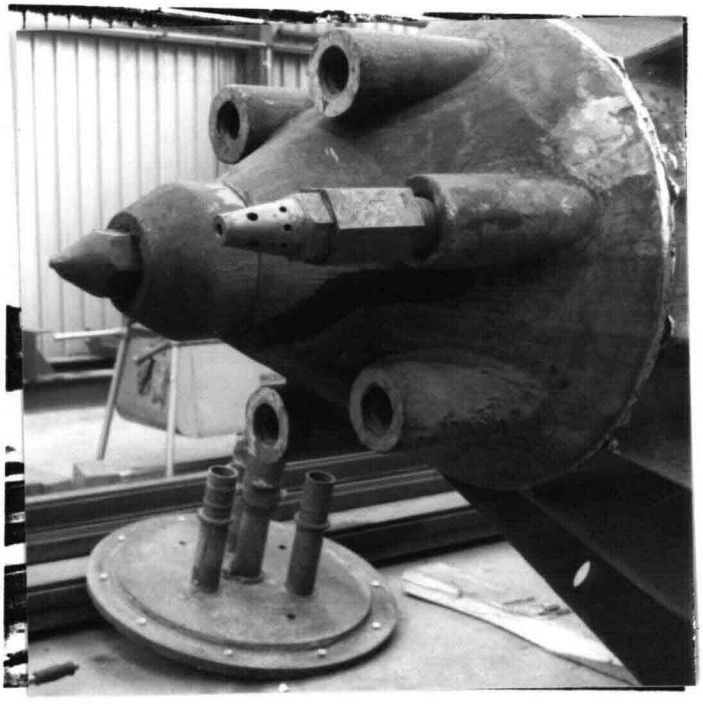


Foto 8

3. Wijzigingen van de schacht

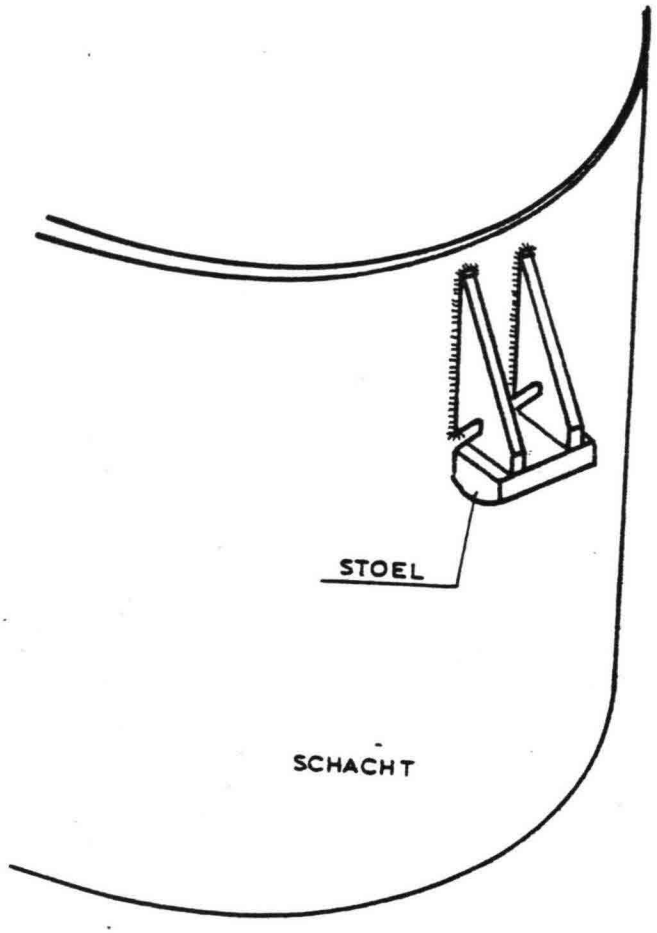
In de tweede helft van 1980 zijn t.a.v. de trilnaalden enige wijzigingen voorgesteld en/of doorgevoerd.

Gedurende geruime tijd was bekend dat het motorvermogen van de twee vibratorunits ontoereikend was (nominaal vermogen (2 x 2 x 30 = 120 KW).
Het bleek dat de electromotoren herhaaldelijk thermisch overbelast werden waardoor stagnatie in het verdichtingsgebeuren optrad.
In eerste instantie werd de slagkracht van de vibrators verlaagd om zodoende een vermogensreductie te krijgen, dit bleek onvoldoende te zijn.
Vervolgens is voorgesteld om per trilnaald een derde vibrator unit toe te passen.
Medio oktober 1980 is e.e.a. doorgevoerd.
Hierdoor is nu waarschijnlijk voldoende vermogen per trilnaald aanwezig om een continu verdichtingsproces te garanderen (maximaal vermogen 3 x 2 x 30 = 180 KW).

Doordat de schachten gingen scheuren waarbij de scheuren veelal door de opgelaste nokken werden ingeleid is een verbetering van de vormgeving nagestreefd, waarbij :

a. Zoveel mogelijk het zogenaamde "koplaseffect" wordt vermeden.
b. Geen abrupte doorsnede-veranderingen worden toegepast.
c. Zoveel mogelijk vloeiende overgangen worden toegepast.

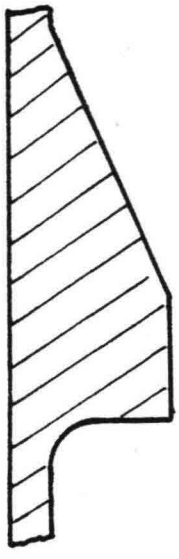
De verbeterde vormgeving van de nok is aangegeven in figuur 16 en foto 9.



Figuur 16

Foto 9

Een alternatieve mogelijkheid is de nokken te gieten zodat ze met het flensstuk één geheel vormen.
Dit alternatief wordt in beraad gehouden omdat hier ook kerfbezwaren alsmede giettechnische bezwaren aan verbonden zijn (zie figuur 17).



Gegoten nok
Figuur 17

Uiteraard is de beste oplossing "het niet toepassen" van de nokken.
Onderzocht wordt, wat de consequenties zijn voor het uitwisselen van de naalden en of deze aanvaardbaar te maken zijn.
De nokken die oorspronkelijk ook op de onderschachten waren aangebracht zijn inmiddels verwijderd.

De rondlassen krijgen optimale aandacht bij het repareren en vervaardigen van de reservenaalden.

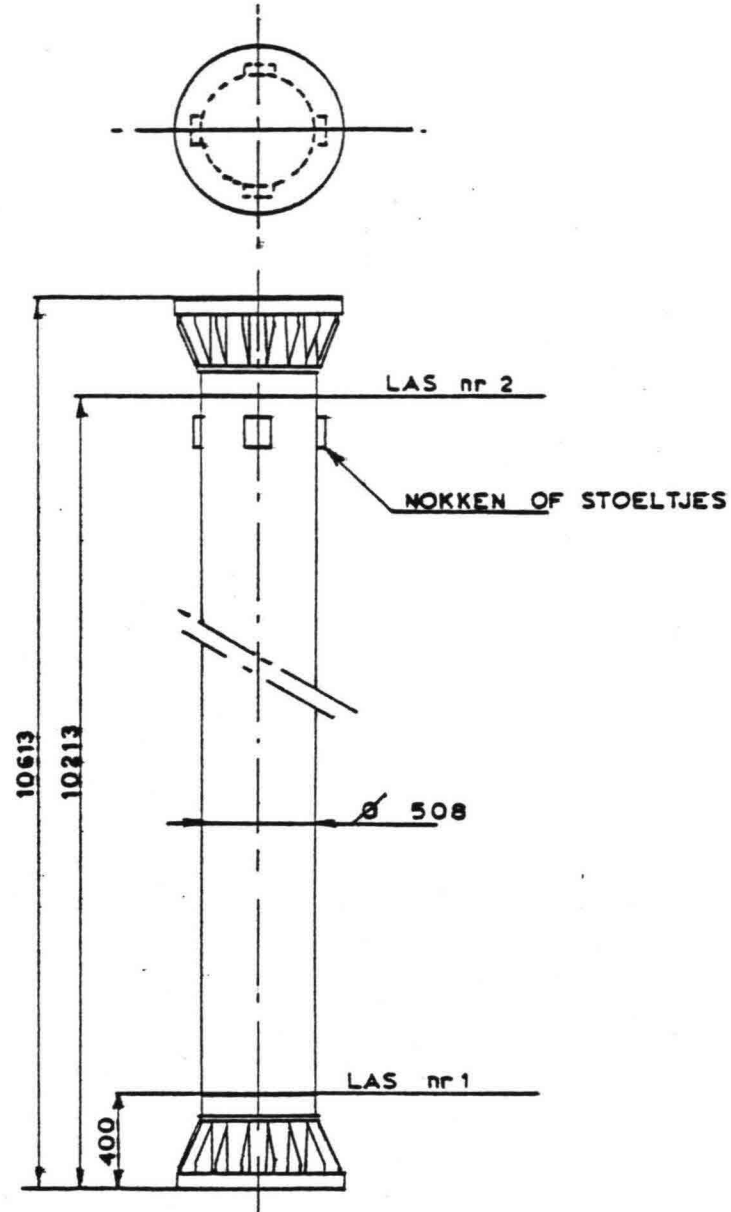
De resonatorpunt gaf, zoals eerder vermeld, aanleiding tot storingen, de verbinding punt-resonator voldeed niet.
De resonatorpunt trilde los en bleef dan in de bodem achter.
Om deze problemen op te lossen is gekozen voor een gegoten resonatorpunt.
De gegoten resonatorpunt is echter ook al een keer losgetrild.
De punt bevindt zich met ca. 3 m lange pijpen in de bodem.
Naar een oplossing wordt gezocht.

4. Levensloop van de schacht

Hoofdstuk 4 is samengevat in de staten I en II.

De staten geven het totaal aantal triluren tot een storing optreedt waarbij de aard van de storing in de meeste gevallen wordt vermeld.

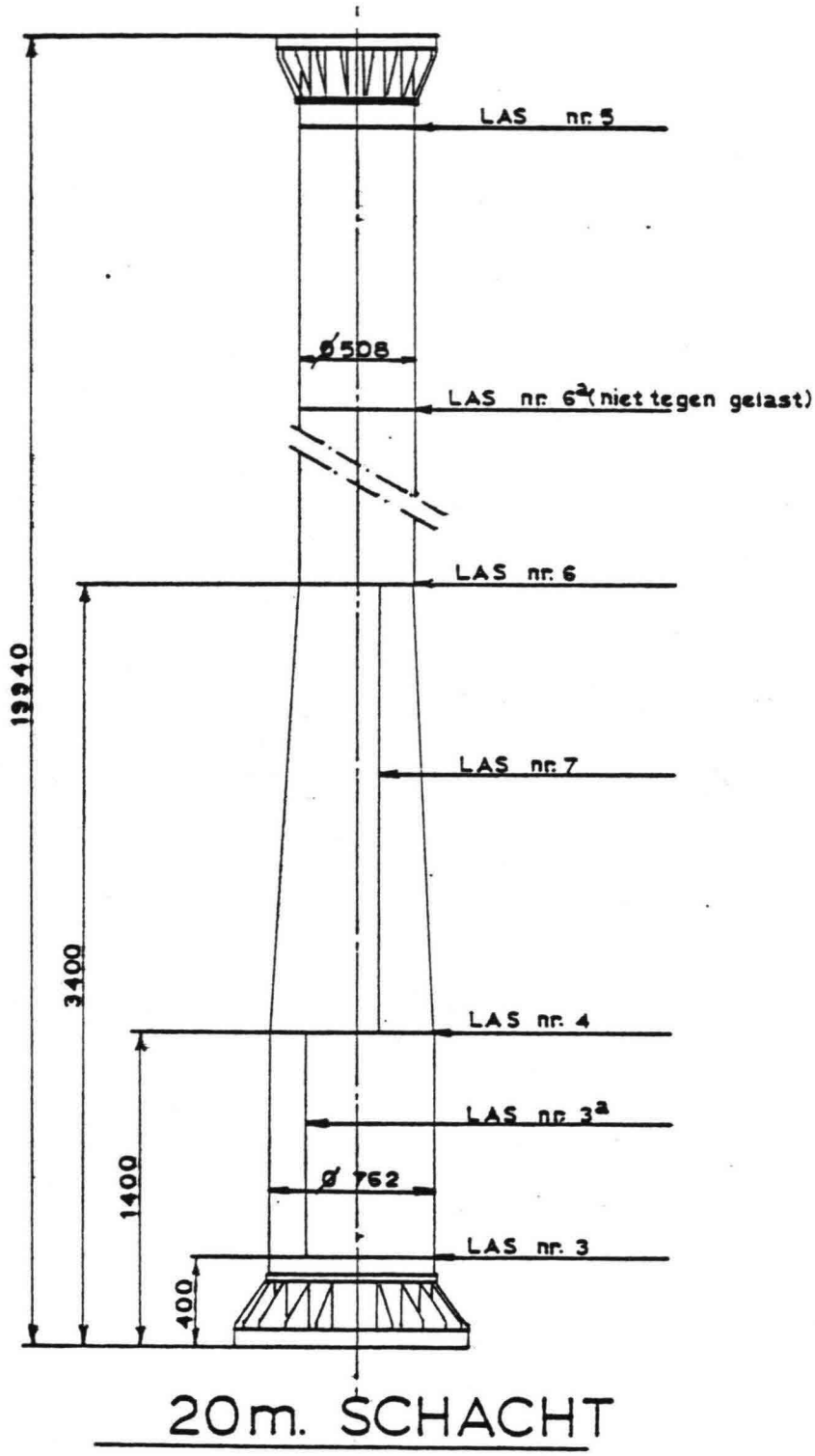
De staten lopen tot 17-4-1981.



10 m. SCHACHT

Bovenschacht

Schacht nr.	Totaal aantal triluren tot 1e schade Omschrijving	Totaal aantal triluren tot 2e schade Omschrijving	Totaal aantal triluren tot 3e schade Omschrijving	Totaal aantal triluren tot 17-4-1981
1A	205 Scheuren in las 1 en las 2	345 Scheuren in de wand t.p.v. nokken	965	965
2A	1110 Schacht gescheurd	1385		1385
3A	1520			1520
4A	635 Schacht gescheurd	780		790
5A	485 Schacht gescheurd boven de nokken	1190		1190
6A	465 Scheuren in de wand t.p.v. nok			-
7A	195 Scheur vanuit stoel			195
8A	175			175
9A				85
10A				135
11A				125
12A				100


LAS nr. 5
ø508
LAS nr. 6a (niet tegen gelast)
LAS nr. 6
LAS nr. 7
LAS nr. 4
LAS nr. 3a
ø762
LAS nr. 3
19940
3400
1400
400

20m. SCHACHT

Onderschacht

Schacht nr.	Totaal aantal triluren tot 1e schade Omschrijving	Totaal aantal triluren tot 2e schade Omschrijving	Totaal aantal triluren tot 3e schade Omschrijving	Totaal aantal triluren tot 17-4-1981
1B	845 Schacht afgebroken	1085		1085
2B	590 Las 6 en 6a gescheurd t.p.v. nok	815 Las 6 en 6a Gescheurd t.p.v. nok	1155 Schacht gebroken	1155
3B	300 Scheuren t.p.v. nokken	435 Scheuren t.p.v. nokken	885 Scheuren t.p.v. alle rondlassen	1015
4B	615 Schacht onder de nokken afgesch.	880		880
5B	665 Las en wand t.p.v. de nokken gescheurd	970		1030
6B	825 Schacht gescheurd onder de nokken	995		995
7B	415 Rondlas gescheurd			415
8B	675			675
9B				85
10B				200
11B				185
12B				0

Trekkop nr.	T1	T2	T 3	T4	T5	T6								
uren week	0	7	82	79	78	81								
uren na rep.	0	558	986	86	603	604								
uren totaal	749	1049	1765	1434	1620	1087								
positie	PPV	4	1	SP	3	2								
Unit B	790809	790804	790307	790612	790810	781115								
uren week	0	7	82	79	78	81								
uren na rep.	0	558	986	86	603	604								
uren totaal	879	1049	1990	834	1626	1021								
positie	PPV	4	1	SP	3	2								
Unit M	801017	790802	801016	780714	790806	790812								
uren week	0	7	82	79	78	81								
uren na rep.	0	558	986	86	603	604								
uren totaal	370	927	1390	834	1479	1087								
positie	PPV	4	1	SP	3	2								
Unit O	790801	790803	801015	790808	790805	790811								
uren week	0	7	82	79	78	81								
uren na rep.	0	558	986	86	603	604								
uren totaal	749	1049	1390	1434	1479	1087								
positie	PPV	4	1	SP	3	2								
Adapter	1	2	3	4	5	6								
uren week	82	0	79	81	7	78								
uren na rep.	986	0	86	190	558	603								
uren totaal	1705	642	951	1566	1049	1620								
positie	1	PPV	SP	2	4	3								
Schacht B	1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	9A	10A	11A	12A	13A	14A
uren week	0	0	0	7	0	0	0	0	79	81	78	82		
uren na rep.	0	0	0	7	0	0	0	0	86	133	126	100		
uren totaal	966	1383	1521	791	1187	—	194	173	86	133	126	100		
positie	WP	DEK	WP	4	AKF	WP	AKF	PPV	SB	2	3	1		
Schacht M	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	8B	9B	10B	11B	12B	13B	14B
uren week	0	0	81	0	7	0	0	0	79	78	82	0		
uren na rep.	0	0	133	0	64	0	0	0	86/0	198	182	0		
uren totaal	1086	1155	1016	880	1031	993	415	676	86	198	182	0		
positie	WP	PPV	3	AKF	4	WP	WP	WP	SP	3	1	PPK		
Schacht O														
uren week														
uren na rep.														
uren totaal														
positie														
Resonator	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C	8C	9C	10C	11C	12C	13C	14C
uren week	79	0	7	78	0	81				0	82	40		
uren na rep.	86/0	0	7	78	0	190				0	182	186/0		
uren totaal	1240	1296	1202	1082	1063	1416				13	193	186		
positie	SP	DEK	4	3	WP	2				PPV	1	WP		

5. Reparatiemethoden

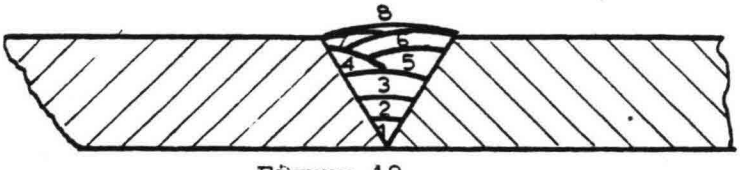
De reparaties spitsen zich vooral toe op de bovenste rondlassen van de schachten(t.p.v. de nokken).
Voor elke reparatie wordt de schacht "kaal" opgeleverd.
Als zich een scheur manifesteert is de reparatieprocedure als volgt :

- Demontage van de naaldschachten
- Alle overige rondlassen worden Ultra-Sonor (US) gecontroleerd.
- Scheur wordt gerepareerd.

Wanneer een rondlas gedeeltelijk gescheurd is, is de gevolgde reparatiemethode als volgt :

a. De gelocaliseerde scheur wordt plaatselijk ingeslepen zodanig, dat de voorbewerkte lasnaadvorm weer ontstaat.
b. D.m.v. Metal-check wordt bekeken of de scheur voldoende is uitgeslepen.
c. Voorverwarmen tot 120°C(controleren met temperatuurkrijt).
d. Drie grondlagen lassen volgens het Sealed Metallic Arc Welding procedé(SMAW) waarbij geen gevaar voor slakinsluitingen bestaat.
e. De vier volgende laslagen worden gelegd volgens het Submerged Arc Welding procedé(SAW) met de automaat(zie figuur 18).

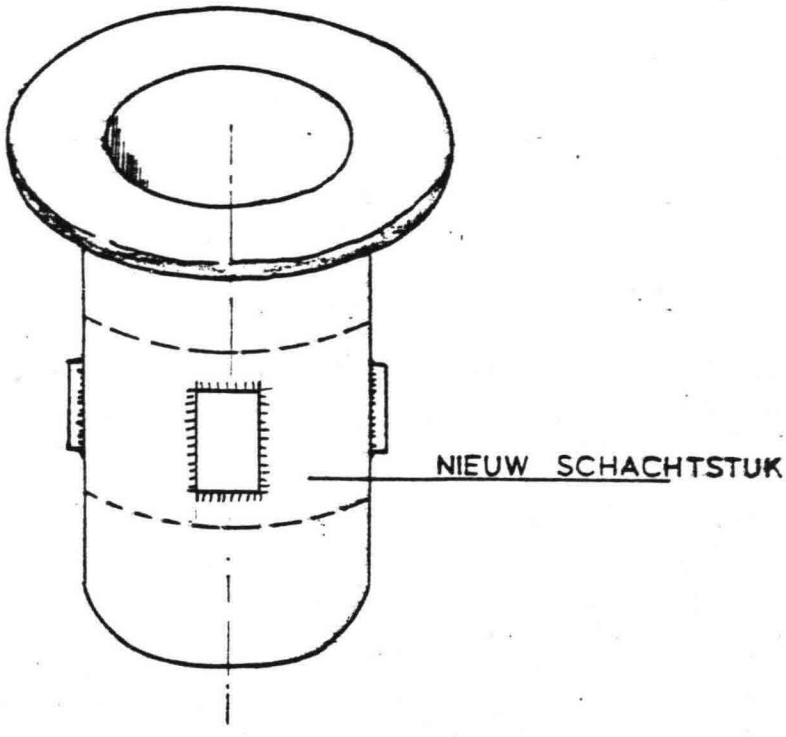
LASOPBOUW SCHACHTRONDNAAD



Figuur 18

f. Alle rondnaden worden uitgeslepen en tegengelast, behalve de middelste rondlas van de onderschacht.
g. Na het lassen wordt de las e.d. spanningsvrij gegloeid.
h. Het lassen dient in een geconditioneerde afgeschermde ruimte te geschieden.

Als de rondlas nagenoeg volledig is gescheurd, is de gevolgde reparatiemethode als volgt (zie figuur 19).



Figuur 19

a. Eerst wordt het gietstalen flensstuk over het nog niet gescheurde gedeelte losgebrand.
b. Onder de nokken wordt de schacht doorgebrand, waardoor een schachtgedeelte, inclusief de nokken, verwijderd wordt.
c. De afgebrande naden van flensstuk en schacht worden voorbewerkt. Hierbij wordt 10mm à 20mm van de "heat affected zone" weggekotterd.
d. Er wordt nu een compleet nieuw schachtstuk tussen gelast (zie foto 10 het geroeste gedeelte).
   De eerder genoemde lasvoorschriften zijn hierbij van kracht.

Foto 10

Omdat reparaties van diverse trilnaaldonderdelen in de mechanische werkplaats "Roompot" uitgevoerd worden en gaan worden, moest er voor dit doel aanvullende lasapparatuur worden aangeschaft.
Voorheen gebeurden de trilnaaldreparaties bij AKF-Goes.
Ten behoeve van de aanschaf van deze lasapparatuur werd aan drie gerenommeerde bedrijven op dit gebied advies gevraagd.
Met name voor de rondnaad in het midden van de lange onderschacht, die moeilijk aan de binnenzijde bereikbaar is, moest een goede lasmethode worden aangeboden.
Tevens moest aandacht worden geschonken aan de volgende aspecten :

- bedienbaarheid van de lasapparatuur
- reproduceerbaarheid van de las
- mechanische eigenschappen van de las.
- laskantvoorbewerking
- warmtebehandeling van de las
- afwerking van de las
- aanschafkosten lasapparatuur

De benaderde bedrijven kwamen met de gevraagde lasmethode waarbij één bedrijf zelfs met twee voorstellen kwam.
Door Dosbouw werd aan elk der bedrijven proefmateriaal ter beschikking gesteld, zodat zij hun voorstellen in praktijk konden brengen.
Een onafhankelijk, door ons aangewezen bedrijf, heeft de proefstukken onderzocht. De resultaten van dit onderzoek zijn in een rapport vastgelegd(Rapport "Radigrafisch en mechanisch onderzoek" TW nr. 75/81 Wilton Feyenoord).

Op grond van de resultaten van de proeven en op grond van een aantal andere argumenten, is gekozen voor het voorstel van Philps.
Voordelen : (proefstuk nr. 3).

- deze apparatuur is eenvoudig bedienbaar waardoor de reproduceerbaarheid van de las groot is.
- de mechanische eigenschappen van de las zijn goed
- de laskant voor bewerking is eenvoudig.
- de aanschafkosten zijn, in verhouding tot de andere lasapparatuur, gering.

Dit systeem heeft echter ook enige nadelen :

- de las dient spanningsarm te worden gegloeid.
- het slijpen, van vooral de binnenzijde van de rondlasnaad, is absoluut noodzakelijk.

Alleen bij proefstuk nr. 1 (zie rapport) was spanningsarm gloeien niet noodzakelijk. Bij alle andere lassen wel.
Het grote nadeel van deze lasmethode is echter dat naast een ingewikkelde laskantvoorbewerking tevens dure lasapparatuur vereist is om de bereikbaarheid van alle lassen te waarborgen.
De macro-foto van deze proeflas vertoonde bovendien een onvoldoende doorlassing tussen las en tegenlas.
Ofschoon tevens het nabewerken van de las bij deze methode achterwege kon blijven, is van het gebruik van deze lasmethode op grond van de overige argumenten afgezien.

Bij proefstuk nr. 2 wordt de gladde doorlassing aan de binnenzijde van de las verkregen door een TIG-grondnaald. Bij het uitvoeren van de proeflas is echter gebleken dat, indien de aaneen te lassen pijpdelen in geringe mate onrond zijn, dit TIG-lasproces moeilijk of in het geheel niet uitvoerbaar is.
Deze onrondheid is echter een reëel gegeven.
Bij proefstuk nr. 2 wordt gebruik gemaakt van twee lassystemen, wat kostenverhogend werkt.
Omdat men er bovendien niet zeker van is, dat er niet geslepen behoeft te worden, valt ook deze methode af.

De lasmethode toegepast op proefstuk 4 was wat betreft de beoordeling van het röntgenbeeld, niet acceptabel(gas- en slakkenbanen).

Het uitwendig slijpen van de rondnaden is met bestaande slijpapparatuur uitvoerbaar. Voor het inwendig slijpen van de rondnaden wordt een eenvoudig hulpstuk ontwikkeld waarmee de moeilijk bereikbare rondnaden gemakkelijk te slijpen zijn.

6. Reserve trilnaalden

Momenteel wordt zolang met een trilnaald verdicht totdat deze schadeverschijnselen gaat vertonen.
Dit heeft ertoe geleid dat al enkele schachten spontaan gebroken zijn (zie foto 11).

Foto 11

Gebleken is dat de gebreken na ca. 600-800 triluren veelvuldig aan het licht komen soms echter ook na een veel kortere periode (na ca. 200 triluren).
Gezien de nu opgedane ervaring is het gewenst aan preventief onderhoud te gaan doen.
Om dit te realiseren zijn de volgende maatregelen noodzakelijk :

a. Het aanschaffen van voldoende reservenaalden en onderdelen.
b. De nodige voorzieningen hiervoor aan boord aan te brengen.
c. De reparatiewerkplaats "Roompot" verder in te richten(zie foto 12).
d. Extra reparatiepersoneel via onderaannemers te werk te stellen.
e. Het inschakelen van onderaannemers bij de controlewerkzaamheden.

Foto 12

ad. a. (zie rapport A. Sandberg 16-12-1980)

Om een continue productie te kunnen waarborgen zijn tenminste 9 complete naalden nodig die als volgt zijn verdeeld :

4 stuks in bedrijf

2 stuks aan boord montage en demontagebewerking

1 stuks reserve aan boord

2 stuks in reparatie aan de wal.

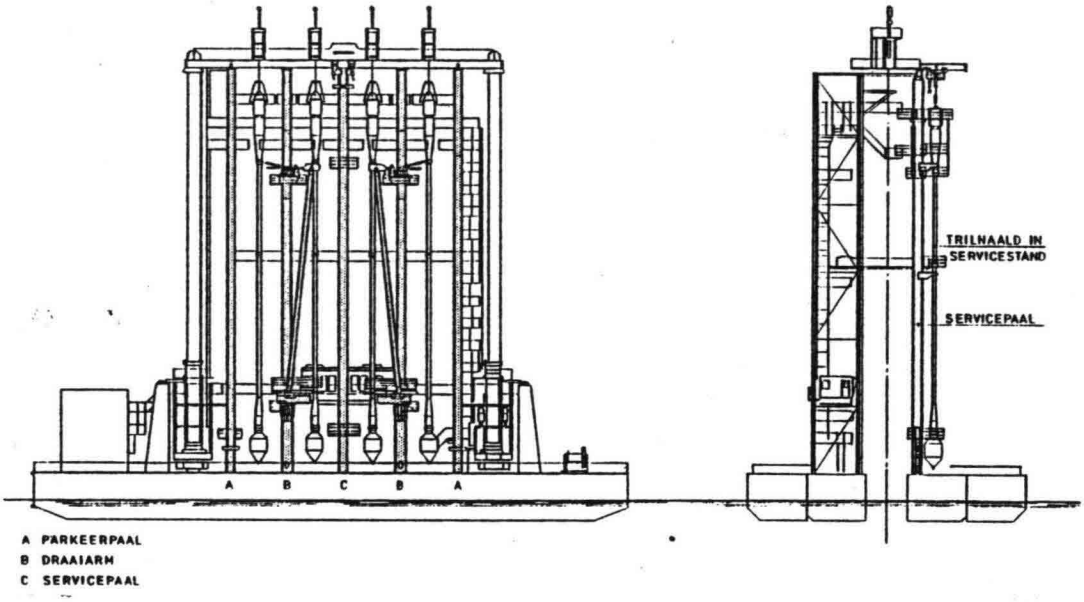
Verder zijn nodig een hoeveelheid pijpmateriaal en de nodige gietstukken.

Het aantal reservenaalden is vastgesteld aan de hand van praktijkervaringen.

De werkgroep is accoord gegaan met het voorstel.

ad. b.

Aan boord van de Mytilus bevinden zich voor de trilnaalden twee parkeerpunten en één servicepunt (zie figuur 20)



Figuur 20

De parkeerpunten dienen om daar tijdelijk trilnaalden op te hangen.

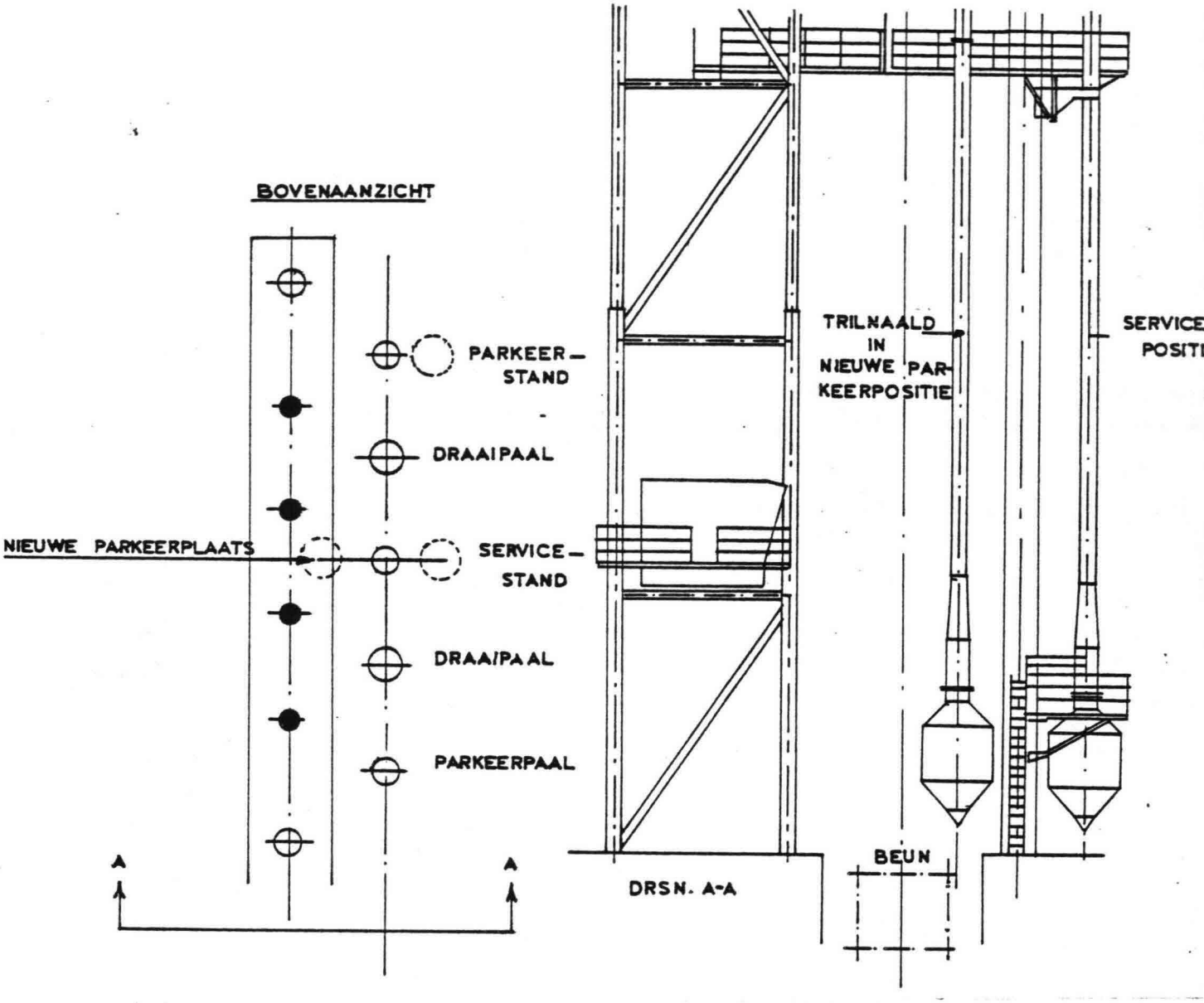
In het servicepunt kunnen kleine reparaties worden uitgevoerd, tevens kan de trilnaald in deze positie geheel worden gedemonteerd.

Door de toepassing van meer reservenaalden dient het aantal parkeerplaatsen te worden uitgebreid.

Door het technisch bureau Veth is in eerste instantie onderzocht of met vier parkeerplaatsen aan boord van de Mytilus gewerkt kan worden. Dit bleek echter niet uitvoerbaar.

Wel is het mogelijk om met drie parkeerpunten te werken.

Het derde parkeerpunt wordt dan achter het bestaande servicepunt gemaakt. Een en ander is al door bureau Veth uitgewerkt (zie figuur 21).



Figuur 21

ad. c.

De werkplaats "Roompot" zal worden uitgebreid met een rolstelling een kotterbank en lasapparatuur, dit is reeds gebeurd(zie foto 12).

ad. d.

Het zal noodzakelijk zijn om het demonteren en opbouwen van de naalden aan boord tijdens het verdichten te laten uitvoeren door personeel van onderaannemers.

ad. c.

De uit te voeren controlewerkzaamheden zullen bestaan uit :

- het demonteren van de naalddelen
- in- en uitwendige visuele inspectie
- US-inspectie
- evenuteel röntgenen van lasnaden
- uit laten voeren van de nodige reparaties

De onderaannemers worden voor de volgende werkzaamheden aangetrokken :

- US-inspectie van de lasnaden
- maken van röntgenfoto's
- gloeien van de lasnaden

Overzicht van de "voorraad" trilnaalden :

Aanwezig :
- 6 stuks HV-120-S3 vibratoren. Elk trilblok bestaat op zich weer uit 3 vibratorunits
  Elke unit is een HV-60 vibrator, waarvan de slagkracht is teruggebracht naar 40TF.
- 6 stuks adaptors (1 t/m 6)
- 12 stuks korte schachten (1A t/m 12A)
- 12 stuks lange schachten (1B t/m 12B)
- 12 stuks resonatoren (1 t/m 12C)

In bestelling :
- 5 stuks korte schachten (10 m)
- 5 stuks lange schachten (20 m)
- 5 stuks resonatoren
- 6 stuks verlengschachten (4 m)

Opmerkingen :

- De eerste zes lange- en korte schachten zijn 25 mm dik en gemaakt van materiaal FG 36 T
- De tweede zes lange- en korte schachten zijn 25 mm dik en gemaakt van materiaal API-5LX-X52.
- De in bestelling zijnde schachten worden 30 mm dik en zijn gemaakt van materiaal FG36T.

7. Beleid t.a.v. het verwisselen van de trilnaalden(inspectie e.d.)
Voorgesteld wordt de schachten elke 200 triluren te gaan demonteren en te controleren in de werkplaats "Roompot".
Dit gebeurd tot ca. 800 uren met de naald is gedraaid.
Daarna wordt de naald ontmanteld t.w. schachten in pijpen en flenzen gesplitst. De "heat affected" zones worden verwijderd, waarna de delen weer tot schachten kunnen worden samengesteld. Resonatoren en adeptors een warmtebehandeling te geven en na te bewerken.

N.B.
Bij het toepassen van een schachtwanddikte van 30 mm kan de cyclustijd van 200 uur mogelijk worden verlengd tot 300 uur.

Door Van Otterloo wordt, in het KEMA-rapport van 16-2-1981, gesteld dat het aantal reserve-onderdelen moet worden afgestemd op "twee maal repareren en daarna vervangen".
De inspectie cyclustijd van 200 uren wordt door Van Otterloo onderschreven.
Op deze manier moet het mogelijk zijn niet meer afhankelijk van de naaldstoringen te zijn.

8. Aanbevelingen

Deze aanbevelingen spitsen zich toe op de volgende drie punten :

- het scheuren van de naaldschachten
- het scheuren van de adapters
- het verliezen van de resonatorpunt

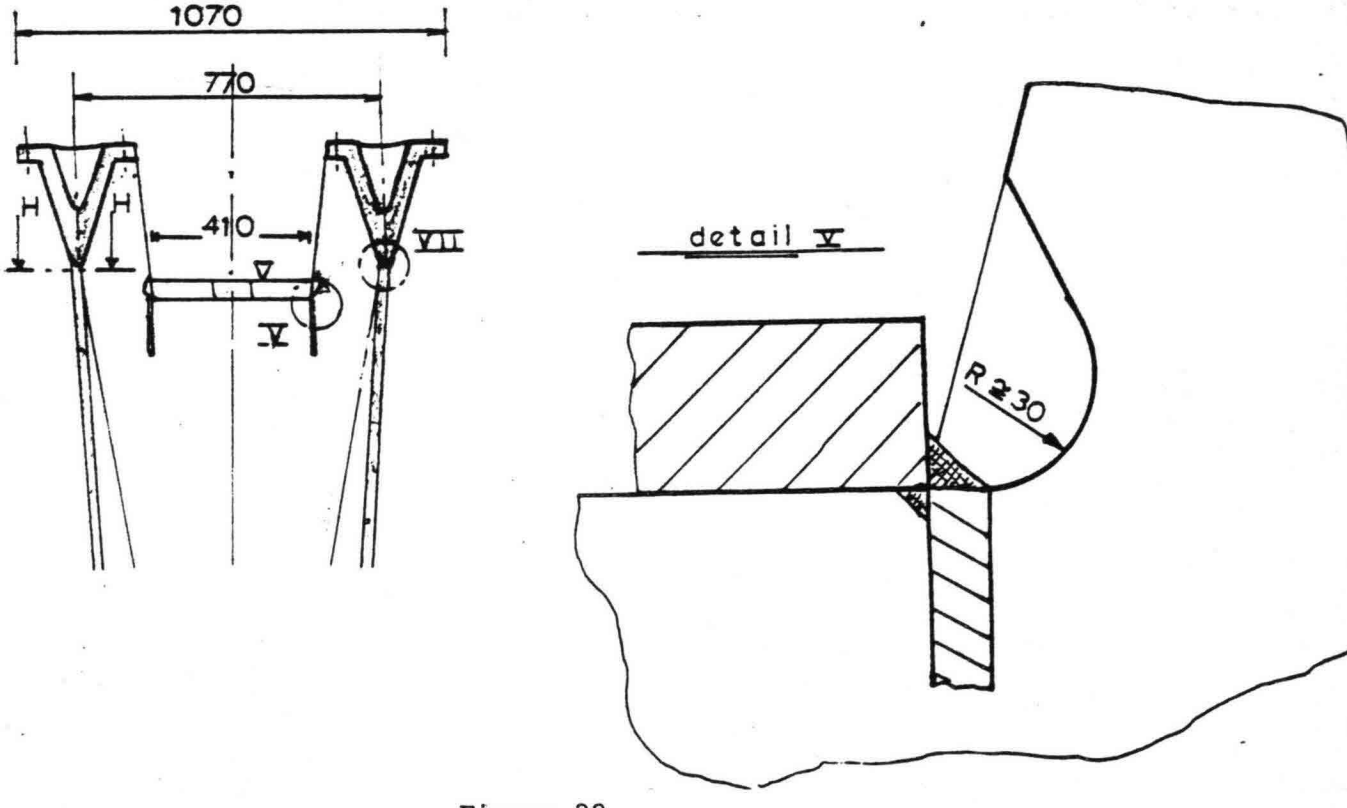
ad. a.

De scheurvorming die bij de schachten optreedt kan grotendeels worden ondervangen als men de opgelaste nokken kan weglaten. Wanneer blijkt dat de nokken op de bovenschacht moeten blijven zitten dan is de nokstoel met de ontlastingsgroef waarschijnlijk het beste alternatief.

Tevens dient men uiterste zorg te besteden aan het lasproces en het nabewerken van de lassen.

ad. b.

Gezien de locatie van de scheuren moet er hier meer aandacht aan de vormgeving worden besteed(scherpe hoeken afronden) (zie figuur 22).



Figuur 22

ad. c.

Voorheen bleek de gelaste resonatorpunt niet te voldoen, daarom is men met een gegoten punt gekomen.
De laatste ontwikkelingen wijzen erop dat de gegoten oplossing nog niet geheel voldoet, naar een oplossing wordt nog gezocht.

Foto 13

Alternerend verdichten

Het proces is als volgt :

1e stap :

- Verdichten tot een opgegeven vermogen van 3 x 70 KW
- Indien het vermogen van 3 x 70 KW niet kan worden gehaald dan maximaal 6 minuten verdichten
- Daarna de naald een halve meter laten vieren

2e stap :

- Verdichten tot een opgegeven vermogen van 3 x 70 KW (minimum verdichtingstijd is ½ minuut)
- Bij het niet halen van het vermogen wordt, vooral in de bovenste meters minimaal 6 minuten verdicht
- Daarna één meter optrekken.

Duur van het alternerend verdichten per cyclus :

Stel voor de eerste 3 m alternerend verdichten :

1e stap	6 minuten verdichten
2e stap	2 minuten verdichten
Totaal	8 minuten verdichten

Stapgrootte : 0,5 m

Aantal seconden eerste cyclus alternerend verdichten :

$$T_1 = \frac{3}{0,5} \cdot 8. 60 = 2880 \text{ seconden.}$$

Stel voor de laatste 3 m alternerend verdichten :

1e stap	6 minuten verdichten
2e stap	6 minuten verdichten
Totaal	12 minuten verdichten

Stapgrootte : ca. 0,5 m

Aantal seconden tweede cyclus alternerend verdichten :

$$T_2 = \frac{3}{0,5} \cdot 12.60 = 4320 \text{ seconden}$$

Berekening van het aantal trillingen per naald per locatie om vereiste dichtheid te krijgen

We maken onderscheid tussen twee manieren van verdichten t.w. :

- normaal verdichten
- alternerend verdichten

Normaal verdichten

We stellen dat na gemiddeld 4 minuten het vereiste vermogen van 210 KW wordt bereikt, de naald wordt vervolgens steeds 1 m opgetrokken totdat de resonator zich ca. 6 m onder de bodemlijn bevindt, hierna vindt alternerend verdichten plaats.

Aantal trillingen voor het normaal verdichten per cyclus per naald :

q = frequentie van de naald

h = te verdichten diepte

p = tijd totdat vereiste vermogen wordt bereikt

N_n = (h-6). p.60.q

= (h-6). 4.60.25

N_n = (h-6). 6000

Totaal aantal seconden alternerend verdichten :

$T_{tot} = T_1 = T_2$

$= 2880 + 4320$

$= 7200$ seconden

Aantal trillingen alternerend verdichten (f = 25 Hz)

$N_a = T_{tot} . f$

$= 7200 . 25$

$= 180.000$ trillingen

Het indalen van de trilnaald

Stel indaalsnelheid ca. 2m/min = V

Aantal trillingen voor het indalen :

$$Ni = \frac{h}{v} \cdot 60. \; q$$

$$= \frac{h}{2} \cdot 60. \; 25$$

$$Ni = 750. \; h$$

Aantal trillingen en triluren van Schaar, Hammen en Roompot per naald en per verdichtingsstrook van 26 m breedte (in de as van de Stormvloedkering).

Hammen:

Te verdichten lengte (l)	Gemiddelde verdichtings-diepte (h)	Aantal trillingen per naald per strook (n)	Aantal triluren per naald per strook* (S)
3.05-4.35 = 130 m	10	6.700.000	74
4.35-4.80 = 45	7	2.100.000	23
4.80-5.70 = 90	8	4.300.000	48
5.70-6.15 = 45	8	2.200.000	24
6.15-6.60 = 45	9	2.200.000	24
6.60-7.90 = 130	11	6.900.000	77
7.90-8.35 = 45	11	2.400.000	27
8.35-9.25 = 90	10	4.600.000	51
9.25-10.1 = 85	11	4.500.000+ 35.900.000	50 + 398

* 1 triluur ≙ 60.60.25 = 90.000 trillingen

Stapgrootte K = 4,1 m

$$n = \frac{l}{k} \quad (h-6)6000 + 180.000 + 750\ h)$$

$$n = \frac{l}{4,1} \quad (6750\ h + 144000)$$

Schaar :

Te verdichten lengte (l)	Gemiddelde verdichtings-diepte (h)	Aantal trillingen per naald per strook (n)	Aantal triluren per naald per strook S
1.55-2.85 = 130	8	6.300.000	70
2.85-4.20 = 135	8	6.500.000	72
4.20-4.65 = 45	6	2.000.000	23
4.65-5.10 = 45	7	2.100.000	23
5.10-5.95 = 85	5	3.300.000	37
5.95-7.30 = 135	8	6.500.000	72
7.3 -9.05 = 175	9	8.700.000 35.400.000	97 394

Roompot:

Te verdichten lengte (l)	Gemiddelde verdichtings-diepte (h)	Aantal trillingen per naald per strook (n)	Aantal triluren per naald per strook S
6.30-6.70 = 40	10	2.100.000	23
6.70-7.15 = 45	10	2.300.000	26
7.15-8.05 = 90	9	4.500.000	50
8.05-8.5 = 45	9	2.200.000	25
8.5 -12.55= 405	9	20.200.000	224
12.55-16.15=360	7	16.800.000	187
16.15-18.8= 265	7	12.400.000	137
18.8-19.25= 45	9	2.200.000	24
19.25-21.0= 175	8	8.500.000	94
		71.200.000	790

Verdichten randbodembescherming

Aan beide zijden van de verdichtingsstrook wordt een strook van 26 m verdicht, hierbij wordt een totale triltijd per naald van 1750 aangehouden.

Berekening totale triltijd per naald voor de verschillende stroomgaten.

$T = S \cdot M.$

S = Totaal aantal triluren per naald per strook

M = Aantal te verdichten stroken

Hammen : $T_H = S_H \cdot M = 398.3 = 1194$ h

Schaar : $T_S = S_S \cdot M = 394.3 = 1182$ h

Roompot : $T_R = S_R \cdot M = 790.3 = 2370$ h

Randbodembescherming : = 1750 h

T_T = Totaal aantal triluren per naald voor gehele project = 6496 h

Onvoorzien t.g.v. langere cyclustijd T_T = 7000 h

1. Draaiboek "Mytilus"/Dosbouw
2. Analyse van meetresultaten en voorspelling levensduur van trilnaalden verdichtingsschip "Mytilus" TNO/IWECO - ir. J.E. van Aanhold/rapportnr. 5061061-80-1
3. Het aantal reservenaalden van de "Mytilus" 16-2-1981/ KEMA-R.W. van Otterloo
4. De mogelijke aanschaf van meerdere reserve trilnaalden voor de "Mytilus" 10-10-1980/KEMA-R.W. van Otterloo/L.P. Adreoli
5. "Enige betrouwbaarheidsberekeningen aan de trilnaalden van de Mytilus" juni 1980/KEMA-R.W. van Otterloo/L.P. Adreoli
6. Rapport radiografische en mechanische adviezen, nr. 75/81 - Wilton-Feyenoord
7. Rapport metaalinstituut omtrent de levensduurvoorspelling van de water- en luchtpijpen met schroefdraadverbinding/ TNO Apeldoorn-G.P.C. Hazebroek.
8. De besprekingsverslagen van de diverse werkgroepen