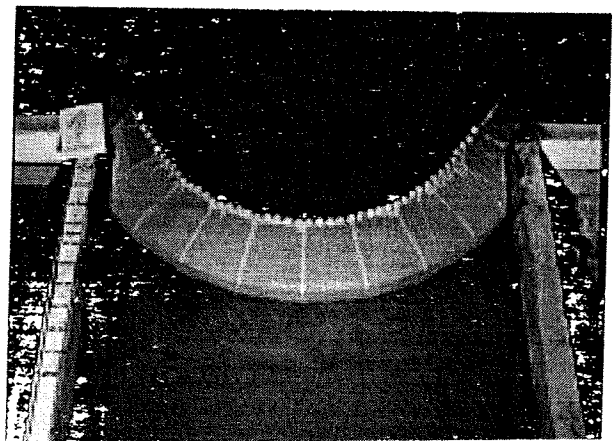
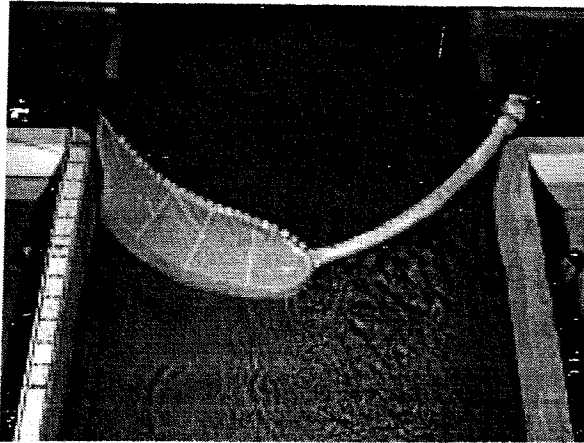


Onderzoek naar de Operationele fasen van een Spinakerkering



Onderzoek naar de Operationele fasen van een Spinakerkering

afstudeerverslag

Afstudeercommissie:

prof. Drs. Ir. J.K. Vrijling
dr.ir. H. Fontijn
ir. H.K.T. Kuijper

Delft, maart 1998
M.P. Hoogenboezem

Voorwoord

In het kader van het afstuderen aan de Faculteit der Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft is onderzoek gedaan naar de operationele fasen van een Spinakerkering. Dit onderzoek is uitgevoerd in het Laboratorium voor vloeistofmechanica. In 1989 is er door Rijkswaterstaat en het Waterloopkundig Laboratorium een oriënterend onderzoek uitgevoerd naar de spinakerkering. Daar is in dit onderzoek verder op doorgegaan.

Mijn dank gaat uit naar de medewerkers van het laboratorium voor vloeistofmechanica voor het bouwen van mijn proefopstelling. Daarnaast wil ik de heer T. Jongeling van het WL bedanken voor het beschikbaar stellen van het materiaal voor het spinakerdoek en de heer A. Vrijburcht van de Bouwdienst en de heer M.J.N Jacobs van DSM voor het beschikbaar stellen van informatie. Tevens wil ik mijn moeder bedanken voor het in elkaar zetten van het spinakerdoek voor mijn schaalmodelproeven.

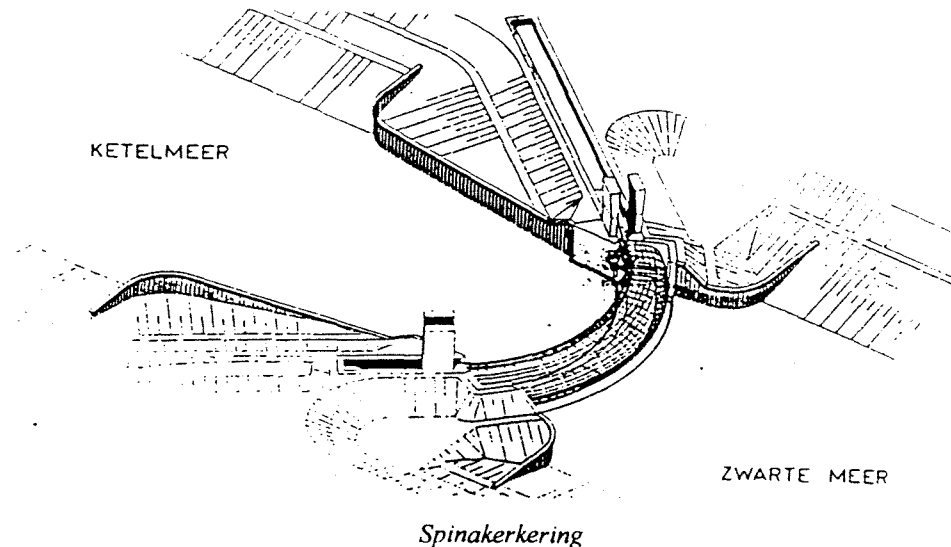
In een aantal bijeenkomsten is de voortgang van het project besproken met de afstudeercommissie. Voor hun deskundige adviezen en begeleiding gaat mijn dank uit naar:

- prof. Drs. Ir. J.K. Vrijling (TU Delft)
- dr. ir. H. Fontijn (TU Delft)
- ir. H.K.T. Kuijper (TU Delft)

Delft, maart 1998
Martijn Hoogenboezem

Samenvatting

Om de mogelijkheden te testen van een balgstuw en een spinakerkering als toepassing als hoogwaterkering bij Ramspol, zijn er in 1989 schaalmodelproeven uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium. Er is toen voor gekozen om de balgstuw verder te ontwikkelen. De spinakerkering bleek echter ook veel belovend.



Een spinakerkering is een flexibele waterkering, waarbij het hoogwater wordt gekeerd door een hoogwaardig kunststof doek. De krachten die op het doek komen, worden opgenomen door twee kunststof kabels (onder- en bovenkabel) die de krachten afdragen naar de landhoofden. Aan de bovenkabel zijn drijvers bevestigd. Als de kering buitenwerking is, bevindt het doek zich in het opbergvak in één van de landhoofden. Bij dreigende storm wordt de spinaker uit het opbergvak getrokken. Dit gebeurt met transportkabels die worden aangedreven door lieren. Aan het einde van het transport worden de hoofdkabels aan verticale bewegingswerken verbonden. Door de onderkabel naar de bodem te drukken wordt de doorstroomopening gesloten. De hydrostatische druk zorgt voor een goede afsluiting aan de bodem en de zijkanten.

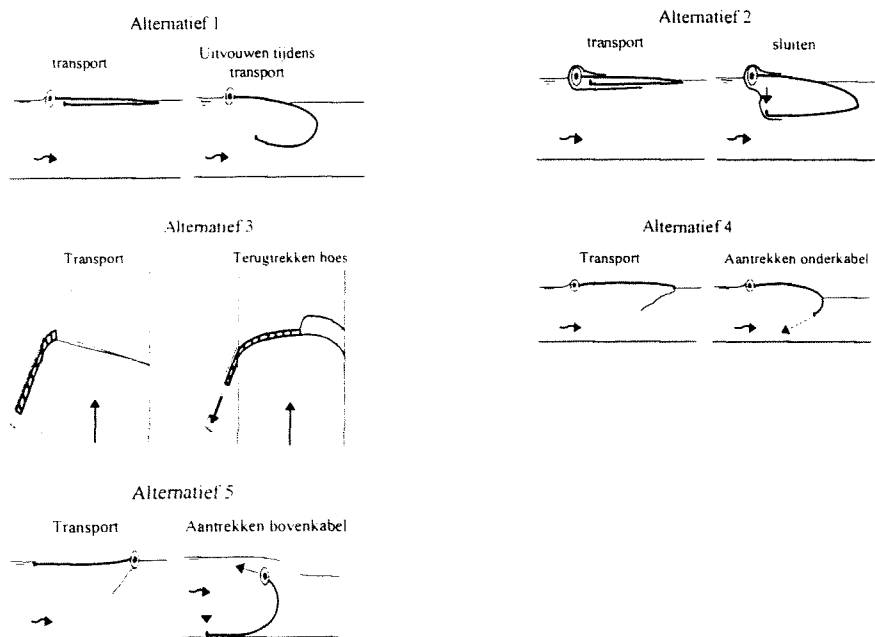
De vraag is echter hoe het doek zich gedraagt tijdens de transport- en sluitingsfase. Er kan een aantal problemen optreden zoals: trillen van het doek, grote belasting op de constructie onderdelen en het optreden van translatiegolven. Het doel van dit onderzoek is inzicht te krijgen in het gedrag van het spinakerdoek tijdens de transport- en sluitingsfase van de kering, waarbij de kering wordt gesloten in stromend water. Daarnaast is er een aantal alternatieve sluitmethodes gegenereerd en zijn deze getest.

Als referentielocatie dient de situatie bij Ramspol. Voor deze locatie zijn met het hydraulische rekenmodel Duflow de waterstanden berekend t.g.v. op- en afwaaiing bij een storm met een windsnelheid van 37 m/s. De kering is 50 m breed en de geul is 4 m diep. De kering wordt niet belast op golven. Het

probleem is op twee manieren aangepakt. Ten eerste zijn er berekeningen gemaakt, waarna er alternatieve sluitmethodes in een schaalmodel worden getest.

De lengte en de vorm van het doek in dwarsdoorsnede is met een differentiemethode bepaald (20 m). Hierbij wordt het evenwicht van een infinitesimaal klein deeltje doek beschouwd voor het statisch ontwerp. Daarnaast zijn de krachten op de landhoofden bepaald. Met de impulsbalans zijn de krachten op het doek tijdens sluiten berekend. Deze berekening dient als voorspelling van de schaalmodelproeven. De testen in het schaalmodel zijn quasi-dynamisch. De kering wordt in fasen van het proces getest, waarbij de berekende waterstanden per fase aan de kering worden opgelegd. De kering wordt getest bij beginstroomsnelheden van 1.0 m/s, 1.75 m/s en 2.5 m/s.

Voor het testen van de kering in het schaalmodel zijn er 5 alternatieven gegenereerd. Het eerste alternatief is het nul-alternatief. Bij dit alternatief zijn geen maatregelen genomen om het doek te behoeden voor uitvouwen tijdens transport. Bij het tweede alternatief is een scherm aangebracht dat om de twee hoofdkeblen is gevouwen. Het scherm geleid de stroming onder het doek door, waardoor het niet zal uitvouwen tijdens transport. Bij het derde alternatief bevindt het doek zich in een hoes tijdens het transport. Na afloop van het transport wordt de hoes weggetrokken en sluit de kering. Bij het derde alternatief wordt het spinakerdoek alleen aan de bovenkabel overgetrokken. Nadat de bovenkabel aan de vjzels is bevestigd, wordt de onderkabel aangetrokken door lieren. Zodra de kabel geheel is aangetrokken, is de kering gesloten. Het vierde alternatief wordt aan de onderkabel overgetrokken. Na transport wordt de onderkabel naar beneden gevijzeld waarna de bovenkabel wordt aangetrokken. Zodra de bovenkabel is aangetrokken, is de kering gesloten.



Aan de hand van de volgende punten zijn de alternatieven beoordeeld: optreden van translatiegolven, slijtage van het doek, kracht op functionele onderdelen, dynamische belasting, beheersbaarheid en de belasting op de bodembescherming.

Bij het nul-alternatief treedt er benedenstrooms een waterstandsverstoring op van 0.05 tot 0.40 m. Het doek is onderhevig aan slijtage en de krachten op de lieren zijn groot (350 tot 904 kN). De andere functionele onderdelen worden belast door de maximaal optredende kracht (landhoofden 5297 kN, vijzels en kabels 2649 kN). De dynamische krachten zijn klein en de beheersbaarheid is goed. Aan het eind van sluiten komen grote stroomsnelheden voor die een grote belasting op de bodembescherming veroorzaken.

Het alternatief met scherm is niet goed beheersbaar omdat tijdens sluiten het moment van volstromen van het doek niet te bepalen is. Daarnaast komen er grote dynamische krachten op de kering. Bij alternatief 3 treedt een horizontale sluiting op evenals bij het nul-alternatief. De stroming verloopt hetzelfde. Het doek ondervindt echter geen slijtage en de krachten op de lieren zijn veel minder (70 tot 349 kN). Bij alternatief 4 treden zeer grote translatiegolven op (0.55 tot 1.0 m). Daarnaast gaat de kering hevig golven en treden er grote dynamische krachten op zowel de lieren voor de onderkabel als de functionele onderdelen. Hierdoor is de sluiting niet beheersbaar. Bij alternatief 5 treedt er benedenstrooms een geringe waterstandsverstoring op. De slijtage van het doek is laag. De lieren voor de bovenkabel worden zwaar belast (737 tot 1104 kN). De dynamische kracht op de kering is laag en de beheersbaarheid van de kering is goed. Hier moet dezelfde bodembescherming als bij het nul-alternatief worden toegepast over de gehele breedte van de geul. In kerende fase treedt er klein lekdebiet door de kering op doordat het doek in het schaalmodel niet geheel waterdicht is. De krachten op de kabels komen overeen met de berekende waarden. De kering vertoont stabiel gedrag.

De conclusie is dat de maximale kracht op de functionele onderdelen wordt bepaald door het maximale verval. Daarnaast is de sluiting met hoes veelbelovend, omdat de kracht op de lieren laag is, de beheersbaarheid is goed en de slijtage van doek is laag. Het alternatief met scherm en het alternatief waarbij de onderkabel wordt aangetrokken, zijn niet geschikt om toegepast te worden als sluitingsmethoden voor een spinakerkering. Om de krachten op de kering tijdens sluiten uit te rekenen is de impulsbalans goed te gebruiken.

Lijst met symbolen

A	oppervlak doorstroomde doorgang	[m ²]
D ₅₀	diameter steen	[m]
ds	infinitesimaal deeltje doek	[m]
f	wrijvingscoëfficiënt	[-]
F	kracht op landhoofd	[N]
F _v	kracht op landhoofd evenwijdig aan de geul	[N]
F _H	kracht op landhoofd loodrecht op de geul	[N]
g	zwaartekracht versnelling	[m/s ²]
h	waterstand benedenstrooms	[m]
H	waterstand bovenstrooms	[m]
N	drukkraft loodrecht op het doek	[N]
p	druk	[N/m ²]
P	resultante waterdruk	[N/m ²]
q	verdeelde belasting op kering t.g.v. waterdruk	[N/m]
R	straal van de kabels	[m]
R _d	straal van de drijver	[m]
R _c	straal van het doek (dwarsdoorsnede)	[m]
T	trekkracht in het doek	[N/m]
T _v	vertikale component trekkracht doek	[N/m]
T _H	horizontale component trekkracht doek	[N/m]
u	snelheid water	[m/s ²]
U	gemiddelde snelheid over doorgang	[m/s]
W	wrijvingskracht	[N]
X _i	horizontale positie doek	[m]
Y _i	vertikale positie doek	[m]
α	hoek van de kabels met de oever	[°]
α _i	hoek van het doek (dwarsdoorsnede)	[°]
β	tophoek van het doek	[°]
β	snelheidsverdelingscoëfficiënt voor impulstransport	[-]
ρ	soortelijk gewicht water	[kg/m ³]
ρ _d	soortelijk gewicht drijver	[kg/m ³]
ρ _{doek}	soortelijk gewicht doek	[kg/m ³]

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	i
Samenvatting.....	ii
Lijst met symbolen.....	v
1. Inleiding.....	1
2. Probleemanalyse.....	3
2.1 Beschrijving van de bedrijfsfasen van de spinakerkering.....	3
2.2 Probleemstelling.....	5
2.3 Doelstelling.....	5
3. Referentielocatie en randvoorwaarden.....	6
3.1 Referentielocatie Ramspol.....	6
3.2 Randvoorwaarden.....	7
3.2.1 Geometrische randvoorwaarden.....	7
3.2.2 Hydraulische randvoorwaarden.....	8
3.3 Uitgangspunten.....	9
4. Probleemaanpak.....	12
4.1 Inleiding.....	12
4.2 Opzet van de berekeningen.....	12
4.2.1 Vorm van het doek.....	12
4.2.2 Grootte van de drijvers.....	17
4.2.3 Krachten op de kabels tijdens sluiten.....	17
4.3 Opzet schaalmodelproeven.....	19
5. Beschrijving alternatieven.....	21
5.1 Inleiding.....	21
5.2 Beoordelingspunten v/d sluitingsprocedures v/d Spinakerkering.....	22
5.3 Nul alternatief: horizontale sluiting.....	23
5.3.1 Voorspelling krachten op de kabels.....	24
5.3.2 Verwacht stroombeeld.....	25
5.4 Alternatief 1: Spinakerdoek met scherm.....	26
5.4.1 Voorspelling krachten in de kabels.....	27
5.4.2 Verwacht stroombeeld.....	27
5.5 Alternatief 2: Spinakerdoek in hoes.....	28
5.5.1 Voorspelling krachten op de kabels.....	29
5.5.2 Verwacht stroombeeld.....	30
5.6 Alternatief 3: zwevend transport met sluiting van boven naar beneden.....	31
5.6.1 Voorspelling krachten op de kabels.....	32
5.6.2 Verwacht stroombeeld.....	32
5.7 Alternatief 4: zwevend transport met sluiting van beneden naar boven.....	33
5.7.1 Voorspelling krachten op de kabels.....	34
5.7.2 Verwacht stroombeeld.....	34
5.8 Samenvatting van de besproken alternatieven.....	35

6. Modellingering en meetprogramma.....	37
6.1 Inleiding	37
6.2 Hydraulische randvoorwaarden model.....	37
6.3 Instellen hydraulische randvoorwaarden.....	38
6.4 Geometrie van het model	41
6.4.1 Functionele onderdelen en programma van eisen	41
6.4.2 Ontwerp schaalmodel en stroomgoot.....	43
6.5 Uitvoering van de proeven.....	46
6.5.1 Meetprogramma	48
7. Waarnemingen en meetresultaten.....	50
7.1 Inleiding	50
7.2 Calibratie van de stroomgoot.....	50
7.3 Nul alternatief: horizontale sluiting	51
7.3.1 Transport en sluiten.....	51
7.3.2 Krachten	52
7.3.3 Het stroombeeld	53
7.3.4 Turbulentie	53
7.3.5 Waterstandsverstoringen	53
7.4 Spinakerdoek met scherm	55
7.4.1 Transport	55
7.4.2 Sluiten.....	56
7.4.3 Krachten	56
7.4.4 Het stroombeeld	58
7.4.5 Turbulentie	58
7.4.6 Waterstandsverstoringen	58
7.5 Spinaker met hoës	59
7.5.1 Transport	59
7.5.2 Sluiten.....	59
7.5.3 Krachten	61
7.5.4 Het stroombeeld	61
7.5.5 Turbulentie	62
7.5.6 Waterstandsverstoringen	62
7.6 Zwevend transport met sluiting van boven naar beneden.....	63
7.6.1 Transport	63
7.6.2 Sluiten.....	63
7.6.3 Krachten	65
7.6.4 Het stroombeeld	67
7.6.5 Turbulentie	68
7.6.6 Waterstandsverstoringen	68
7.7 Zwevend transport met sluiting van beneden naar boven.....	69
7.7.1 Transport	69
7.7.2 Sluiten.....	70
7.7.3 Krachten	72
7.7.4 Het stroombeeld	73
7.7.5 Turbulentie	74
7.7.6 Waterstandsverstoringen	74
7.8 Kerende fase van de kering	75

7.8.1 Krachten	75
7.8.2 Debiet door kering	76
7.8.3 Drijvers	76
7.8.4 Stabiliteit	77
8. Toetsing en vergelijking alternatieven	78
8.1 Inleiding	78
8.2 Toetsing aan beoordelingspunten	78
8.2.1 Nul alternatief, horizontale sluiting (referentie alternatief)	78
8.2.2 Spinaker met scherm	82
8.2.3 Spinaker in hoes	84
8.2.4 Zwevend transport met sluiting van boven naar beneden	87
8.2.5 Zwevend transport met sluiting van beneden naar boven	90
8.3 Vergelijking van de alternatieven onderling	92
9. Conclusies en aanbevelingen	96
9.1 Conclusies	96
9.2 Aanbevelingen	97
Literatuurlijst	98

Bijlagen

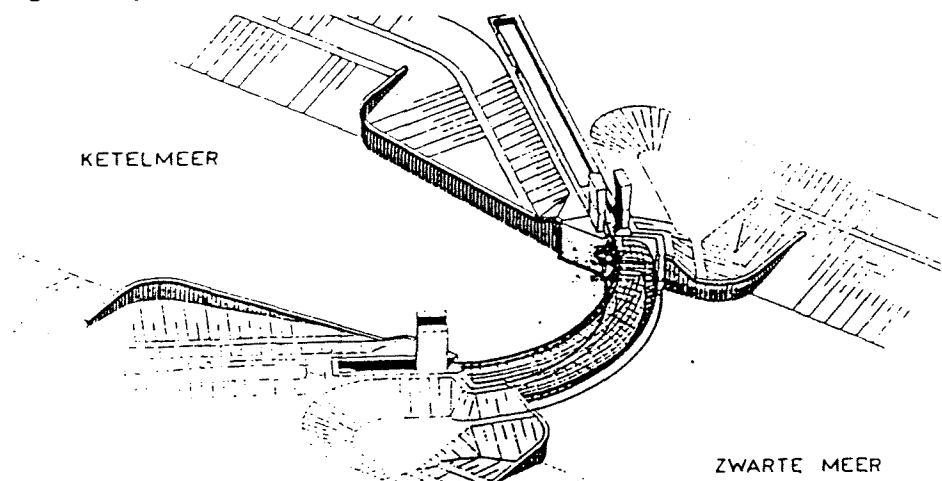
1. Inleiding

Waterkeringen zijn er in diverse soorten en maten en dienen verschillende doelen. Zo bestaan er stuwen, stormvloedkeringen en keersluizen. Hun functie is het tegengaan van vrije doorstroming van water. Een stuw zorgt voor een opstuwning van de waterstand tot een gewenst peil aan de bovenstroomse zijde van de stuw. Een stormvloedkering verhindert de toestroming van water vanuit zee een enkele keer per jaar terwijl een keersluis een waterkering is die gesloten wordt in extreme omstandigheden anders dan stormvloeden. Voorbeelden hiervan zijn de compartimenteringskeringen in kanalen, die gesloten worden indien ergens een dijkbreuk optreedt, zodat niet het hele kanaal leegstroomt.

Om Zwolle en omstreken te beschermen tegen hoogwater tijdens stormen vanuit het IJsselmeer is besloten om een stormvloedkering te bouwen bij Ramspol. Voor deze waterkering is een aantal alternatieven onderzocht waaronder de spinakerkering en de balgstuw. Dit zijn twee keringstypen die in Nederland nog niet eerder zijn toegepast. In 1989 heeft het Waterloopkundig Laboratorium in samenwerking met Rijkswaterstaat oriënterende modelproeven gedaan met de spinakerkering en de balgstuw. Na deze proeven is voor de situatie bij Ramspol besloten verder te gaan met het ontwikkelen van de balgstuw. Omdat de resultaten van deze proeven ook veelbelovend lijken voor de spinakerkering, wordt daar in dit onderzoek verder op ingegaan.

Veel is er nog niet bekend over de werking van een spinakerkering. Hieronder volgt een korte beschrijving van de spinakerkering volgens het schetsontwerp van Rijkswaterstaat (zie figuur 1.1).

Een spinakerkering is een waterkering, waarbij gebruik wordt gemaakt van hoogwaardig kunststof doek. De krachten die op het doek komen, worden opgenomen door twee kunststof kabels, die aan de boven- en onderkant aan het doek verbonden zijn (zie figuur 1.1). De kabels overspannen de gehele doorstroomopening en brengen de krachten over naar de landhoofden aan weerszijden van de waterloop. Het doek en de kabels zijn gemaakt van zeer hoogwaardige kunststofvezels zoals Kevlar en Dyneema.



figuur 1.1: spinakerkering

De meeste tijd van het jaar zal de waterkering geen kerende functie vervullen. Het spinakerdoek met de kunststof draagkabels (spinaker) bevindt zich dan in het opbergvak in één van de landhoofden. Bij een dreigende storm wordt de spinaker drijvend uit het opbergvak getrokken, zodanig dat de onder- en bovenkabel zich aan het wateroppervlak bevinden. Het naar de overkant trekken van de spinaker gebeurt met transportkabels die worden aangedreven door lieren. De transportkabels zijn aan de draagkabels van het doek verbonden. Aan de bovenkabel van het spinakerdoek zijn drijvers gemonteerd.

Zodra de spinaker naar de overkant is getransporteerd, worden de kabels verbonden aan verticale bewegingswerken. Met deze bewegingswerken wordt de onderkabel naar de bodem gebracht, waar een betonnen drempel is geplaatst. Het spinakerdoek vouwt zich nu uit. Zodra de onderkabel zich op de drempel bevindt is de doorstroomopening afgesloten. De bovenkabel volgt de waterstand aan de bovenstroomse zijde. De hydrostatische druk zorgt ervoor dat er een goede afsluiting plaatsvindt aan de bodem en de landhoofden.

Het buiten bedrijf stellen van de kering gebeurt op dezelfde manier als het in bedrijf stellen van de kering, maar dan in omgekeerde volgorde.

Een probleem bij de spinakerkering is de beheersbaarheid van het doek tijdens het transport en het sluitingsproces van de kering. Omdat uit de proeven van het WL gebleken is dat de spinakerkering in de kerende fase goed voldoet, is er voor gekozen om verder onderzoek te doen naar de transport- en de sluitingsfase van de spinaker.

Dit wordt gedaan aan de hand van schaalmodelproeven en berekeningen. In het schaalmodel zal een aantal alternatieve transport- en sluitingsmethoden getest worden. De berekeningen dienen om inzicht te krijgen in het proces en om voorspellingen te kunnen maken voor de schaalmodelproeven.

Dit rapport is zodanig opgebouwd dat in hoofdstuk 2 eerst een probleemanalyse wordt gegeven, waarin de probleemstelling en de doelstelling van dit onderzoek worden geformuleerd. Om enige aansluiting te hebben bij de werkelijkheid is de studie gebaseerd op de situatie zoals die bij Ramspol is. In hoofdstuk 3 wordt die situatie kort beschreven en worden de randvoorwaarden en uitgangspunten voor de studie gegeven. Daarna wordt in hoofdstuk 4 uiteengezet hoe het probleem is aangepakt. Hierbij komen de theoretische berekeningen en de schaalmodelproeven aan de orde. Een aantal alternatieven is ontwikkeld die in hoofdstuk 5 worden besproken. Hoe het schaalmodel en het meetprogramma eruit zien, wordt in hoofdstuk 6 beschreven. De waarnemingen en testresultaten staan in hoofdstuk 7 vermeld, waarna er in hoofdstuk 8 een vergelijking wordt gemaakt tussen de rekenresultaten en de uitkomsten van de metingen. Uiteindelijk volgen de conclusies en aanbevelingen in hoofdstuk 9.

2. Probleemanalyse

2.1 Beschrijving van de bedrijfsfasen van de spinakerkering

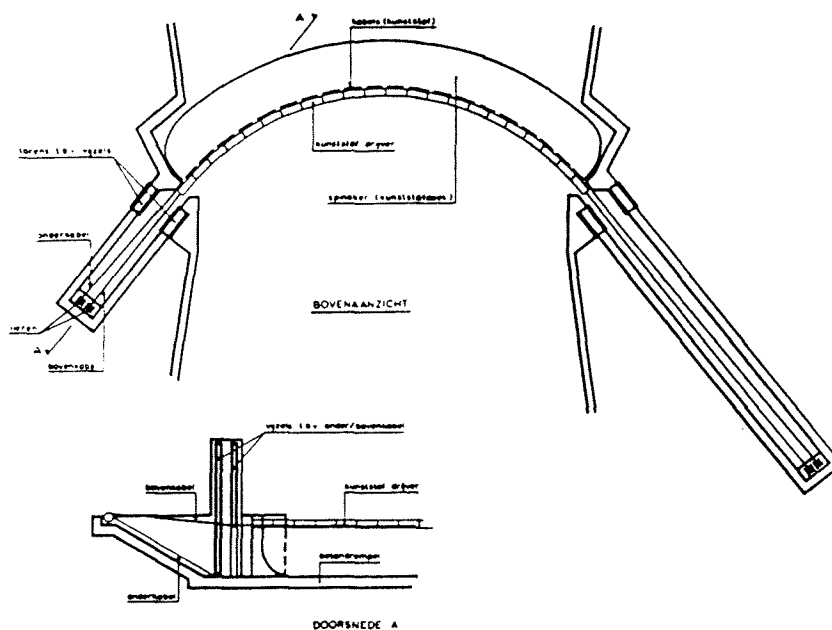
De spinakerkering volgens het schetsontwerp van Rijkswaterstaat dient als hoogwaterkering en kan geplaatst worden in de mond van een rivier of delta. Tijdens een storm met de juiste windrichting wordt het water opgestuwd voor de riviermond of delta. Hierdoor ontstaat een omslag in de stroming. Het water stroomt landinwaarts in plaats van andersom. De kering kan gesloten worden op het omslagpunt van de stromingsrichting of bij een stroming landinwaarts.

In het eerste geval sluit de kering in de begin periode van de storm. Tijdens sluiten is de stroomsnelheid gelijk aan 0 m/s (of nagenoeg 0 m/s). Er moet een goed stormvoorspellingssysteem aanwezig zijn, zodat het juiste moment van sluiten bepaald kan worden.

In het tweede geval kan de beslissing om te sluiten later gemaakt worden. De kering en de bodem worden dan echter wel zwaarder belast doordat het water met een bepaalde stroomsnelheid landinwaarts stroomt.

Tijdens sluiten en bij gesloten kering wordt het water voor de kering opgestuwd door opwaaiing. Achter de kering is er sprake van afwaaiing waardoor er een verval over de kering ontstaat. Hierdoor wordt de kering belast. Daarnaast wordt de kering belast door golven. Deze geven een dynamische belasting op de kering. De golven veroorzaken ook enige overslag over de kering.

Het principe van de spinakerkering volgens het schetsontwerp van Rijkswaterstaat is in de inleiding beschreven. In figuur 2.1 is een tekening van de spinakerkering weergegeven volgens het schetsontwerp van Rijkswaterstaat.



figuur 2.1: overzicht spinakerkering Schetsontwerp Rijkswaterstaat

De bedrijfsfasen

Wanneer de spinakerkering buiten bedrijf is, ligt het doek opgeborgen in een lange kas in het landhoofd. Voor het transport en de berging van de spinaker zijn de onder- en bovenkabel verbonden met transportkabels. Deze kabels kunnen worden op- en afgewikkeld met behulp van lieren op de beide landhoofden (vier lieren in totaal zie figuur 2.1). De transportkabels liggen onder normale omstandigheden steeds op de bodem van de geul.

Er zijn 5 bedrijfsfasen te onderscheiden:

1. De transportfase
2. De sluitingsfase
3. De kerende fase
4. De openingsfase
5. De opbergfase

1. De transportfase

Tijdens deze fase wordt de spinaker met behulp van lieren en transportkabels drijvend uit de berging getrokken. De onder- en bovenkabel bevinden zich dan aan het wateroppervlak. Gedurende dit transport vormt de spinaker in meer of mindere mate een weerstand in het stromende water. De weerstandskracht moet in deze fase worden opgenomen door de lieren die het doek naar de overkant transporteren. In figuur 2.1 is aangegeven waar deze lieren zich bevinden. Aan het eind van de transportfase worden de onder- en bovenkabel aan de verticale bewegingswerken verbonden. In het schetsontwerp van Rijkswaterstaat zijn dit hydraulische vijzels. De vijzels bevinden zich op de landhoofden. Er zijn 4 vijzels in totaal, 2 voor de onderkabel en 2 voor de bovenkabel (zie figuur 2.1).

2. De sluitingsfase

In de sluitingsfase wordt de onderkabel naar de drempel gebracht met de vijzels. De bovenkabel is eveneens verbonden met vijzels zodat deze ook op hoogte gebracht kan worden, als dat gewenst is. Aan het eind van deze fase is de geul afgesloten voor hoogwater.

3. De kerende fase

In deze fase staat er steeds een verval over de spinakerkering. Dit verval zal, als gevolg van op- en afwaaiing, variëren tijdens aanwakkeren en luwen van de storm. Door middel van de vijzels kan de bovenkabel het niveau van de buitenwaterstand volgen. Er moet steeds sprake zijn van een voldoende afdichting door het doek op de drempel en aan de zijwanden.

4. De openingsfase

Aan het einde van een storm wordt de kering geopend. Bij de opening van de spinaker mag er geen of maar een klein positief verval over de kering staan. De onderkabel wordt met gebruikmaking van de vijzels naar het wateroppervlak

getrokken. Op deze manier bevindt het doek zich in de juiste positie om in het opbergvak getrokken te worden.

5. De opbergfase

Nu worden de onder- en bovenkabel ontkoppeld van de vijzels en wordt de spinaker met gebruikmaking van de lieren weer in de berging getrokken. De transportkabels, waarmee de kering uit de kast is getrokken in de transportfase, komen weer op de bodem van de geul te liggen.

2.2 Probleemstelling

Een spinakerkering als hoogwaterkering is nog nooit gerealiseerd. Er is dan ook vrij weinig bekend over dit type kering en het gedrag van het doek van deze kering. Tijdens de transport- en sluitingsfase kan zich een aantal problemen voordoen welke de beheersbaarheid van de kering beperken. Dit geldt vooral voor een sluiting in stromend water.

Er kunnen grote belastingen op de constructie komen. Het doek kan water vangen waardoor dit vol stroomt. Hierdoor kunnen er grote krachten op de lieren komen. Daarnaast kan het doek gaan trillen door het optreden van hoge wisselende, turbulente stroomsnelheden. Als gevolg daarvan kunnen er grote dynamische krachten optreden. Een ander probleem is het optreden van translatiegolven aan zowel de bovenstroomse zijde als de benedenstroomse zijde van de kering.

Verder bestaat de kans dat de geul niet gelijkmatig afgesloten wordt in zowel de breedte als de hoogte, waardoor er zeer geconcentreerde stromingen kunnen ontstaan, die een zware belasting vormen voor de bodemverdediging

Uit het bovenstaande volgt de formulering van de probleemstelling.

“Het gedrag van het spinakerdoek van een spinakerkering tijdens de transport- en sluitingsfase van de kering is onbekend”.

2.3 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is inzicht te krijgen in het gedrag van het spinakerdoek tijdens de transport- en sluitingsfase van de kering, waarbij de kering gesloten wordt in stromend water.

Daarnaast is het doel een aantal alternatieven te genereren voor de transport- en sluitingsfase en aanbevelingen te doen voor een geschikte sluitingsstrategie.

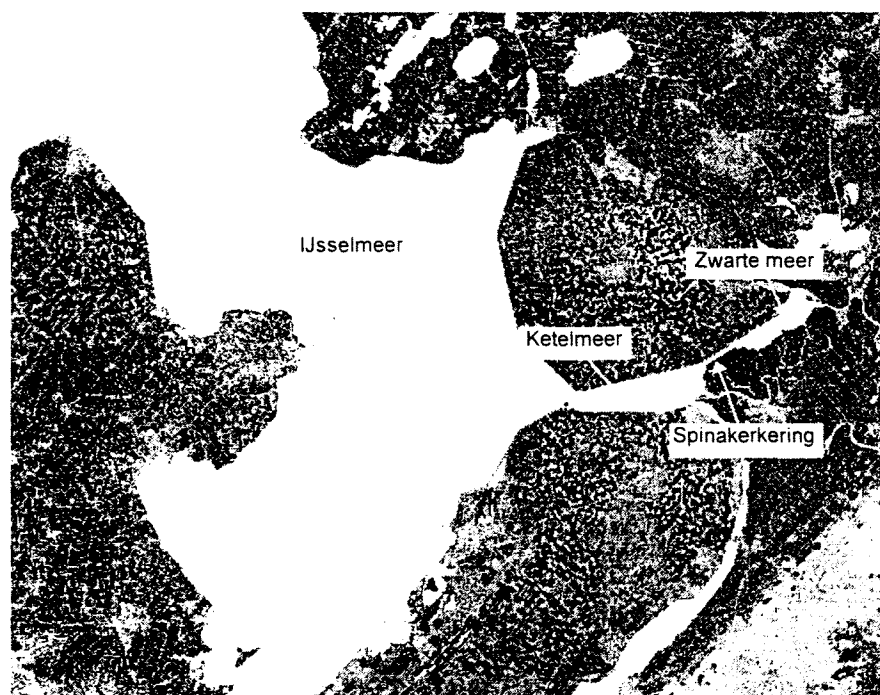
3. Referentielocatie en randvoorwaarden

3.1 Referentielocatie Ramspol

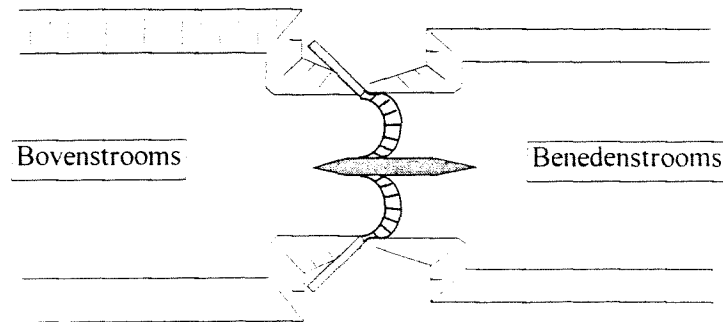
Om Zwolle en omstreken te beschermen tegen hoogwater vanuit het IJsselmeer is besloten om een hoogwaterkering in de vorm van een balgstuw te bouwen bij Ramspol. De randvoorwaarden die het Waterloopkundig Laboratorium in het onderzoek naar de balgstuw en de spinakerkering heeft gebruikt, zijn gebaseerd op deze locatie. Dezelfde referentielocatie wordt gebruikt voor dit onderzoek. Een referentielocatie heeft als doel een kader van reële randvoorwaarden te geven. De situatie bij Ramspol wordt echter niet volledig beschreven, omdat Ramspol alleen maar als globaal randvoorwaardenkader dient.

De kering wordt geplaatst in de Ramsgeul. Deze geul verbindt het Zwarte Meer met het Ketelmeer en is de scheiding tussen de Noordoostpolder en West-Overijssel (zie figuur 3.1). Het Ketelmeer staat via een opening van ca. 650 m breedte in open verbinding met het IJsselmeer. De Ramsgeul is 130 m breed en 4 m diep. De balgstuw zoals deze gebouwd wordt bij Ramspol overspant de geul in 2 keer. Om de overspanningslengte van de spinakerkering te beperken, zijn er ook hier twee keringen nodig om de geul te overspannen. In figuur 3.2 is een schets van een mogelijke situatie in de Ramsgeul weergegeven. In het verdere onderzoek wordt er echter gekeken naar één spinakerkering, waarbij de invloed van de tweede kering op de eerste buiten beschouwing wordt gelaten.

Ook in het Ramsdiep komt een kering. Deze kering zal aan iets andere randvoorwaarden moeten voldoen. Deze blijven hier echter buiten beschouwing.



figuur 3.1: het IJsselmeer, het Ketelmeer en het Zwarte Meer



figuur 3.2: schets van de Ramsgeul met een dubbele kering

3.2 Randvoorwaarden

3.2.1 Geometrische randvoorwaarden

Profiel van vrije ruimte

- aaneengesloten doorvaartbreedte :50 m
- drempeldiepte :NAP -4.0 m
- doorvaarthoogte t.o.v. de vrije waterspiegel :30 m

Lekpercentage

Lek treedt op door aansluitproblemen en lek door het doek. Daarnaast treedt er golfoverslag op tijdens extreme omstandigheden. Het is toegestaan dat er een lekdebiet optreedt.

Beheer en onderhoud

- er moeten voorzieningen worden getroffen om de scheepvaart op de hoogte te stellen van een voorgenomen sluiting.
- er moet visuele informatie aan de scheepvaart doorgegeven worden m.b.t. een gesloten kering.
- de kering moet beschermd worden tegen grof materiaal dat in het water drijft.

De belastingen

Omdat de constructie een primaire waterkering is, dient zij in gesloten toestand met een overschrijdingsfrequentie van 1/10000 jaar bestand te zijn tegen belastingen die voortkomen uit verval en wind. Dit alles zodanig dat het veilig functioneren van de kering niet wordt bedreigd.

Levensduur van de constructie

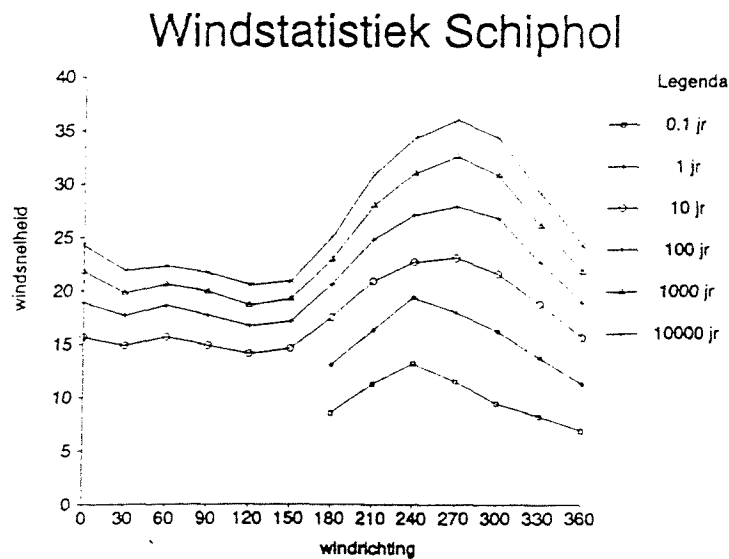
De constructie moet een levensduur hebben van 100 jaar. Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen de vervangbare en onvervangbare onderdelen. Alle onvervangbare onderdelen moeten dus een levensduur van 100 jaar hebben. De vervangbare onderdelen mogen een kortere levensduur hebben.

3.2.2 Hydraulische randvoorwaarden

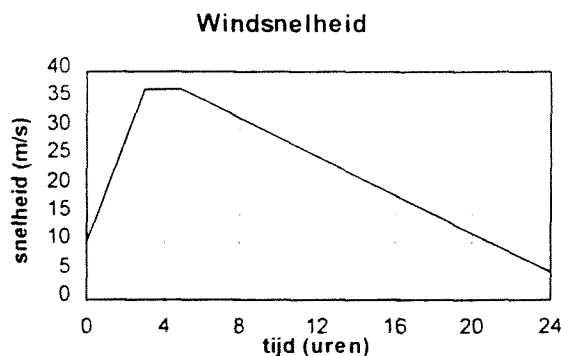
Harde randvoorwaarden

De wind is verantwoordelijk voor de waterstandsverhoging aan de oostzijde van het Ketelmeer waar de kering gesitueerd is. De windstatistiek die voor dit onderzoek is gebruikt, staat vermeldt in de grafiek van figuur 3.3. Er wordt hier met de windgegevens van Schiphol gewerkt, omdat dit de enige beschikbare gegevens zijn.

Er is een aantal combinaties van windrichtingen en windsnelheden mogelijk. De bepaling van de maatgevende windsnelheid en windrichting is gedaan met het hydraulische rekenmodel Duflow. Bij *berekende hydraulische randvoorwaarden* en bijlage 3.1 wordt de opzet van de Duflow berekeningen gegeven. Uit de vergelijking van de verschillende windsnelheden en windrichtingen komt naar voren dat een windsnelheid van 37 m/s bij een windrichting van 270° maatgevend is voor de optredende waterstanden. Het verloop van de wind tijdens een storm uitgezet tegen de tijd staat vermeldt in figuur 3.4.



figuur 3.3: verband tussen windsnelheid, windrichting en herhalingsjijd



figuur 3.4: verloop van de wind tijdens storm

Peil van het meer

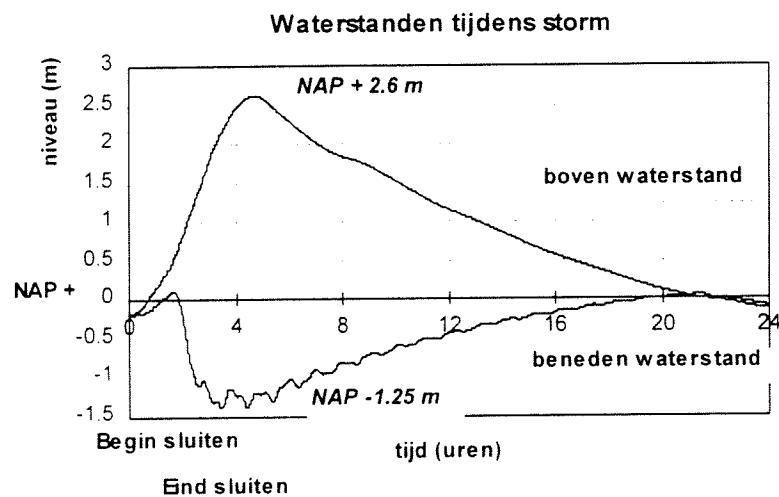
Het streefpeil op het Ketelmeer en het Zwarte meer is NAP- 0.20 m (zomerpeil).

Berekende hydraulische randvoorwaarden

De waterstanden bij Ramspol zijn voor dit onderzoek berekend met Duflow. Hiermee worden de waterstanden, welke voor het latere onderzoek nodig zijn, op elk gewenst ogenblik van de storm verkregen. Het netwerk dat is ingevoerd in Duflow is een vereenvoudigde voorstelling van de werkelijkheid (zie figuur 3.1). Het IJsselmeer wordt voorgesteld door een rechte lijn die onder een hoek van 45° aansluit op het Ketelmeer en het Zwarte Meer. Het Ketelmeer en het Zwarte Meer worden ook geschematiseerd door een rechte lijn. In bijlage 3.1 wordt de volledige invoer in de Duflow-berekening gegeven.

De berekeningen in Duflow zijn uitgevoerd met bovenstaande geometrische en hydraulische randvoorwaarden. Er is gekeken naar een horizontale en verticale sluiting. De verticale sluiting kan worden opgesplitst in een overlaat en een onderlaat.

Het verloop van de waterstanden zoals die zijn uitgerekend in Duflow staat vermeld in figuur 3.5. Hierin is de kering verticaal gesloten. De in de grafiek vermelde waterstanden zijn de maatgevende waterstanden.



figuur 3.5: maatgevende waterstanden tijdens sluiten

3.3 Uitgangspunten

- Het doek

Het doek van de spinakerkering kan van allerlei soorten kunststof gemaakt worden. Hierbij moet het doek aan een aantal eisen voldoen. Het doek moet sterk en waterdicht zijn. Daarnaast moet er een beschermlaag op het doek aanwezig zijn. Er wordt gerekend met een veiligheidsfactor van 5 op de statische belasting.

In tabel 3.1 staat een aantal kunststoffen weergegeven. In principe kunnen al deze materialen worden toegepast als keermiddel van de spinakerkering. Een aantal daarvan is het meest geschikt. Er zijn doeken verkrijgbaar met een treksterkte van 1000 kN/m. Bij PP (polypropreen) is de doekdikte daarbij 5 mm. Met hoogwaardige vezels zoals hoog-modulus polyester (HM-PET, Stablenka van Akzo) is de doekdikte circa 2 mm. De doekdikte bij supervezels zoals Aramide, een zeer hoog-modulus polyestervezel HHM-PET (Twaron van Akzo of Kevlar van Dupont) en HHM-PE (Dyneema van DSM) is slecht 1 mm.

De maximale rek van PP bedraagt 20%. Voor de toepassing als materiaal in het keermiddel is deze rek aan de hoge kant. Bij een geconfectioneerd doek kunnen er spanningsconcentraties in de naden gaan optreden. Hierdoor komt er een grote belasting op de naden. Bij de naden moet er gerekend worden met een sterkte van het doek van maximaal 80% van de normale sterkte.

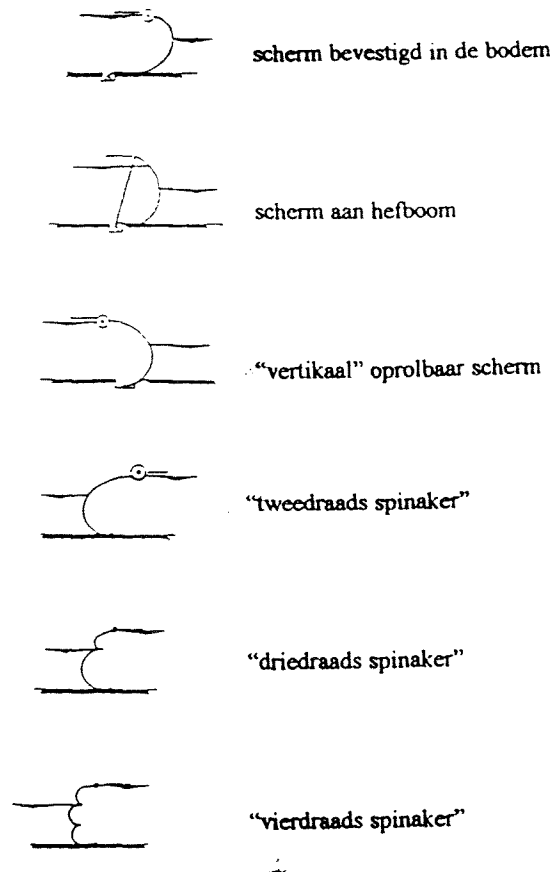
	Density	Strength			Modulus			Elongation
	g/cm ³	N/Tex	g/den	GPa	N/Tex	g/den	GPa	%
DYNEEMA SK60	0.97	2.8	32	2.7	91	1025	89	3.5
DYNEEMA SK65	0.97	3.1	35	3.0	97	1100	95	3.6
DYNEEMA SK66	0.97	3.3	37	3.2	101	1150	99	3.7
Aramid - regular	1.44	2.05	23	2.9	41	470	60	3.6
Aramid - composite	1.45	2.05	23	2.9	83	935	120	1.9
Aramid - ballistic	1.44	2.35	26	3.3	52	590	75	3.6
Carbon HS	1.78	1.9	22	3.4	134	1500	240	1.4
Carbon HM	1.85	1.2	14	2.3	210	2400	390	0.5
E Glass	2.60	1.35	15	3.5	28	315	72	4.8
S Glass	2.50	1.65	21	4.6	34	385	86	5.2
Polyamide HT	1.14	0.8	9	0.9	5	56	6	20
Polyester HT	1.38	0.8	9	1.1	10	110	14	13
Polypropylene	0.90	0.6	7	0.6	6	70	6	20
Steel	7.86	0.2	2	1.77	25	225	200	1.1

tabel 3.1: eigenschappen van technische vezels

Carbon vezels en glasvezels hebben een hoge modulus, maar zijn bros. Hierdoor zijn deze materialen niet geschikt als materiaal voor het keringsmiddel. De Dyneema vezel en de aramide vezel verschillen qua eigenschappen niet veel van elkaar. De Dyneema vezel heeft een grotere weerstand tegen afslijting en is taaier. Daarnaast is weegt aramide 1.44 g/cm³ en Dyneema 0.97 g/cm³. Dyneema is lichter dan water en dat is hier een voordeel. In dit onderzoek wordt voor het materiaal van het spinakerdoek uitgegaan van Dyneema SK 60. Om het doek waterdicht te maken moet het gecoat worden. Deze coating heeft een drijvend vermogen en het doek wordt 3 à 4 mm dik. In bijlage 3.2 staan de specificaties van het materiaal vermeld.

- Voor het materiaal van de draagkabels wordt ook van Dyneema SK60 uitgegaan, omdat dit momenteel de sterkste vezel is die beschikbaar is. Een voordeel van dit materiaal voor de kabels is dat het drijft. De grootste kabels die er tot nu toe zijn gemaakt van deze vezel zijn 1000 tons kabels. Voor de specificaties van het materiaal zie bijlage 3.2.

- Er is een aantal varianten te bedenken voor een membraankering (zie figuur 3.6). De membraankering volgens het schetsontwerp van Rijkswaterstaat is een tweedraads spinaker. Met dit type membraankering wordt hier verder gewerkt.



figuur 3.6: soorten membraankeringen

- In dit onderzoek zal de golfbelasting niet als belasting op de kering worden meegenomen.
- Opwaaiing/Afwaaiing
 In dit onderzoek wordt alleen gekeken naar een waterstandsverhoging voor de kering als gevolg van opwaaiing en een waterstandsverlaging achter de kering als gevolg van afwaaiing.
- Voor de bepaling van de waterstanden met Duflow wordt het keringsmiddel in één uur gesloten worden.
- Het Zwarte water staat in verbinding met het Zwarte meer. Normaal gesproken voert het Zwarte water een bepaald debiet af. Bij gesloten kering zorgt dit debiet voor een waterstandsverhoging in het Zwarte Meer. Deze waterstandsverhoging is weer van invloed op de kering. Een storm duurt 24 uur, zodat de kering maar 24 uur gesloten is. Hierdoor zal de waterstandsverhoging achter de kering gering zijn t.o.v. het te keren verval. Het afvoerdebiet wordt daarom niet meegenomen in de berekening.

4. Probleemaanpak

4.1 Inleiding

Het probleem is gesplitst in twee delen. In het eerste deel is de berekeningsmethode voor het statisch ontwerp van het spinakerdoek gegeven. Met deze methode is de vorm van het doek bepaald. Daarna zijn berekeningen gemaakt die inzicht verschaffen in de krachten op de kering tijdens sluiten. Deze berekeningen dienen als voorspelling van de resultaten van de proeven met het schaalmodel.

Het tweede onderdeel bestaat uit proeven met een schaalmodel. In paragraaf 4.2 staat de theoretische achtergrond van de rekenmethoden vermeld. De volgende paragraaf geeft de opzet aan van de met het schaalmodel uit te voeren proeven.

4.2 Opzet van de berekeningen

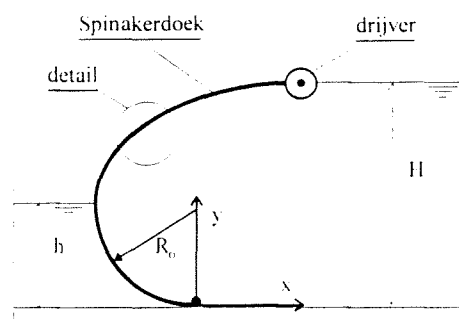
Allereerst is hieronder aangegeven hoe de vorm van het doek bepaald wordt. Hiervoor is het doek in een dwarsdoorsnede beschouwd. De evenwichtsvergelijkingen zijn voor een 2-dimensionale projectie gegeven. Dit wordt gedaan voor een dwarsdoorsnede van het doek om de lengte van het doek te bepalen en in bovenaanzicht voor de bepaling van de straal van het doek.

Nadat de vorm van het doek is bepaald, wordt voor een dwarsdoorsnede aan de hand van de massabalans en de impulsbalans de kracht op de kering tijdens sluiten bepaald.

4.2.1 Vorm van het doek

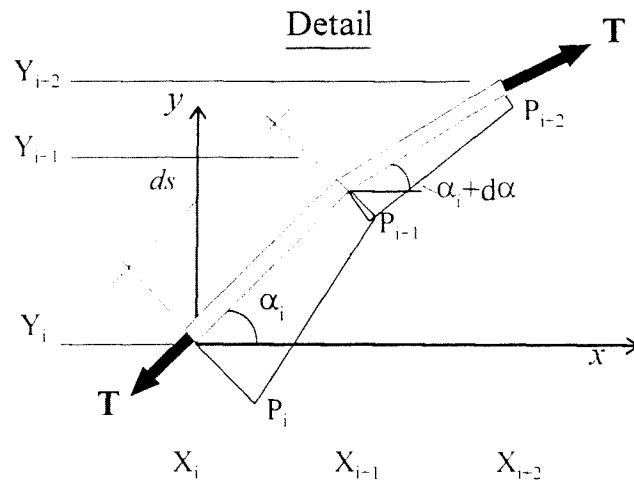
Dwarsdoorsnede

Voor de berekening van de lengte van het spinakerdoek in dwarsdoorsnede is in Excel een programma geschreven. In dit programma wordt via een aantal iteratiestappen de lengte van het doek bepaald. De berekening is op de volgende beschouwing gebaseerd. Voor de duidelijkheid is eerst nog een dwarsdoorsnedetekening van het spinakerdoek gegeven (figuur 4.1).



figuur 4.1: doorsnede spinakerdoek

Er wordt een klein deeltje ds van doek beschouwd. Dit deeltje is rekvast, kan geen buiging opnemen en er wordt aangenomen dat het geen gewicht heeft. In het hele spinakerdoek (per dwarsdoorsnede) bestaat dus dezelfde trekkracht.



figuur 4.2: schematisatie infinitesimaal klein deeltje doek ds

Gegeven:

α_0 (hoek van het doek met de horizontaal)

H (waterstand bovenstrooms kering)

h (waterstand benedenstrooms kering)

De volgende formules zijn gebruikt:

$$X_{i-1} = X_i + ds \cdot \cos \alpha_i$$

$$Y_{i+1} = Y_i + ds \cdot \sin \alpha_i$$

$$P_{\text{voor},i} = (H - Y_i) \cdot \rho \cdot g$$

$$P_{\text{achter},i} = (h - Y_i) \cdot \rho \cdot g$$

$$P_{\text{voor},i+1} = (H - Y_{i+1}) \cdot \rho \cdot g$$

$$P_{\text{achter},i+1} = (h - Y_{i+1}) \cdot \rho \cdot g$$

$$P_i = P_{\text{voor},i} - P_{\text{achter},i}$$

$$\text{if } P_{\text{achter},i} > 0 \text{ else } P_i = P_{\text{voor},i}$$

$$P_{i+1} = P_{\text{voor},i+1} - P_{\text{achter},i+1}$$

$$\text{if } P_{\text{achter},i+1} > 0 \text{ else } P_{i+1} = P_{\text{voor},i+1}$$

$$P_{i,\text{gem}} = \frac{P_i + P_{i+1}}{2}$$

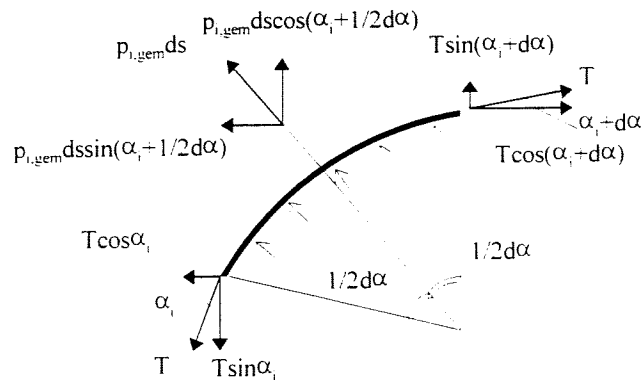
$$d\alpha = \frac{P_{i,\text{gem}} \cdot ds}{T}$$

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + d\alpha$$

Door een waarde voor R_0 in te vullen kan de grootte van de trekkracht in het doek bepaald worden (Ketelformule). Hierna wordt de rest van het doek

berekend tot de hoogste waterstand. Het aantal iteratiestapjes maal ds bepaalt de lengte van het doek. De lengte van ds wordt zo klein mogelijk gekozen.

Ter controle van deze methode wordt het evenwicht van elk deeltje beschouwd [6].



figuur 4.3: infinitesimaal klein deeltje doek ds

Voor het horizontale evenwicht per strekkende meter van een deeltje geldt:

$$-T \cdot \cos \alpha_i + p_{i, gem} \cdot ds \cdot \sin(\alpha_i + \frac{1}{2} d\alpha) + T \cdot \cos(\alpha_i + d\alpha) = 0 \quad (4.1)$$

Met:

$$\sin(\alpha_i + 1/2 d\alpha) = \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cdot 1/2 d\alpha \quad (\text{Laatste term vermenigvuldigd met } ds \text{ is te verwaarlozen (2e orde)}).$$

$$\cos(\alpha_i + d\alpha) = \cos \alpha_i - \sin \alpha_i \cdot d\alpha$$

Voor het horizontale evenwicht geldt dan:

$$-T \cos \alpha_i + p_{i, gem} \cdot ds \cdot \sin \alpha_i + T \cdot \cos \alpha_i - T \cdot \sin \alpha_i \cdot d\alpha = 0 \Rightarrow \quad (4.2)$$

$$p_{i, gem} \cdot ds \cdot \sin \alpha_i - T \cdot \sin \alpha_i \cdot d\alpha = 0$$

Voor het verticale evenwicht per strekkende meter van een deeltje geldt:

$$-T \cdot \sin \alpha_i - p_{i, gem} \cdot ds \cdot \cos(\alpha_i + \frac{1}{2} d\alpha) + T \cdot \sin(\alpha_i + d\alpha) = 0 \quad (4.3)$$

Met:

$$\cos(\alpha_i + 1/2 d\alpha) = \cos \alpha_i - \sin \alpha_i \cdot 1/2 d\alpha \quad (\text{Laatste term vermenigvuldigd met } ds \text{ is te verwaarlozen (2e orde)}).$$

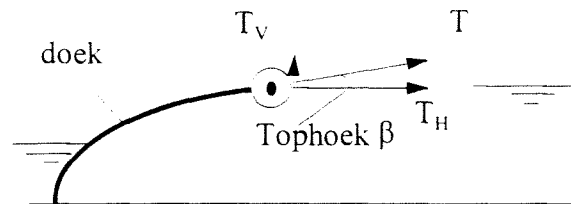
$$\sin(\alpha_i + d\alpha) = \sin \alpha_i + \cos \alpha_i \cdot d\alpha$$

Voor het verticale evenwicht geldt dan:

$$-T \sin \alpha_i - p_{i, gem} \cdot ds \cdot \cos \alpha_i + T \cdot \sin \alpha_i + T \cdot \cos \alpha_i \cdot d\alpha = 0 \Rightarrow \quad (4.4)$$

$$-p_{i, gem} \cdot ds \cdot \cos \alpha_i + T \cdot \cos \alpha_i \cdot d\alpha = 0$$

Verder kan het uitwendige evenwicht gecontroleerd worden door de cosinus van de tophoek te vermenigvuldigen met de trekkracht in het doek (zie figuur 4.4). Dit levert de horizontale oplegkracht op de bovenkabel op. Samen met de horizontale oplegkracht op de onderkabel moet dit de horizontale belasting leveren ($\Sigma H=0$). Als de tophoek niet gelijk is aan 0, dan zal er een verticale component van de kracht op de bovenkabel staan. Deze kracht zal moeten worden opgenomen door drijvers. In paragraaf 4.2.2 wordt dit verder beschreven.



figuur 4.4: tophoek

Resultaten

In tabel 4.1 zijn de ingevulde waarden in de Excel sheet en de uitkomsten van de berekening weergegeven. In bijlage 4.1 is de vorm van het doek uitgezet in een grafiek. Het evenwicht van elk deeltje is in de Excel sheet gecontroleerd.

Ingevulde waarden:	Resultaten van de berekening:
H = 6.6 m	T = 90.1 kN/m
h = 2.75 m	T _v = 6.28 kN/m
R ₀ = 2.34 m	Lengte doek = 15.29 m (+ 4.50 m = 19.79 m)
ds = 0.001 m	Tophoek β = 4°

tabel 4.1: resultaten berekening doek

Controle berekening van de uitwendige krachten:

$$\text{Uitwendige horizontale kracht: } q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g (H^2 - h^2) = 179.98 \text{ kN/m}$$

$$T_H = T \cdot \cos \beta = 89.88 \text{ kN/m}$$

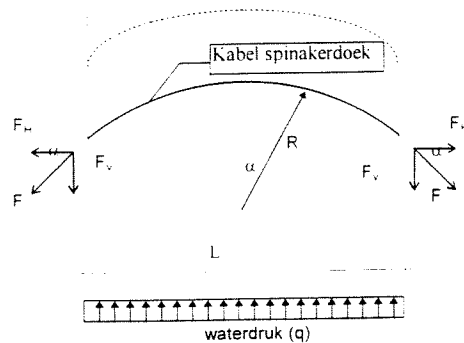
$$T_H + T = 179.98 \text{ kN/m}$$

$$\sum H = T_H + T - q = 0$$

Voor een goede afsluiting aan de drempel is een overlengte van het doek van 4.50 m genomen aan de onderkant (zie tabel 4.1).

Bovenaanzicht

De grootte van de straal van het doek wordt bepaald aan de hand van de volgende criteria: uitvoerbaarheid en krachtenafdracht. Er moet een keuze gemaakt worden tussen verschillende stralen.



$$\alpha = a \sin\left(\frac{\frac{1}{2} \cdot L}{R}\right)$$

$$F_v = \frac{1}{2} \cdot L \cdot q$$

$$F_H = \frac{F_v}{\tan \alpha}$$

$$F = \sqrt{(F_v)^2 + (F_H)^2}$$

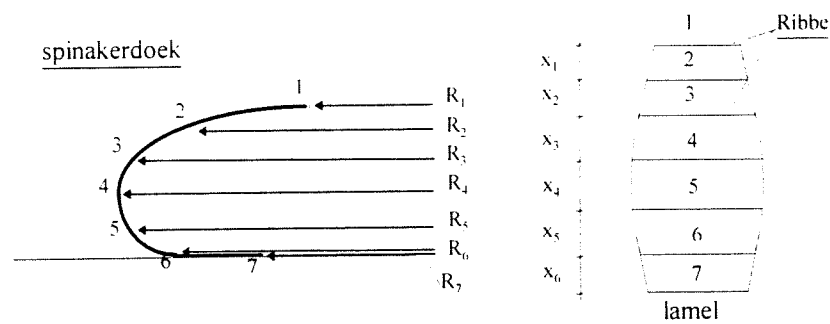
figuur 4.5: krachtenafdracht kering

Hoe groter de straal wordt, hoe groter de naar het midden van de geul gerichte kracht F_H en de kracht in de kabel. Het is het gunstigst om een zo klein mogelijke straal te kiezen. Bij een kleine straal is echter meer doek nodig. Voor de lengte van de straal in prototype is 30 m gekozen. De hoek α is dan 56.4° .

Een waterdichte zijaansluiting wordt gecreëerd door een overmaat aan doek. De hydrostatische druk zorgt ervoor dat het doek tegen de wand wordt aangedrukt. Door het doek van te voren de vorm te geven die het aanneemt in kerende toestand (maximaal verval), wordt een betere afdichting van de doorstroomopening verkregen. In de tussenliggende fasen zal het doek enigszins plooiën bij de aansluiting met de kabels.

Het doek kan gevormd worden door lamellen te maken en die met elkaar te verbinden. De grootte van deze lamellen wordt bepaald door de straal van het doek (paragraaf 4.2.1), de lengte in dwarsdoorsnede (paragraaf 4.2.1) en het aantal lamellen.

De straal bepaalt de lengte van de boog die de geul overspant. Door op verschillende plaatsen van het doek de booglengte te berekenen en deze te delen door het aantal lamellen kan de lengte van de ribbe van de lamel op die plaats bepaald worden. In figuur 4.6 is de opbouw van een lamel weergegeven.



figuur 4.6: opbouw van de lamellen

Hoe groter het aantal lamellen is, hoe beter de vorm van het doek is. Een nadeel hiervan is de grote hoeveelheid naden die ontstaat. De naden vormen een discontinuïteit in het doek, waardoor er spanningsconcentraties in het doek kunnen optreden.

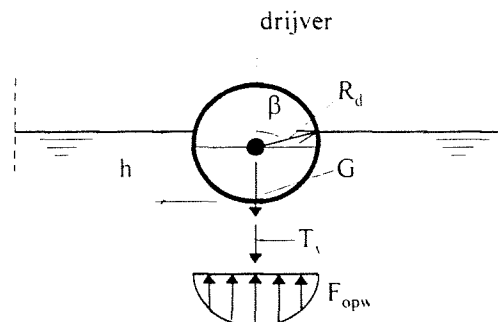
4.2.2 Grootte van de drijvers

In paragraaf 4.2.1 is de vorm van het doek berekend in dwarsdoorsnede. Hieruit komt naar voren dat de bovenkabel door een verticale kracht wordt belast. Om deze kracht tegen te gaan moeten er drijvers aan de bovenkabel gemonteerd worden. Deze drijvers moeten in staat zijn om de verticale kracht op de bovenkabel op te nemen en zo de bovenkabel op de waterspiegel te houden.

Voor de drijvers gelden de volgende aannamen:

- De drijvers zijn cilindercilindrisch.
- De drijvers zijn over de gehele kabellengte aanwezig.
- Materiaal van de drijvers is polystyreen met dichtheid $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$.

Hieronder wordt aangegeven hoe de grootte van de drijvers kan worden uitgerekend.



figuur 4.7: drijfvermogen drijver

$$G = \rho \cdot g \cdot \pi \cdot R_d^2 \quad (4.5)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{h - R_d}{R_d}\right) \quad (4.6)$$

$$F_{opw} = \rho \cdot g \cdot \left(\pi \cdot R_d^2 \cdot \left(1 - \frac{2\beta}{360}\right) + \sqrt{h \cdot (2R_d - h)} \cdot (h - R_d) \right) \quad (4.7)$$

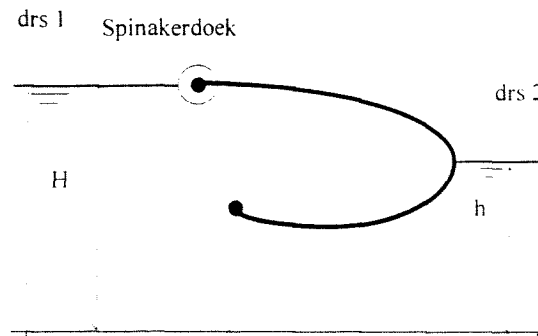
$$\sum V = G + T_v - F_{opw} = 0 \quad (4.8)$$

In tabel 4.1 staat de verticale kracht T_v op de bovenkabel gegeven. De drijvers zijn berekend op een maximale onderdompeling van R ($h = R$). Invullen en oplossen van vergelijkingen (4.5), (4.6), (4.7) en (4.8) geeft een diameter van de drijvers van 1.3 m.

4.2.3 Krachten op de kabels tijdens sluiten

De bepaling van de kracht op de kering tijdens sluiten wordt in eerste instantie voor een dwarsdoorsnede gedaan (zie figuur 4.8). De kracht is bepaald door de

waterstand bovenstrooms en benedenstrooms van de kering en door de stroomsnelheden onder de kering door. Voor het berekenen van de krachten is de impulsbalans gebruikt. Hierbij is uitgegaan van de waterstanden en debieten zoals deze zijn uitgerekend met Duflow (zie paragraaf 3.2.2).



figuur 4.8: zijaanzicht tijdens sluiten

Voor de overdracht van impuls door een dwarsdoorsnede geldt:

$$\vec{F} = \iint (p + \rho \cdot u^2) dA = \iint p dA + \beta \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A \quad (4.9)$$

Hierin is : p = druk (N/m^2).

u = snelheid water (m/s).

U = gemiddelde snelheid over doorgang (m/s).

ρ = soortelijk gewicht water (kg/m^3).

A = oppervlak doorstroomde doorgang (m^2).

β = snelheidsverdelingscoëfficiënt voor impulstransport (-).

In bijlage 4.2 wordt de afleiding van deze formule gegeven. In een horizontale stroming met een vrij oppervlak en diepte d , en een hydrostatische druk variërend van $p = 0$ aan het oppervlak tot $p = \rho g d$ aan de bodem, is de waarde van \vec{F} p.e.v. breedte:

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot d^2 + \beta \cdot \rho \cdot U^2 \cdot d \quad (4.10)$$

De wandweerstand is verwaarloosd waardoor de waarde van de coëfficiënt β 1 is. De dimensie van impulsoverdracht is N/m . Door het verschil in impulsoverdracht in doorsnede 1 (zie figuur 4.8) voor de kering en in doorsnede 2 achter de kering te berekenen wordt de kracht op de kering per strekkende meter bepaald. De kracht vermenigvuldigt met de breedte van de geul geeft de kracht in de richting van de geul, F_Y . De kracht in de kabels is nu uit te rekenen (zie paragraaf 4.2.2). In bijlage 4.3 is de berekende kracht in de kabels weergegeven voor een verticale sluiting (overlaat en onderlaat) en een horizontale sluiting. Daarnaast is ook nog een onderscheid gemaakt in het tijdstip van sluiten. In de volgende paragraaf wordt dit beschreven.

Bij het maximaal te keren verval bedraagt de kracht op de kabels 5297 kN. Deze is gelijk verdeeld over de onder- en bovenkabel. Per kabel komt dit neer op een kracht van 2649 kN.

4.3 Opzet schaalmodelproeven

Bij de uitvoering van schaalmodelproeven is het prototype omgeschaald naar een schaalmodel. De omschaling gebeurt volgens de schaalregels van Froude. De proeven worden uitgevoerd in het Laboratorium van Vloeistofmechanica van de faculteit Civiele Techniek. Bij deze proeven worden er waarnemingen en metingen gedaan t.a.v. stroombeelden en krachten tijdens de transport- en sluitingsfase van de spinakerkering. Daarnaast is een aantal alternatieven getest op uitvoerbaarheid.

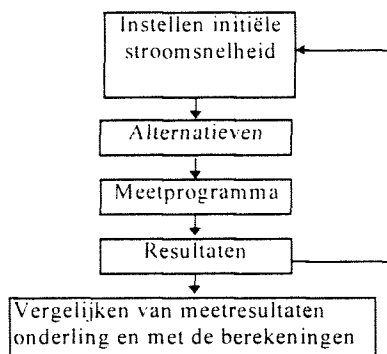
In het model worden de waterstanden boven- en benedenstreams van de kering geregeld. De ingestelde waterstanden zijn afkomstig uit de Duflow berekeningen. De waterstand voor de kering (bovenwaterstand) verschilt met de waterstand achter de kering (benedenwaterstand) tijdens sluiten.

Het begin van transport begint bij verschillende initiële stroomsnelheden. Dit is gedaan om het snelheidsgebied waarbinnen de kering toepasbaar is, te bepalen. De initiële stroomsnelheden zijn: $u_{init,1} = 1.0$ m/s, $u_{init,2} = 1.75$ m/s en $u_{init,3} = 2.5$ m/s. Dit zijn de stroomsnelheden in prototype. Uit een Duflow berekening volgt dat 2.5 m/s ongeveer de maximale snelheid is die optreedt in de Ramsgeul bij open kering. Vlak na het begin van de storm is de snelheid al 1.0 m/s, zodat dit de ondergrens is geworden. De andere snelheid is gekozen omdat deze tussen de 2 uiterste in ligt.

Alle alternatieven (zie paragraaf 5.3 t/m 5.7) worden getest bij de verschillende initiële stroomsnelheden. De parameters en verschijnselen die gemeten en waargenomen worden, staan hieronder vermeld.

- krachten (F) op de kabels tijdens het transport en sluiten.
- wervels en stroomverschijnselen achter de kering.
- translatiegolven (H_T) voor en achter de kering tijdens het sluiten van de kering.

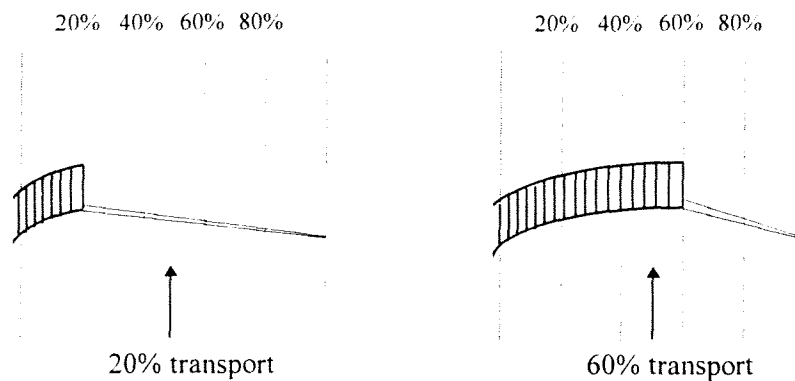
Naast het meten van de optredende verschijnselen wordt ook visueel waargenomen. Deze worden echter niet te gekwantificeerd, maar wel beschreven. In figuur 4.9 is het stroomschema voor de opzet van de proeven te zien.



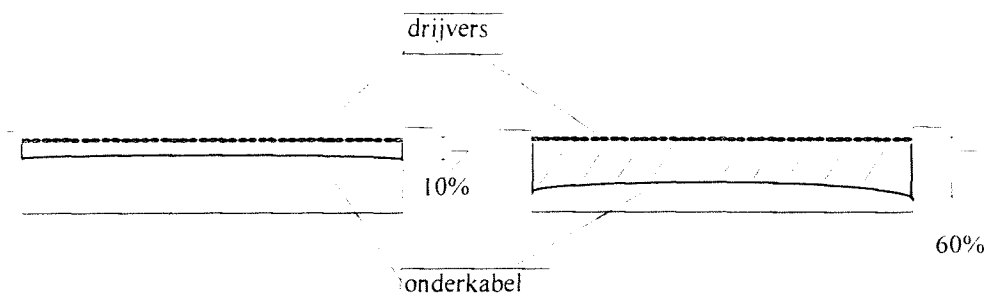
figuur 4.9: stroomschema proeven

De spinakerkering wordt quasi-dynamische getest. Dit houdt in dat de spinaker voor een deel in de stroming wordt gebracht (tijdens transport) of dat de spinaker de doorstroomopening voor een deel afsluit (tijdens sluiten). Hierna worden de bewegingswerken vastgezet. De juiste waterstanden worden boven- en benedenstrooms ingesteld en de krachten in de kabels worden gemeten. Gedurende bepaalde tijd wordt de kracht op de kabels gemeten, zodat de stromingsinvloeden bepaald worden. Ook het optredende stroombeeld wordt in die fase bepaald met behulp van kleurstof en stroomsnelheidsmeters. De reden voor het uitvoeren van de proef op deze manier is dat de krachten en de stroomsnelheden op deze manier makkelijker te meten zijn en dat de resultaten betrouwbaarder zijn doordat er geen onbekende invloeden in de meetresultaten voorkomen.

Het transport vindt plaats in stappen waarbij per stap 20% van de geulbreedte wordt overspannen (zie figuur 4.10). Per sluitingsstap wordt 10% gesloten van de doorstroomopening (zie figuur 4.11). Per stap vindt een meting plaats bij zowel het transport als de sluiting. Per stap worden ook de waterstanden boven- en benedenstrooms aangepast volgens de omgeschaalde gegevens uit Duflow.



figuur 4.10: fasen van transport



figuur 4.11: fasen van sluiten

5. Beschrijving alternatieven

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een aantal alternatieve methoden behandeld voor de bedrijfsfasen, zoals deze zijn vermeld in paragraaf 2.1. In de hierna volgende paragrafen wordt de werking van deze methoden tijdens deze fasen gepresenteerd. De aandacht gaat voornamelijk uit naar de transport- en sluitingsfase, omdat hierbij de meeste problemen worden verwacht (zie probleemstelling). Er volgt een beschrijving van de alternatieven en van de verwachte werking van de kering. De alternatieven worden getoetst in schaalmodelproeven (zie hoofdstuk 4).

In paragraaf 5.2 van dit hoofdstuk wordt eerst een aantal punten gegeven, waar elk alternatief op beoordeeld wordt. Deze beoordelingspunten leiden tot een kwalitatieve en kwantitatieve beoordeling. Vervolgens worden in paragraaf 5.3 t/m 5.7 de alternatieven besproken, waarbij het verloop van de krachten en het verloop van het stroombeeld rond de kering per alternatief wordt besproken. In de laatste paragraaf wordt een overzicht gegeven van de verwachte uitkomsten.

De alternatieven die worden besproken, staan hieronder vermeld:

- *Nul-alternatief: verticale sluiting*

Dit is het referentie alternatief voor de proeven. Hierbij zijn geen maatregelen genomen om het uitvouwen van het doek tijdens het transport te voorkomen (zie paragraaf 5.3, figuur 5.2).

- *Spinakerdoek met scherm*

Bij dit alternatief worden de boven- en onderkabel tijdens het transport bij elkaar gehouden door een flexibel scherm. Dit scherm moet instroming van water in het doek tijdens transport voorkomen (zie paragraaf 5.4, figuur 5.6).

- *Spinakerdoek in een hoes*

Het doek met de drijvers is opgeborgen in een flexibele hoes. Deze hoes wordt getransporteerd. Zo wordt instroom van water in het doek voorkomen tijdens transport. Na het transport wordt de hoes verwijderd (zie paragraaf 5.5, figuur 5.9).

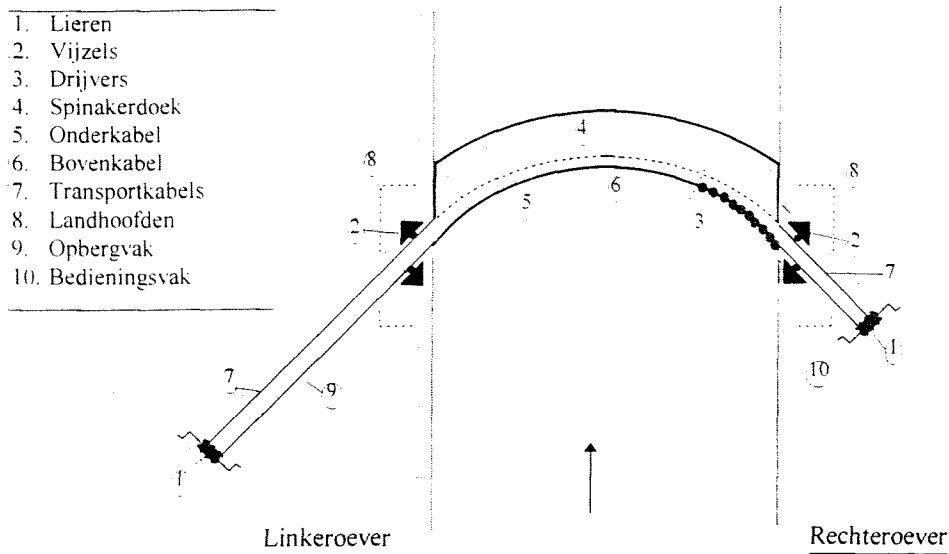
- *Zwevend transport, sluiting van hoven naar beneden*

Bij dit alternatief vindt het transport plaats door de spinaker alleen aan de bovenkabel over te trekken. De rest van het doek ligt vrij in de stroom (zie paragraaf 5.6, figuur 5.11).

- *Zwevend transport, sluiting van beneden naar boven*

Nu wordt de spinaker alleen aan de onderkabel overgetrokken, waarbij de rest van het doek vrij in de stroom ligt (zie paragraaf 5.7, figuur 5.13).

In figuur 5.1 worden alle functionele onderdelen van de spinakerkering weergegeven met de benaming erbij. In de rest van dit hoofdstuk wordt de benaming volgens figuur 5.1 aangehouden.



figuur 5.1: overzicht functionele onderdelen spinakerkering

5.2 Beoordelingspunten v/d sluitingsprocedures v/d Spinakerkering

Hieronder worden beoordelingspunten gegeven aan de hand waarvan de spinakerkering wordt beoordeeld. Met deze punten kan een kwalitatief oordeel over de alternatieven gegeven worden.

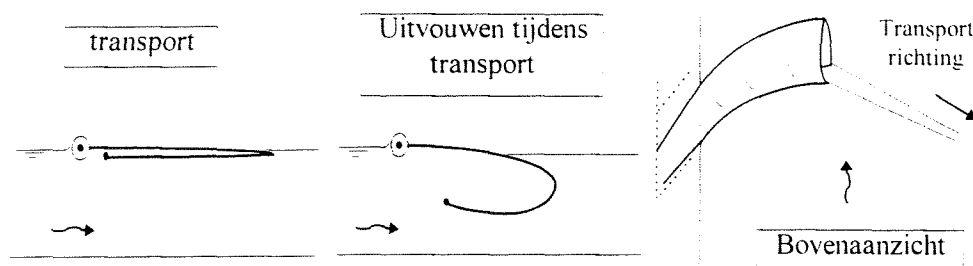
- Een plotselinge afsluiting van de doorstroomopening kan een translatiegolf opwekken. Dit is echter niet gewenst en moet zoveel mogelijk worden vermeden.
- Door schuren van het doek langs de betondrempel of de landhoofden tijdens transport en sluiten kan een grote slijtage van het doek optreden. Hierdoor wordt de levensduur van het materiaal verkort. Dit zal zoveel mogelijk moeten worden voorkomen.
- De onderdelen van de kering die de krachten opnemen, moeten goed functioneren onder belasting. Dit geldt voor zowel het doek en de kabels, als de landhoofden en de bewegingswerken (de vijzels en de lieren). Bij een lage kracht op het doek tijdens transport kunnen lichte lieren worden gebruikt.
- Dynamische belastingen moeten zoveel mogelijk worden voorkomen. Deze geven een extra belasting op het materiaal, waardoor de levensduur van het materiaal kan worden verkort (vermoeding van het materiaal).
- Beheersbaarheid van het transport en van het sluiten: de kering moet binnen een bepaalde tijd gesloten worden, waarbij de procedure die doorlopen moet worden op een voorspelbare manier verloopt. Bij herhaling van de procedure

moet het proces op min of meer dezelfde manier en in dezelfde tijd verlopen als voorgaande transport- en sluitingsprocedures.

- Bij de beoordeling van de alternatieven moet ook rekening worden gehouden met de belasting op de bodembescherming achter de kering. Gestreefd wordt naar een zo gespreid mogelijke stroming tijdens sluiten. Hierdoor wordt de bodembescherming minder zwaar aangevallen en kan deze lichter uitgevoerd worden.

5.3 Nul alternatief: horizontale sluiting

Het nul alternatief dient als referentie-alternatief. De andere alternatieven worden met het nul-alternatief vergeleken. Dit alternatief werkt zoals is beschreven in de inleiding en in hoofdstuk 2 (zie figuur 5.2). Er worden geen maatregelen genomen om het spinakerdoek te behoeden voor uitvouwen tijdens het transport. Hieronder is beschreven hoe de kering zich in de verschillende bedrijfsfasen gedraagt.



figuur 5.2: transport nul alternatief

Kering in rust

- De spinaker bevindt zich in de opbergkas.

Transport

- De transportkabels van de rechteroever worden met de hoofdkabels van de spinaker op de linkeroever verbonden.
- De lieren gaan draaien en trekken het spinakerdoek naar de overkant. Hierbij zal het spinakerdoek uitvouwen, doordat het water in het doek stroomt.

Sluiten

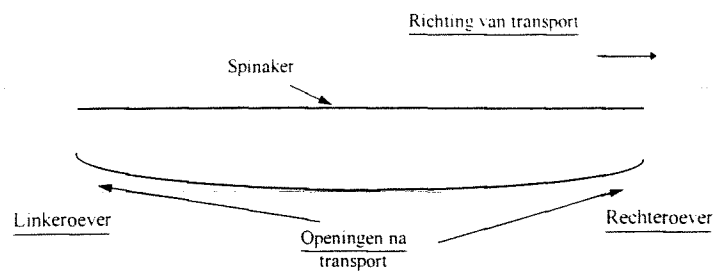
- De beide hoofdkabels worden aan de vijzels op de linker- en rechteroever gekoppeld.
- De vijzels van de onderkabel worden naar beneden gedrukt, zodat het spinakerdoek zich verder uitvouwt en de geul wordt afgesloten.
- De vijzels van de bovenkabel volgen de waterstand.

Openen en opbergen

- De kering wordt geopend bij een verval van 0 m.
- De onderkabel wordt met behulp van de vijzels weer naar boven gebracht tot op de waterlijn. Daarna worden de kabels losgekoppeld van de vijzels en worden doek en kabels, opnieuw door middel van lieren, weer in de kas teruggetrokken.

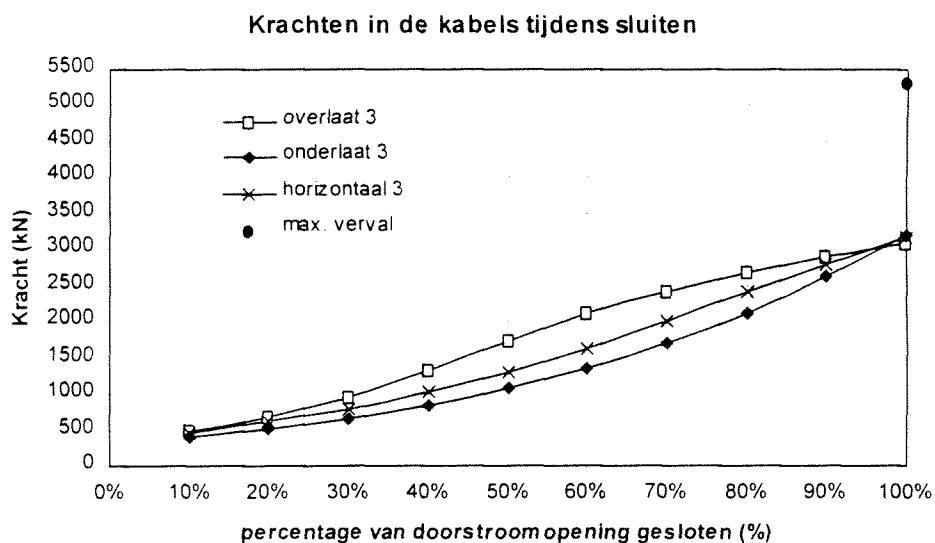
5.3.1 Voorspelling krachten op de kabels

Bij het oriënterende onderzoek van het Waterloopkundig Laboratorium naar de spinakerkering bleek dat het doek uitvouwt tijdens transport. Hierbij raakt de onderkabel na ongeveer 15 m de drempel en wordt deze verder over de drempel getrokken. Naarmate het transport vordert, wordt de stromingsweerstand groter, zodat de lieren een grotere kracht moeten leveren. Tijdens het transport bij de WL proeven sloot het doek de doorstroomopening aan het eind van het transport voor $\pm 70\%$ af. De vorm van het doek is weergegeven in figuur 5.3.



figuur 5.3: vorm doek bij einde transport (vooraanzicht).

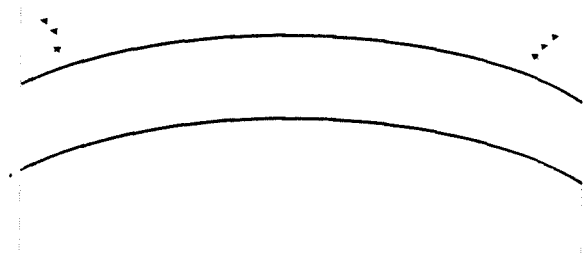
De kracht die op de kering werkt, is berekend met de impulsbalans (zie hoofdstuk 4). Voor de berekening van deze kracht zijn de waterstanden en stroomsnelheden uit de Duflow berekeningen gebruikt. In de grafiek van figuur 5.4 is het verloop van de kracht uitgezet tegen het sluitingspercentage van de doorstroomopening. Deze grafiek is gebaseerd op een late sluiting ($u_{\text{min}} = 2.5$ m/s, zie paragraaf 4.3). De kracht op de kering is weergegeven voor zowel een horizontale als een verticale sluiting. Hierbij is de verticale sluiting onderscheiden in een sluiting van boven naar beneden (onderlaat) en een sluiting van beneden naar boven (overlaat). In bijlage 4.3 zijn de krachten bij lagere stroomsnelheden weergegeven.



figuur 5.4: verloop van de kracht op de kering tijdens sluiten

5.3.2 Verwacht stroombeeld

- Na het transport van het doek is er zowel aan de linker- als de rechteroever een opening (zie figuur 5.3). Door deze openingen zal een hoeveelheid water stromen die afhankelijk is van het verval. Het stroombeeld direct na transport zal eruit zien zoals in figuur 5.5 is aangegeven.

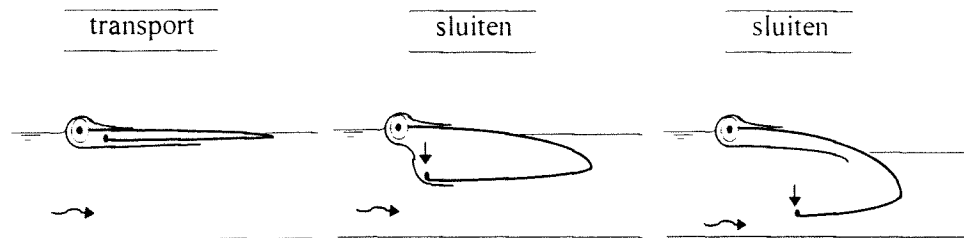


figuur 5.5: stroombeeld direct na transport

Tijdens het sluiten zal de opening aan de rechterzijde het eerst sluiten. De hoeveelheid water die door de linkeropening stroomt zal afnemen, doordat de doorstroomopening steeds kleiner wordt.

5.4 Alternatief 1: Spinakerdoek met scherm

Bij dit alternatief is er een scherm aan de bovenkabel gemonteerd. Het scherm wordt voor- en onderlangs de onderkabel gebracht. Dit scherm zorgt ervoor dat tijdens het transport de stroom om de onderkabel heen wordt geleid, zodat het spinakerdoek niet volstroomt met water (zie figuur 5.6). Zodra het transport is afgelopen en de kabels met de vijzels zijn verbonden, kan de kering worden gesloten. Dit gebeurt door de onderkabel naar beneden te brengen. Het scherm vouwt dan geleidelijk mee uit. Hierdoor komt er meer druk op het scherm en zal het scherm in het doek vouwen. De spinaker stroomt dan vol met water.



figuur 5.6: spinaker met scherm (dwarsdoorsnede)

Kering in rust

- De spinaker bevindt zich in het opbergvak met een scherm netjes voor- en onderlangs de onderkabel.

Transport

- De rechter- en linker transportkabels worden aan de spinaker bevestigd.
- De spinaker met het scherm wordt van de linkeroever naar de rechteroever getransporteerd. De lieren op de rechteroever trekken de spinaker met het scherm over.
- De hoofdkabels van de spinaker worden aan de vijzels op de rechter- en linkeroever bevestigd.

Sluiting

- De vijzels voor de onderkabel worden naar beneden gebracht, waardoor de onderkabel naar beneden gaat. Hierdoor ontstaat er ruimte tussen de onder- en bovenkabel. Het scherm wordt tussen deze ruimte door het doek ingedrukt. Het doek vult zich dan met water.
- Zodra de kabel over de gehele breedte van de geul op de drempel ligt, is de kering gesloten.

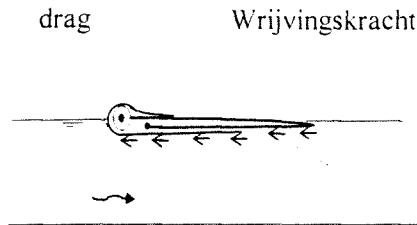
Openen en opbergen

- De kering wordt geopend bij een verval van 0 m over de kering.
- De onderkabel wordt met behulp van de vijzels weer naar boven gebracht tot aan de waterlijn. Daarna worden de kabels losgekoppeld van de vijzels en worden doek en kabels, opnieuw door middel van lieren, weer in de opbergkas getrokken.

- In de opbergkas moet het scherm weer in de juiste positie gebracht worden voor een volgende sluiting.

5.4.1 Voorspelling krachten in de kabels

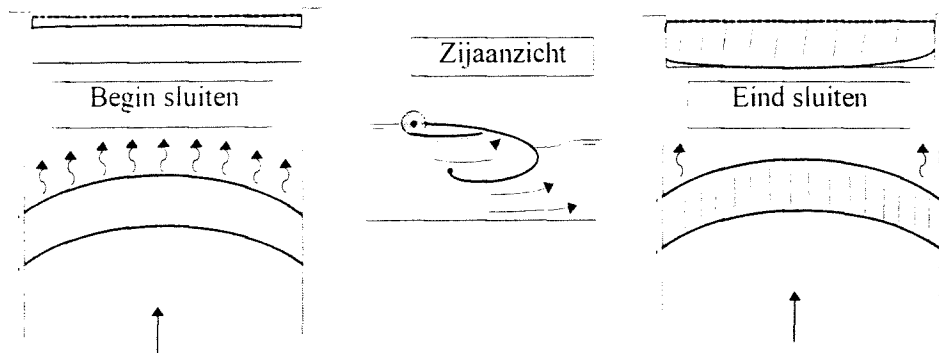
Tijdens het transport zal de kracht op de spinaker klein zijn. Het doek drijft op het water en de enige kracht die de lieren moet overwinnen is de wrijvingskracht van het water langs het doek en drag (zie figuur 5.7). De kracht op de kabels tijdens het sluiten is uitgerekend met de impulsbalans voor een onderlaat (zie figuur 5.4 en bijlage 4.3).



figuur 5.7: wrijvingskracht tijdens transport

5.4.2 Verwacht stroombeeld

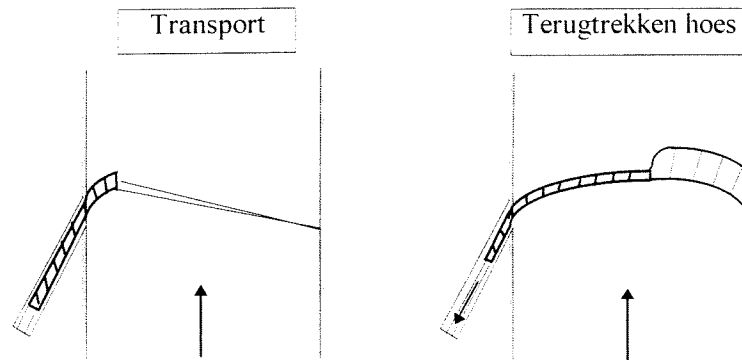
Er vindt een verticale sluiting plaats, waarbij er gedurende geruime tijd over de gehele breedte van de geul een doorstroomopening zal zijn. Door deze relatief grote doorstroomopening blijven de stroomsnelheden laag. Omdat het doek een grote lengte heeft (19.79 m, zie paragraaf 4.2.2) en een relatief lange onderkabel (kleine straal, zie paragraaf 4.2.2), zal het doek gedurende het naar beneden brengen van de onderkabel, het midden van de geul al afsluiten. Aan de zijkanten bevinden zich nog openingen omdat de onderkabel nog niet geheel naar beneden gedrukt is. Door de onderkabel helemaal naar de drempel te brengen, worden deze openingen in een korte tijd gesloten (zie figuur 5.8, eind sluiten).



figuur 5.8: stroombeeld tijdens sluiten

5.5 Alternatief 2: Spinakerdoek in hoes

Bij dit alternatief is het doek met drijvers opgeborgen in een hoes. Het doek wordt in de hoes de geul overgetrokken, waarbij de hoes de spinaker verhindert open te vouwen. Zodra de transportfase is afgelopen, worden de hoofdkabels aan de vjzels bevestigd. Hierna wordt de hoes van rechts naar links in het opbergvak getrokken. Als dit voltooid is, wordt de onderkabel met de vjzels naar beneden gedrukt. Zodra de onderkabel op de drempel ligt, is de kering gesloten.



figuur 5.9: spinaker met hoes

Kering in rust

- De spinaker bevindt zich opgeborgen in een hoes in het opbergvak.

Transport

- De transportkabels worden aan de hoes en de spinaker bevestigd.
- De spinaker, in de hoes, wordt van de linkeroever naar de rechteroever getransporteerd.
- De hoofdkabels van de spinaker worden aan de vjzels op de rechteroever gekoppeld.
- De hoofdkabels aan de linkeroever zijn nog niet aan de vjzels gekoppeld.

Sluiting

- De hoes wordt van de transportkabels losgekoppeld.
- De hoes wordt naar links weggetrokken, het opbergvak in. Hierdoor komt de spinaker vrij in het water.
- De hoofdkabels op de linkeroever worden aan de vjzels bevestigd.
- De vjzels voor de onderkabel worden naar beneden gebracht, waardoor de onderkabel naar beneden gaat.
- Zodra de kabel over de gehele breedte van de geul op de drempel ligt, is de kering gesloten.

Openen en opbergen

- De kering wordt geopend bij een verval over de kering van 0 m.
- De onderkabel wordt met behulp van de vjzels weer naar boven gebracht tot aan de waterlijn. Daarna worden de kabels losgekoppeld van de vjzels en worden doek en kabels, opnieuw door middel van lieren, weer in de opbergkas getrokken. In de opbergkas wordt de hoes weer om het spinakerdoek bevestigd.

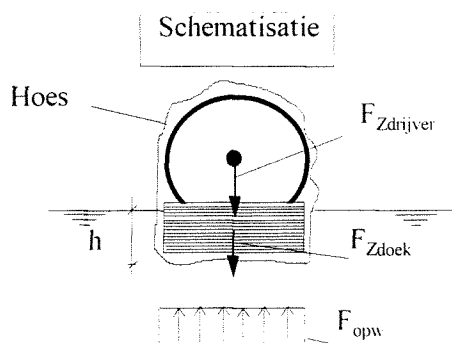
5.5.1 Voorspelling krachten op de kabels

De weerstand van het doek tijdens transport zal gering zijn. Uit figuur 5.9 volgt dat de spinaker in de hoes met een bepaalde diepte in het water ligt. Deze diepte kan ongeveer worden bepaald. Aangenomen wordt dat de drijvers van polystyreenschuim worden gemaakt. Het soortelijk gewicht van dit materiaal bedraagt 30 kg/m^3 . Voor het soortelijk gewicht van het doek wordt verwezen naar paragraaf 3.3. In paragraaf 4.2.3. is de grootte van de diameter van de drijvers uitgerekend, $D = 1.3 \text{ m}$.

Drijver:	ρ_d	$= 30 \text{ kg/m}^3$
	diameter	$= 1.3 \text{ m}$ (paragraaf 4.2.2)
Doek:	lengte	$\pm 20 \text{ m}$ (paragraaf 4.2.1)
	dikte doek (incl. coating)	$= 4 \text{ mm}$ (paragraaf 3.3)
	ρ_{doek}	$= 450 \text{ g/m}^2$ (paragraaf 3.3)

Drijver en spinakerdoek in hoes:

- Het doek wordt tegen elkaar aangedrukt door de waterdruk. Het gewicht van het doek is per strekkende meter bedraagt 9 kg.
- Voor de berekening van de diepgang wordt voor de vorm van het doek van een rechthoek uitgegaan. In figuur 5.10 is een schematisatie weergegeven van het doek met drijver in de hoes.



figuur 5.10: schematisatie van het doek met drijvers in hoes

$$F_{Zdrijver} = \pi \cdot r^2 \cdot \rho_d \cdot g$$

$$F_{Zdoek} = 9.0 \cdot g$$

$$F_{opw} = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot 1.0$$

$$\sum V = F_{Zdrijver} + F_{Zdoek} - F_{opw} = 0$$

Bij benadering is de diepgang h van het doek nu te berekenen. De diepgang h bedraagt $\pm 0.05 \text{ m}$. Dit is 1.3 % van de diepte van de geul. De kracht die het stromende water op de hoes uitoefent, is erg klein. Deze kracht wordt veroorzaakt door wrijving van de hoes met het water en drag (zie paragraaf 5.4.1, figuur 5.7).

De krachten op de kering tijdens sluiten verlopen zoals is uitgerekend met de impulsbalans voor een onderlaat (zie figuur 5.4 en bijlage 4.3).

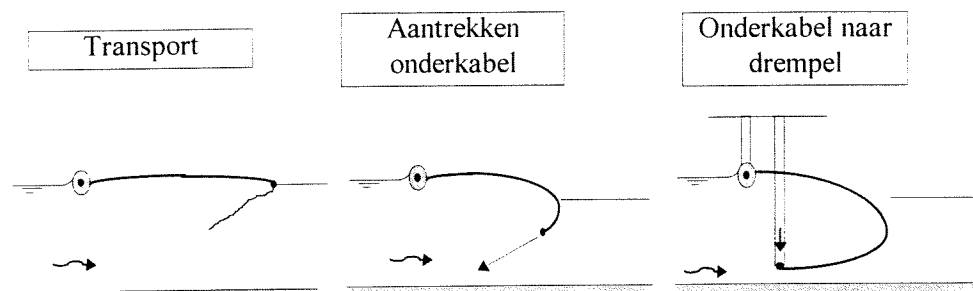
5.5.2 Verwacht stroombeeld

Het stroombeeld tijdens transport zal nauwelijks worden verstoord, omdat de hoes maar een geringe diepgang heeft. Tijdens het wegtrekken van de hoes zal het doek aan de kant waar de hoes weg is vrij bewegen in de stroom. Daar zal een grotere stroomweerstand ontstaan, zodat een iets onrustiger stroombeeld ontstaat. Zolang het doek geen water vangt, zal er echter niet veel veranderen aan het stroombeeld in de geul.

Tijdens het sluiten van de kering wordt de onderkabel gelijkmatig naar de drempel gebracht. Er vindt een verticale sluiting plaats, waarbij er gedurende geruime tijd, over de gehele breedte van de geul, een doorstroomopening zal zijn. Hierdoor bestaat er een relatief grote doorstroomopening, waardoor de stroomsnelheden laag blijven. Tijdens het naar beneden brengen van de onderkabel zal eerst het midden van de geul worden afgesloten. Aan de zijkanten bevinden zich nog openingen, omdat de onderkabel nog niet geheel naar beneden gedrukt is. Door de onderkabel helemaal naar de drempel te brengen worden deze openingen in een korte tijd gesloten (zie figuur 5.8, einde sluiting).

5.6 Alternatief 3: zwevend transport met sluiting van boven naar beneden

Het doek wordt aan de bovenkabel naar de overkant getrokken. De onderkabel is geheel vrij, maar wel met de transportkabels verbonden. Deze transportkabels zijn tijdens het transport geheel gevierd. Het doek zweeft als het ware op het water (zie figuur 5.11). Als de bovenkabel aan de overkant is aangekomen, wordt deze aan de vijzels bevestigd. De onderkabel wordt dan met behulp van lieren naar de vijzels voor de onderkabels toegetrokken. Deze bevinden zich ergens tussen het wateroppervlak en de bodem. Zodra de onderkabel in positie is, wordt deze bevestigd aan de vijzels en wordt het laatste stukje naar beneden gedrukt.



figuur 5.11: zwevend transport met sluiting van boven naar beneden

Kering in rust

- De spinaker bevindt zich in het opbergvak.
- De transportkabels aan de linkeroever zijn aan de hoofdkabels bevestigd.

Transport

- De transportkabel van de rechteroever wordt aan de bovenkabel bevestigd. Aan de onderkabel wordt ook de rechter transportkabel vastgemaakt, maar geheel gevierd gelaten.
- Het doek wordt aan de bovenkabel naar de overkant getrokken.
- De lieren trekken de onderkabel niet aan tijdens het transport, zodat het doek zich “zwevend” in de stroom bevindt. Door de lieren genoeg te vieren, wordt voorkomen dat het doek water vangt.
- De bovenkabel wordt zowel links als rechts aan de vijzels vastgemaakt.

Sluiting

- Sluiten gebeurt door het aantrekken van de transportkabels die aan de onderkabel van de spinaker bevestigd zijn. De transportkabels gaan via de vijzels naar de onderkabel. De vijzels zijn al voor een deel naar beneden gebracht, zodat de onderkabel naar beneden wordt getrokken.
- Zodra de onderkabel geheel is aangetrokken wordt deze aan de vijzels gekoppeld.
- De vijzels worden verder naar beneden gebracht, totdat de onderkabel op de bodem ligt.

Openen en opbergen

- De kering wordt geopend bij een verval over de kering van 0 m.
- De onderkabel wordt met behulp van de vijzels weer naar boven gebracht tot aan de waterlijn. Daarna worden de kabels losgekoppeld van de vijzels en worden doek en kabels, opnieuw door middel van lieren, weer in de kas teruggetrokken.

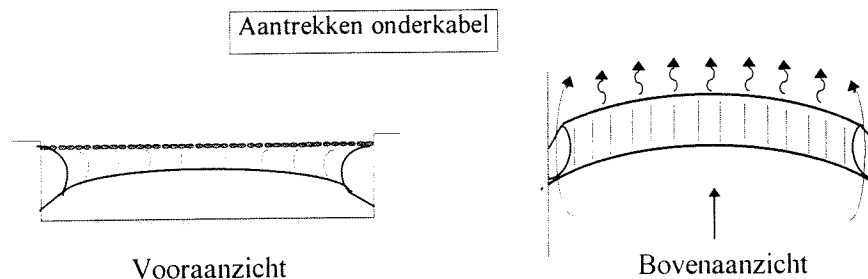
5.6.1 Voorspelling krachten op de kabels

Tijdens het transport zullen de krachten op het doek en de kabels gering zijn. De kracht op de kabels wordt veroorzaakt door de wrijving van het water met het doek. Omdat het doek is voorgevormd (zie paragraaf 4.2.1) zal het doek de neiging hebben bol te gaan staan (zie figuur 5.11).

De doorstroomopening wordt verticaal afgesloten. Bij deze sluiting moet de kracht op de onderkabel echter worden opgenomen door de lieren, totdat de onderkabel aan de vijzels is vastgemaakt. De instelling van de hoogte van de vijzels moet nog worden bepaald. Daarbij bepaalt de hoogte waarbij de minste kracht op de kabels komt, bepaalt de instelling. De krachten die op de kabels komen, staan vermeld in figuur 5.4 en bijlage 4.3 bij onderlaat.

5.6.2 Verwacht stroombeeld

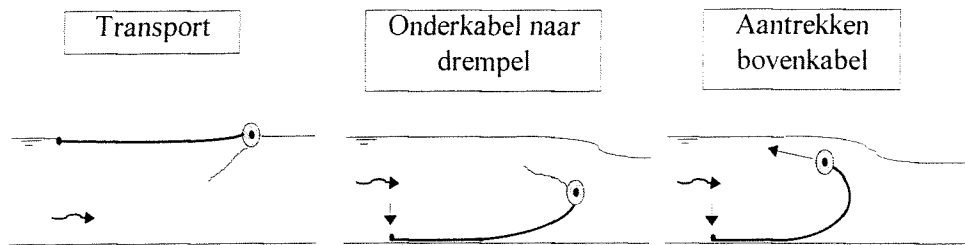
Het stroombeeld tijdens het transport wordt nauwelijks verstoord. Bij het sluiten zal de stroom zich vooral concentreren in het midden van de geul. Dit komt doordat het doek aan de zijkanten naar beneden wordt getrokken (zie figuur 5.12). Bij de aansluiting van het doek op de landhoofden zullen ook geconcentreerde stromingen ontstaan, omdat het doek daar niet geheel aansluit. In figuur 5.12 is een plaatje te zien, waarin de stromingen zijn aangegeven.



figuur 5.12: stroombeeld zwevende sluiting

5.7 Alternatief 4: zwevend transport met sluiting van beneden naar boven

Het doek wordt zwevend aan de onderkabel naar de overkant getransporteerd, waarna de onderkabel met de vijzels naar de bodem wordt gebracht. De bovenkabel is dan nog geheel vrij en zal ergens in het water zweven tussen bodem en wateroppervlak. Door de bovenkabel d.m.v. lieren naar boven te trekken, wordt de kering gesloten. Zodra de bovenkabel bij de vijzels is aangekomen, zal deze aan de vijzels worden vastgemaakt. Daarna kan de juiste hoogte van de kering ingesteld worden.



figuur 5.13: zwevend transport met sluiting van beneden naar boven

Kering in rust

- De spinaker bevindt zich in het opbergvak.
- De transportkabels aan de linkeroever zijn aan de hoofdkabels bevestigd.

Transport

- De transportkabel van de rechteroever wordt met de onderkabel verbonden. Aan de bovenkabel wordt ook de rechter transportkabel vastgemaakt.
- Het doek wordt aan de onderkabels naar de overkant getrokken.
- De lieren trekken de bovenkabel niet aan tijdens het transport, zodat het doek zich “zwevend” in de stroom bevindt.
- De onderkabel wordt aan de vijzels vastgemaakt.

Sluiting

- De onderkabel wordt door de vijzels naar de bodem gebracht.
- De doorstroomopening is nu voor een deel gesloten. Dit komt omdat er aan de bovenkabel drijvers zijn gemonteerd die ervoor zorgen dat deze kabel zich ergens tussen de bodem en het wateroppervlak bevindt. Het verval over de kering bepaalt de mate van afsluiting.
- Sluiten gebeurt door het aantrekken van de transportkabels die met de bovenkabel van de spinaker verbonden zijn.
- Zodra de bovenkabel geheel is aangetrokken, wordt deze aan de vijzels vastgemaakt.
- De vijzels van de bovenkabel worden ingesteld op de juiste waterstand.

Openen en opbergen

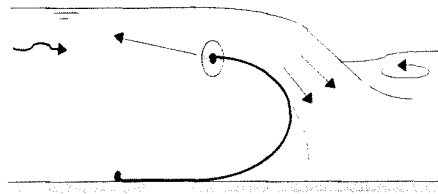
- De kering wordt geopend bij een verval over de kering van 0 m.
- De onderkabel wordt met behulp van de vijzels weer naar boven gebracht tot op de waterlijn. Daarna worden de kabels losgekoppeld van de vijzels en worden doek en kabels, opnieuw door middel van lieren, weer in de kas teruggetrokken.

5.7.1 Voorspelling krachten op de kabels

Tijdens het transport is de kracht op de onderkabel klein. Deze kracht wordt veroorzaakt door de wrijving van het water met het doek en de drijvers en door drag. Tijdens het sluiten vangt het doek water en neemt de kracht op de onderkabel toe. Bij dit alternatief wordt er van onder naar boven gesloten, waardoor er een overlaat ontstaat. De kracht die op het doek komt, wordt via de onderkabel en de bovenkabel naar de vijzels en de lieren afgedragen. Tijdens het sluiten moet er door de lieren een bepaalde kracht worden geleverd, totdat de bovenkabel aan de vijzels is vastgemaakt. Daarna neemt de vijzel de kracht van de bovenkabel op. Het verloop van de kracht staat vermeld in figuur 5.4 en bijlage 4.3, voor een overlaat.

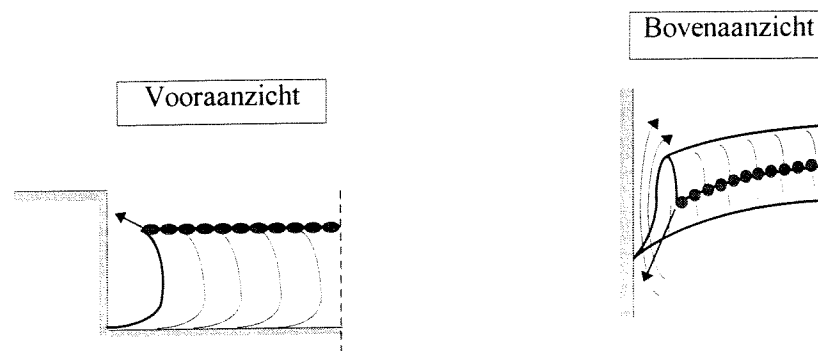
5.7.2 Verwacht stroombeeld

Bij het transport zal er niet veel weerstand zijn, net als bij het alternatief 3 (paragraaf 5.6). Zodra de onderkabel naar beneden wordt gebracht, veroorzaakt het doek in de stroom een bepaalde weerstand. Het water stroomt over het doek heen en achter het doek vormen zich neren (zie figuur 5.14). Zodra de bovenkabel wordt aangetrokken, vangt het doek water. Er ontstaat een overlaat waar het water overheen stroomt (zie figuur 5.14). De hoeveelheid water die over het doek stroomt neemt af naarmate de kering verder gesloten is. De aanval op de bodem achter de kering wordt minder.



figuur 5.14: overlaat

Bij de aansluiting van het doek op de landhoofden zal tijdens het sluiten een sterk geconcentreerde stroming ontstaan (zie figuur 5.15). Deze stroming zal voornamelijk de bodembescherming bij de landhoofden aanvallen. In een verder stadium van sluiten zal de stroming daar afnemen, omdat het doek de zijkanten dan beter afsluit.



figuur 5.15: aansluiting doek op landhoofd

5.8 Samenvatting van de besproken alternatieven

In tabel 5.1 wordt een samenvatting van bovenstaande beschrijvingen gegeven. In de eerste kolom staan de beoordelingspunten uit paragraaf 5.2 vermeld. In de andere kolommen staan deze punten per alternatief beschreven.

	Alternatief 0	Alternatief 1	Alternatief 2	Alternatief 3	Alternatief 4
Beoordelingspunten					
Opwekken translatie- golven	Kans op ontstaan van translatiegolven doordat in het begin van transport water vangt.	Grote kans op het ontstaan van translatiegolven, doordat doek plotseling water kan vangen zodra de onderkabel onder het scherm vandaan komt.	Translatiegolven die hier optreden zullen erg klein zijn a.g.v. de geleidelijke sluiting.	Translatiegolf die optreedt zal niet groot zijn door geleidelijke sluiting.	Translatiegolf die optreedt zal niet groot zijn door geleidelijke sluiting.
Slijtage van het doek	Onderkabel schuurt over de bodem. De slijtage zal groot zijn. Daarnaast schuurt het doek tegen de landhoofden	Het doek schuurt aan de zijanten tegen de landhoofden. Daar zal enige slijtage v/h doek optreden.	Aan de zijanten schuurt het doek tegen de landhoofden.	Aan de zijanten schuurt het doek tegen de landhoofden.	Aan de zijanten schuurt het doek tegen de landhoofden.
Kracht op functionele onderdelen					
1) De lieren	Tijdens transport komen er grote krachten op het doek en de lieren. 70% tijdens sluiten (zie bijlage 4.3)	Lage kracht op de lieren. Tussen de 0% en 10% uit krachtengrafiek (zie bijlage 4.3).	Lage kracht op de lieren. Tussen 0% en 10% uit krachtengrafiek (zie bijlage4.3).	Hoge kracht op de lieren v/d onderkabel. Tussen 50% en de 70% uit krachtengrafiek (zie bijlage 4.3)	Hoge kracht op de lieren v/d onderkabel. Tussen 50% en de 70% uit krachtengrafiek (zie bijlage 4.3)
2)De vizels	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.
3) Het doek/ de kabels	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.
4) De landhoofden	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.	Grootste kracht bij max. verval.
Dynamische belasting	Tijdens transport wordt het doek dynamisch belast t.g.v. stromingen.	Redelijk lage dynamische belastingen door geleidelijke sluiting	Redelijk lage dynamische belastingen door geleidelijke sluiting	Grote dynamische belastingen, omdat de kering tegen de stroom in gesloten wordt.	Grote dynamische belastingen, omdat de kering tegen de stroom in gesloten wordt.
Beheersbaarheid	Niet goed beheersbaar.	Beheersbaar.	Beheersbaar.	Redelijk beheersbaar	Redelijk beheersbaar
Stromingen	Geconcentreerde stroom aan de linkerkant	Stroming verspreid over gehele breedte	Stroming verspreid over gehele breedte	Stroming grotendeels gespreid. Concentratie aan zijanten.	Stroming grotendeels gespreid. Concentratie aan zijanten.

6. Modellering en meetprogramma

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het schaalmodel is opgezet. Daartoe zijn eerst de schaalfactoren gegeven. Deze bepalen de verscaling ten opzichte van het prototype. De hydraulische randvoorwaarden zijn omgeschaald in paragraaf 6.2. De daarop volgende paragraaf behandelt de manier waarop de waterstanden in het model worden ingesteld. Daarna worden de geometrische vorm van het model en de uitvoering van de stroomgoot behandeld. Als laatste worden de uit te voeren proeven behandeld.

Hieronder worden de schaalfactoren gepresenteerd. Het model is geometrisch gelijkvormig volgens de schaalregel van Froude. Bij toepassing van een te kleine schaal wordt de waarneming bemoeilijkt. Er wordt voor een lengte/hoogte schaal van 1:25 gekozen. Dit geeft voor de andere schaalfactoren de volgende waarden:

<i>lengte /hoogte (m)</i>	$n_l = n_h = 25$	
<i>tijd (s)</i>	$n_t = \sqrt{\frac{n_l}{n_g}} = 5$	$(n_g = 1)$
<i>snelheid (m/s)</i>	$n_v = \sqrt{n_l \cdot n_g} = 5$	
<i>debiet (m³/s)</i>	$n_Q = n_v \cdot n_l \cdot n_h = 5 \cdot 25 \cdot 25 = 3125$	
<i>kracht (N)</i>	$n_F = n_{\rho^2} \cdot n_l \cdot n_h = n_l^3 = 15625$	$(\eta_\rho = 1)$
<i>frequentie (1/s)</i>	$n_f = \frac{1}{n_t} = 0.2$	

6.2 Hydraulische randvoorwaarden model

In paragraaf 4.3 is aangegeven dat het transport van de spinaker in de proeven bij verschillende stroomsnelheden wordt ingezet. De groottes van deze initiële stroomsnelheden bedragen 1.0 m/s, 1.75 m/s en 2.5 m/s voor het prototype.

De bijbehorende waterstanden zijn te bepalen uit de Duflow-berekeningen, zoals deze in bijlage 3.1 zijn opgenomen. In tabel 6.2 zijn de waterstanden vermeld, zoals ze optreden in prototype.

	<i>Stroomsnelheid t.p.v. kering</i>		
	<i>Prototype</i>	<i>Prototype</i>	<i>Prototype</i>
	<i>1.0 m/s</i>	<i>1.75 m/s</i>	<i>2.5 m/s</i>
Waterstand voor kering (NAP + (m))	-0.11	0.10	0.48
Waterstand achter kering (NAP + (m))	-0.17	-0.09	0.11
Maximale waterstand voor kering (NAP + (m)).	2.60	2.60	2.60
Minimale waterstand achter kering (NAP + (m)).	-1.25	-1.25	-1.25
Maximaal verval over kering (m).	3.85	3.85	3.85

tabel 6.1: waterstanden prototype

De waarden in tabel 6.1 zijn bepaald bij een geheel open kering. In tabel 6.2 zijn de randvoorwaarden voor het prototype omgerekend naar modelwaarden met de schaalfactoren vermeld in paragraaf 6.1. Bij de waterstanden uit tabel 6.1 moet nog 4 m worden opgeteld, om in het model de waterstanden t.o.v. de bodem te verkrijgen.

	<i>Stroomsnelheid t.p.v. kering</i>		
	<i>Model</i>	<i>Model</i>	<i>Model</i>
	<i>0.2 m/s</i>	<i>0.35 m/s</i>	<i>0.5 m/s</i>
Waterstand voor kering (m)	0.155	0.164	0.179
Waterstand achter kering (m)	0.153	0.156	0.164
Maximale waterstand voor kering (m).	0.264	0.264	0.264
Minimale waterstand achter kering (m).	0.110	0.110	0.110
Maximaal verval over kering (m).	0.154	0.154	0.154

tabel 6.2: waterstanden in model

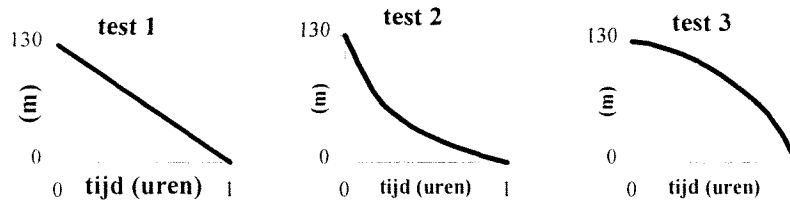
Voor de waarden van de in te stellen waterstanden tijdens het uitvoeren van de proeven wordt verwezen naar paragraaf 6.3.

6.3 Instellen hydraulische randvoorwaarden

In het model moeten de waterstanden worden ingesteld. Sluiten vindt plaats in stappen, waarbij per stap 10% van de doorstroomopening wordt gesloten. De bijbehorende waterstanden zijn bepaald uit de DufLOW-berekening. Hierbij is in eerste instantie uitgegaan van een lineaire sluiting in de tijd (1 uur per sluiting; zie test 1, figuur 6.1).

Tijdens het uitvoeren van de proef kan blijken dat al na zeer korte tijd de doorstroomopening voor een groot deel afsloten is. Dit komt niet overeen met een lineaire sluiting in de tijd, en dus ook niet met de bijbehorende waterstanden. Om te bepalen of de waterstanden van een lineaire sluiting gebruikt mogen worden, is er een test gedaan met behulp van berekeningen in DufLOW voor de prototypesituatie. Hierin is gekeken naar een lineaire sluiting (test 1), een sluiting die steeds langzamer verloopt in de tijd (test 2) en een sluiting die steeds sneller verloopt in de tijd (test 3). De uitkomsten van test 2 en 3 zijn met de

uitkomsten van test 1 vergeleken. Hieruit blijkt dat het maximale verschil in waterstand tussen test 1 en test 2 vijf cm is, waarbij test 2 de hoogste waterstand geeft. Het maximale verschil bij een vergelijking tussen test 1 en test 3 bedraagt eveneens 5 cm, waarbij in test 1 de hoogste waterstand wordt bereikt. De resultaten van de test zijn weergegeven in een grafiek bijlage 6.1.



figuur 6.1: sluitingsregimes kering ter bestudering in Dufflow

Het verschil in waterstanden is zo klein ten opzichte van de hoogte van de waterstanden, dat het verwaarloosd wordt. De lineaire sluiting is toegepast voor alle sluitingen. De hydraulische randvoorwaarden die hieruit volgen zijn eveneens voor elke situatie gebruikt.

Omzetten waterstanden Dufflow naar waterstanden model

Uit het bovenstaande blijkt dat er 9 verschillende proeven zijn. Deze staan hieronder in tabel 6.3 vermeld.

<i>Begin stroomsnelheid</i> $U_{init 1} = 1.0 \text{ m/s}$	<i>Begin stroomsnelheid</i> $U_{init 2} = 1.75 \text{ m/s}$	<i>Begin stroomsnelheid</i> $U_{init 3} = 2.5 \text{ m/s}$
OVERLAAT (1)	OVERLAAT (2)	OVERLAAT (3)
HORIZONTAAL (1)	HORIZONTAAL (2)	HORIZONTAAL (3)
ONDERLAAT (1)	ONDERLAAT (2)	ONDERLAAT (3)

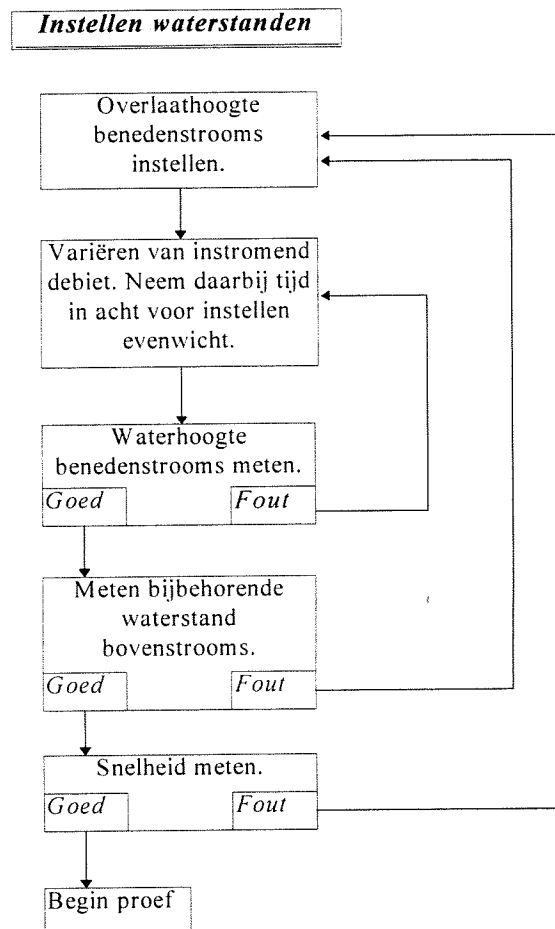
tabel 6.3: sluitingsmogelijkheden

Voor het bepalen van de waterstanden die in het model moeten worden ingesteld, zijn voor alle bovenstaande sluitingen Dufflow-berekeningen gemaakt. Bij elke stap (10%) van sluiten is de waterstand bepaald en direct omgeschaald naar de modelwaarden. Hierbij is 4 m opgeteld bij de prototypewaarden voor berekening van de waterstand boven de bodem in het model. In tabel 6.4 zijn de in te stellen waterstanden voor overlaat (3) weergegeven. In bijlage 6.2 zijn de waterstanden voor de andere sluitingen opgenomen.

<i>Fase van sluiten</i>	<i>Bovenstroomse waterstand</i>		<i>Benedenstroomse waterstand</i>	
	<i>Prototype NAP + (m)</i>	<i>Model (m)</i>	<i>Prototype NAP + (m)</i>	<i>Model (m)</i>
0%	0.479	0.179	0.109	0.164
10%	0.546	0.182	0.146	0.166
20%	0.627	0.186	0.141	0.166
30%	0.712	0.189	0.113	0.165
40%	0.799	0.193	0.061	0.162
50%	0.891	0.197	-0.014	0.159
60%	0.989	0.201	-0.124	0.155
70%	1.093	0.205	-0.286	0.149
80%	1.205	0.209	-0.503	0.140
90%	1.319	0.213	-0.813	0.127
100%	1.436	0.217	-1.198	0.112

tabel 6.4: in te stellen waterstanden

De manier waarop de waterstanden worden ingesteld staat vermeld in onderstaand stroomschema (zie figuur 6.2)



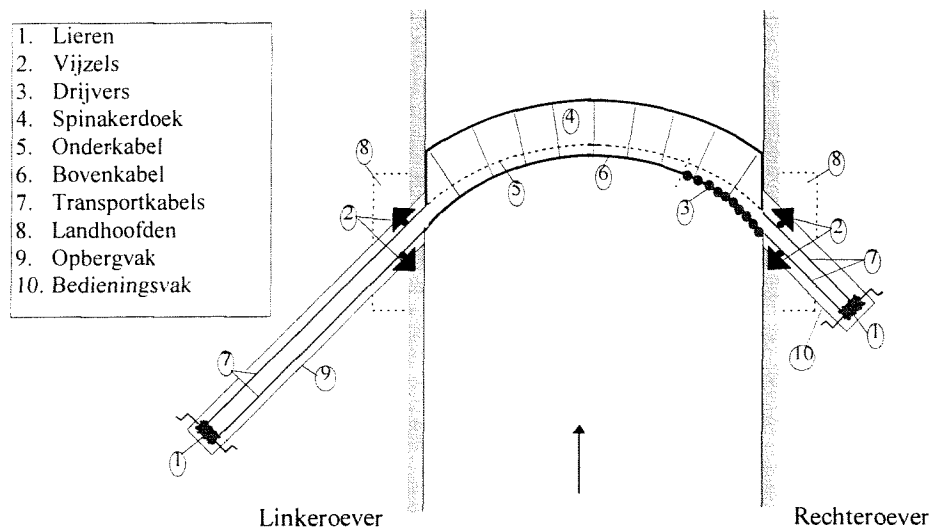
figuur 6.2: stroomschema instellen waterstanden

6.4 Geometrie van het model

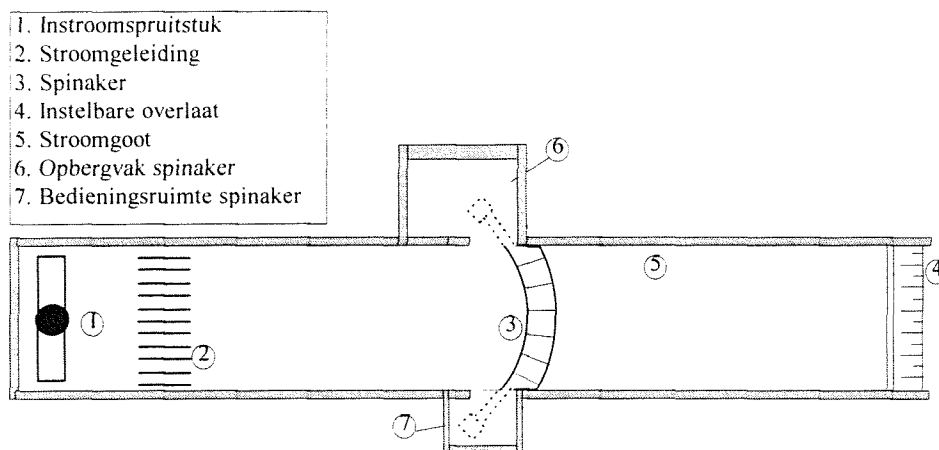
In deze paragraaf wordt het ontwerp van het schaalmodel gepresenteerd. Allereerst is een lijst met alle functionele onderdelen van de kering en van de stroomgoot gemaakt. Voor deze functionele onderdelen geldt een aantal eisen, die de afmetingen en bepaalde oplossingsprincipes m.b.t. onderdelen van het model bepalen.

6.4.1 Functionele onderdelen en programma van eisen

Het ontwerp van het schaalmodel is te splitsen in twee onderdelen. Ten eerste is dat de spinakerkering, waarbij de onderdelen van de kering beschouwd worden. Ten tweede is het de stroomgoot, waarin de hydraulische randvoorwaarden moeten worden ingesteld. Voor beide onderdelen is een principeschets gemaakt met daarin de functionele onderdelen aangegeven (zie figuur 6.3 en figuur 6.4). In de tabellen daaronder zijn de functionele onderdelen opgesomd. In de kolom daarnaast worden de eisen gepresenteerd die aan elk onderdeel worden gesteld. Aan de hand van deze eisen is een ontwerp gemaakt.



figuur 6.3: principe schets spinakerkering



figuur 6.4: principeschets stroomgoot

Spinakerkering	
Functionele onderdelen	Eis
1) Spinakerdoek	<ul style="list-style-type: none"> • Waterkerend (niet 100% waterdicht) • Verval van 3.85 meter (prototype) kunnen weerstaan met bovenstroomse waterstand van maximaal 6.6 m en benedenstroomse waterstand van 2.75 m (waterstanden t.o.v. de bodem vermeldt). • Flexibel
2) Vijzels	<ul style="list-style-type: none"> • Verticaal beweegbaar over minimaal 6.6 m (prototype). • Kabels moeten aan vijzels gekoppeld kunnen worden. • De vijzels moeten de krachten, die op de draagkabels komen, kunnen opnemen.
3) Drijvers	<ul style="list-style-type: none"> • Vertikale kracht, die bij het maximaal te keren verval ontstaat, op de bovenkabel kunnen opnemen zonder dat de kabel onder water komt. • De drijvers mogen niet verschuiven langs de bovenkabel. • De drijvers mogen geen water opnemen.
4) Onder- en boven draagkabel	<ul style="list-style-type: none"> • Kracht die op één kabel komt kunnen opnemen: volgt uit het maximaal te keren verval over de kering • Kabels mogen niet rekken.
5) Transportkabels	<ul style="list-style-type: none"> • Kracht die op een transportkabel komt kunnen opnemen: volgt uit de maximale weerstand tijdens transport en sluiten. • Kabels mogen niet rekken.
6) Overlengte doek	<ul style="list-style-type: none"> • Afsluiting van het doek aan de landhoofden verzorgen.
7) Opbergvak	<ul style="list-style-type: none"> • Moet spinaker in volledige lengte kunnen herbergen.
8) Lieren	<ul style="list-style-type: none"> • Doek onder spanning houden tijdens het transport van het spinakerdoek • Krachten, die op de lieren komen te staan tijdens het transport en het sluiten, kunnen opnemen. • De lieren moeten onafhankelijk van elkaar kunnen draaien.

Bovenstaande onderdelen zijn besproken voor het prototype. In het model komt een aantal onderdelen niet voor. Dit wordt besproken bij het ontwerp van het model.

Stroomgoot	
Functionele onderdelen	Eis
1) Stroomgoot	<ul style="list-style-type: none"> • Water geleiden tijdens proef. • Waterdicht.
2) Inlaatspruitstuk water en debiet instroom	<ul style="list-style-type: none"> • Water moet ongeveer gelijk verdeeld zijn over de breedte tijdens instromen in de stroomgoot. • Instelbaar debiet.
3) Stroomgeleiding	<ul style="list-style-type: none"> • Verzorgen van rechte stroomlijnen en uniforme snelheidsverdeling in breedterichting voor de kering.
4) Overlaat	<ul style="list-style-type: none"> • De overlaat moet in hoogte verstelbaar zijn (traploos). • Instelbereik van de overlaat moet tussen de 0.048 m en 0.132 m liggen t.o.v. de bodem.
5) Opbergvak spinaker	<ul style="list-style-type: none"> • Voldoende groot om spinaker in te kunnen herbergen. • Waterdicht. • Voldoende ruimte om de verticale bewegingswerken te herbergen.
6) Bedieningsruimte spinaker	<ul style="list-style-type: none"> • Waterdicht. • Voldoende ruimte om de verticale bewegingswerken te herbergen en genoeg ruimte voor de krachtmetringen.

6.4.2 Ontwerp schaalmodel en stroomgoot.

Schaalmodel

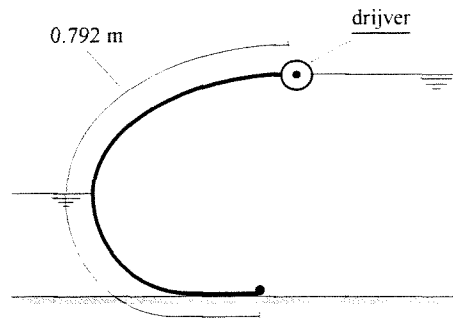
1) Spinakerdoek

Voor het prototype zijn in paragraaf 4.2.1 zijn de trekkracht in het doek, de verticale kracht op de bovenkabel, de lengte van het doek in dwarsdoorsnede en de tophoek van het doek met de horizontaal uitgerekend. In tabel 6.5 worden deze waarden omgerekend naar modelwaarden.

Ingevulde waarden:	Resultaten van de berekening (prototype):	Omschaling van berekende waarden:
$H = 6.6 \text{ m}$	$T = 90.1 \text{ kN/m}$	$T = 144 \text{ N/m}$
$h = 2.75 \text{ m}$	$T_v = 6.28 \text{ kN/m}$	$T_v = 10.1 \text{ N/m}$
$R_o = 2.34 \text{ m}$	Lengte doek = 19.79 m	Lengte doek = 0.792 m
$ds = 0.001 \text{ m}$	Tophoek $\beta = 4^\circ$	Tophoek $\beta = 4^\circ$

tabel 6.5: vorm van het doek

figuur 6.5 toont de dwarsdoorsnede van het doek voor het model. De boven- en onderkabel zijn in een zoom van het doek genaaid. Hierdoor kan het doek over de kabels schuiven.



figuur 6.5: dwarsdoorsnede doek (schaalmodel)

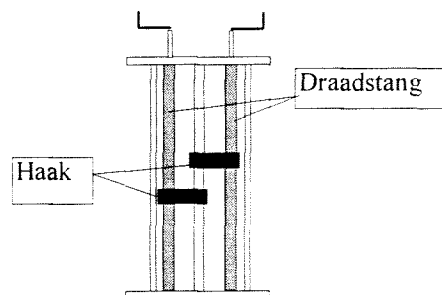
Bepaling grootte straal bovenaanzicht

In paragraaf 4.2.2 is 30 m gekozen voor een lengte van de straal van het prototype. Dit geeft 1.2 m voor de straal in het model. De hoek α is 56.4° .

Het doek van de spinaker in het schaalmodel is gemaakt van nylon weefsel met een gewicht van 72 g/m^2 . Dit weefsel is niet geheel waterdicht. Het doek is opgebouwd uit lamellen, zoals is uitgelegd in paragraaf 4.2.1. In bijlage 6.3 is de grootte van deze lamellen bepaald voor het schaalmodel. Daarbij is gekozen voor een doek dat is opgebouwd uit 10 lamellen. Er zijn nog 2 extra lamellen toegevoegd voor de overlengte van het doek.

2) Vijzels

Voor de verticale bewegingswerken zijn draadeinden gebruikt. Deze draadeinden zijn gemonteerd in een stalen profiel. Deze profielen zijn met bouten op de bodem van de inhammen van de stroomgoot bevestigd. figuur 6.6 geeft een prinscheschets van de verticale bewegingswerken weer.



figuur 6.6: prinscheschets verticale bewegingswerken

3) Drijvers

In tabel 6.5 is voor T_v voor het model een waarde van 10.1 N/m uitgerekend. De drijvers moeten deze krachten kunnen opnemen. In paragraaf 4.2.2 is de grootte van de drijvers uitgerekend. De diameter van de drijvers in prototype is 1.3 m. Voor het model geldt dan: $d = 0.052 \text{ m}$. Voor de drijvers zijn polystyreen bolletjes (i.p.v. cirkelcilindrisch) genomen met een diameter van 5 cm. Het totale drijfvermogen dat bevestigd is aan de bovenkabel, is lager dan berekend. Er is

hier voor deze drijvers gekozen omdat zij een diameter hebben die het meest overeenkomt met de diameter van het prototype.

4) Onderkabel en bovenkabel

In paragraaf 4.2.1 is de maximale kracht op de kabels uitgerekend. Deze bedraagt 5297 kN. Per kabel is dit 2649 kN. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat er evenveel kracht op de bovenkabel als op de onderkabel komt te staan. In het model komt dit neer op een kracht van 170 N per kabel. Voor de kabel in het model is een Dacron draad gebruikt met een sterkte van 130 lb (≈ 65 kg). De rek van Dracon is nihil.

5) Overlengte doek

Door twee extra lamellen toe te voegen aan het doek heeft dit genoeg overlengte.

6) Transportkabels, Opbergvak en Lieren

Deze onderdelen worden niet toegepast in het model.

De stroomgoot

1) Stroomgoot

Lengte van de goot is 20 m, waarvan 10 m voor de kering en 10 m achter de kering. De hoogte van de zijwanden bedraagt 0.40 m en de breedte 2 m.

2) Inlaatspruitstuk water

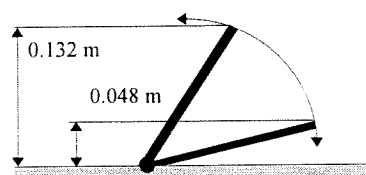
Voor de instroming van het debiet wordt een verticale pijp met T-stuk gebruikt. In het T-stuk zitten gaten waaruit het water stroomt. Het T-stuk met gaten zorgt ervoor dat de stroom in de breedte en hoogte gelijk verdeeld wordt.

3) Stroomgeleiding

Als blijkt dat de stroming nog te verstoord is, dan kan er een stroomgeleiding voor de kering geplaatst worden.

4) Overlaat

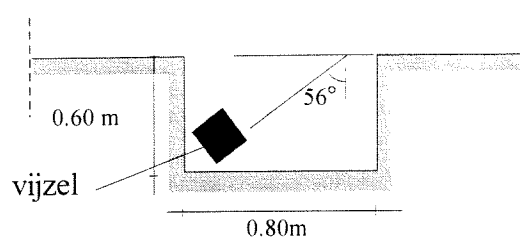
De overlaat aan het einde van de stroomgoot bestaat uit een klep die in hoogte verstelbaar is. In figuur 6.7 wordt een principeschets getoond. De klep is motor gestuurd, op afstand te bedienen, binnen het bereik van de klep, op elke hoogte instelbaar.



figuur 6.7: principeschets overlaatklep

5) Opbergvak spinaker

Het opbergvak voor de spinaker wordt niet toegepast in het model. Er moet echter wel ruimte gecreëerd worden voor de vijzels. Bovendien moet er enige ruimte zijn voor het bedienen/instellen van de vijzels. De lengte van het vak is 80 cm en de breedte 60 cm (zie figuur 6.8). In de figuur 6.8 is ook de positie van de vijzel weergegeven.



figuur 6.8: afmetingen inham

6) Bedieningsruimte spinaker.

De bedieningsruimte heeft de afmetingen zoals getoond in figuur 6.8.

6.5 Uitvoering van de proeven

In deze paragraaf wordt de uitvoering van de proeven behandeld.

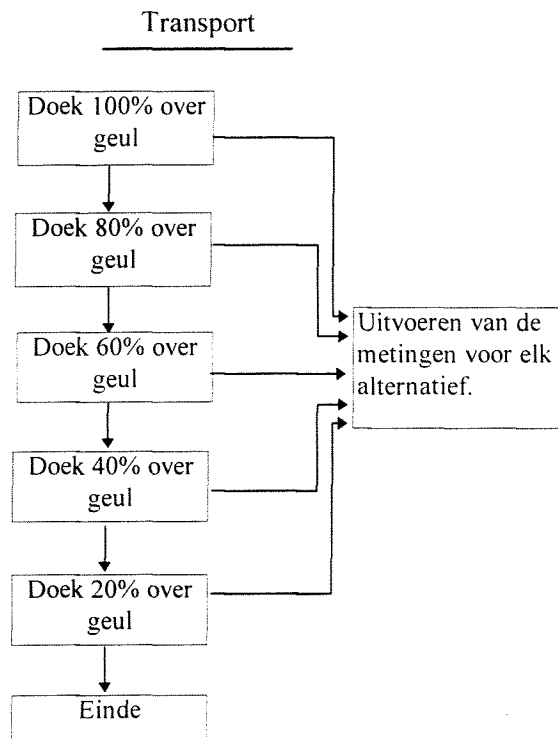
Allereerst wordt de stroomgoot gecalibreerd. Dit gebeurt door de juiste waterstanden in te stellen. Bij deze waterstanden horen een bepaalde stroomsnelheid en een debiet. Overeenkomst van deze waarden met de waarden die zijn uitgerekend in paragraaf 6.3, geeft een goede stroomgoot. Als blijkt dat de berekende combinatie van waterstanden en stroomsnelheden niet haalbaar is in de stroomgoot, dan moet deze worden aangepast. Dit kan gebeuren door opruwing van de bodem. Verder worden in deze fase de stroomsnelheidsmeter, de peilnaalden voor het registreren van de boven- en benedenwaterstand, de krachtmeters en de overlaat getest.

Zodra de stroomgoot voldoet, wordt er begonnen met het testen van het spinakerdoek. Hierbij wordt eerst een aantal principetesten gedaan. In deze testen wordt globaal gekeken naar het gedrag van de kering tijdens de verschillende bedrijfsfasen. Hierbij wordt eveneens de werking van de vijzels getest. Aan de hand van de waarnemingen die bij deze testen gedaan worden, kan bekeken worden waarop bij het uitvoeren van de proeven gelet moet worden.

Na het uitvoeren van de principetesten, waarbij eventueel enige aanpassingen van het model zijn gemaakt, kan begonnen worden met het testen van de alternatieven. De uitvoering van de proeven kan in twee in twee onderdelen worden opgesplitst: de transportfase en de sluitingsfase. Elk onderdeel is apart uitvoeren. Er moet echter wel voor gezorgd worden dat het einde van de transportfase gelijk is aan het begin van de sluitingsfase.

Voor de uitvoering van de proeven zijn twee doeken beschikbaar. Het ene is opgebouwd uit lamellen en het andere bestaat uit een rechthoekige lap. Aan de bovenkabels van beide doeken zijn drijvers verbonden. Voor de metingen in de sluitingsfase wordt het doek bestaande uit lamellen gebruikt. Voor het transport wordt het andere doek gebruikt. Bij het transport hoeft het doek namelijk niet de ideale vorm te hebben voor een goede afdichting van de geul.

In onderstaand schema staat aangegeven hoe het verloop van de proef in de transportfase plaatsvindt.

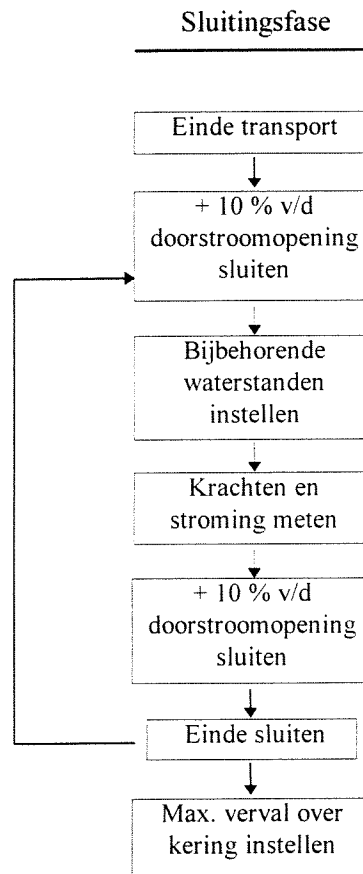


figuur 6.9: schema transport

De reden om van een transportpercentage van 100% naar 20% te gaan, is dat er op deze manier elke keer een stukje doek “afgeknipt” kan worden. Bij elke fase moet in de gaten gehouden worden voor hoeveel procent het doek de geul afsluit. De waterstanden moeten aangepast worden volgens de tabellen van bijlage 6.2.

Bij het alternatief waarbij de spinaker in een hoes zit, wordt gemeten tijdens het terugtrekken van de hoes. Dit gebeurt ook in stappen. De hoes kan gebruikt worden met zowel het doek dat is opgebouwd uit lamellen als met het rechte doek.

Hieronder staat in figuur 6.10 aangegeven hoe het verloop van de proef in de sluitingsfase plaatsvindt.



figuur 6.10: sluitingsloop

De krachten worden gemeten met rekstrookjes die op meetringen zijn gemonteerd. De meting verloopt continu in de tijd en wordt m.b.v. een data-aquisitiesysteem geregistreerd op een PC. De meetringen worden aan de ene kant aan de vijzels en aan de andere kant aan de kabels bevestigd.

Voor het bepalen van het stroombeeld wordt er gewerkt met kleurstof en met een stroomsnelheidmeter. In eerste instantie wordt met kleurstof bepaald op welke plek achter de kering interessante stromingen plaatsvinden. Op die plaats wordt dan het stroombeeld gemeten met de stroomsnelheidmeter. De stroomsnelheid vlak boven de bodem is daarbij het meest interessant in verband met de bodembescherming.

6.5.1 Meetprogramma

Voor de volledigheid wordt in tabel 6.6 en tabel 6.7 het opgestelde meetprogramma gepresenteerd.

Sluiten bij U_{init} 1.0 m/s, 1.75 m/s en 2.5 m/s		
	Actie	Tijdsduur
Alternatief 0	Waarnemen → Instellen waterstanden → Meten van de krachten, stroomsnelheden en waterstanden. (sluiten volgens figuur 6.11)	3 dagen
Alternatief 1	Waarnemen → Instellen waterstanden → Meten van de krachten, stroomsnelheden en waterstanden. (sluiten volgens figuur 6.11)	3 dagen
Alternatief 2	Waarnemen → Instellen waterstanden → Meten van de krachten, stroomsnelheden en waterstanden. (sluiten volgens figuur 6.11)	3 dagen
Alternatief 3	Waarnemen → Instellen waterstanden → Meten van de krachten, stroomsnelheden en waterstanden. (sluiten volgens figuur 6.11)	3 dagen
Alternatief 4	Waarnemen → Instellen waterstanden → Meten van de krachten, stroomsnelheden en waterstanden. (sluiten volgens figuur 6.11)	3 dagen

tabel 6.6: meetprogramma sluiten

Transport bij U_{init} 1.0 m/s, 1.75 m/s en 2.5 m/s			
Percentage transport		Actie	Tijdsduur
80%	Alternatief 0 Alternatief 1 Alternatief 2 Alternatief 3 Alternatief 4	Waarnemen → Instellen waterstanden → Meten van de krachten, stroomsnelheden en waterstanden (transport volgens figuur 6.10)	3 dagen
60%	Alternatief 0 Alternatief 1 Alternatief 2 Alternatief 3 Alternatief 4	Waarnemen → Instellen waterstanden → Meten van de krachten, stroomsnelheden en waterstanden. (transport volgens figuur 6.10)	3 dagen
40%	Alternatief 0 Alternatief 1 Alternatief 2 Alternatief 3 Alternatief 4	Waarnemen → Instellen waterstanden → Meten van de krachten, stroomsnelheden en waterstanden. (transport volgens figuur 6.10)	3 dagen
20%	Alternatief 0 Alternatief 1 Alternatief 2 Alternatief 3 Alternatief 4	Waarnemen → Instellen waterstanden → Meten van de krachten, stroomsnelheden en waterstanden. (transport volgens figuur 6.10)	3 dagen

tabel 6.7: meetprogramma transport

7. Waarnemingen en meetresultaten

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk vindt u een bespreking van de testen die zijn uitgevoerd met het schaalmodel van de spinakerkering. De testen zijn uitgevoerd volgens het schema dat in paragraaf 6.5.1 is getoond. De alternatieven zijn besproken in hoofdstuk 5. Dit zijn het nul alternatief, horizontale sluiting, spinaker met scherm, spinaker met hoes, zwevend transport met sluiting van boven naar beneden en zwevend transport met sluiting van beneden naar boven.

Voordat de alternatieven worden besproken, wordt eerst de stroomgoot met haar eigenschappen besproken. Hierin komt ook de meetapparatuur ter sprake. Hierna worden de waarnemingen en resultaten besproken. De verschillende alternatieven worden aan de hand van de volgende punten besproken:

- Transport (waarnemingen)
- Sluiten (waarnemingen)
- Krachten (meetwaarden)
- Stroombeeld (meetwaarden)
- Turbulentie (meetwaarden)
- Waterstandsverstoringen (meetwaarden)

In dit hoofdstuk wordt er gesproken over sluiting 1, sluiting 2 en sluiting 3. Hiermee worden de initieel ingestelde stroomsnelheden met de daarbij horende waterstanden aangeduid. De volgende stroomsnelheden horen bij de benaming:

Sluiting 1:	$u_{\text{init } 1} = 1.0 \text{ m/s}$
Sluiting 2:	$u_{\text{init } 2} = 1.75 \text{ m/s}$
Sluiting 3:	$u_{\text{init } 3} = 2.5 \text{ m/s}$

Verder worden in dit hoofdstuk alle gegevens voor het prototype besproken. Alle gemeten waarden zijn omgeschaald naar het prototype.

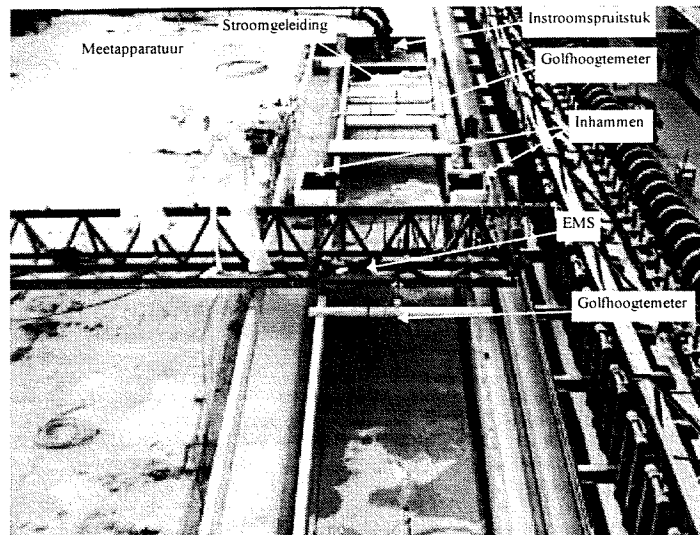
7.2 Calibratie van de stroomgoot

In de proefopstelling is de volgende meetapparatuur gebruikt: krachtmetringen, golfmeters, EMS (snelheidsmeter) en een meet-PC. De specificaties van deze apparatuur en de calibratie van de meetringen en de golfhoogtemeters is te vinden in bijlage 7.1.

Om de te bepalen wat de duur van het meten van de snelheid moet zijn, is een gevoeligheidsanalyse gemaakt. In bijlage 7.2 zijn de resultaten hiervan getoond. Om een goed beeld te krijgen is een meting van 1 minuut voldoende.

Om een zo goed mogelijke uitgangssituatie te krijgen is er getracht voor de 3 initiële stroomsnelheden het snelheidsprofiel over de breedte van de geul zo uniform mogelijk te krijgen. Dit is gedaan door stroomgeleiding en door op

bepaalde plaatsen enige weerstand in de geul aan te brengen (zie figuur 7.1). In bijlage 7.3 zijn de snelheidsprofielen over de breedte van de goot weergegeven. De bijbehorende waterstanden zijn erbij vermeld.



figuur 7.1: stroomgoot

De inhammen zijn van invloed op de stroming. In bijlage 7.4 is de invloed van de inhammen bepaald. Het blijkt dat de invloed maar klein is. Voor een langere aanligging van de stroming aan de zijkanten is de inham voor de kering afgeschermd (zie figuur 7.1).

7.3 Nul alternatief: horizontale sluiting

Bij dit alternatief zijn er geen maatregelen genomen om het uitvouwen van het doek tijdens transport te voorkomen. Tijdens transport bevinden de boven- en onderkabel zich aan het wateroppervlak aan de zijkanten.

7.3.1 Transport en sluiten

(bijlage 7.5, figuren 1 t/m 6).

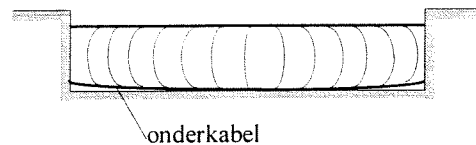
Op de getoonde foto's zijn links en rechts omgewisseld. Links zoals dat hier wordt besproken is rechts op de foto's.

- Transport en sluiten gebeuren in dezelfde fasen.
- Bij de drie verschillende stroomsnelheden vangt het doek bij 20% transport nog niet veel water. Het loopt er onderdoor en erlangs (zie figuur 7.2).
- Bij een hoge stroomsnelheid (sluiting 3, 2.5 m/s) vangt het doek water bij 40% transport. Het doek ligt aan de onderkant tegen de bodem, maar de onderkabel niet.
- Bij een lage stroomsnelheid vangt het doek bij 40% transport nog niet zoveel water (zie bijlage 7.5, figuur 6). De onderkabel bevindt zich ter hoogte van de waterspiegel, waarbij er water onder de kering door stroomt.

- Bij de tussenliggende stroomsnelheid vangt het doek niet zoveel water, maar wel meer dan bij sluiting 1 (1.0 m/s). Ook hier bevindt de onderkabel zich ter hoogte van de waterspiegel.
- Bij transport tot 60% is het doek uitgevouwen en raakt de onderkabel de bodem. Dit geldt voor de drie verschillende sluitingen. Het doek staat nu vol water en is stabiel (meewerkende watermassa).
- In de volgende fase, 80% transport, blijft het doek uitgevouwen. Bij 100% transport worden de hoofdkabels aan de vijzels verbonden. Het doek sluit dan de doorstroomopening voor ongeveer 90 % af. Aan de zijkanten vindt nog enige doorstroming plaats, omdat in deze fase de onderkabel niet op de bodem ligt (zie figuur 7.3). De onderkabel gaat naar het wateroppervlak aan de zijkanten (omhoog gehouden door vijzels). De doorstroming die plaats vindt aan de zijkanten levert geen hoge stroomsnelheden op (0.5 m/s bij sluiting 2).
- Door de vijzels naar beneden te draaien sluit het doek de doorstroomopening volledig af.



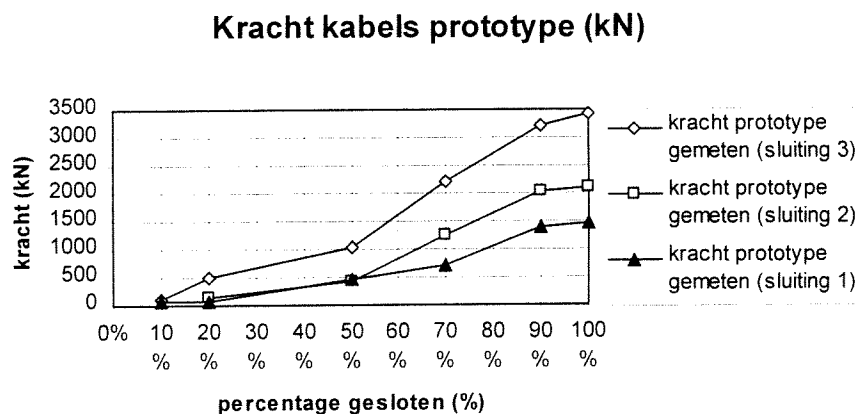
figuur 7.2: zijaanzicht 20% transport



figuur 7.3: verloop van de onderkabel

7.3.2 Krachten

In figuur 7.4 is een grafiek weergegeven met daarin de gemeten krachten in de kabels uitgezet tegen het percentage van sluiten van de doorstroomopening. De gemeten kracht bestaat uit de som van de krachten in de onder- en bovenkabel.

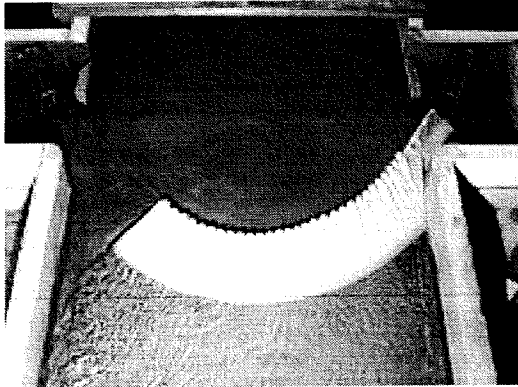


figuur 7.4: grafiek met gemeten krachten

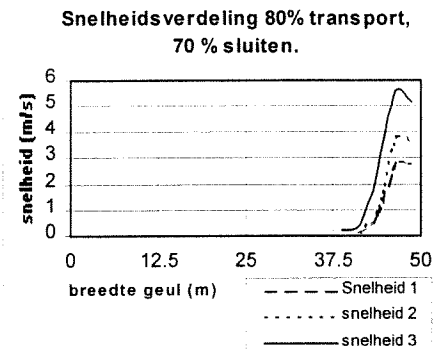
7.3.3 Het stroombeeld

De stroomsnelheden zijn achter de kering gemeten op een hoogte van 0.4*de waterdiepte achter de kering.

Hier wordt alleen de stroming tijdens 80% overgetrokken doek besproken. Het transport is van links naar rechts. Er vindt contractie van de stroom plaats in de stroomopening (zie figuur 7.5). De stroomsnelheden in deze opening lopen op van 2.81 m/s voor sluiting 1 (1.0 m/s) tot 5.58 m/s voor sluiting 3 (2.5 m/s). Het verloop van de snelheden over de breedte staat weergegeven in de grafiek van figuur 7.6. Hierin staan de gemiddelde snelheden over de tijd uitgezet.



figuur 7.5: 80% transport



figuur 7.6: snelheidsverloop

De stroomsnelheden in eerdere transportfasen zijn meer over de breedte verdeeld en de maximale stroomsnelheid ligt een stuk lager. De laatste fase van transport geeft de grootste belasting op de bodem- en oeverbescherming.

7.3.4 Turbulentie

De stroming is turbulent op het scheidingsvlak tussen de hoge snelheid en de lage snelheid (zie figuur 7.5). Dit is tussen de 43.75m en 45m van links bij 80% transport. De turbulentie is het grootst bij sluiting 3, 80% transport (zie bijlage 7.6).

7.3.5 Waterstandsverstoringen

Door het inbrengen van het doek in de geul treden er waterstandsverstoringen benedenstrooms op. De grootte van deze verstoringen staan vermeld in tabel 7.1.

	Percentage transport	Waterstandsverstoring (m)
Sluiting 1	40 %	0.05
	60%	0.25
	80%	0.06
Sluiting 2	40 %	0.17
	60%	0.20
	80%	0.10
Sluiting 3	40 %	0.15
	60%	0.40
	80%	0.25

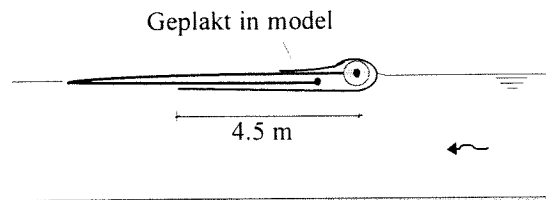
tabel 7.1: waterstandsverstoringen

Bij 60% transport is de verstoring het grootst voor de drie verschillende sluitingen. Hierbij is de verstoring bij sluiting 3 het grootst. In bijlage 7.7 staat de waterstand tegen de tijd uitgezet bij 60% transport voor sluiting 1, 2 en 3.

7.4 Spinakerdoek met scherm

Bij dit alternatief worden de boven- en onderkabel tijdens het transport bij elkaar gehouden door een flexibel scherm. Dit scherm moet tijdens transport instroming van water in het doek voorkomen.

Het scherm in het schaalmodel is een rechte lap met een breedte van 30 cm. Deze lap is over de gehele breedte van het doek aangebracht. Het scherm is aan het doek bevestigd met dubbelzijdig tape. In figuur 7.7 is hier een afbeelding van weergegeven met de afmetingen (in prototype)erbij.



figuur 7.7: doek met scherm

Dit alternatief is niet bij hele hoge stroomsnelheden getest (sluiting 3). Dit was uitvoeringstechnisch niet haalbaar en daarbij was er een grote kans aanwezig dat het doek en /of de kabels het zouden begeven.

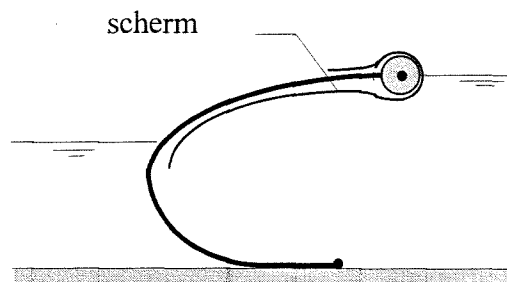
7.4.1 Transport

(Bijlage 7.8, figuren 1 t/m 6)

- Bij een transport van 20% vangt het doek geen stroom (bij beide sluitingen). De stroming is over de breedte verdeeld, waarbij de initieel ingestelde stroomsnelheid gehandhaafd blijft.
- Bij 40% transport stroomt er geen water in het doek (beide sluitingen). De stroming is over de breedte verdeeld, waarbij de initieel ingestelde stroomsnelheid gehandhaafd blijft.
- Bij 60% transport stroomt het doek niet vol (beide sluitingen). Ook hier is de stroming over de breedte verdeeld.
- Bij 80% transport is er geen instroming bij sluiting 1. Bij sluiting 2 loopt het doek na verloop van tijd (± 20 a 25 min) vol met water en sluit $\pm 70\%$ van de doorstroomopening af. Instroming gebeurt voornamelijk via de zijkant die in de stroom ligt (rechter kant). Naarmate het doek voller is, stroomt het sneller vol. De openingen aan de zijkanten zijn dan groter.
- Bij 100% transport stroomt het doek niet vol bij sluiting 1 (1.0 m/s). Na een aantal minuten (± 20 min. prototype) stroomt het doek vol via de zijkanten. Het doek gaat naar de bodem en sluit de doorstroomopening voor 90% af. De onderkabel bevindt zich aan de zijkanten ter hoogte van de waterspiegel.
- Het transport van 80% tot 100% bij sluiting 2 gebeurt in opgevouwen toestand.

7.4.2 Sluiten

Bij sluiting 1 wordt aan het einde van het transport de onderkabel naar beneden gedraaid. Dit gebeurt direct na het transport waardoor het doek niet uit zichzelf uitvouwt, zoals is besproken in paragraaf 7.4.1. Tijdens het naar beneden draaien van de onderkabel blijft het scherm om de onderkabel heen gevouwen. De spanning op onderkabels is erg laag, waardoor de kabel alleen aan de zijkanten naar de bodem toe gaat. Aan de zijkanten ontstaan echter openingen waar het water in het doek stroomt. Tijdens de instroming van water bolt het doek uit en sluit de doorstroomopening af. Deze sluiting vindt in een zeer korte tijd plaats (± 5 min). Na sluiting ligt de onderkabel op de bodem en is het scherm naar binnen gevouwen (zie figuur 7.8). Na een aantal keer de proef te hebben uitgevoerd, bleek dat het tijdstip waarop de kering sluit niet van te voren is te voorspellen.



figuur 7.8: doek met ingevouwen scherm

Problemen bij meten

Zodra de kering water ging vangen, werd er begonnen met het dichtdraaien van de watertoevoer. Het dichtdraaien van de kraan vergde echter enige tijd, waardoor tijdens het sluiten niet de juiste waterstanden ingesteld waren. De kering sluit te snel om de instelling van de waterstanden bij te houden met de debietregeling.

7.4.3 Krachten

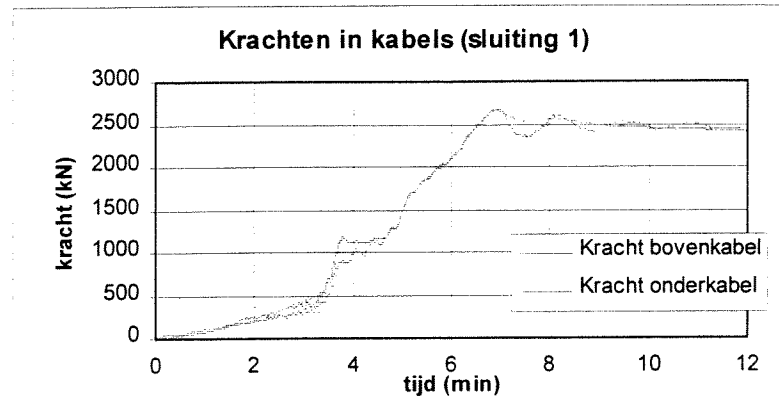
Sluiting 1 (1.0 m/s)

Tijdens de transportfase zijn de krachten op het doek erg laag. Bij de transportfase van 20% en 40% zijn de krachten zo laag dat deze niet gemeten zijn. De kabels hangen slap, ook wanneer het doek loodrecht de geul in getrokken wordt. In tabel 7.2 zijn de gemeten krachten weergegeven. Deze krachten zijn erg laag.

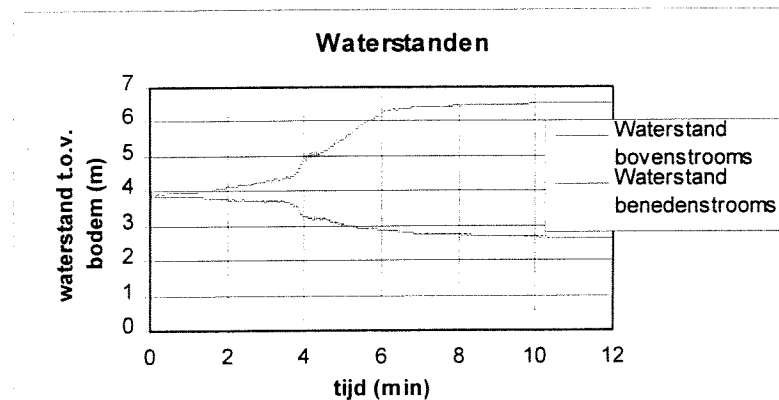
Percentage transport	Krachten
60%	16 kN
80%	47 kN
100%	40 kN

tabel 7.2: krachten tijdens transport

De krachten tijdens het uitvouwen van het doek zijn ook gemeten. Het verloop van de krachten in de kabels staat in een grafiek weergegeven (figuur 7.9). Hierbij is ook het verloop van de waterstand weergegeven (figuur 7.10).



figuur 7.9: verloop krachten

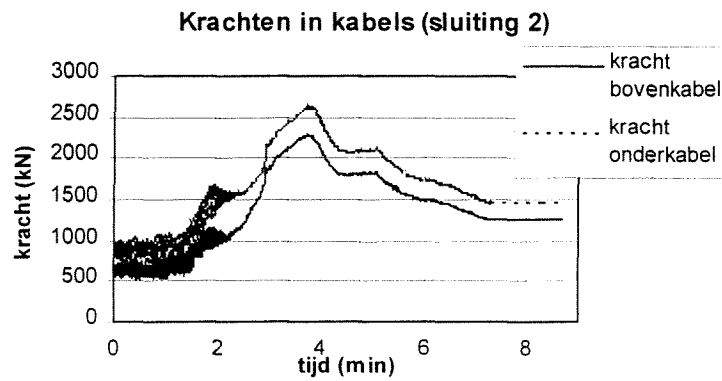


figuur 7.10: verloop waterstanden

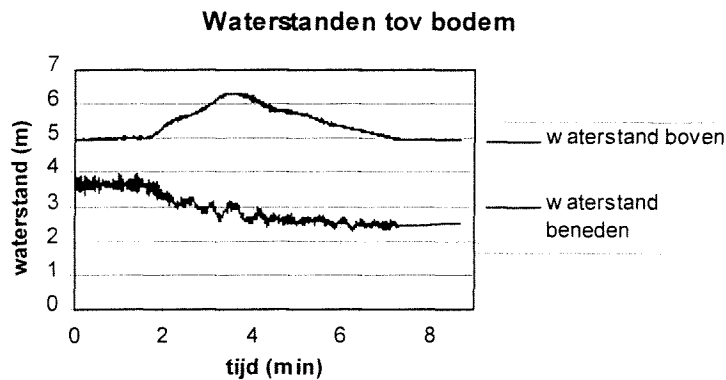
In de eerste 3.5 min stroomt het doek langzaam vol waarbij de kracht in de kabels langzaam oploopt. Direct daarna vangt het doek veel water en zit meteen vol. De kering gaat golven. Omdat er water blijft toestromen, wordt de kering weer snel stabiel. Hierdoor houdt de kering op met golven.

Sluiting 2 (1.75 m/s)

Bij 80% transport vouwt het doek uit en vangt water. Het doek gaat erg golven en veroorzaakt grote verstoringen in het water. In figuur 7.11 en figuur 7.12 staan de krachten en de waterstanden gegeven tijdens het openvouwen van het doek.



figuur 7.11: verloop krachten



figuur 7.12: verloop waterstanden

In de grafiek is te zien dat voornamelijk in de eerste 2 minuten van de sluiting de kering gaat trillen. Er komt een grote dynamische belasting op de kabels.

7.4.4 Het stroombeeld

Tijdens het transport en bij 100% transport van het doek is de verdeling van de stroomsnelheid goed verdeeld over de breedte. Het doek heeft echter wel invloed op de verdeling van de stroming over de breedte. Bij 100% transport is de stroming meer geconcentreerd in het midden. In de grafieken in bijlage 7.9 is de snelheid over de breedte uitgezet voor sluiting 1. Bij sluiting 2 is het doek al ontplooit bij 80% transport. Er treedt contractie van de stroming op, zie ook alternatief 0 (paragraaf 7.3).

7.4.5 Turbulentie

De stroming is weinig turbulent tijdens de 100% transportfase van sluiting 1 (1.0 m/s) en sluiting 2 (1.75 m/s). Er is iets meer turbulentie dan voor het transport.

7.4.6 Waterstandsverstoringen

Tijdens sluiten wordt de waterstand verstoord (zie figuur 7.10 en figuur 7.12). Bij sluiting 1 treedt de grootste verstoring op na 4 minuten. De grootte van de verstoring is ± 25 cm (bovenstrooms). Bij sluiting 2 ligt deze verstoring bij 80 %

transport rond de 50 cm benedenstreams. Er ontstaat een golfbeweging in het water. Deze dempt later uit.

7.5 Spinaker met hoes

Bij dit alternatief wordt het doek, met de drijvers, in een flexibele hoes opgeborgen. In deze vorm wordt het getransporteerd. Op deze manier wordt instroom van water in het doek verhinderd. Na het transport wordt de hoes weggetrokken.

In het model is een hoes toegepast met een diameter van 12 cm. De lengte van de hoes is hetzelfde als de lengte van het doek. Voor de proef is de hoes in zijn geheel over het doek en de drijvers geschoven.

7.5.1 Transport

(Bijlage 7.10, figuren 1 t/m 4)

Sluiting 1 (1.0 m/s)

Tijdens het transport ondervindt het doek bijna geen weerstand en zijn de krachten in de kabels erg laag. Het doek in de hoes drijft op het water. De stroming achter het doek wordt nauwelijks verstoord door de spinakerhoes.

Sluiting 2 (1.75 m/s)

Ook hier ondervindt het doek in de hoes bijna geen weerstand tijdens transport. Het wateroppervlak achter de kering is onrustiger dan bij sluiting 1.

Sluiting 3 (2.5 m/s)

In eerste instantie drijft het doek op het water. Later stroomt er water via de open zijkanten in de hoes waardoor deze voor een deel onder water komt. Hierbij wordt de geul voor een deel afgesloten. De hoes met daarin de spinaker maakt een golfbeweging en veroorzaakt translatiegolven zowel beneden- als bovenstreams.

7.5.2 Sluiten

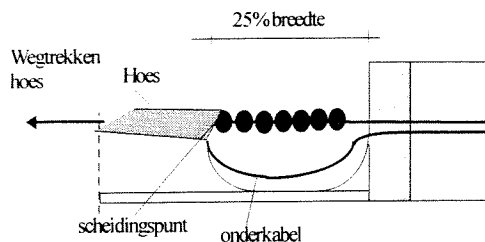
(Bijlage 7.10, figuren 5 t/m 7)

Door de hoes van rechts naar links weg te trekken wordt de doorstroomopening gesloten. De sluiting is horizontaal.

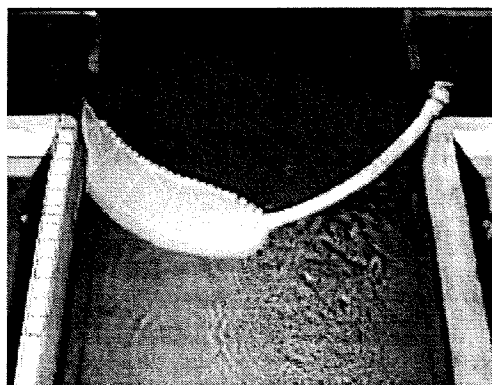
Sluiting 1 (1.0 m/s)

De hoes is 25% weggetrokken (zie figuur 7.13). Het doek dat vrijgekomen is uit de hoes, vangt water en stroomt vol. De onderkabel raakt de bodem niet, het doek wel. De boven- en onderkabel komen bij de opening van de hoes weer bij elkaar. Dit punt wordt enkele centimeters onder water getrokken. De bovenkant van de hoes blijft echter boven water. Bij het scheidingspunt vindt een verstoring

van de waterspiegel plaats. Deze is echter niet groot. Het grootste deel van het water stroomt links langs het doek, een klein deel rechts.



figuur 7.13: 25% weggetrokken hoes



figuur 7.14: 50% weggetrokken

De hoes is 50% weggetrokken (figuur 7.14). Het doek sluit nu $\pm 40\%$ van de geul af. De stroming concentreert zich aan de linkerkant van de kering. Er stroomt echter ook een deel van het water over de hoes. Dit gebeurt vooral in het midden op het scheidingspunt van de hoes en het doek. Dit punt wordt omlaag getrokken. De bovenkant van de hoes bevindt zich net onder het wateroppervlak. De onderkabel van het kerende gedeelte ligt niet op de bodem, het doek wel.

Nog verder wegtrekken van de hoes geeft een nauwere opening waar het water sneller doorheen stroomt. Het scheidingspunt ligt nu nog verder onder water doordat de kracht in de kabels is toegenomen. De onderkabel raakt de bodem niet.

Nadat de hoes volledig is weggetrokken, sluit het doek de geul voor $\pm 95\%$ af. Alleen aan de zijkanten zijn er nog zeer kleine openingen. De onderkabel wordt naar beneden gedraaid waardoor de kering sluit. Hierbij is de hoes eerst weggehaald.

Sluiting 2 (1.75 m/s)

De hoes is 25% weggetrokken. Er gebeurt hetzelfde als bij sluiting 1. Hier maakt het doek echter een golfbeweging, waardoor er golven boven- en benedenstrooms ontstaan.

De hoes is 50% weggetrokken. Er bestaat nog een kleine golfbeweging in de kering. Deze zorgt voor golven zowel boven- als benedenstrooms. De bovenkant van de hoes bevindt zich op het scheidingspunt net onder water, waardoor er water over de hoes loopt. Bij verder wegtrekken van de hoes blijft de kering enigszins golven. Het golven houdt pas op als de hoes geheel is weggetrokken van het doek.

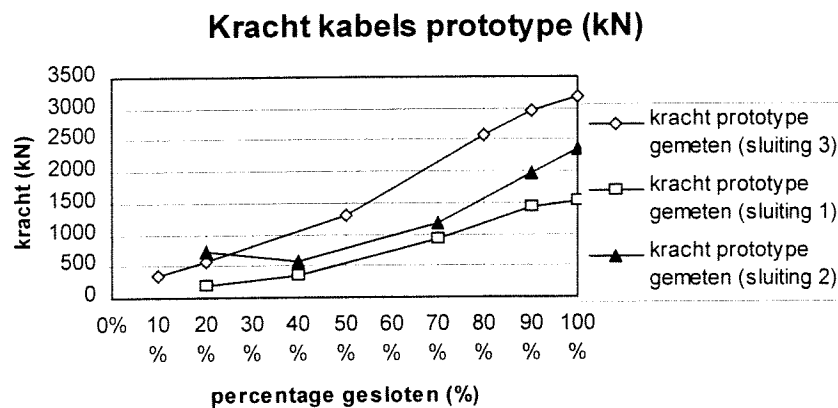
Sluiting 3 (2.5 m/s)

Bij 100% transport maakt het doek al een golfbeweging (zie paragraaf 7.5.1). Wegtrekken van het doek zorgt ervoor dat het doek openvouwt. De kering blijft

echter golven. Bij een afsluiting van de geul van 50% is de frequentie van golven van de kering afgenomen. De opgewekte golven zijn echter wel hoger. Dit blijft zo totdat de hoes in zijn geheel is weggetrokken. Doordat de kering een golfbeweging maakt gedurende het hele sluitingsproces, worden er voortdurend translatiegolven opgewekt.

7.5.3 Krachten

In figuur 7.15 is een grafiek weergegeven met daarin de gemeten krachten in de kabels uitgezet tegen het percentage van sluiten van de doorstroomopening voor de 3 verschillende sluitingen. De weergegeven gemeten kracht bestaat uit de som van de krachten in de onder- en bovenkabel. Hierbij is de gemiddelde kracht over de tijd genomen.



figuur 7.15: gemeten krachten

Er treedt een golfbeweging op in de kracht. De grootste uitwijking zit in de bovenkabel. In tabel 7.3 staan voor de verschillende sluitingen de grootste amplitudes van de krachten weergegeven.

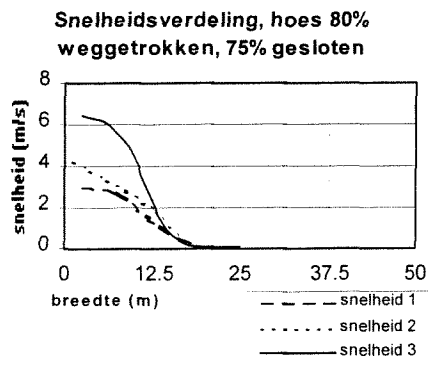
	Amplitude	Percentage gesloten
Sluiting 1, 1.0 m/s	15 kN	70%
Sluiting 2, 1.75 m/s	40 kN	40%
Sluiting 3, 2.5 m/s	187 kN	20%

tabel 7.3: amplitudes krachten

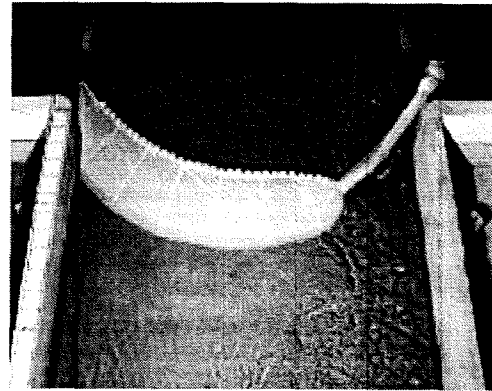
7.5.4 Het stroombeeld

Tijdens transport is de stroming goed verdeeld over de breedte. In bijlage 7.11 zijn drie grafieken weergegeven met de verdeling van de snelheid over de breedte.

De stroomsnelheden zijn het hoogst bij een groot percentage van sluiten (figuur 7.17). Hier zijn de stroomsnelheden weergegeven voor een sluiting van $\pm 75\%$. Er blijft een doorstroomopening aan de linkerkant open. In figuur 7.16 staan de gemiddelde snelheden voor de verschillende sluitingen uitgezet over de breedte. De maximale stroomsnelheden zijn 3.05 m/s (sluiting 1, 1.0 m/s) tot 6.5 m/s (sluiting 3, 2.5 m/s).



figuur 7.16: snelheidsverdeling



figuur 7.17: 75% weggetrokken hoes

De stroomsnelheden in eerdere sluitfasen zijn meer over de breedte verdeeld en de maximale stroomsnelheid ligt een stuk lager. De laatste fase van sluiten geeft de grootste belasting op de bodem- en oeverbescherming.

7.5.5 Turbulentie

Op het scheidingsvlak tussen de hoge snelheid en de lage snelheid is de stroming turbulent (zie figuur 7.17). Dit is rond de 12.5 m van links bij 75% sluiten. De turbulentie is het grootst bij sluiting 3 met 80% transport (zie bijlage 7.12).

7.5.6 Waterstandsverstoringen

Door het inbrengen van het doek treden er zowel boven- als benedenstrooms waterstandsverstoringen op. De grootte van deze verstoringen staan vermeld in tabel 7.4.

	Percentage gesloten	Waterstandsverstoring
Sluiting 1	transport	1-2 cm
	20%	4 cm
	40%	6 cm
	70%	10 cm
	90%	-
Sluiting 2	transport	3-6 cm
	20%	(geen data)
	40%	10 cm
	70%	18 cm
	90%	-
Sluiting 3	transport (10%)	28 cm
	20%	20 cm
	50%	40 cm
	70%	40 cm
	90%	-

tabel 7.4: waterstandsverstoringen

Sluiting 3 (2.5 m/s) geeft de grootste translatiegolven. In bijlage 7.13 zijn grafieken opgenomen waarin de waterstanden staan de grootste verstoring per sluiting.

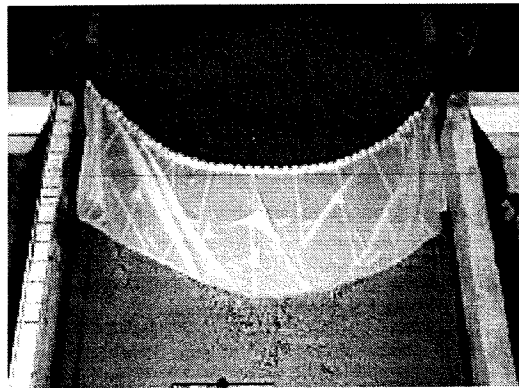
7.6 Zwevend transport met sluiting van boven naar beneden

Het doek wordt bij dit alternatief alleen aan de bovenkabel overgetrokken. De rest van het doek ligt vrij in de stroom. Sluiten gebeurt door de onderkabel aan te trekken.

7.6.1 Transport

(Bijlage 7.14, figuren 1 t/m 4)

Het doek ligt uitgevouwen op het water waarbij de onderkabel geheel los is (zie figuur 7.18). Het water stroomt onder het doek door. De krachten op het doek zijn erg klein. De stroming wordt nauwelijks verstoord. Dit geldt voor alle drie de sluitingen.



figuur 7.18: 100% transport

7.6.2 Sluiten

(Bijlage 7.14, figuren 5 t/m 7)

Sluiten van de kering gebeurt door de onderkabel aan te trekken. In de proefopstelling is dit gebeurd door de onderkabel met slagen van 15 cm (model = 3.75m prototype) per kant aan te trekken. De weergegeven lengte X is de waarde die aangeeft hoeveel de kabel per kant nog aangetrokken moet worden om het doek in de juiste positie te krijgen.

Sluiting 1 (1.0 m/s)

Bij aantrekken van de onderkabel gebeurt er in het begin niets. Bij een lengte van $X = 17$ m begint het doek water te vangen. Er treedt een verticale sluiting op van boven naar beneden.

Lengte $X = 15$ m

Het doek vangt water en sluit de geul voor $\pm 50\%$ af (zie figuur 7.19). De spinaker maakt een golfbeweging waardoor er een verstoring van de waterstand optreedt aan de boven- en benedenstroomse kant.

Lengte X =11 m

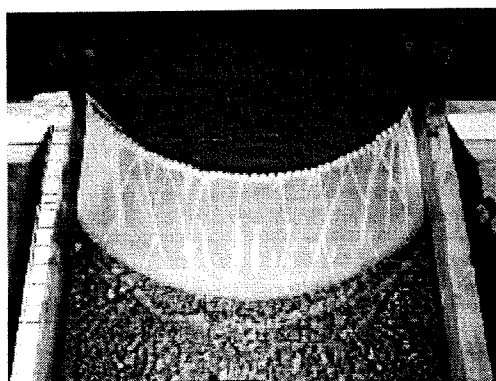
Het doek sluit de geul nu verder af (70%). De kering maakt nog steeds een golfbeweging. Deze golfbeweging nu heeft een lagere frequentie. Ook hier wordt het wateroppervlak boven- en benedenstrooms verstoort.

Lengte X =7.5 m

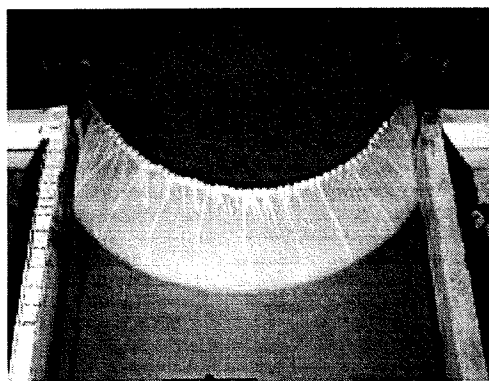
De kering sluit de doorstroomopening nu bijna geheel af. De kering golft niet meer. Het doek is opgestroopt naar het midden toe en heeft nu geen overlengte meer.

Lengte X =3.75 tot 0m

De onderkabel wordt strakker aangetrokken waardoor het doek beter in positie komt. De kering gaat niet golven en er treedt geen verstoring van de waterstand op. Het doek is nog steeds naar binnen toe opgestroopt over de kabels (zie figuur 7.20). Dit maakt voor de kerende werking van de kering niet veel uit, behalve dat er via de plooiën op de bodem meer water wegstroomt.



figuur 7.19: aantrekken onderkabel



figuur 7.20: bijna gesloten kering

*Sluiting 2 (1.75 m/s)*Lengte X =19 m

Het doek vouwt een beetje om bij de onderkabel en vangt een beetje water (sluiting $\pm 10\%$). De waterstand benedenstrooms is zeer weinig verstoord, bovenstrooms helemaal niet. De krachten in de kabels zijn zeer laag.

Lengte X =15 m

Het doek sluit de geul een beetje verder af, maar de onderkabel wordt niet tegen de bodem gedrukt. Het water stroomt onder de kering door.

Lengte X =11 m

Het doek stroomt nu vol water en sluit de geul voor 80% af. De kering komt in een golfbeweging waarbij het water onder de kering doorstroomt. Er treden translatiegolven op zowel boven- als benedenstrooms.

Lengte X=7.5 m tot 0 m

De onderkabel wordt strakker aangetrokken waardoor het doek beter in positie komt. Hierbij houdt de kering op met golven en treedt er geen verstoring van de waterstand op. Het doek is nog steeds naar het midden van de geul opgestroopt over de kabels. Dit maakt voor de kerende werking van de kering niet veel uit, behalve dat er via de plooiën op de bodem meer water wegstroomt.

*Sluiting 3 (2.5 m/s)*Lengte X = 19m

Het doek vouwt een beetje om bij de onderkabel en vangt een beetje water (sluiting $\pm 10\%$). De waterstand benedenstrooms is zeer weinig verstoord, bovenstrooms helemaal niet. De krachten in de kabels zijn zeer laag.

Lengte X = 15 m

Het doek sluit de geul een klein beetje verder af (15 à 20%), maar de onderkabel wordt niet tegen de bodem gedrukt. Het water stroomt onder de kering door.

Lengte X = 11 m

Het doek stroomt nu vol water en sluit de geul voor 60% af. De kering maakt een kleine slingerbeweging. Deze veroorzaakt een kleine translatiegolf boven- en benedenstrooms.

Lengte X = 9.5 m

Het doek sluit de geul $\pm 80\%$ af. Bij het instellen van de juiste waterstanden gaat de kering golven. Grote translatiegolven treden op zowel boven- als benedenstrooms.

Lengte X = 7.5 m

De kering blijft hevig golven waarbij ook het water hevig golft. De kering sluit de geul voor 90% af.

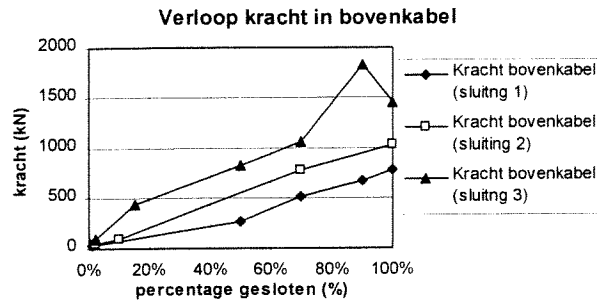
Lengte X = 3.75 tot 0 m

De onderkabel wordt strakker aangetrokken waardoor het doek beter in positie komt. Hierbij houdt de kering op met golven en treedt er geen verstoring van de waterstand op. Het doek is naar het midden van de geul opgestroopt over de kabels. Dit maakt voor de kerende werking van de kering niet veel uit, behalve dat er via de plooiën op de bodem meer water wegstroomt.

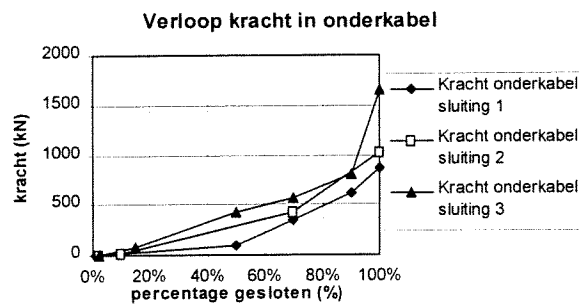
7.6.3 Krachten

Hier moet opgemerkt worden dat het instellen van de juiste waterstanden tijdens het golven van de kering en het water erg lastig is. De ingestelde waarden voldoen bij slingering niet geheel aan de gestelde randvoorwaarden waardoor de gemeten waarden een vertekend beeld tonen. Zij geven echter wel een goed beeld van de optredende verschijnselen tijdens sluiten.

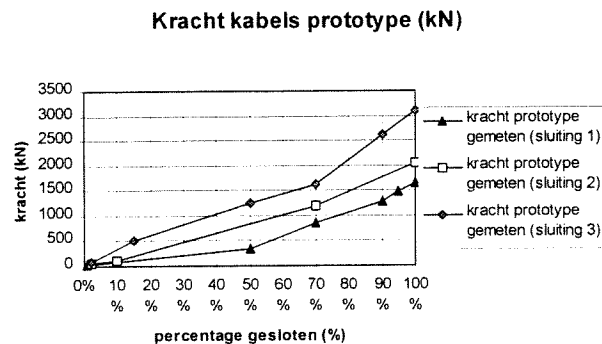
In figuur 7.21 en figuur 7.22 is het verloop van de krachten tijdens sluiten op de boven- en onderkabel weergegeven. Daarnaast is in figuur 7.23 een grafiek weergegeven met daarin het verloop van de gemeten krachten uitgezet tegen het percentage sluiten. De krachten die hier zijn weergegeven, zijn de gemiddelde krachten. De golfbeweging die in de kabels werkt, wordt hierna besproken.



figuur 7.21: kracht in bovenkabel

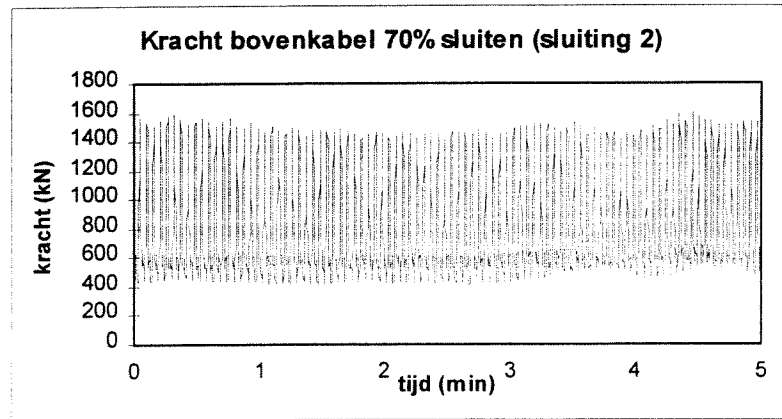


figuur 7.22: kracht in onderkabel



figuur 7.23: kracht op kering tijdens sluiten

Tijdens het golven van de kering worden de kabels met een golfbeweging belast. De golfhoogte van deze belasting kan oplopen tot boven de gemiddelde waarde van de kracht. Voor de in figuur 7.24 getoonde grafiek is de gemiddelde kracht 775 kN en de golfhoogte van de kracht ± 1000 kN (=129% van de gemiddelde kracht). In bijlage 7.15 zijn de grafieken getoond waarin de maximale golfbeweging per sluiting is weergegeven.

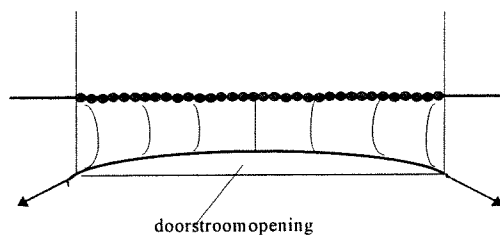


figuur 7.24: golfbeweging in kabel

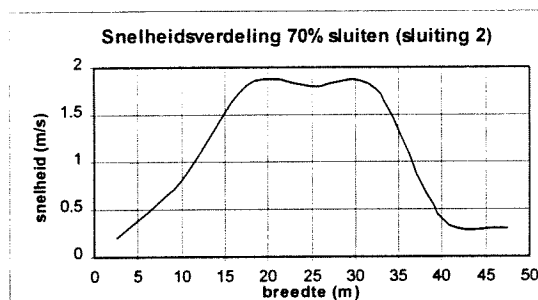
7.6.4 Het stroombeeld

Tijdens het transport van het doek is de verdeling van de stroomsnelheid goed verdeeld over de breedte. Het doek heeft echter wel invloed op de verdeling van de stroming over de breedte. Bij 100% transport is de stroming meer geconcentreerd in het midden. Dit is vooral te zien bij sluiting 3. In bijlage 7.16 zijn drie grafieken weergegeven die de verdeling van de snelheid over de breedte geven.

In de sluitingsfase sluit de spinaker het eerst af aan de zijkanten omdat de onderkabel daar naar beneden wordt getrokken. De stroming onder de kering door concentreert zich in het midden. In de grafiek van figuur 7.26 wordt dat getoond. De gegevens komen van sluiting 2 waarbij de kering voor 70% gesloten is. Ook bij sluiting 1 en 3 verdeelt de snelheid zich op deze manier.



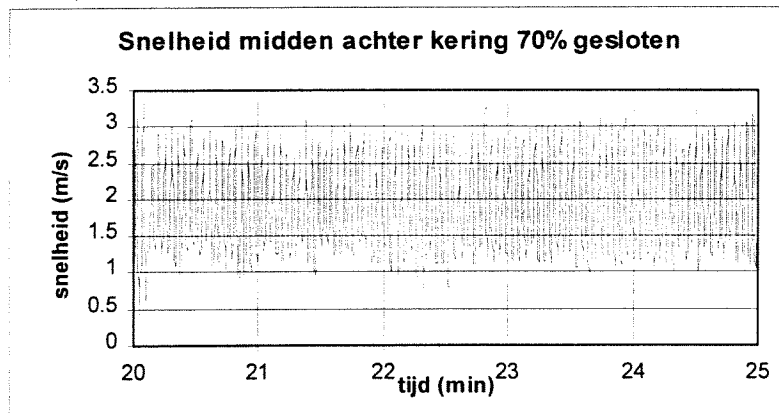
figuur 7.25: einde sluiten



figuur 7.26: snelheid verdeeld over de breedte gemeten vlak boven de bodem.

7.6.5 Turbulentie

Er is bij dit alternatief meer sprake van een grote golfbeweging in de snelheid. Dit kan het beste worden getoond aan de hand van onderstaande grafiek (figuur 7.27). Hier is de snelheid achter het doek gemeten in het midden van de geul. Omdat de kering golft, zit er ook een golfbeweging in de snelheid.



figuur 7.27: snelheid midden achter kering

7.6.6 Waterstandsverstoringen

Door het golven van de kering worden er translatiegolven opgewekt, zowel boven- als benedenstrooms. De hoogte van deze golven varieert afhankelijk van de mate van golven van de kering. In tabel 7.5 staan de golfhoogtes van de opgewekte translatiegolven weergegeven per sluiting. In bijlage 7.17 staat het verloop van de waterstanden voor de drie verschillende sluitingen in grafieken uitgezet.

	<i>Bovenstrooms</i>	<i>Benedenstrooms</i>
Sluiting 1	0.55 m	0.35 m
Sluiting 2	1.00 m	0.60 m
Sluiting 3	0.90 m	0.35 m

tabel 7.5: hoogte translatiegolven

7.7 Zwevend transport met sluiting van beneden naar boven

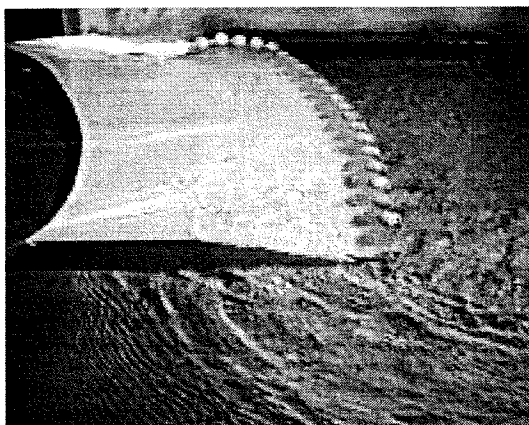
De spinaker wordt alleen aan de onderkabel overgetrokken. De rest van het doek ligt vrij in de stroom. De kering wordt gesloten door de bovenkabel aan te trekken.

7.7.1 Transport

(Bijlage 7.18, figuur 1 t/m 4)

Sluiting 1 (1.0 m/s)

Tijdens transport drijft het doek. De drijvers bevinden zich ter hoogte van de waterspiegel en zorgen ervoor dat er water wordt opgestuwd. De opstuwning is echter maar gering (enkele centimeters). De vorm van het doek is in figuur 7.28 te zien. Het doek brengt een kracht over op de onderkabel. Deze kracht is erg klein. Aan het eind van transport bevindt de onderkabel zich, in het midden van de geul, 20 cm onder het wateroppervlak. De waterstanden boven- en benedenstrooms worden niet verstoord. Direct achter de drijvers is er sprake van enige verstoring, maar deze is erg klein. Het doek stroopt zich over de onderkabel op naar het midden van de geul toe.



figuur 7.28: zijaanzicht doek tijdens transport

Sluiting 2 (1.75 m/s)

Hier gebeurt hetzelfde als bij sluiting 1. De drijvers bevinden zich net onder het wateroppervlak. Hierdoor ontstaat direct achter de kering meer woeling van het water. De vorm van het doek blijft hetzelfde. Het doek wordt iets meer onderwater gedrukt. Bij 100% transport bevindt de onderkabel zich, in het midden van de geul, ± 70 cm onder water.

Sluiting 3 (2.5 m/s)

Bij 100% transport bevinden de drijvers zich geheel onder water. Ook de onderkabel is voor een deel (1 m, in het midden van geul) onder water. Het doek komt echter niet tegen de bodem aan. De waterstand benedenstrooms is verstoord.

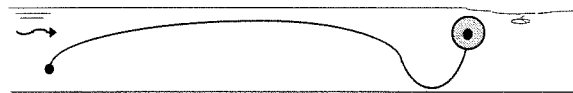
7.7.2 Sluiten

(Bijlage 7.18, figuur 6 t/m 8)

Sluiten van de kering gebeurt door de bovenkabel aan te trekken. In de proefopstelling is dit gebeurd door de bovenkabel met slagen van 15 cm (model = 3.75m prototype) per kant aan te trekken. De weergegeven lengte X is de waarde die de kabel per kant nog aangetrokken moet worden om het doek in de juiste positie te krijgen.

Sluiting 1 (1.0 m/s)

Direct na het transport wordt de onderkabel naar beneden gedraaid. De geul is dan voor $\pm 50\%$ afgesloten. De onderkabel raakt in het midden de bodem niet. Daar stroomt nog water onder de kabel door. De drijvers bevinden zich onder het wateroppervlak (zie figuur 7.29). Het merendeel van het water stroomt over het doek heen. Vlak voor de drijvers ligt het doek op de bodem. Achter de kering is het wateroppervlak verstoord.



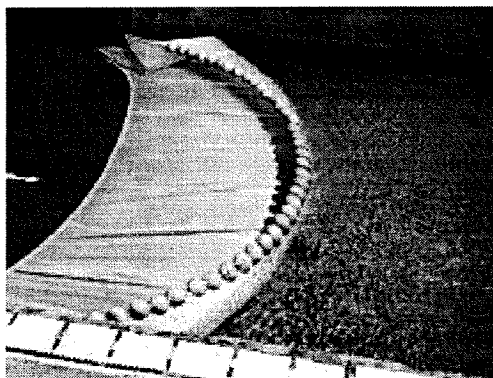
figuur 7.29: dwarsdoorsnede doek bij naar beneden gedraaide onderkabel

Lengte X = 22.5 m

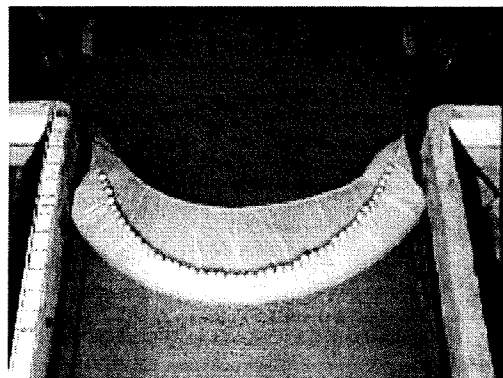
Er komt spanning in de bovenkabel en het doek komt iets overeind te staan bij de bovenkabel. Er wordt $\pm 60\%$ van de geul afgesloten. Het doek aan de zijkanten vouwt in richting het midden van de geul. Dit blijft zo gedurende de rest van sluiten.

Lengte X = 18.75 m

De geul is nu 80% afgesloten. De stroming concentreert zich naar het midden van de geul toe (zie figuur 7.30 en figuur 7.31). De drijvers bevinden zich onder water. Het doek wordt aan de onderkant volledig tegen de bodem gedrukt.



figuur 7.30: aantrekken bovenkabel



figuur 7.31: aantrekken bovenkabel

Lengte X = 15 m

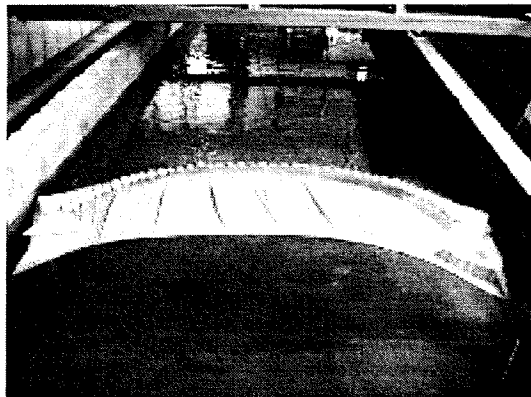
De drijvers aan de zijkanten komen nu boven water. De stroming is meer geconcentreerd in het midden van de geul/kering. Het doek sluit voor de geul 90% af.

Lengte X = 11m

Alle drijvers zijn boven water. Er stroomt een klein beetje water over de kering. Dit gaat erg rustig en veroorzaakt geen woelig wateroppervlak achter de kering. Aan de zijkanten sluit de kering af. Het doek zit echter naar binnen toe opgestroopt over de kabels.

Lengte X = 11m tot 0 m

De drijvers komen boven water. Hoe verder het doek wordt aangetrokken, hoe meer het in zijn uiteindelijke positie komt. De zijkanten sluiten goed af. Het doek is echter wel naar binnen toe gevouwen (figuur 7.32). Er bevinden zich ook veel plooien in het doek als gevolg van het opstropen van het doek over de kabels.



figuur 7.32: naar binnen gevouwen zijkanten

Sluiting 2 (1.75 m/s)

De sluiting gaat hier volgens hetzelfde principe als bij sluiting 1. Het doek gedraagt zich op dezelfde manier waarbij de reacties iets heftiger zijn. Na het naar beneden draaien van de onderkabel bevindt de bovenkabel zich 2.5 m onder het wateroppervlak. De stroming concentreert zich al naar het midden van de geul.

Lengte X = 22.5 m

De bovenkabel komt omhoog en creëert een overlaat. De zijkanten van het doek komen los naar binnen toe van de wand. Het doek gaat daar binnenste buiten staan (zie figuur 7.32). Aan de zijkanten bevindt zich een gat van zo'n 2 m.

Lengte X = 18.75 m

De drijvers zijn verticaal een beetje aan het golven. Achter de kering bevindt zich een watersprong.

Lengte X = 15 m

De vorm van het doek is niet veranderd. De zijkanten beginnen af te sluiten. De drijvers, behalve die in het midden, komen boven water. Het water stroomt rustig over de kering en de watersprong is verdwenen.

Lengte X = 7.5 m

Er stroomt een beetje water over de kering.

Lengte X = 3.75 tot 0m

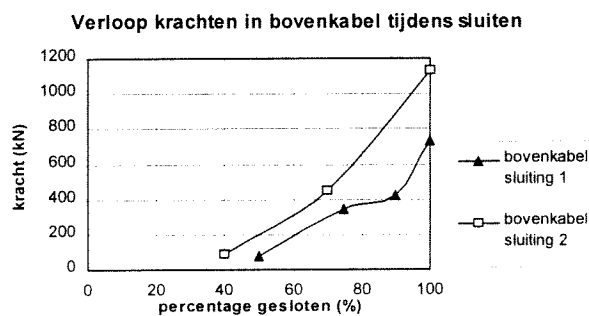
De drijvers komen boven water. Hoe verder het doek wordt aangetrokken, hoe meer het in zijn uiteindelijke positie komt. De zijkanten sluiten goed af. Het doek is echter wel naar binnen toe gevouwen. Er bevinden zich ook veel plooiën in het doek als gevolg van het opstropen van de het doek over de kabels.

Sluiting 3 (2.5 m/s)

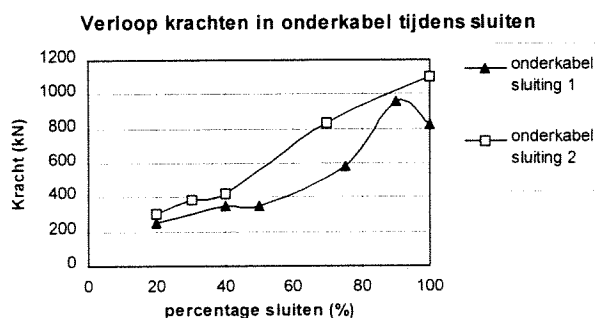
Tijdens het aantrekken van de eerste slagen van de bovenkabel bleek dat er een grote watersprong ontstond achter de kering. De waterstand benedenstrooms was hevig verstoord en de kering maakte een golfbeweging. In bijlage 7.19 is de waterstand benedenstrooms uitgezet tegen de tijd. De bovenstaande waarnemingen hebben ertoe geleid dat de proef niet verder is afgemaakt.

7.7.3 Krachten

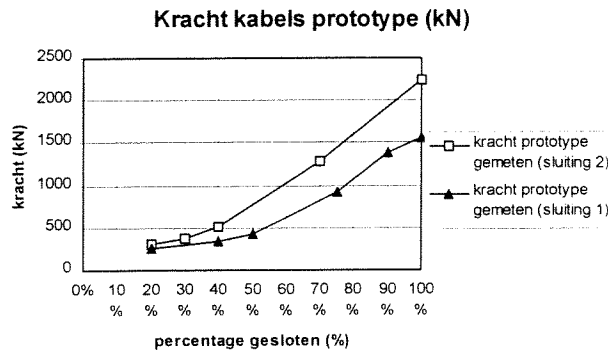
Hieronder zijn in twee grafieken (zie figuur 7.33 en figuur 7.34) de krachten op de onder- en bovenkabel weergegeven. Daarnaast is in de totale gemeten kracht op de kering weergegeven.



figuur 7.33: verloop kracht in bovenkabel



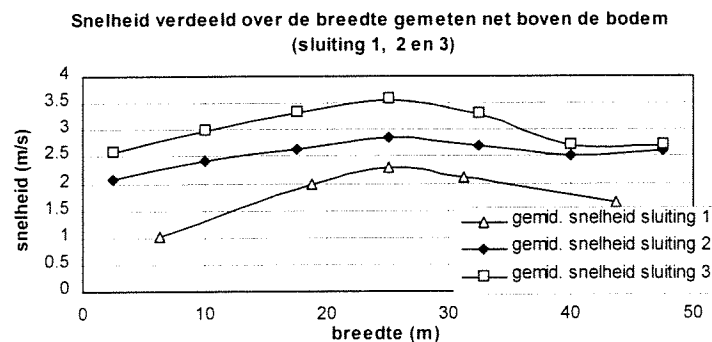
figuur 7.34: verloop kracht in onderkabel



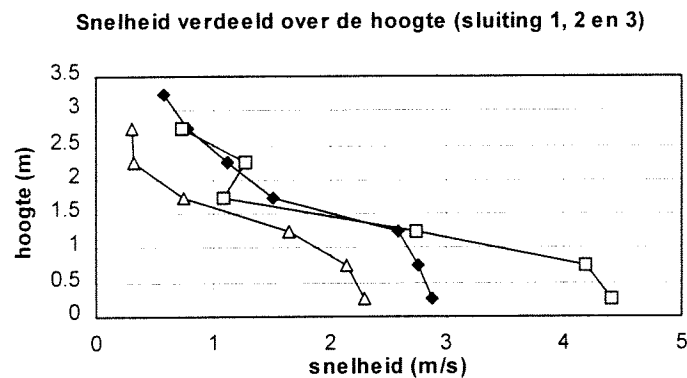
figuur 7.35: gemeten kracht op kering

7.7.4 Het stroombeeld

Tijdens het transport van het doek is de verdeling van de stroomsnelheid over de breedte vrij constant. Doordat het doek al een gedeelte van de doorstroomopening afsluit waarbij het de vorm aanneemt uit figuur 7.28, is de verdeling van de stroomsnelheid over de hoogte anders dan vóór het inbrengen van het doek. In figuur 7.36 is de verdeling van de snelheid over de breedte uitgezet, waarbij de snelheid net boven de bodem is gemeten. De stroomsnelheid is hoger dan de initieel ingestelde snelheid. Daarnaast is de snelheid over de hoogte uitgezet, waarbij gemeten is in het midden van de geul direct achter de kering.

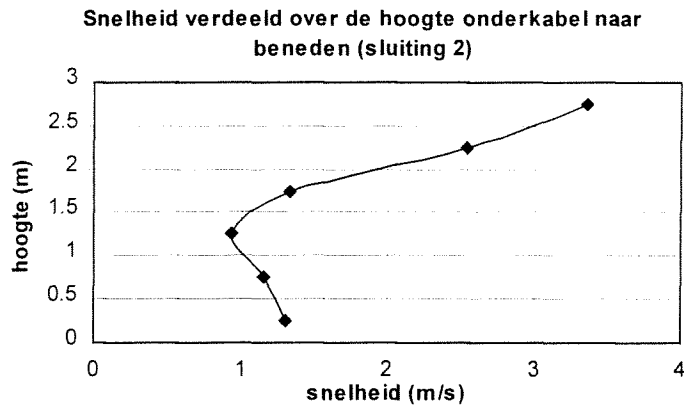


figuur 7.36: snelheidsverdeling over breedte



figuur 7.37: snelheid over de hoogte

De snelheid op de bodem is het hoogst. Zodra de onderkabel naar beneden is gedraaid, verandert dit beeld. In onderstaande grafiek is dit te zien. Tijdens het aantrekken van de bovenkabel verandert de kering in een overlaat. Het doek wordt tegen de bodem gedrukt. De stroming concentreert zich in het midden van de kering. De snelheid van de stroom is gemeten direct boven de drijvers. Daar loopt de snelheid op tot maximaal 3 m/s (sluiting 1) tot 4 m/s (sluiting 2).



figuur 7.38: snelheid verdeeld over de hoogte met de onderkabel naar beneden

Tijdens sluiten zijn de zijkanten van het doek voor een deel naar binnen gevouwen. Hierdoor ontstaan er een opening waardoor water stroomt. Bij sluiting bedraagt de stroomsnelheid door deze openingen ± 2.5 m/s (sluiting 2). De openingen worden beter afgesloten naarmate de bovenkabel verder wordt aangetrokken.

7.7.5 Turbulentie

Bij de openingen aan de zijkanten is de stroming turbulent. Daarnaast is de stroming turbulent bij de overgang van de snelheid in de hoogte. Voor sluiting 1 is dat op ± 1.25 m hoogte boven de bodem, voor sluiting 2 ± 1.75 m.

7.7.6 Waterstandsverstoringen

Bij dit alternatief treden er alleen benedenstrooms waterstandsverstoringen op. De grootste verstoring treedt op bij een afsluiting van $\pm 75\%$ (sluiting 1) en 40% (sluiting 2). In tabel 7.6 zijn de waarden gegeven.

	<i>Bovenstrooms</i>	<i>Benedenstrooms</i>
Sluiting 1	1.5 cm	20 cm
Sluiting 2	4 cm	25 cm

tabel 7.6: waterstandsverstoringen

7.8 Kerende fase van de kering

Hier wordt de kering in kerende fase besproken. De volgende punten worden behandeld: de krachten op het doek, het lekdebiet, de invloed van de drijvers en de stabiliteit van de kering.

7.8.1 Krachten

De krachten zijn in maximale te keren toestand gemeten. Er is twee keer gemeten met twee verschillende waterstanden. De krachten op de kabels bij deze waterstanden zijn berekend en gemeten. Deze gemeten waarden verschillen maar 4% met de berekende waarden (zie tabel 7.7). Een mogelijke oorzaak voor het verschil kan de wrijving van het doek met de drempel zijn. De gemeten waarde in de onderkabel is lager dan de gemeten waarde in de bovenkabel.

Gemeten	Waterstand	Berekend	verschil:
$F_{\text{bov}} = 2541 \text{ kN}$	$h_{\text{bov}} = 6.54 \text{ m}$	$F_{\text{bov berekend}} = 2518 \text{ kN}$	
$F_{\text{ben}} = 2293 \text{ kN}$	$h_{\text{ben}} = 2.93 \text{ m}$	$F_{\text{ben. berekend}} = 2517 \text{ kN}$	
Totaal: 4834 kN		5035 kN	4.1%

tabel 7.7: gemeten en berekende krachten

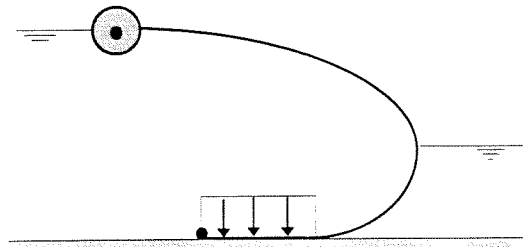
Wrijvingsverlies

Om te controleren of de oorzaak voor het meten van een lagere kracht in de onderkabel inderdaad afkomstig is van het wrijvingsverlies, moet de wrijvingscoëfficiënt bepaald worden. De globale waarde van de wrijvingscoëfficiënt is bepaald voor het schaalmodel (zie bijlage 7.20). Deze waarde is 0.02. Met de volgende formule wordt het wrijvingsverlies bepaald:

$$W = f \cdot N \quad (7.1)$$

Hierin is W: wrijvingskracht (N)
 f: wrijvingscoëfficiënt
 N: kracht loodrecht op het doek (N)

Voor de grootte van de drukkracht N wordt de druk op het doek dat op de bodem ligt, genomen (zie figuur 7.39). Deze druk bedraagt 2600 N/m^2 (model). De druk, vermenigvuldigd met het oppervlak van het doek dat op de bodem ligt ($\text{opp} = 0.461 \text{ m}^2$), geeft de kracht loodrecht op het doek. Invullen in (7.1) geeft de wrijvingskracht. De wrijvingskracht wordt verdeeld over 2 ophangpunten: $F_{w, \text{tot}} = 24 \text{ N}$, door 2 gedeeld geeft $F_{w, \text{enkel}} = 12 \text{ N}$. Met de formules van paragraaf 4.2.2 is de kracht te berekenen die theoretisch gemeten zou moeten worden. Hierin is $F_{v, \text{onder}} = F_v / 2 - F_{w, \text{enkel}}$. Dit geeft voor de berekende waarde op de onderkabel 149.7 N . De gemeten kracht bedraagt 146.7 N . Dit komt goed overeen. Aangenomen is dat de hoek van de kabel met de vijzel gelijk blijft.



figuur 7.39: druk op het doek

7.8.2 Debiet door kering

In het schaalmodel is de kering in kerende fase niet helemaal waterdicht. Dit heeft een aantal oorzaken. Zo is het doek niet geheel waterdicht en stroomt er ook water via de naden van de lamellen. Daarnaast zijn de zijaansluitingen niet geheel waterdicht en stroomt er water onder de kering door de plooiën die zich in het doek bevinden. Bij maximaal te keren verval stroomt er ook enig water over de kering. In figuur 7.40 is de zijaansluiting van het doek met de wand te zien.



figuur 7.40: zijaansluiting

Het lekdebiet is globaal bepaald. Het oppervlak van de bak is bepaald en de daling van de waterstand in een bepaalde tijd is gemeten. Hieruit is het lekdebiet bepaald. Dit is gedaan voor een groot verval en voor een lager geval over de kering. In tabel 7.8 staan de waarden van het lekdebiet weergegeven voor het schaalmodel en voor het prototype.

<i>Verval</i>	<i>lekdebiet schaalmodel (m³/s)</i>	<i>lekdebiet prototype (m³/s)</i>
7.2 cm/ 1.8 m	$2.95 \cdot 10^{-4}$	0.920
14.6 cm/ 3.65 m	$3.7 \cdot 10^{-4}$	1.160

tabel 7.8: lekdebiet

7.8.3 Drijvers

Om te kijken of de drijvers van enig nut zijn, is de kering getest zonder drijvers met maximaal te keren verval. Hierbij stroomt er continu vrij veel water over de kering heen, zowel aan de zijkanten als in het midden. In het midden stroomt het water het meest over de kering heen. De bovenkabel bevindt zich net onder de waterspiegel. Door de bovenkabel aan de beide kanten 10 cm (model = 2.5 m prototype) omhoog te draaien, komt de bovenkabel op het waterniveau. Er

stroomt nu weinig water over de kering heen. De kabel maakt een hoek van 10° met de horizontaal.

Ook bij het doek met drijvers stroomt er bij het maximaal te keren verval enigszins water over de kering. Dit komt omdat het drijfvermogen van de drijvers die zijn toegepast in het model niet voldoende is (zie paragraaf 6.4.2). Er stroomt echter beduidend minder water over de kering dan bij een doek zonder drijvers.

7.8.4 Stabiliteit

De kering is stabiel en komt snel terug in de oorspronkelijke positie nadat er tegenaan geduwd is. Binnen een aantal golfbewegingen is de kering weer terug in stabiele positie.

8. Toetsing en vergelijking alternatieven

8.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten vergeleken met de voorspellingen die gemaakt zijn en met de beoordelingspunten uit hoofdstuk 5. Allereerst worden de beoordelingspunten behandeld. Hier worden de alternatieven beschouwt t.o.v. het referentie alternatief. Verder is er een vergelijking tussen de alternatieven onderling gemaakt. Alle vermelde waarden en afmetingen in dit hoofdstuk worden voor het prototype besproken.

8.2 Toetsing aan beoordelingspunten

8.2.1 Nul alternatief, horizontale sluiting (referentie alternatief)

Het doek vouwt na 40% tot 60% transport uit. Dit is iets verder dan in hoofdstuk 5 is beschreven. Aan het einde van het transport sluit de kering 90% af i.p.v. 70% (hoofdstuk 5).

Opwekken translatiegolven

Er treedt bovenstrooms geen verstoring op aan het wateroppervlak. Benedenstrooms treedt er wel een verstoring op. Die loopt uiteen van 0.05 tot 0.40 m. Sluiting 3 geeft de grootste verstoringen.

Het is mogelijk dat er een translatiegolf optreedt bij het vangen van water door het doek. Dit kan gebeuren tussen de 40% en 60% transport. Er zal dan een golf boven- en benedenstrooms optreden. Deze test is echter niet uitgevoerd.

Slijtage aan het doek

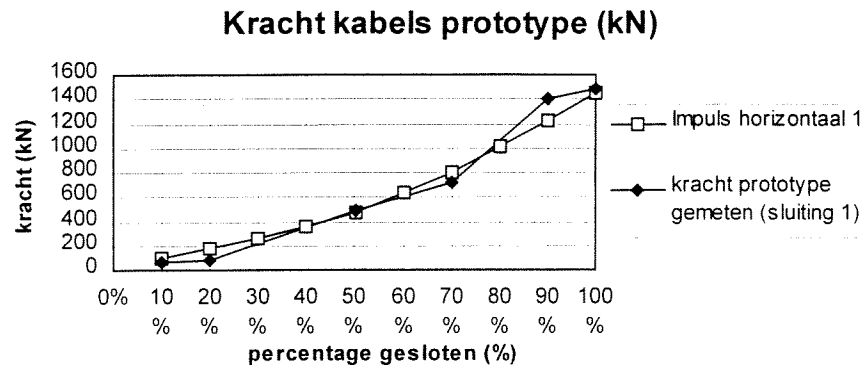
Bij 40% tot 60% transport wordt het doek tegen de bodem aangedrukt. Bij verder transport blijft het doek tegen de bodem aangedrukt en schuurt het over de drempel. Door het grotere verval dat ontstaat over de kering naarmate het transport verder vordert, wordt het doek sterker tegen de bodem aangedrukt waardoor de slijtage groter zal zijn. De onderkabel raakt tijdens het transport de drempel niet. Hierdoor slijt de kabel en het doek dat om de kabel heen zit niet tijdens transport.

De zijkanten van het doek zullen niet veel slijten tijdens de sluitingsprocedure. Aan het eind van transport is het doek al geheel uitgevouwen, waardoor de zijkanten zich reeds in de juiste positie bevinden. Alleen de onderkabel moet naar beneden gedraaid worden, maar deze heeft geen rechtstreeks contact met de zijkanten.

Krachten op functionele onderdelen

In figuur 8.1 is een grafiek weergegeven met daarin de gemeten en berekende krachten in de kabels uitgezet tegen het percentage van sluiten van de

doorstroomopening voor sluiting 1. De berekende krachten op de kering zijn berekend met de impulsbalans uit paragraaf 4.2.3. In bijlage 8.1 zijn de grafieken voor sluiting 2 en 3 gegeven. Het blijkt dat de gemeten en de berekende krachten niet geheel overeenkomen. Het verschil is het grootst bij een laag percentage van gesloten doorstroomopening. Bij grotere percentages van sluiten is het verschil minder. In bijlage 8.2 worden de verschillen vermeld in een tabel. Verschillen groter dan 20% worden besproken.



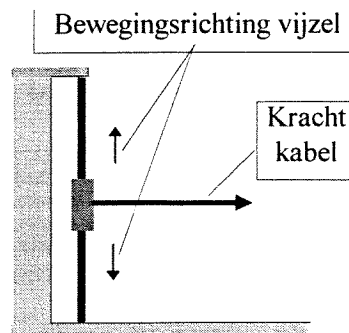
figuur 8.1: berekende en gemeten krachten

- De lieren

De kracht op de lieren loopt op van 0 kN tot maximaal 1400 kN voor sluiting 1 (1.0 m/s). Voor sluiting 2 (1.75 m/s) en sluiting 3 (2.5 m/s) loopt dit van 0 kN tot 2000 kN respectievelijk tot 3100 kN. Dit is voor twee lieren samen. De kracht op de bovenkabel ligt maximaal 40% hoger dan de kracht op de onderkabel (tijdens transport). De capaciteit van de lier voor de bovenkabel moet maximaal 406 kN (sluiting 1), 612 kN (sluiting 2) tot 904 kN (sluiting 3) bedragen. De capaciteit van standaard leverbare lieren bedraagt ± 12 ton (bron: Brevini riduttori), zodat voor deze toepassing speciale lieren moeten worden gefabriceerd. Dit is kostbaar.

- De vijzels

De maximale kracht op de vijzels is de kracht op de kabels bij maximaal te keren waterstand. In paragraaf 7.8 is hiervoor 4834 kN gemeten. Hierbij waren de maximaal in te stellen waterstanden nog niet bereikt. Daarnaast treden er wrijvingsverliezen op aan de bodem. Bij deze bespreking wordt daar echter geen rekening mee gehouden en wordt van de berekende waarden bij maximaal verval uitgegaan. Deze kracht bedraagt 5297 kN. Door deze kracht door 2 te delen wordt de kracht per vijzel uitgerekend. Deze bedraagt 2649 kN per vijzel. De kracht op de vijzel staat loodrecht op de bewegingsrichting van de vijzels (zie figuur 8.2). De verticale kracht die de vijzels moeten leveren om vertikaal te bewegen, wordt bepaald door de horizontale kracht met een factor f te vermenigvuldigen. De grootte van deze factor wordt bepaald door het toe passen systeem.



figuur 8.2: bewegingsrichting van de vijzel

- Het doek/ de kabels

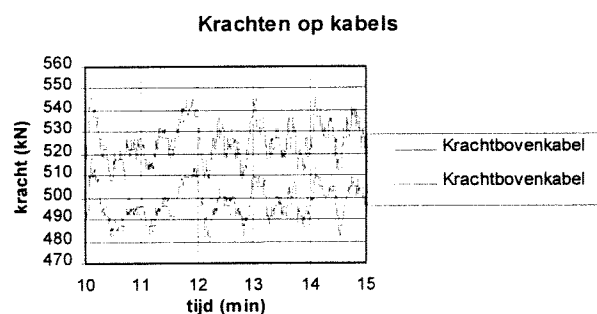
De kracht in het doek bedraagt 90.1 kN/m^1 . Hoe groot de kracht in de langsrichting van de het doek loopt is niet bekend. De maximale kracht in de kabels bedraagt 2649 kN per kabel. Hier is ervan uitgegaan dat de berekende waarde overeenkomt met de gemeten waarden. Dit is gebaseerd op de vergelijking van de gemeten waarden met de berekende waarden (zie bijlage 8.2) waaruit naar voren komt dat deze goed overeenkomen bij 100% sluiten.

- De landhoofden

De maximale kracht per landhoofd bedraagt 5297 kN . Deze kracht wordt verdeeld over 2 ophangpunten.

Dynamische belasting

In de fasen waarin de kering is getest, beweegt de kering niet. De dynamische belasting op de kabels is in die fasen laag. Bij sluiting 1 (1.0 m/s) zijn geen dynamische belastingen gemeten. Bij sluiting 2 (1.75 m/s) en sluiting 3 (2.5 m/s) zit er een beweging in het krachtverloop. Deze is echter heel klein (zie figuur 8.3). Tijdens het openvouwen van het doek (tussen 40% en 60% transport) worden grotere dynamische belastingen verwacht. Deze zijn echter niet gemeten.



figuur 8.3: dynamische belasting op kabels (sluiting 3)

Beheersbaarheid

Deze sluitmethode is goed beheersbaar. Tijdens het transport vouwt het doek uit tussen de 40% en 60%. De sluitprocedure verloopt elke keer op min of meer dezelfde manier. Er moeten echter grote krachten in de transportfase overwonnen worden om de kering te kunnen sluiten. Een moeilijk punt in dit proces is het

aankoppelen van de kabels van het doek aan de vizzels. Tijdens het aankoppelen staat er een grote kracht op de kabels. Er moet een systeem bedacht worden om de kabels op een goede en veilige manier aan de vizzels te koppelen.

Stromingen

Tijdens het transport neemt de doorstroomopening naar rechts af. Er vindt contractie van de stroming plaats. De stroomsnelheden nemen daarbij toe, waarbij ook de mate van verstoring in het wateroppervlak toeneemt. Aan het einde van het transport is de doorstroomopening bijna geheel gesloten (90%). Het doek ligt volledig op de bodem. De onderkabel echter nog niet, zodat er een kleine opening blijft bestaan aan de zijkanten. Het water stroomt hier met een lage snelheid doorheen. Het water stroomt ook meer langs de zijkanten dan onder de kering door zoals in figuur 5.5 is aangeduid.

Er is sprake van een horizontale sluiting van links naar rechts. Er treedt een concentratie van de stroming op aan de rechter kant. Bij 80% transport is de maximale snelheid gemeten, 2.81 m/s (sluiting 1), 3.84 m/s (sluiting 2) tot 5.58 m/s (sluiting 3). Dit zijn hoge snelheden (vooral sluiting 3). Er moet een zware bodemverdediging aan de rechterkant van de geul worden toegepast, waarbij ook de oever goed beschermd moet worden tegen uitschuring. Op het scheidingsvlak tussen hoge en lage snelheid treden wervels op en is de stroming turbulent. Hier moet een goede bodembescherming worden aangebracht.

Bij toepassing van een stortstenen bodembescherming kan de diameter van de toe te passen stenen erg groot worden. Om een idee te krijgen van deze grootte is de formule van Isbash (8.1) gebruikt voor beschutte stenen. In deze formule wordt geen rekening gehouden met de diepte.

$$\frac{U^2/2g}{\Delta \cdot D_{50}} = 1.4 \quad (8.1)$$

Voor de dichtheid van steen is 2650 kg/m³ genomen. De grootte van de diameter van de steen komt met invullen van de stroomsnelheden uit op 0.17 m, 0.31 m en 0.65 m voor respectievelijk sluiting 1, sluiting 2 en sluiting 3.

Andere oplossingen om de bodem te beschermen (zoals geotextiel met betonblokken, asfalt of beton) zijn ook denkbaar. Het valt echter buiten het bestek van dit onderzoek om hier dieper op in te gaan.

Samenvatting

Er treedt een kleine waterstandsverstoring benedenstrooms op bij sluiting 1. Sluiting 2 en 3 geven een grote waterstandsverstoring. Door het uitvouwen van het doek tijdens het transport zal het doek aan slijtage onderhevig zijn tijdens het verdere transport. De krachten op de lieren zijn groot als gevolg van het uitvouwen van het doek tijdens transport. Op de andere functionele onderdelen zoals de vizzels, de kabels en de landhoofden komt de maximale belasting te

staan. De dynamische belasting op dit alternatief is laag. De beheersbaarheid, zoals deze is gedefinieerd in hoofdstuk 5, is goed. Aan het einde van sluiten treedt er een forse contractie van de stroming op, waardoor de stroomsnelheden hoog worden. Er moet een zware bodemverdediging worden toegepast.

8.2.2 Spinaker met scherm

Er treedt een verticale sluiting op zoals in hoofdstuk 5 is beschreven. Deze sluiting is echter niet geleidelijk, maar treedt in zeer korte tijd op. Daarbij sluit de spinaker in een korte tijd de doorstroomopening.

Opwekken translatiegolven

Tijdens sluiten (sluiting 1, 1.0 m/s) treedt er een verstoring van ± 25 cm op (bovenstrooms). Bij sluiting 2 (1.75 m/s) treedt benedenstrooms een golfbeweging op met een golfhoogte van 50 cm. Dit zijn de maximaal optredende verstoringen in de waterstanden.

Slijtage aan het doek

Bij sluiting 1 (1.0 m/s) zal weinig slijtage aan het doek optreden. De enige slijtage die kan optreden, is slijtage van de zijkanten van het doek. Het doek schuurt langs de zijkanten tijdens het naar beneden draaien van de onderkabel. Door de dynamische belasting tijdens het sluiten kan er wel vermoeiing van het materiaal optreden.

Bij sluiting 2 (1.75 m/s) is in het laatste deel van het transport (van 80% tot 100%) het doek opgevouwen. Het doek wordt tegen de bodem aangedrukt en schuurt over de drempel bij verder transport. Er zal slijtage van het doek optreden aan de onderkant. Ook hier kan er vermoeiing van het materiaal optreden door de dynamische belasting tijdens het sluiten.

Krachten op functionele onderdelen

- De lieren

Bij sluiting 1 treden er lage krachten (max. 47 kN) op de lieren. Bij sluiting 2 zijn de krachten veel hoger. Hier moeten dezelfde krachten worden geleverd als bij het nul-alternatief aan het eind van transport. De maximale kracht op de lier voor de bovenkabel bedraagt 612 kN. Ook voor dit alternatief moeten speciale lieren gefabriceerd worden indien de kering moet kunnen sluiten bij een stroomsnelheid van 1.75 m/s.

- De landhoofden/ het doek/ de kabels/ de vijzels

De gemeten waarden zijn niet representatief. Hier wordt van de berekende waarden uitgegaan in maximaal te keren toestand (zie paragraaf 4.2.2).

Dynamische belasting

De dynamische belasting op de kabels tijdens sluiten is hoog. Vooral bij het begin van sluiten. Bij sluiting 1 (1.0 m/s) komt er een kracht op de kabels in een golfbeweging met een amplitude van ± 100 kN bij sluiting 2 (1.75 m/s) is dat ± 250 kN (zie figuur 7.9 en 7.11).

Beheersbaarheid

Het transport is redelijk beheersbaar voor sluiting 1 (1.0 m/s). Het scherm moet echter wel goed in positie zijn gebracht, zodat het tijdens het transport niet kan verschuiven. Verschuift het scherm wel dan kan het doek al tijdens het transport uitvouwen en water vangen. Hierdoor komen er grote krachten op de lieren.

Bij het transport bij sluiting 2 (1.75 m/s) stroomt het doek na 80% transport vol. Hierdoor moeten de lieren alsnog een hoge kracht leveren en heeft het scherm zijn waarde verloren.

De sluiting van dit alternatief is niet beheersbaar. Het moment van sluiten is niet te voorspellen. Wanneer de kering sluit, sluit de kering in één keer de gehele doorstroomopening af. Hierbij treden altijd translatiegolven op.

Stroombeeld

Sluiting 1 (1.0 m/s) geeft een verticale sluiting van boven naar beneden. Het stroombeeld tijdens de metingen is niet goed bepaald omdat de sluiting te snel gaat. Bij een verticale sluiting van boven naar beneden wordt de stroming over de gehele breedte verdeeld. Dit is gunstig voor de toe te passen bodembescherming.

Sluiting 2 geeft een geconcentreerde stroming aan de rechterkant bij 80% transport. Dit geeft hetzelfde stroombeeld als bij het nul-alternatief bij 80% transport, waarbij dezelfde zware bodemverdediging moet worden toegepast (paragraaf 8.2.2).

Samenvatting

Er treden zowel boven- als benedenstrooms translatiegolven op. Voor sluiting 1 zijn deze klein en voor sluiting 2 groot. Bij sluiting 1 treedt er niet veel slijtage aan het doek op bij sluiting 2 wel. Bij sluiting 1 is de belasting op de lieren laag. Sluiting 2 is geeft daarentegen een zelfde belasting op de lieren als bij het nul-alternatief. Op de andere functionele onderdelen zoals de vijzels, de kabels en de landhoofden komt de maximale belasting te staan. Tijdens sluiten wordt de kering zwaar dynamische belast. Het hele sluitingsproces is niet beheersbaar omdat het moment van sluiten niet goed te bepalen is. Bij een verticale sluiting (sluiting 1) wordt de stroming over de hele breedte verspreid. Dit is gunstig.

8.2.3 Spinaker in hoes

In tegenstelling tot wat er in hoofdstuk 5 wordt vermeld, vindt hier een horizontale sluiting plaats i.p.v. een verticale. Direct na het wegtrekken van de hoes vangt het doek water. Hierdoor verloopt het stroombeeld ook anders dan voorspelt in hoofdstuk 5.

Opwekken translatiegolven

Er treedt bovenstrooms geen grote verstoringen op van het wateroppervlak. Benedenstrooms treedt er wel een verstoring op. Die loopt uiteen van 0.02 tot 0.40 m. Sluiting 3 geeft de grootste verstoringen.

Sluiting 1: verstoring van de waterstand van max. 10 cm.

Sluiting 2: translatiegolven tot max. 20 cm.

Sluiting 3: translatiegolven tot max. 40 cm.

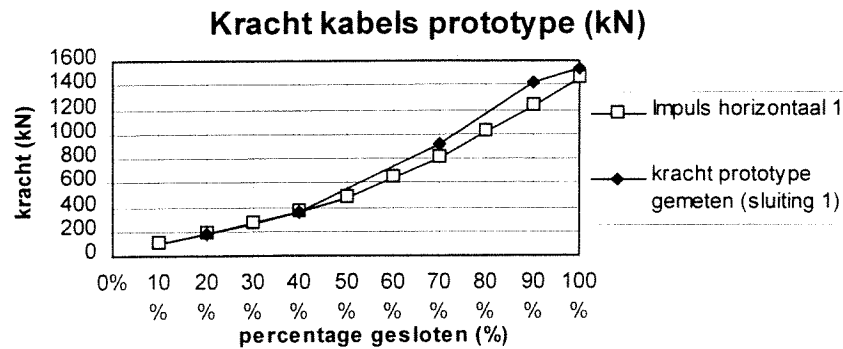
Slijtage aan het doek

Er zal weinig slijtage van het doek optreden omdat het doek niet beweegt tijdens sluiten. Er treedt geen wrijving op tussen het doek en de drempel of de wanden. De hoes wordt wel zwaar belast op het punt van scheiding van het doek en de hoes. Hier komt een openscheurende kracht op het uiteinde van de hoes te staan. De drijvers worden daarbij ook belast en moeten goed aan de spinaker verbonden zijn.

Bij sluiting 2 en 3 komt de kering in een golfbeweging waardoor het doek over de drempel en de zijkanten beweegt. Hierdoor kan er slijtage optreden van het doek. Het is echter een lichte golfbeweging zodat de kering weinig beweegt. Hierdoor zal de slijtage van het doek ook gering zijn.

Krachten op functionele onderdelen

In figuur 8.4 is een grafiek weergegeven met daarin de gemeten en berekende krachten in de kabels uitgezet tegen het percentage van sluiten van de doorstroomopening. De gemeten en berekende krachten komen niet geheel overeen. In bijlage 8.3 zijn de grafieken voor sluiting 2 en 3 gegeven. In bijlage 8.2 worden de verschillen vermeld en verschillen groter dan 20% worden besproken.



figuur 8.4: gemeten en berekende kracht op de kering (sluiting 1)

- De lieren

De krachten op de lieren lopen van 70 kN (sluiting1, 1.0 m/s), 87 kN (sluiting2, 1.75 m/s) tot 349 kN (sluiting 3, 2.5 m/s). Voor sluiting 1 en 2 kan een standaard lier gebruikt worden (hierbij zijn echter geen veiligheidsfactoren meegerekend). Voor de andere sluiting moeten speciale lieren worden gefabriceerd.

- De vijzels/ Het doek/de kabels/ De landhoofden

Deze onderdelen worden maximaal belast. Voor de waarden van deze belasting wordt verwezen naar paragraaf 8.2.1. In deze paragraaf staat besproken wat de maximale kracht op elk onderdeel is.

Dynamische belasting

Doordat de kering gaat golven tijdens sluiten wordt de kering dynamisch belast. Dit gebeurt bij sluiting 2 (1.75 m/s) en 3 (1.0 m/s). Ook bij sluiting 1 wordt de kabel dynamisch belast. De grootte van de golfhoogte van de kracht op de kabels bedraagt 15 kN (sluiting 1), 40 kN (sluiting 2) tot 187 kN (sluiting 3). In procenten van de totale kracht is dit respectievelijk 3%, 11% en 95%. De mate van dynamische belasting voor sluiting 1 en 2 is niet hoog. Bij sluiting 3 is deze een stuk hoger. Dit komt doordat de hoes vol water is gelopen en voor een deel onder water ligt. Het doek gaat hierdoor golven en er komen dynamische belasting op de kering.

Beheersbaarheid

Deze sluitmethode is goed beheersbaar. Dit geldt zeker voor sluiting 1. Bij sluiting 2 en 3 gaat de kering golven. De sluitprocedure verloopt altijd op min of meer dezelfde manier. Het doek moet echter goed zijn opgevouwen in de hoes, zodat het doek netjes uitvouwt tijdens het wegtrekken van de hoes. Er moet nog een manier bedacht worden om de hoes van de kabels te krijgen en om het doek weer in de hoes te krijgen.

Stromingen

Er is sprake van een horizontale sluiting van rechts naar links. Er treedt een concentratie van de stroming op aan de linkerkant. Bij 80% transport is de

maximale snelheid gemeten, 3.04 m/s (sluiting 1), 4.3 m/s (sluiting 2) tot 6.5 m/s (sluiting 3). Voor deze sluitingsmethode geldt hetzelfde als bij het nul-alternatief voor de bodembescherming. Er moet een zware bodembescherming worden toegepast. Ook de oever moet goed beschermt worden tegen uitschuring. In paragraaf 8.2.1 is een indicatie van de afmetingen van de toe te passen steengroottes gegeven.

Door de hoes naar twee kanten weg te trekken wordt de kering van het midden van de geul naar zowel de linker- als de rechterkant gesloten. Hierdoor verdeelt de stroming zich over twee sluitgaten waardoor de stroomsnelheden veel lager zullen zijn. De bodembescherming kan dan ook lichter worden uitgevoerd. Deze variant is niet getest in de proefopstelling.

Samenvatting

Bij dit alternatief treden er kleine tot grote waterstandsverstoringen op voor de drie verschillende sluitingen. Hierbij geeft sluiting 1 de kleinste en sluiting 3 de grootste verstoring. Slijtage treedt er bij dit alternatief niet op. Wel moet er rekening gehouden worden met de openscheurende kracht op de hoes. De krachten op de lieren zijn laag. Op de andere functionele onderdelen zoals de vijzels, de kabels en de landhoofden komt de maximale belasting te staan. De dynamische belasting is laag voor sluiting 1 en 2, maar voor sluiting 3 is deze wel hoog. Bij sluiting 1 is deze sluitmethode goed beheersbaar. Bij sluiting 2 en 3 gaat de kering meer golven maar is ook dan nog beheersbaar. Er treedt een horizontale sluiting op waardoor er contractie van de stroming optreedt. De stroomsnelheden nemen sterk toe op het eind van sluiten. Om de bodem te beschermen tegen deze stroomsnelheden moet een zware bodem- en oeververdediging worden toegepast. Voor deze bodembescherming geldt hetzelfde als het nul-alternatief.

8.2.4 Zwevend transport met sluiting van boven naar beneden

Bij dit alternatief gaat de kering tijdens het sluiten hevig golven. Door de kering verder te sluiten houdt het golven op. Dit gebeurt bij elke soort sluiting (1,2,3).

Opwekken translatiegolven

Op een bepaald moment van sluiten gaat de kering golven. Er treden zeer grote translatiegolven op zowel boven- als benedenstreams. Bovenstreams treden de grootste golven op die een hoogte van 1.00 m kunnen bereiken (zie paragraaf 7.6).

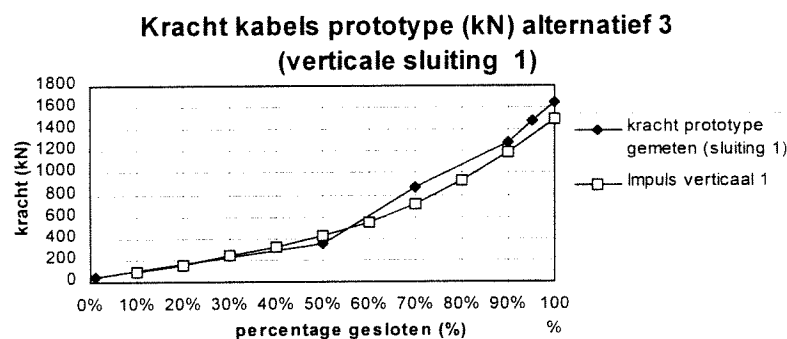
Slijtage aan het doek

Het doek komt in aanraking met de bodem voordat het in zijn uiteindelijke positie is getrokken. Tijdens de laatste fase van sluiten schuurt het doek en de onderkabel over de bodem. In deze fase is de kering voor $\pm 90\%$ gesloten en staat er een groot verval over de kering. Het doek wordt sterk tegen de drempel aangedrukt waardoor de onderkant van het doek aan slijtage onderhevig zal zijn.

Slijtage van de zijkanten zal in mindere mate optreden. Tijdens het golven van de kering bewegen de zijkanten langs de landhoofden. Hierdoor zal ook slijtage aan de zijkanten optreden.

Krachten op functionele onderdelen

In figuur 8.5 is een grafiek weergegeven met daarin de gemeten en berekende krachten in de kabels uitgezet tegen het percentage van sluiten van de doorstroomopening. De gemeten en berekende krachten komen niet geheel overeen. In bijlage 8.4 zijn de grafieken voor sluiting 2 en 3 gegeven. In bijlage 8.2 worden de verschillen vermeld en verschillen groter dan 20% worden besproken.



figuur 8.5: gemeten en berekende kracht op kering (sluiting 1)

- De lieren

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen de lieren voor de bovenkabel en de lieren voor de onderkabel.

De lieren voor de bovenkabels worden niet zwaar belast (tot max. 93 kN, sluiting 3). De lieren voor de onderkabel worden wel zwaar belast. De maximale kracht die de lieren moeten kunnen leveren is 872 kN (sluiting 1), 1030 kN (sluiting 2) en 1651 kN (sluiting 3). Deze krachten zijn ± 2 maal zo groot als bij het nul-alternatief.

Verder moeten de lieren de golfbeweging op kunnen vangen. Tijdens aantrekken van de onderkabel gaat de kering golven en komt er een grote dynamische belasting op de lier. De maximale golfgrootte in de belasting bedraagt voor de 3 verschillende sluitingen: 400 kN (sluiting 1), 500 kN (sluiting 2) en 530 kN (sluiting 3). In bijlage 7.15 staan de krachten op de onderkabel met de hoogste amplitude vermeldt.

- De vijzels/ Het doek/De kabels/De landhoofden

Deze onderdelen worden maximaal belast. Voor de waarden van deze belasting wordt verwezen naar paragraaf 8.2.1. Hier staat besproken wat de maximale kracht op elk onderdeel is. Daarnaast komt er ook een grote dynamische belasting op het doek, de kabels en de landhoofden.

Dynamische belasting

De dynamische belasting op de kabels is erg hoog als gevolg van het golven van de kering. De grootste belasting komt op de bovenkabels. In bijlage 7.16 zijn drie grafieken getoond waarin de kracht in de kabels is uitgezet tegen de tijd voor de drie verschillende sluitingen. De grootste golfbeweging zit bij sluiting 3. De golfhoogtes van de kracht weergegeven als percentage van de gemiddelde kracht op de bovenkabel geeft 129% voor sluiting 2 en 73 % voor sluiting 3. Dit zijn erg hoge percentages.

Beheersbaarheid

Deze sluitmethode is niet goed beheersbaar. De kering gaat golven waardoor het aantrekken van de onderkabel moeizaam verloopt. Het moment waarop de kering begint met golven is niet goed te voorspellen.

Stromingen

Er is sprake van een verticale sluiting van boven naar beneden. Er treedt een concentratie van de stroming op in het midden van de geul tijdens sluiten (zie figuur 7.26). De hoogste stroomsnelheden komen voor in het midden van de geul. Voor deze stroomsnelheden zijn voor de drie verschillende sluitingen de volgende waarden gemeten: 1.67 m/s, 2 m/s en 4.9 m/s. Dit zijn de gemiddelde waarden over de tijd.

Bij toepassing van een stortstenen bodembescherming kan de diameter van de toe te passen stenen erg groot worden. Om een idee te krijgen van deze grootte is de formule van Isbash (8.1) gebruikt (paragraaf 8.2.1).

Voor de dichtheid van steen is 2650 kg/m^3 genomen. De grootte van de diameter van de steen komt met invullen van de stroomsnelheden uit op 0.06 m, 0.09 m en 0.51 m voor respectievelijk sluiting 1, sluiting 2 en sluiting 3. Er moet ook nog rekening gehouden worden met de turbulentie die achter bij de kering optreedt. De snelheid moet met een factor (>1) worden vermenigvuldigd. Hierdoor wordt U groter, zodat formule (8.1) grotere stenen berekent.

Samenvatting

Er treden zeer grote translatiegolven op. Slijtage zal aan de onderkant van het doek plaatsvinden. De lieren voor de onderkabel worden zwaar belast, waarbij ze ook nog een grote dynamische belasting moeten kunnen opnemen. Op de andere functionele onderdelen zoals de vijzels, de kabels en de landhoofden komt de maximale belasting te staan. Er komen zeer grote dynamische belastingen op de functionele onderdelen. Hierdoor is de sluiting van de kering niet goed beheersbaar. De optredende stroomsnelheden tijdens sluiten zijn niet erg hoog (sluiting 1 en 2). De stroming is echter wel turbulent, zodat toch een zware bodembescherming moet worden toegepast.

8.2.5 Zwevend transport met sluiting van beneden naar boven

De kering sluit zoals staat vermeld in hoofdstuk 5. Na het aantrekken van de bovenkabel vormt zich een overlaat over de kering. De zijkanten vouwen enigszins naar binnen waardoor er water langs de zijkanten kan stromen.

Opwekken translatiegolven

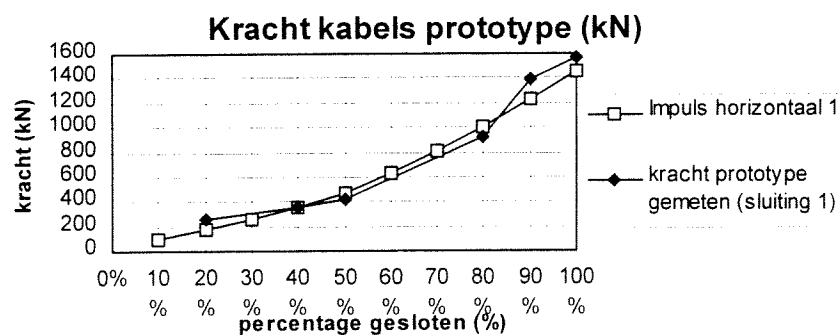
Er wordt bij het sluiten een waterstandsverstoring van maximaal 20 cm (sluiting 1) en 25 cm (sluiting 2) veroorzaakt. Deze verstoringen treden benedenstrooms op, bovenstrooms treedt er geen verstoring van de waterstand op. Deze verstoringen liggen in dezelfde orde grootte als bij het nul-alternatief.

Slijtage aan het doek

Tijdens het aantrekken van de bovenkabel wordt het doek aan de onderkant tegen de drempel aangedrukt. Het doek schuurt niet over de bodem. Bij sluiting 1 (1.0 m/s) schuurt het doek tegen de zijkanten aan tijdens sluiten. Bij sluiting 2 (1.75 m/s) gebeurt dit niet omdat het doek naar binnen gevouwen is en pas in de laatste fase van sluiten weer enigszins in de juiste positie komt. Het doek en de kabels zullen weinig slijten.

Krachten op functionele onderdelen

In figuur 8.6 is een grafiek weergegeven met daarin de gemeten en berekende krachten in de kabels uitgezet tegen het percentage van sluiten van de doorstroomopening. De gemeten en berekende krachten komen niet geheel overeen. In bijlage 8.5 is de grafiek voor sluiting 2. In bijlage 8.2 worden de verschillen vermeld en verschillen groter dan 20% worden besproken.



figuur 8.6: gemeten en berekende kracht op de kering (sluiting 1)

- De lieren

Er moet een onderscheid gemaakt worden tussen de lieren voor de bovenkabel en de lieren voor de onderkabel.

De lieren voor de onderkabels worden niet zwaar belast (max. 254 kN sluiting 1 en max. 305 kN sluiting 2). De lieren voor de bovenkabel worden wel zwaar belast. De maximale kracht die de lieren moeten kunnen leveren is 737 kN

(sluiting 1) en 1104 kN (sluiting 2). Voor beide lieren moeten speciaal lieren worden gefabriceerd.

De krachten op de lieren voor de onderkabel zijn lager dan in het nul-alternatief (0.7). De lieren die de bovenkabel aantrekken moeten echter ± 2 maal zoveel kracht kunnen leveren t.o.v. het nul-alternatief.

- De vijzels/ Het doek/De kabels/ De landhoofden

Deze onderdelen worden maximaal belast. Voor de waarden van deze belasting wordt verwezen naar paragraaf 8.2.1. Hier staat besproken wat de maximale kracht op elk onderdeel is.

Dynamische belasting

De dynamische belasting op de kering is laag. De kering komt niet in een golfbeweging. In het laatste gedeelte van aantrekken van de bovenkabel is er een dynamische component in de kracht van de kabel waargenomen. Deze bedraagt ± 47 kN voor sluiting 1 en sluiting 2. Dit is respectievelijk 6% en 10% van de totale belasting op de bovenkabel.

Beheersbaarheid

Deze sluitmethode is goed beheersbaar. Tijdens sluiten gedraagt het doek zich stabiel, bij herhaling van de sluitingsprocedure verloopt deze op dezelfde manier. Er treedt geen golfbeweging van de kering op.

Stromingen

Er is sprake van een verticale sluiting van beneden naar boven. Aan het eind van transport verloopt de verdeling van de snelheid volgens figuur 7.36. De maximale snelheden die aan de bodem optreden zijn 2.3 m/s (sluiting 1), 2.86 m/s (sluiting 2) en 3.58 (sluiting 3). Voor de bepaling van de grootte van de toe te passen steendiameter kan formule 8.1 worden toegepast. Na omschrijven en invullen van 8.1 levert dit voor sluiting 1, 2 en 3 respectievelijk de volgende diameters op: 0.11 m, 0.18 m en 0.28 m. Hierbij is de laagdikte van de bodembescherming groter dan D.

Andere oplossingen om de bodem te beschermen zijn ook denkbaar (zoals geotextiel met betonblokken, asphalt of beton). Het valt echter buiten het bestek van dit onderzoek om hier dieper op in te gaan.

Bij verder sluiten vormt de kering een overlaat. Hierdoor vertraagt de stroming achter de kering, maar het turbulentie niveau neemt wel toe. Als eerste indicatie voor de te gebruiken steengroottes voor de bodembescherming wordt de snelheid boven de overlaat ingevuld in de formule (8.1). De maximaal voorkomende snelheden zijn 3 en 4 m/s. De volgende steengroottes zijn bepaald: 0.19 m en 0.35 m voor sluiting 1 en 2. De zwaarte van de bodembescherming ligt in dezelfde orde grootte als bij het nul-alternatief.

Samenvatting

Benedenstrooms treedt er een geringe waterstandsverstoring op. Het doek en de kabels zullen weinig slijten. De belasting op de lier voor de onderkabel is redelijk laag, de lier voor de bovenkabel wordt zwaar belast. De andere functionele onderdelen worden maximaal belast. De dynamische belasting op de kering is laag. De sluiting is goed beheersbaar. Er moet een zware bodembescherming worden toegepast.

8.3 Vergelijking van de alternatieven onderling

In deze paragraaf worden de alternatieven met elkaar vergeleken aan de hand van de besproken beoordelingspunten (paragraaf 8.2) en de resultaten (hoofdstuk 7). Deze vergelijking wordt gepresenteerd in tabellen waarin per beoordelingspunt de waarde of beoordeling wordt gegeven. De tabellen zijn per sluitingstype (1,2 of 3) opgesteld.

Sluitingstype 1 (1.0 m/s)

		<i>Nul-Alternatief</i>	<i>1. Doek met scherm</i>	<i>2. Doek in hoes</i>	<i>3. Aantrekken onderkabel</i>	<i>4. Aantrekken bovenkabel</i>
Translatie-golven	Bovenstrooms	-	25 cm	-	55 cm	-
	Benedenstrooms	25 cm	-	10 cm	35 cm	20 cm
Slijtage		Aan de onderkant	Weinig	Weinig	Aan de onderkant	Weinig
Krachten:						
<i>De lieren</i>	Bovenstrooms	406 kN	samen: 47 kN	samen: 70 kN	39 kN	737 kN
	Benedenstrooms	350 kN			872 kN	254 kN
<i>Vijzels/kabel</i>		2649 kN	2649 kN	2649 kN	2649 kN	2469 kN
<i>Landhoofden</i>		5297 kN	5297 kN	5297 kN	5297 kN	5297 kN
Dynamische belasting		Geen	Groot: golf 200 kN	Klein: golf 15 kN (3%)	Groot: golf: 400 kN	Klein: golf 47 kN (6%)
Beheersbaarheid		Goed	Slecht	Goed	Slecht	Goed
Stoombeeld		Rechts: 2.81 m/s	Over gehele breedte	Links: 3.04 m/s	gehele breedte	3 m/s (gehele breedte)

Sluitingstype 2 (1.75 m/s)

		<i>Nul-Alternatief</i>	<i>1. Doek met scherm</i>	<i>2. Doek in hoes</i>	<i>3 Aantrekken onderkabel</i>	<i>4. Aantrekken bovenkabel</i>
Translatie-golven	Bovenstrooms	-	-	-	100 cm	-
	Benedenstrooms	20 cm	50 cm	20 cm	60 cm	25 cm
Slijtage		Aan de onderkant	Weinig	Weinig	Aan de onderkant	Weinig
Krachten:						
<i>De lieren</i>	Bovenstrooms	612 kN	612 kN	samen: 87 kN	93 kN	1104 kN
	Benedenstrooms	500 kN	500 kN		1030 kN (+golf 500kN)	305 kN
<i>Vijzels/kabel</i>		2649 kN	2649 kN	2649 kN	2649 kN	2469 kN
<i>Landhoofden</i>		5297 kN	5297 kN	5297 kN	5297 kN	5297 kN
Dynamische belasting		Klein: verstoring 16 kN	Groot: golf 500 kN	Klein: golf 40 kN (11%)	Groot: golf 1000 kN (129%)	Klein: golf 47 kN (11%)
Beheersbaarheid		Goed	Slecht	Goed	Slecht	Goed
Stoombeeld		Contractie rechts: 3.84 m/s	Contractie rechts: 3.84 m/s	Contractie links: 4.3 m/s	Over gehele breedte	4 m/s (gehele breedte)

Sluitingstype 3 (2.5 m/s)

		<i>Nul-Alternatief</i>	<i>1. Doek met scherm</i>	<i>2. Doek in hoes</i>	<i>3. Aantrekken onderkabel</i>	<i>4. Aantrekken bovenkabel</i>
Translatie-golven	Bovenstrooms	-	-	-	90 cm	-
	Benedenstrooms	40 cm	-	40 cm	35 cm	-
Slijtage		Aan de onderkant	-	Weinig	Aan de onderkant	-
Krachten:						
<i>De lieren</i>	Bovenstrooms	904 kN	-	samen: 349 kN	93 kN	-
	Benedenstrooms	750 kN	-		1651 kN (+golf 530kN)	-
<i>Vijzels/kabel</i>		2649 kN	-	2649 kN	2649 kN	-
<i>Landhoofden</i>		5297 kN	-	5297 kN	5297 kN	-
Dynamische belasting		Klein: verstoring 30 kN	-	Groot: golf 187 kN (95%)	Groot: golf 1369 kN (73%)	-
Beheersbaarheid		Goed	-	Goed	Slecht	-
Stoombeeld		Contractie rechts: 5.58 m/s	-	Contractie links: 6.5 m/s	Over gehele breedte	-

In de bovenstaande tabellen zijn alle alternatieven naast elkaar gezet, zodat er een goed overzicht van de gemeten waarden en de beoordeling van de verschillende alternatieven plaatsvindt. De alternatieven zijn naast elkaar gezet per sluitingstype.

Vergelijking van de alternatieven:

Zowel de beheersbaarheid van sluiten van de spinaker met scherm (alternatief 1) als sluiten van de spinaker waarbij de onderkabel wordt aangetrokken (alternatief 3), is moeilijk. Bij beide alternatieven gaat de kering hevig golven en komen er grote dynamische krachten op de kabels. Hierbij worden bij alternatief 3 grote translatiegolven opgewekt. Het moment van sluiten is slecht van te voren in te schatten. Een vergelijk met de andere alternatieven wordt hier verder niet gemaakt.

Bij de spinaker met hoes (alternatief 2) zijn de krachten op de lieren beduidend lager dan bij het nul-alternatief en bij alternatief 4 (zwevend transport, sluiten van beneden naar boven). Bij alternatief 4 moeten de grootste lieren geïnstalleerd worden. Er treedt een horizontale sluiting op bij het nul-alternatief en alternatief 2. Hierdoor concentreert de stroming achter de kering zich aan de zijkant van de geul. De oever- en bodembescherming moeten aan deze kant het zwaarst worden uitgevoerd. Alternatief 4 sluit verticaal van beneden naar boven waardoor de stroming over de breedte van geul wordt verspreid. De bodembescherming moet over de gehele breedte van de geul dezelfde zwaarte hebben. Bij de drie alternatieven treden ongeveer dezelfde maximale stroomsnelheden op.

Alternatief 0 heeft als voordeel dat het een relatief simpel alternatief is. Er zijn geen hulpconstructies aangebracht om uitvouwen van het doek tijdens het transport te voorkomen. Nadelen van dit alternatief zijn de hoge krachten op de lieren, de slijtage van het doek en de aankoppeling van de kabels aan de vizzels. Aankoppeling van de kabels aan de vizzels gebeurt terwijl er grote krachten op de kering staan.

Alternatief 2 heeft als voordeel dat de krachten op de lieren laag zijn. Het aankoppelen van de kabels aan de vizzels is eenvoudiger dan bij nul-alternatief en alternatief 4 omdat de kracht in de kabels veel lager is tijdens de aankoppeling. Een ander voordeel is dat het doek weinig zal slijten. Een nadeel van dit alternatief is het aanbrengen van de hoes om het doek in rustfase en het verwijderen van de hoes tijdens het sluiten. Hiervoor moet een apart systeem opgezet worden.

Alternatief 4 heeft als voordeel dat de stroming meer verdeeld is over de breedte en dat de oevers minder beschermd hoeven te worden. Daarnaast zal ook bij dit alternatief de slijtage van het doek gering zijn. Een nadeel is de grote kracht die door de lieren geleverd moet worden voor het aantrekken van de bovenkabel. De kracht die de lieren hier moeten leveren bedraagt ongeveer 2 keer de kracht op de lieren van het nul-alternatief.

Voor het nul-alternatief, alternatief 2 (spinaker met hoes) en alternatief 3 (zwevend transport, sluiting van beneden naar boven) is sluiten van de spinakerkering bij hoge initiële stroomsnelheden mogelijk. De stroomsnelheden nemen echter enorm toe, waardoor er een zware bodembescherming moet worden toegepast. Daarnaast komen er zeer grote krachten op de lieren (alternatie 0 en 4) en. Deze punten maken sluiten bij hoge initiële stroomsnelheden zeer onaantrekkelijk.

9. Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

1. De spinakerkering als hoogwaterkering voldoet goed in kerende fase. Het spinakerdoek is goed in staat een verval van 3.85 m te keren. Hierbij blijft de kering stabiel en sluit de doorstroomopening goed af (paragraaf 7.8).
2. De maximale kracht op de landhoofden, de vijzels, het doek en de kabels komt voort uit de maximaal optredende waterstanden (max. verval). De optredende (dynamische) krachten tijdens sluiten van de kering zijn lager. In de geteste situatie komt de maximale belasting voor de vijzels en de kabels uit op 2649 kN, voor het doek op 90 kN/m¹ en voor de landhoofden op 5297 kN.
3. Voor de bepaling van de totale kracht op de kering tijdens sluiten kan goed de impulsbalans gebruikt worden. Uit de vergelijking van de gemeten waarden uit het schaalmodel en de berekende waarden met de impulsbalans blijkt dat deze goed overeenkomen.
4. De sluiting van de spinaker met hoes is een veelbelovend alternatief. Bij dit alternatief staat er weinig kracht op de kabels tijdens het transport. Hierdoor worden de lieren niet zwaar belast. Er treedt hier een horizontale sluiting op, waarbij weinig slijtage aan het doek optreedt. De dynamische belasting is laag en de sluiting is goed beheersbaar.
5. De spinaker met het scherm is in de geteste vorm niet goed geschikt om toegepast te worden als sluitingsmethode bij een spinakerkering. Tijdens sluiten wordt de kering belast door grote dynamische krachten. De beheersbaarheid van de sluiting is slecht, omdat de sluitingsprocedure bij herhaling niet op eenzelfde manier verloopt. Daarbij is het tijdstip van sluiten niet te voorspellen. Volstroming van het spinakerdoek gebeurt in zeer korte tijd.
6. Het alternatief, waarbij het spinakerdoek zwevend getransporteerd wordt aan de bovenkabel en de kering wordt gesloten van boven naar beneden, is niet geschikt om toegepast te worden als sluitingsmethode bij een spinakerkering. Tijdens sluiten gaat de kering hevig golven en veroorzaakt zeer hoge dynamische belastingen op de kabels. Daarnaast treden er zeer grote translatiegolven op.
7. Sluiten van de spinakerkering bij hoge initiële stroomsnelheden geeft hele hoge stroomsnelheden aan het eind van sluiten. Om uitschuring van de bodem en de oevers te voorkomen moet een zware oever- en bodembescherming worden toegepast. Daarnaast treden er grote translatiegolven op benedenstrooms. Deze punten maken sluiten bij hoge initiële stroomsnelheden zeer onaantrekkelijk.

9.2 Aanbevelingen

1. In dit onderzoek is de spinakerkering onderzocht bij verschillende waterstandsverschillen. Tijdens storm treden echter ook golven op. Deze golven hebben zeker invloed op de kering. Er komt een extra (dynamische) belasting op de kering. Daarnaast kan de kering in een zeer grote golfbeweging komen (eigenfrequentie). Hierdoor kan de kering zijn kerende werking verliezen. Om meer inzicht te krijgen op de invloed van deze golven op de kering in de verschillende bedrijfsfasen verdient het de aanbeveling om hier nader onderzoek naar te verrichten.
2. In dit onderzoek is de spinakerkering onderzocht in stappen van een dynamisch proces. Om beter inzicht te krijgen op de invloed van de dynamische processen op de verschillende bedrijfsfasen van de spinakerkering verdient het de aanbeveling de dynamische processen te onderzoeken. Dit onderzoek kan plaatsvinden in een schaalmodel.
3. De vorm van het spinakerdoek is in dit onderzoek niet geoptimaliseerd. De aansluiting met de zijkanen is nog niet helemaal goed. De straal van de kabels kan groter gemaakt worden waardoor er minder doek gebruikt hoeft te worden. De lengte van het doek in dwarsdoorsnede kan worden aangepast. Hierdoor wordt het doek kleiner en misschien beter handelbaar.
4. Om te bepalen wat de kosten zijn van dit project ten opzichte van een conventionele kering moet er kostenanalyse gemaakt worden.
5. In dit onderzoek zijn een aantal transport- en sluitingsprincipes getest. Verdere ontwikkeling van deze principes is nodig voordat zij kunnen worden toegepast. Daarnaast kunnen er andere principes ontwikkeld worden.
6. Als de spinakerkering wordt toegepast, verdient het de aanbeveling om de krachtwerving in het doek te onderzoeken in zowel de dwarsrichting als de langsrichting van het doek. Eventueel optredende spanningsconcentraties kunnen dan bepaald worden en de verbindingen van het doek met de kabels en de naden in het doek kunnen gedimensioneerd worden.

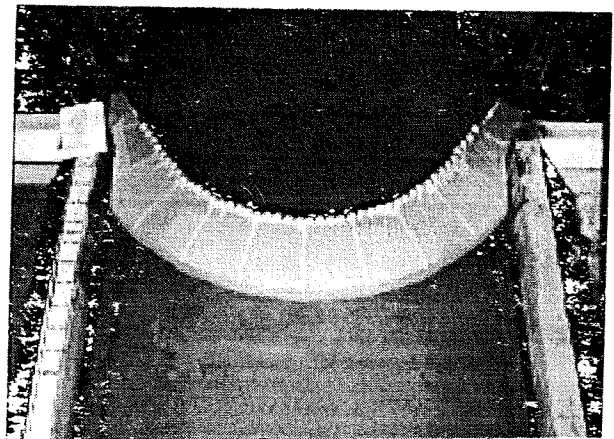
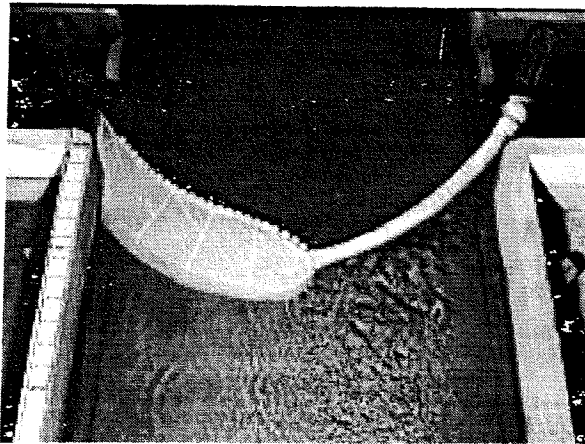
Literatuurlijst

- [1] **B70 Vloeistofmechanica**
Prof. Dr. Ir. J.A. Battjes
Collegedictaat T.U. Delft
augustus 1990
- [2] **B71 Vloeistofmechanica**
Prof. Dr. Ir. J.A. Battjes
Collegedictaat T.U. Delft
augustus 1991
- [3] **The theory of flexibele dams inflated by water pressure**
Binnie
Journal of Hydraulic Research 11, 1973
- [4] **Mechanica van constructies**
prof. ir. A.L. Bouma
Elasto-statica van slanke structuren, 1989.
- [5] **Manual on the use of Rock in Hydraulic Engineering**
CUR Report 169
November 1994
- [6] **Een flexibel seperatiescherm in een drinkwaterbekken**
M. Karelse
Afstudeerscriptie T.U. Delft
juni 1996
- [7] **Project Keersluis Heusdens kanaal**
A. Knippels en E. Pechtold
Afstudeerverslag
Hogeschool 's Hertogenbosch, mei 1992.
- [8] **Hydraulica voor waterbouwkundigen**
ir. I.W. Nortier, ir. H. van der Velde
eerste publicatie 1961.
- [9] **Spinakerkering, oriënterend onderzoek.**
H.J. Regeling, Waterloopkundig Laboratorium
rapport Q920, februari 1989
- [10] **Balgstuw, oriënterend onderzoek**
E. Regeling, Waterloopkundig Laboratorium
Delft 1989

-
- [11] **Voorstudie constructie en materialen Balgstuw Ramspol.**
Ros, Bouwdienst Rijkswaterstaat.
rapport IO-R-93014, 23 juni 1993.
- [12] **Kunststofkeringen, afronding schetsontwerpfase**
ir. J.T. de Vries
notitie KK-88002, , 3 oktober 1988.
- [13] **F9 Waterbouwkundige kunstwerken**
Prof. drs. ir. J.K. Vrijling, Prof. ir. A. Glerum.
Collegedictaat T.U. Delft
januari 1995.
- [14] **A note on the shape of flexibel dams**
R. Watson
JOURNAL OF HYDRAULIC RESEARCH, VOLUME 23 NO. 2 1985

Onderzoek naar de Operationele fasen van een Spinakerkering

Bijlagen

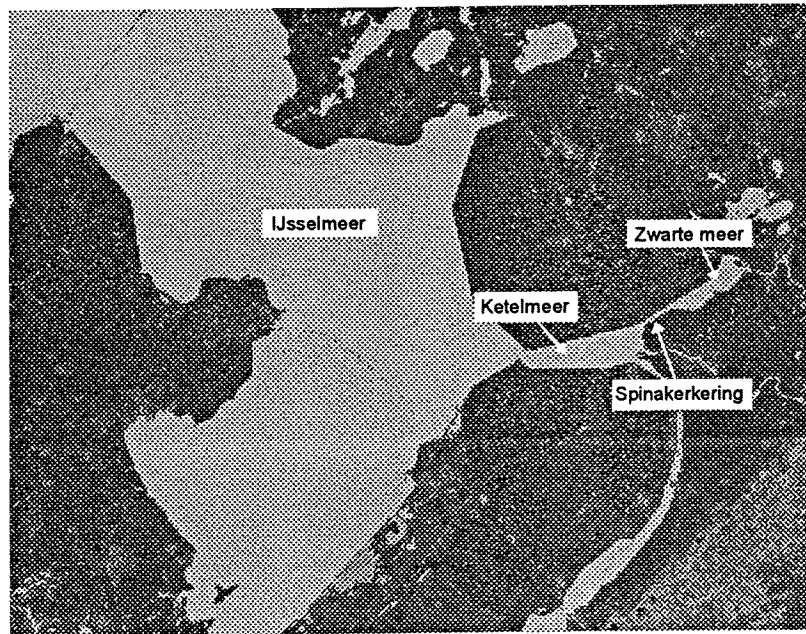


Inhoudsopgave bijlagen

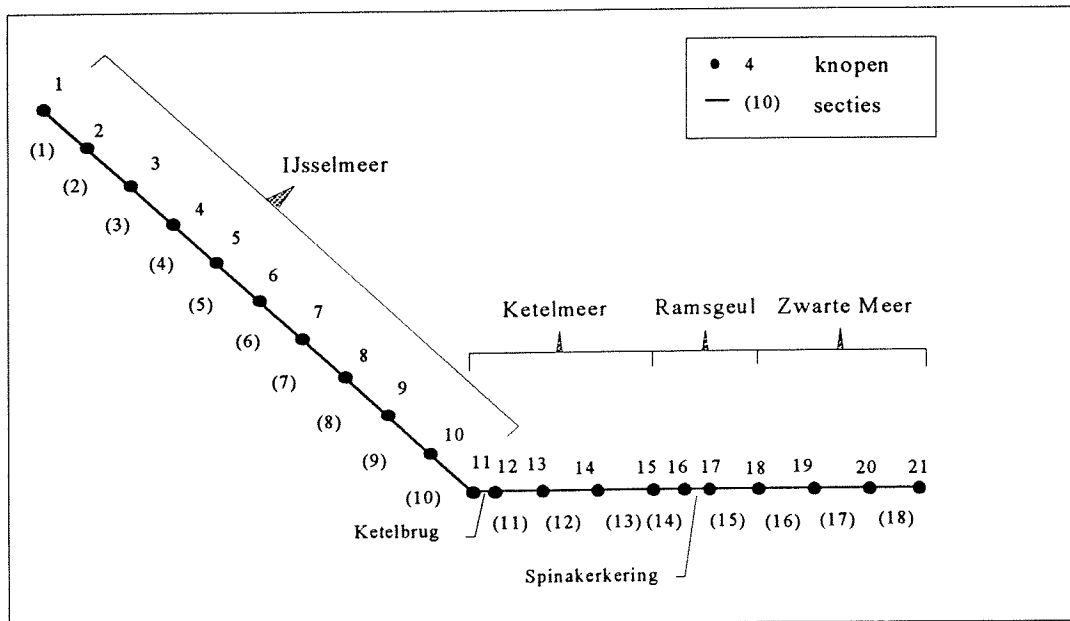
- Bijlage 3.1: Duflow Simulatie opwaaiing bij Ramspol
- Bijlage 3.2: Dyneema
- Bijlage 4.1: vorm van het doek (dwarsdoorsnede)
- Bijlage 4.2: De impulsbalans
- Bijlage 4.3: Krachten op kabels
- Bijlage 6.1: waterstanden testen
- Bijlage 6.2: tabel met waterstanden
- Bijlage 6.3: Grootte van de lamellen
- Bijlage 7.1: Calibratie meetapparatuur
- Bijlage 7.2: Gevoeligheidsanalyse duur snelheid meting
- Bijlage 7.3: calibratie v/d stroomgoot
- Bijlage 7.4: Invloed van de inhammen
- Bijlage 7.8: Transportfasen Spinaker met scherm (sluiting 1)
- Bijlage 7.9: Snelheidsverdeling over breedte (Spinaker met scherm)
- Bijlage 7.10: Spinaker in hoes
- Bijlage 7.11: Snelheidsverdeling over breedte (Spinaker in hoes)
- Bijlage 7.12: Waterstanden met grootste verstoring (Spinaker in hoes)
- Bijlage 7.13: Waterstanden met grootste verstoring (Spinaker in hoes)
- Bijlage 7.14: Zwevend transport, sluiting van boven naar beneden
- Bijlage 7.15: Maximale krachten op boven- en onderkabel alternatief 3
- Bijlage 7.16: Snelheidsverdeling over de breedte (Zwevend transport, sluiting van boven naar beneden)
- Bijlage 7.17: Maximale waterstanden alternatief 3
- Bijlage 7.18: Zwevens transport, sluiting van beneden naar boven
- Bijlage 7.19: Waterstandsverstoring benedenstrooms sluiting 3 van alternatief 4
- Bijlage 7.20: Globale bepaling wrijvingscoëfficiënt tussen doek en beton (model)
- Bijlage 8.1: Grafieken met gemeten en berekende krachten nul-alternatief
- Bijlage 8.2: Bespreking van opgetreden verschillen in meting en berekening.
- Bijlage 8.3: Grafieken met gemeten en berekende krachten alternatief 2
- Bijlage 8.4: Grafieken met gemeten en berekende krachten alternatief 3
- Bijlage 8.5: Grafieken met gemeten en berekende krachten alternatief 3

Bijlage 3.1: DufLOW Simulatie opwaaiing bij Ramspol

Om inzicht te krijgen in de waterstanden en de daarbij behorende stroomsnelheden die kunnen optreden t.p.v. de spinakerkering in de Ramsgeul is in DUFLOW een berekening gemaakt. Hierbij wordt alleen rekening gehouden met een waterstandsverhoging t.g.v. opwaaiing. Hieronder is te zien hoe het IJsselmeer, de Ketelbrug, het Ketelmeer, de Ramsgeul en het Zwarte Meer gesitueerd zijn.



Voor de simulatie in DUFLOW is het volgende netwerk gebruikt:



Het netwerk bestaat uit:

21 kopen
18 secties
2 overlaten

Knoop 1 t/m 11 (sectie 1 t/m 10)	: IJsselmeer
Knoop 11-12	: Ketelbrug (overlaat)
Knoop 12 t/m 15 (sectie 11 t/m 13)	: Ketelmeer
Knoop 15-16 (sectie 14)	: Ramsgeul voor spinakerkering
Knoop 16-17	: Spinakerkering (overlaat)
Knoop 17-18 (sectie 15)	: Ramsgeul na spinakerkering
Knoop 18 t/m 21 (sectie 16 t/m 18)	: Zwarte Meer

Afmetingen:

IJsselmeer:	L = 52000 m B = 20000 m d = van 8 m tot 5 m
Ketelbrug:	L = n.v.t. (overlaat) B = 650 m d = 4 m
Ketelmeer:	L = 12000 m B = 3000 m d = 4 m
Ramsgeul:	L = 3000 m (sectie 13 = 500 m, sectie 14 = 2500 m) B = 300 m voor kering, 250 m na kering d = 4 m
Spinakerkering:	overlaat (geplaatst in de Ramsgeul) B = 100 m d = 4 m
Zwarte Meer:	L = 10000 m B = 2000 m d = van 3 m tot 2 m

Beginvoorwaarden:

Waterstand	: h = -0.20 m (over het hele gebied)
Debiet	: Q = 0.00 m ³ /s (in elke knoop)

Randvoorwaarden:

Debiet	: Q = 0.00 m ³ /s in knoop 1 en 21
Windsnelheid	: volgens grafiek 0 (over gehele gebied)
Windrichting	: west (270°)

Randvoorwaarden voor overlaat 2 (spinakerkering):

- als de waterstand in knoop 15 (begin Ramsgeul) hoger dan een bepaalde waarde (y) komt dan sluit de overlaat in een uur. De sluiting kan plaatsvinden in verticale en horizontale richting ($y = 0.5$ m, $y = 0.1$ m, $y = -0.1$ m).
- als de waterstand voor de overlaat x m hoger is dan de waterstand achter de kering dan gaat de kering open ($x = 0$ m).

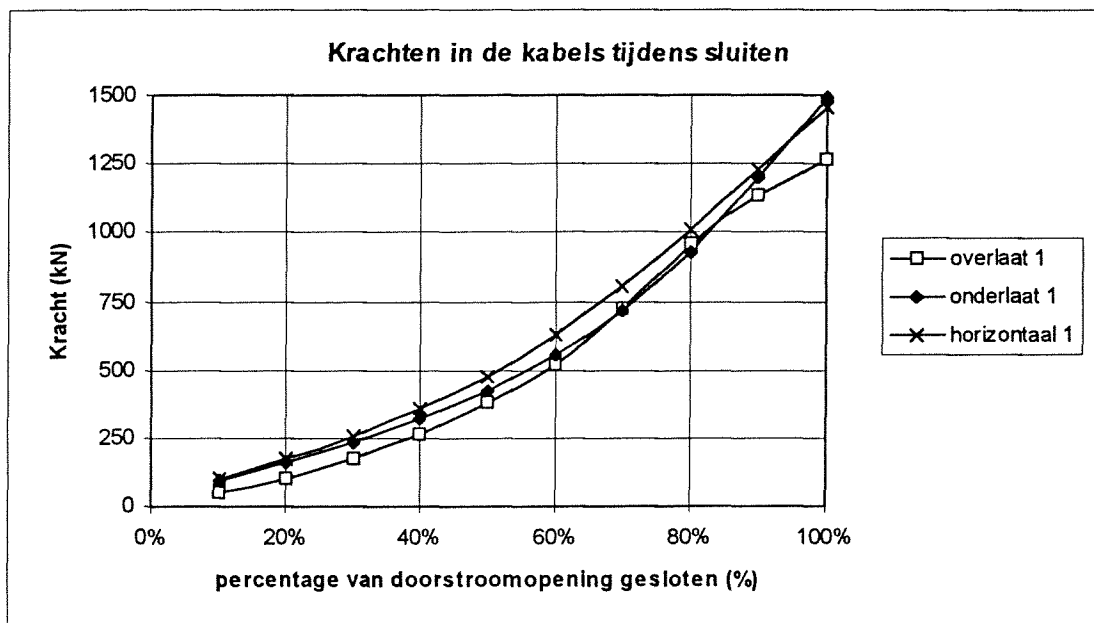
De ingevoerde waarden:

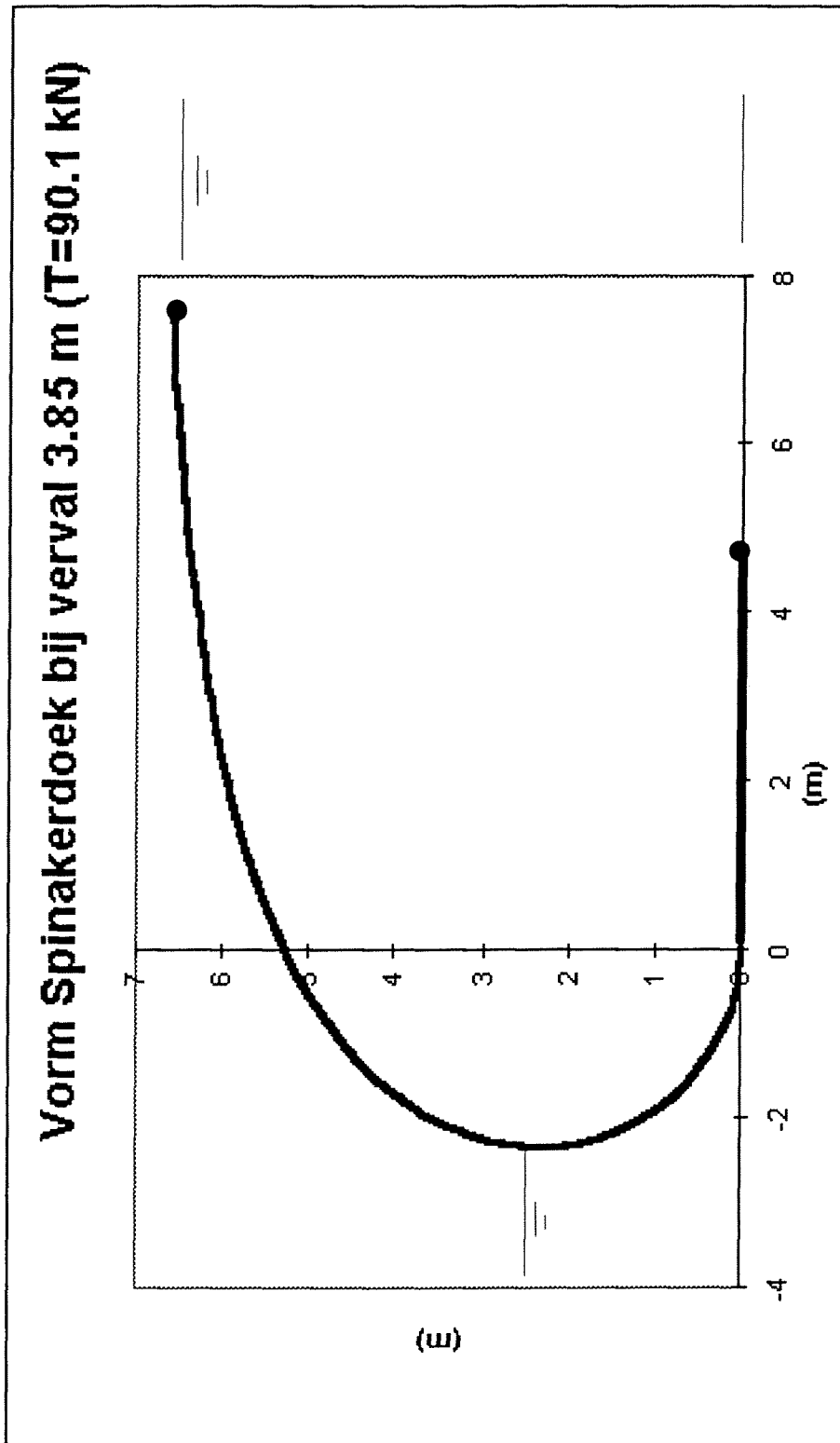
Simulatieduur	:24 uur
Tijdstap	:2 min.
Theta	:0.55
Advectie-term	:meegerekend
Chézy	:45
Contractie coëfficiënt μ (spinaker)	:0.9 (zowel in pos. als neg. richting)
Wind conversie coëfficiënt	: $3.6 \cdot 10^{-6}$

Bijlage 4.3: Krachten op kabels

Hier is de kracht in de kabels weergegeven tijdens het sluiten van de kering. De impulsbalans is gebruikt en de waterstanden uit de Duflowberekeningen zijn hier ingevoerd. Voor verschillende tijdstippen van sluiten is de kracht uitgerekend. Dit is aangeduid met het cijfers, 1 staat voor een sluiting net na begin van de storm en 3 voor een sluiting laat in de storm. De andere sluiting (2) zit daar tussenin (zie ook paragraaf 4.3).

percentage van doorstroom opening gesloten	Overlaat 1	Onderlaat 1	Horizontaal 1
	F_{kabel} (kN)	F_{kabel} (kN)	F_{kabel} (kN)
10%	54	97	105
20%	105	159	172
30%	174	237	258
40%	264	325	358
50%	378	427	476
60%	520	554	629
70%	726	720	804
80%	958	931	1008
90%	1131	1197	1231
100%	1268	1495	1453



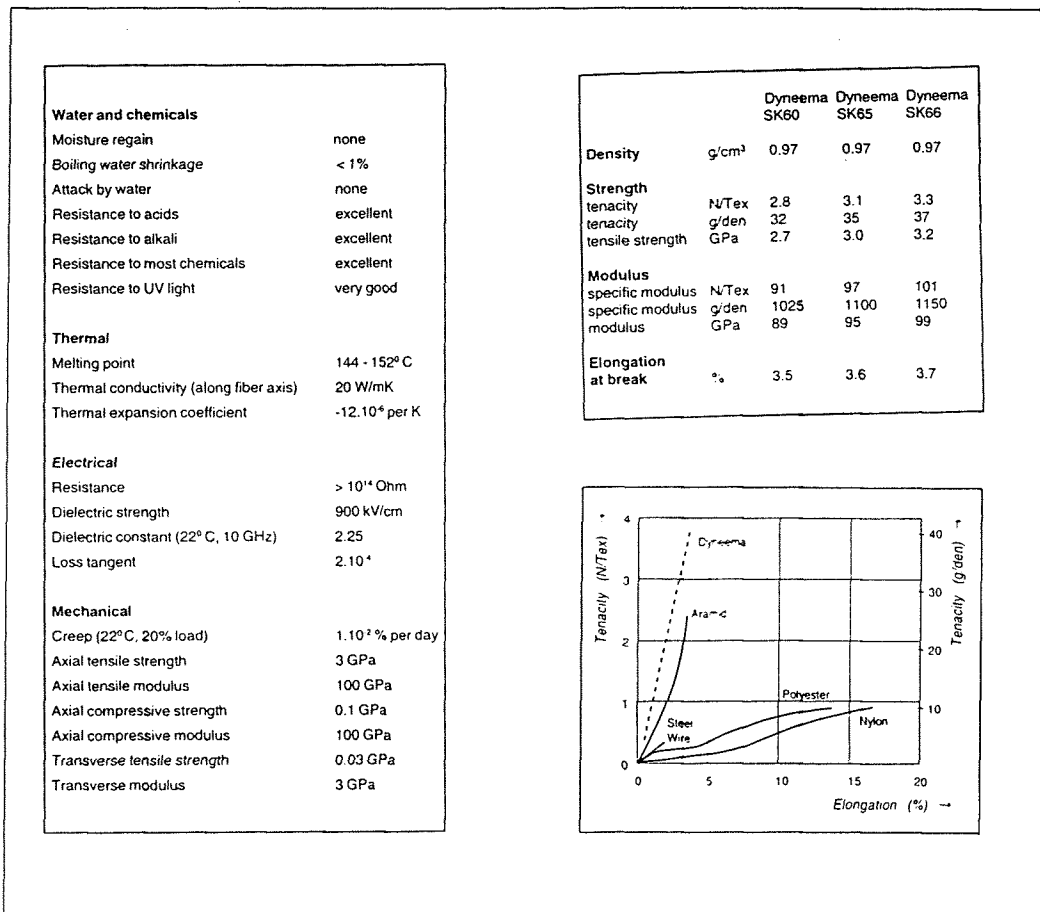
Bijlage 4.1: vorm van het doek (dwarsdoorsnede)

Bijlage 3.2: Dyneema

Er zijn drie soorten dyneema SK60, SK65 en SK66.

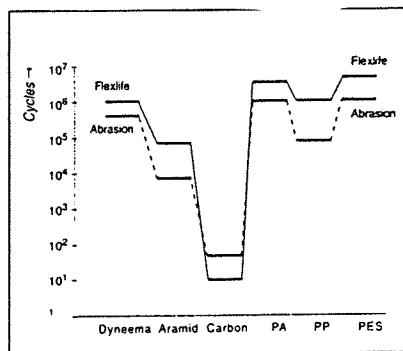
- Dyneema SK60 is voor vele doeleinden geschikt. Het wordt b.v. voor touwen en touwwerk, voor beschermende kleding en voor versterking van stoot bestendige composieten gebruikt.
- Dyneema SK65 heeft een hogere sterkte en modulus dan SK60. Deze vezel wordt gebruikt bij toepassingen waarbij de hoogste performance nodig is en waarbij maximaal in gewicht moet worden bespaard.
- Dyneema SK66 is speciaal ontwikkeld voor het gebruik bij ballistische bescherming. Deze vezel absorbeert zeer veel energie bij ultrasonische snelheden.

In figuur 1 staan de specificaties van het materiaal vermeldt. Daarnaast is een vergelijking van dyneema met andere vezels gegeven. Hieruit komt naar voren dat Dyneema en aramide een zeer hoge sterkte hebben bij een lage rek. De fysische eigenschappen van het materiaal staan ook in figuur 1 gegeven.



figuur 1: specificaties materiaal

Dyneema vezels worden geproduceerd uit polyethyleen en bevatten geen aromatische ringen en geen amide, hydroxyl of ander chemische groepen die gevoelig zijn voor agressieve stoffen. Hierdoor is de vezel goed bestand tegen water, vocht, de meeste chemicaliën, UV straling en micro organismen. Dyneema vezel zwellen niet op in (zee)water. De dyneema vezel is erg flexibel, taai en is daarnaast goed bestand tegen slijtage (zie figuur 2). Dyneema is erg goed bestand tegen spanningsconcentraties. Deze vezel wordt veelvuldig gebruikt in kogelvrije vesten. Hierdoor is het materiaal geschikt om eventuele drijvende boomstammen tegen te houden zonder dat het doek scheurt.



figuur 2: slijtage weerstand en taaiheid

Bij de toepassing van de dyneema vezel in het keermiddel van de spinakerkering worden de vezels in elkaar geweven. Om het weefsel waterdicht te maken wordt er een coating op het weefsel aangebracht. Het geheel weegt $\pm 450 \text{ g/m}^2$.

Het is mogelijk om dit doek te confectioneren. De schaal waarop dit kan plaatsvinden is afhankelijk van de machines die beschikbaar zijn. De sterkte van het materiaal neemt af bij de naden. De maximaal haalbare sterkte bij de naden is 80% van de materiaal sterkte. Hierdoor zijn de naden bepalend voor de strekte van het doek.

Voor de aansluiting van de kabels met het doek kan de kabel in een zoom genaaid worden waarin de kabel wordt vast gecoat. Op deze manier zit de kabel vast verbonden aan het doek.

Kunststoffen zijn een relatief jong product. Daarom is er nog niet veel bekend over de levensduur van deze materialen. Problemen hierbij zijn de blootstelling aan UV straling en oxydatie. Bij de toepassing van het materiaal in de hoogwaterkering wordt er een lange levensduur van het materiaal geëist.

Voor een indicatie van de prijzen van dyneema geldt voor het weefsel een prijs van $\pm \text{fl } 120$ per kg. Daarnaast moeten de kosten voor het confectioneren en coaten nog meegerekend worden.

Bijlage 4.2: De impulsbalans

Impulsvoorraad

Voor de totale impuls \vec{I} in een beschouwd balansgebied G geldt

$$\vec{I} = \iiint \rho \cdot \vec{u} dV \quad (1)$$

Voor de berekening van de impuls in het balansgebied G moet de massadichtheid en de snelheid in elk punt bekend zijn. Dit is niet nodig bij de berekening van de impulsbalans van een stationaire stroom. In de impulsbalans gaat het om de verandering van impuls in de tijd. In een stationaire stroom is deze gelijk aan nul.

Impulsoverdracht

De overdracht van impuls per eenheid van tijd naar het gebied G bestaat uit een bijdrage \vec{F}_{ww} van wisselwerkingen en uit een bijdrage \vec{F}_{MV} van meevoering door de ruimtelijke begrenzing van G heen.

Voor de wisselwerking geldt:

$$\vec{F}_{ww} = \vec{F}_g + \vec{F}_p \quad (2)$$

Hierin is:

$$\vec{F}_g = \iiint \rho \cdot \vec{g} \cdot dV$$

$$\vec{F}_p = \iint_{\partial G} p \cdot \vec{e}_N \cdot dA$$

Voor de meevoering van impuls geldt:

$$\vec{F}_{MV} = \iint_{\partial G} (\rho \cdot \vec{u}) \cdot \vec{u}_n \cdot dA \quad (3)$$

Impuls blijft behouden en daarom ziet de impulsbalans voor het ruimtelijk vaste gebied G er als volgt uit:

$$\frac{\partial \vec{I}}{\partial t} = \vec{F}_{ww} + \vec{F}_{MV} \quad (4)$$

Voor een stationaire stroom geldt $\frac{\partial \vec{I}}{\partial t} = 0$ (5)

Omdat we een ideale vloeistof in het zwaarteveld beschouwen gaat (4) samen met (5) over in

$$\frac{\partial \bar{I}}{\partial t} = \bar{F}_g + \bar{F}_p + \bar{F}_{MV} = 0 \quad (6)$$

Impulsoverdracht door een dwarsdoorgang

Voor de toepassing op een stroom in een open leiding ligt het voor de hand om het balansgebied G te laten samenvallen met een gedeelte van de leiding tussen dwarsdoorgangen. Het is dan handig om voor elke dwarsdoorgang de totale impulsoverdracht p.e.v. tijd \bar{F} te bepalen, waaraan zowel de druk als de meevoering bijdragen.

In een dwarsdoorgang geldt $\vec{u} = u_N \vec{e}_N$, waarbij u_N zowel positief als negatief kan zijn. De absolute grootte van u_N in een dwarsdoorgang is gelijk aan die van \vec{u} zelf: $|u_N| = |\vec{u}| = u$. Hiermee geldt:

$$\Delta \bar{F}_{MV} = (\rho \cdot \vec{u}) \cdot u_N \cdot \Delta A = \rho \cdot u_N^2 \cdot \vec{e}_N \cdot \Delta A = \rho \cdot u^2 \cdot \vec{e}_N \cdot \Delta A$$

ofwel

$$\bar{F} = \iint \rho \cdot u^2 \cdot \vec{e}_N \cdot dA \quad (7)$$

We kiezen de doorgang daar waar de stroomlijnen recht zijn (dynamische druk c.q. piëzometrisch niveau constant) en evenwijdig ($\vec{e}_N = \text{constant}$). Nu kan de meevoering van impuls (\bar{F}_{MV}) door een hele doorgang uitgedrukt worden in de over de doorgang gemiddelde snelheid (U):

$$\iint \rho \cdot u^2 \cdot \vec{e}_N \cdot dA = \rho \cdot \vec{e}_N \iint u^2 \cdot dA = \beta \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A \cdot \vec{e}_N \quad (8)$$

De definitie van de factor β is:

$$\beta \equiv \frac{1}{A} \iint (u/U)^2 \cdot dA \quad (9)$$

In gevallen waarin de niet-uniforme snelheidsverdeling uitsluitend het gevolg is van wandweerstand in een turbulente stroom wijkt u in het grootste deel van de doorgang relatief weinig van U af. Hierdoor is β slechts weinig groter dan 1. In veel gevallen wordt de waarde van β gelijk gesteld aan 1. Hiermee wordt de waarde van de meevoering van impuls p.e.v. tijd door een dwarsdoorgang gesteld op $\rho U^2 A$ ofwel $\rho Q U$.

De totale impulsoverdracht p.e.v. tijd door een dwarsdoorgang is

$$\bar{F} = \iint (p + \rho \cdot u^2) \cdot \vec{e}_N \cdot dA \quad (10)$$

Voor een dwarsdoorgang met evenwijdige stroomlijnen kunnen we (8) substitueren. Hiermee wordt de waarde van \bar{F} dan:

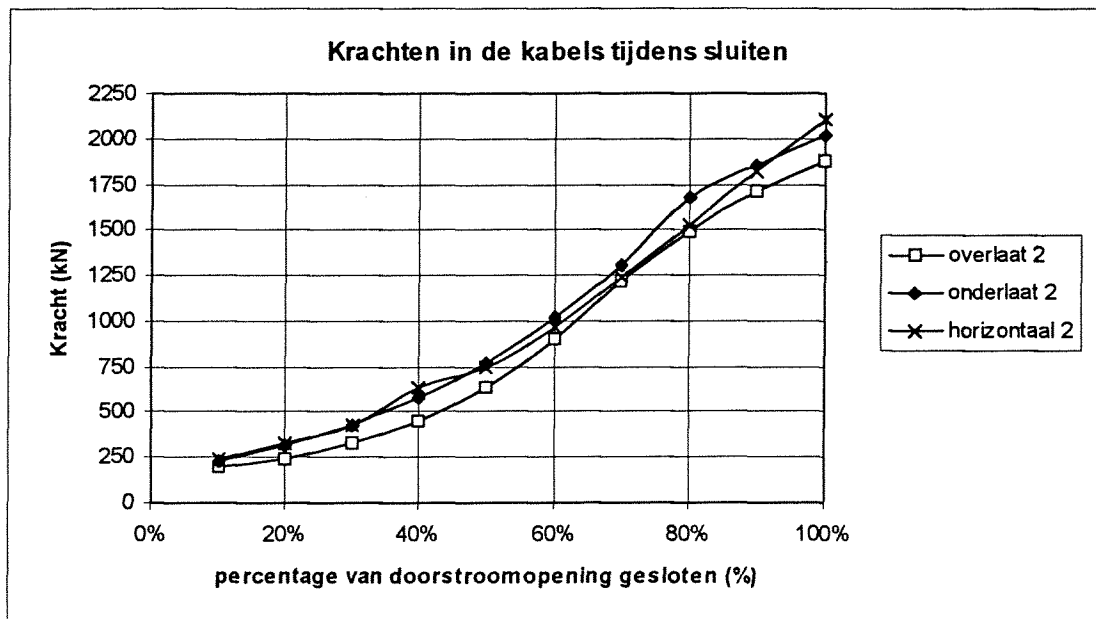
$$\vec{F} = \iint (p + \rho \cdot u^2) \cdot dA = \iint p \cdot dA + \beta \cdot \rho \cdot U^2 \cdot A \quad (11)$$

In een horizontale stroming met een vrij oppervlak en diepte d , en een hydrostatische druk variërend van $p = 0$ aan het oppervlak tot $p = \rho g d$ aan de bodem, is de waarde van \vec{F} p.e.v. breedte:

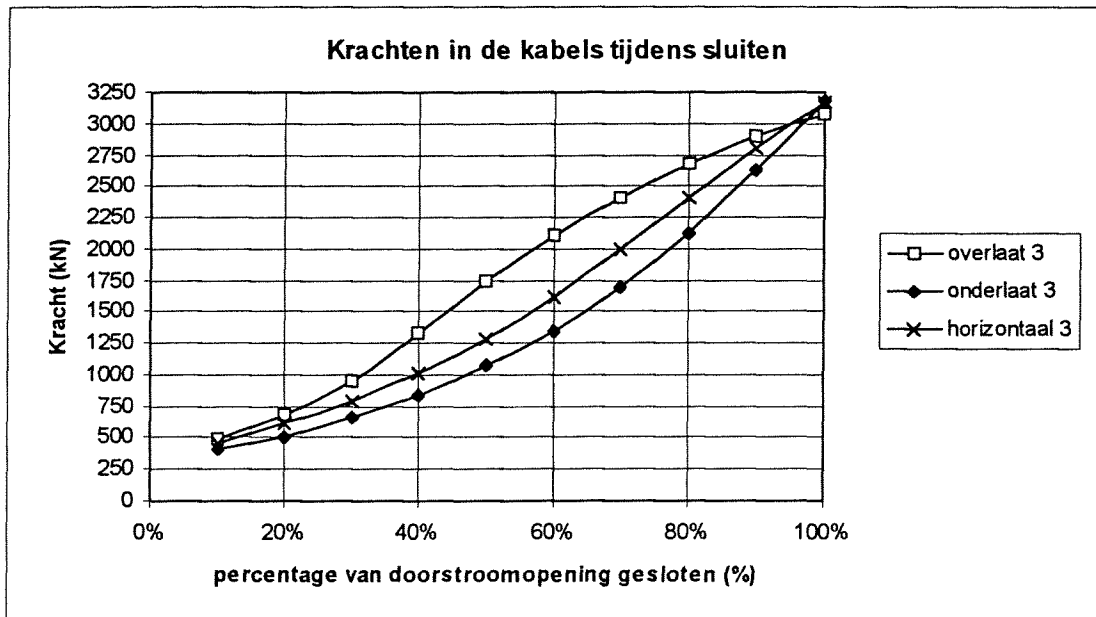
$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot d^2 + \beta \cdot \rho \cdot U^2 \cdot d \quad (12)$$

De dimensie van impulsoverdracht is N/m. Door het verschil in impulsoverdracht in een doorsnede voor de kering en in een doorsnede na de kering te berekenen kan de kracht op de kering per strekkende meter bepaald worden.

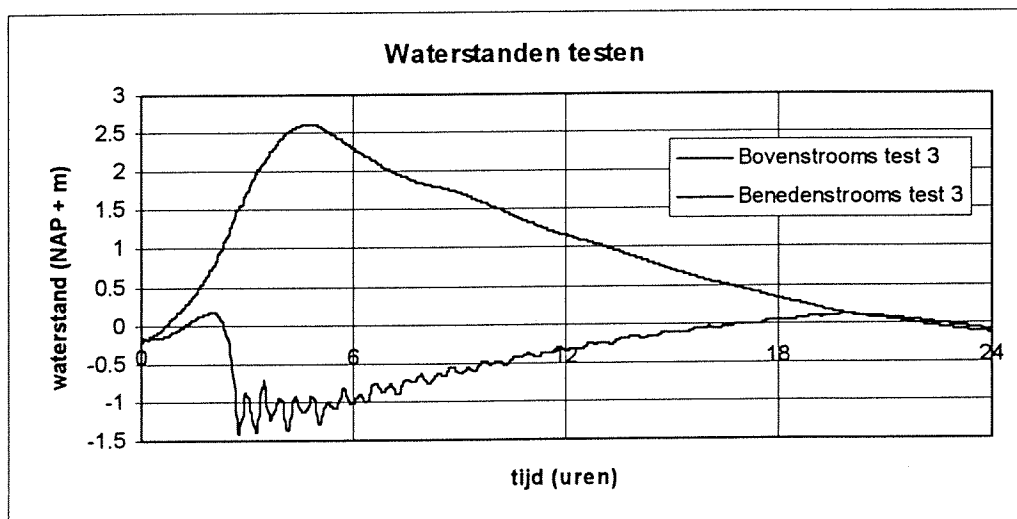
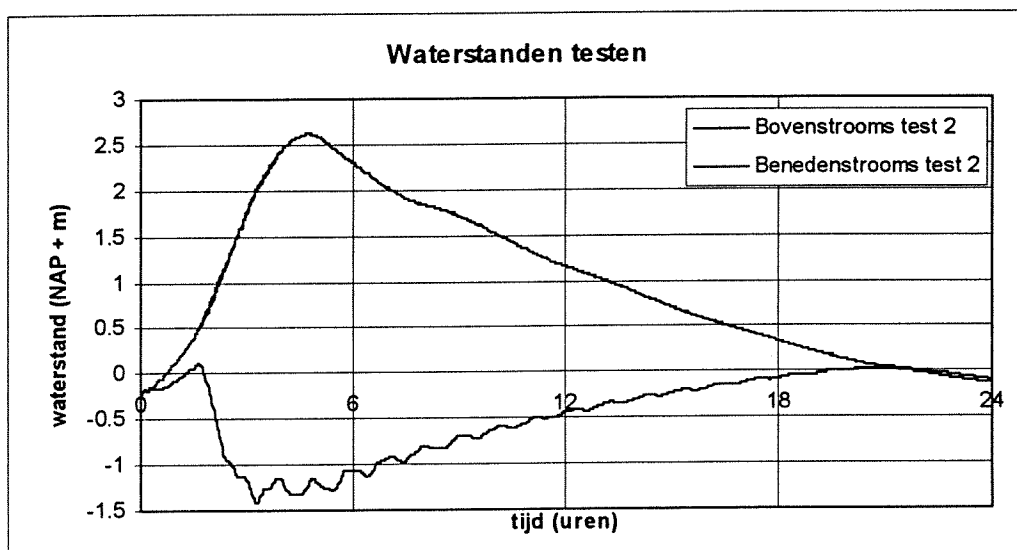
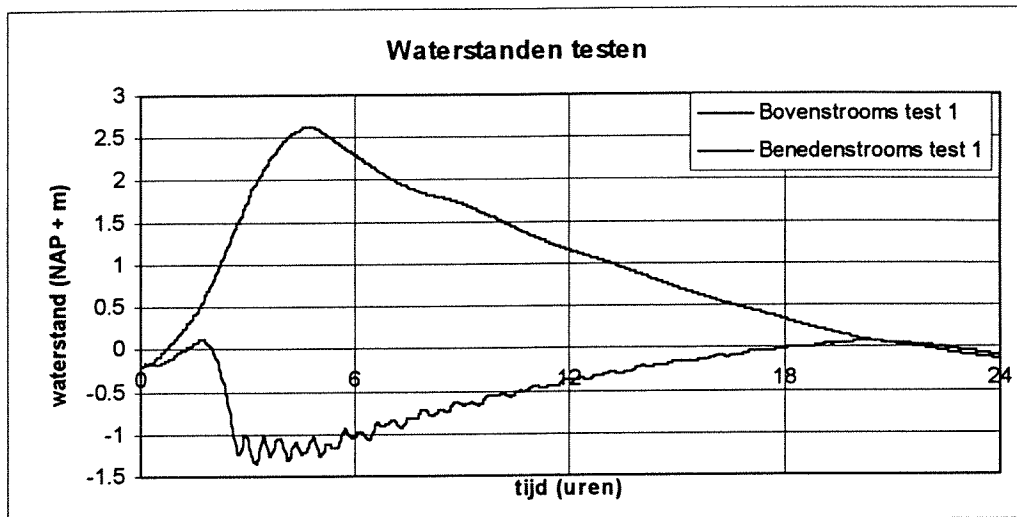
percentage van doorstroom opening gesloten	Overlaat 2	Onderlaat 2	Horizontaal 2
	F_{kabel} (kN)	F_{kabel} (kN)	F_{kabel} (kN)
10%	194	229	243
20%	245	315	325
30%	334	428	429
40%	454	578	635
50%	635	770	748
60%	895	1025	970
70%	1217	1304	1237
80%	1497	1675	1531
90%	1711	1852	1827
100%	1873	2023	2104



percentage van doorstroom opening gesloten	Overlaat 3	Onderlaat 3	Horizontaal 3
	F_{kabel} (kN)	F_{kabel} (kN)	F_{kabel} (kN)
10%	486	410	466
20%	683	514	613
30%	953	663	794
40%	1339	847	1021
50%	1742	1071	1292
60%	2101	1350	1621
70%	2415	1698	2005
80%	2673	2119	2407
90%	2900	2629	2800
100%	3078	3193	3170



Bijlage 6.1: waterstanden testen



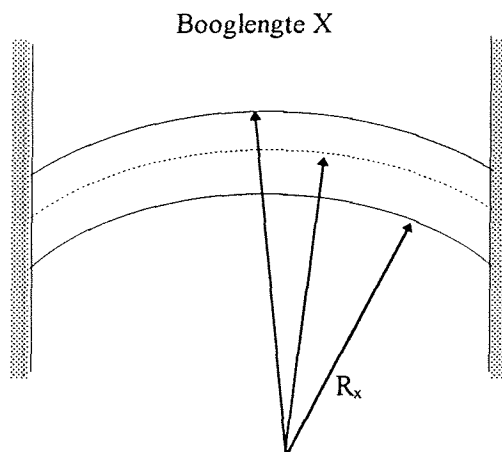
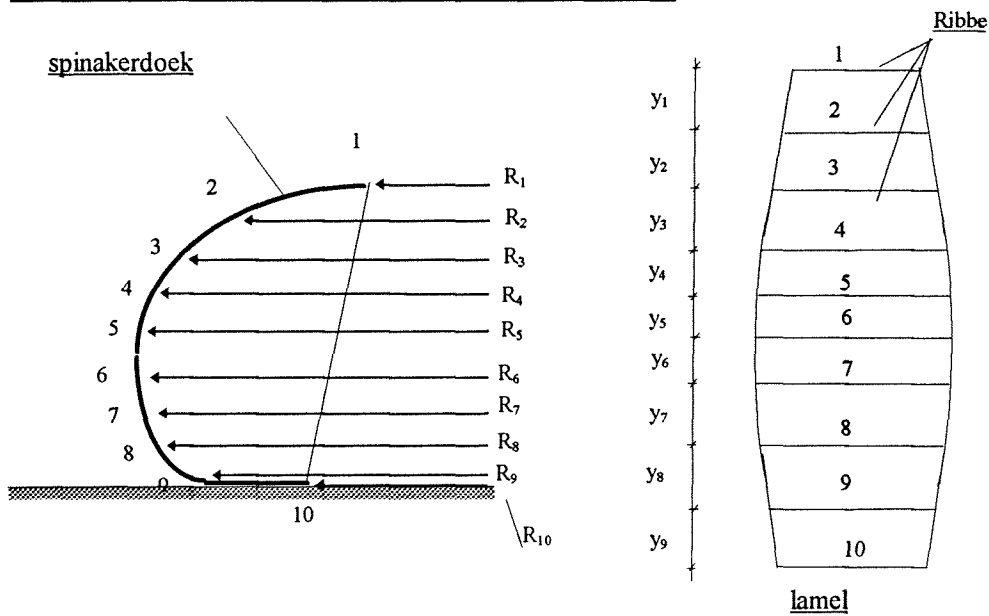
Bijlage 6.2: tabel met waterstanden

Overlaet (1)		prototype		model		prototype		model	
sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2	sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2
0%	3.887	0.155	3.830	0.153	0%	3.887	0.155	3.830	0.153
10%	3.928	0.157	3.821	0.153	10%	3.927	0.157	3.827	0.153
20%	3.977	0.159	3.806	0.152	20%	3.974	0.159	3.817	0.153
30%	4.037	0.161	3.787	0.151	30%	4.032	0.161	3.805	0.152
40%	4.094	0.164	3.745	0.150	40%	4.085	0.164	3.782	0.151
50%	4.154	0.166	3.684	0.147	50%	4.139	0.166	3.750	0.150
60%	4.230	0.169	3.581	0.143	60%	4.203	0.169	3.705	0.148
70%	4.296	0.171	3.445	0.138	70%	4.270	0.171	3.631	0.145
80%	4.360	0.174	3.361	0.134	80%	4.343	0.174	3.523	0.141
90%	4.425	0.177	3.311	0.132	90%	4.423	0.177	3.369	0.135
100%	4.487	0.180	3.293	0.132	100%	4.504	0.180	3.183	0.127
Overlaet (2)									
sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2	sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2
0	4.104	0.164	3.910	0.156	0%	4.104	0.164	3.910	0.156
10%	4.161	0.166	3.919	0.157	10%	4.162	0.166	3.935	0.157
20%	4.221	0.169	3.903	0.156	20%	4.217	0.169	3.915	0.157
30%	4.284	0.171	3.865	0.155	30%	4.279	0.171	3.882	0.155
40%	4.359	0.174	3.789	0.152	40%	4.349	0.174	3.827	0.153
50%	4.444	0.177	3.656	0.146	50%	4.423	0.177	3.743	0.150
60%	4.522	0.180	3.461	0.138	60%	4.505	0.180	3.612	0.144
70%	4.602	0.184	3.302	0.132	70%	4.598	0.184	3.424	0.137
80%	4.684	0.187	3.206	0.128	80%	4.664	0.187	3.208	0.128
90%	4.763	0.190	3.154	0.126	90%	4.755	0.190	3.165	0.127
100%	4.840	0.194	3.146	0.126	100%	4.848	0.194	3.124	0.125
Onderlaet (1)									
sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2	sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2
0%	3.887	0.155	3.830	0.153	0%	3.887	0.155	3.830	0.153
10%	3.928	0.157	3.821	0.153	10%	3.927	0.157	3.827	0.153
20%	3.977	0.159	3.806	0.152	20%	3.974	0.159	3.817	0.153
30%	4.037	0.161	3.787	0.152	30%	4.032	0.161	3.805	0.152
40%	4.094	0.164	3.763	0.151	40%	4.085	0.164	3.782	0.151
50%	4.154	0.166	3.723	0.149	50%	4.139	0.166	3.750	0.150
60%	4.230	0.169	3.670	0.147	60%	4.203	0.169	3.705	0.148
70%	4.296	0.171	3.586	0.143	70%	4.270	0.171	3.631	0.145
80%	4.360	0.174	3.473	0.139	80%	4.343	0.174	3.523	0.141
90%	4.425	0.177	3.342	0.134	90%	4.423	0.177	3.369	0.135
100%	4.487	0.180	3.203	0.128	100%	4.504	0.180	3.183	0.127
Onderlaet (2)									
sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2	sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2
0%	4.104	0.164	3.910	0.156	0%	4.104	0.164	3.910	0.156
10%	4.160	0.166	3.921	0.157	10%	4.162	0.166	3.935	0.157
20%	4.219	0.169	3.909	0.156	20%	4.217	0.169	3.915	0.157
30%	4.279	0.171	3.881	0.155	30%	4.279	0.171	3.882	0.155
40%	4.348	0.174	3.833	0.153	40%	4.349	0.174	3.827	0.153
50%	4.420	0.177	3.759	0.150	50%	4.423	0.177	3.743	0.150
60%	4.496	0.180	3.651	0.146	60%	4.505	0.180	3.612	0.144
70%	4.581	0.184	3.514	0.141	70%	4.598	0.184	3.424	0.137
80%	4.671	0.187	3.356	0.134	80%	4.664	0.187	3.208	0.128
90%	4.761	0.190	3.191	0.128	90%	4.755	0.190	3.165	0.127
100%	4.853	0.194	3.041	0.122	100%	4.848	0.194	3.124	0.125
Onderlaet (3)									
sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2	sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2
0%	4.479	0.179	4.109	0.164	0%	4.479	0.179	4.109	0.164
10%	4.559	0.182	4.112	0.164	10%	4.546	0.182	4.146	0.166
20%	4.640	0.186	4.079	0.163	20%	4.627	0.186	4.141	0.166
30%	4.726	0.189	4.028	0.161	30%	4.712	0.189	4.113	0.165
40%	4.818	0.193	3.949	0.158	40%	4.799	0.193	4.061	0.162
50%	4.914	0.197	3.838	0.154	50%	4.891	0.197	3.986	0.159
60%	5.013	0.201	3.685	0.147	60%	4.989	0.201	3.876	0.155
70%	5.117	0.205	3.486	0.139	70%	5.093	0.205	3.714	0.149
80%	5.219	0.209	3.260	0.130	80%	5.205	0.209	3.497	0.140
90%	5.323	0.213	3.031	0.121	90%	5.319	0.213	3.187	0.127
100%	5.427	0.217	2.813	0.113	100%	5.436	0.217	2.802	0.112
Overlaet (3)									
sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2	sluiten	boven (m)	h1	beneden (m)	h2
0%	4.479	0.179	4.109	0.164	0%	4.479	0.179	4.109	0.164
10%	4.563	0.182	4.100	0.164	10%	4.563	0.182	4.100	0.164
20%	4.652	0.186	4.036	0.161	20%	4.652	0.186	4.036	0.161
30%	4.749	0.189	3.926	0.157	30%	4.749	0.189	3.926	0.157
40%	4.857	0.193	3.732	0.149	40%	4.857	0.193	3.732	0.149
50%	4.953	0.197	3.509	0.140	50%	4.953	0.197	3.509	0.140
60%	5.048	0.201	3.314	0.133	60%	5.048	0.201	3.314	0.133
70%	5.142	0.205	3.149	0.126	70%	5.142	0.205	3.149	0.126
80%	5.235	0.209	3.032	0.121	80%	5.235	0.209	3.032	0.121
90%	5.326	0.213	2.941	0.118	90%	5.326	0.213	2.941	0.118
100%	5.416	0.217	2.901	0.116	100%	5.416	0.217	2.901	0.116

Bijlage 6.3: Grootte van de lamellen

In onderstaande tabel en figuur staat aangegeven hoe de lamellen zijn opgebouwd. Deze lamellen zijn aan elkaar genaaid.

	<i>R</i> (m)	Booglengte (m)	10 lamellen (mm)	y (mm)
1	1.200	2.3290	232.9	250
2	1.448	2.8098	281.0	84
3	1.524	2.9583	295.8	51
4	1.564	3.0347	303.5	39
5	1.585	3.0756	307.6	34
6	1.593	3.0910	309.1	34
7	1.589	3.0832	308.3	38
8	1.570	3.0480	304.8	81
9	1.499	2.9097	291.0	180
10	1.319	2.5603	256.0	0



Bijlage 7.1: Calibratie meetapparatuur

8.12.97

type

GHM

handleiding

golfhoogtemeter

werkingsprincipe:

De probe bestaat uit twee evenwijdige metalen elektroden, die vertikaal in het elektrisch geleidende water wordt geplaatst. Door een stroom te sturen tussen de meetelektroden via het water, wordt een elektrische weerstand gemeten, die afhankelijk is van de kolom water tussen de elektroden, het geleidingsvermogen van het water en de onderlinge afstand van de elektroden. Om de invloed van het niet konstante geleidingsvermogen van het water uit te schakelen, is een kleine referentie-elektrode, die altijd onder water blijft, in de probe toegevoegd, zodat de elektrische weerstand vrijwel alleen afhankelijk is van de indompelingsdiepte.

montage en aansluitingen:

Monteer de peilnaald met probe zo stevig mogelijk. Elektrische stromen in de buurt van de probe en elektrische aardslussen in het meetstelsel vermijden. Verbind de probe met de bijgeleverde GHM kabel met de signaalverwerker via probe-konector 1 (achterzijde van de signaalverwerker).

ijking:

Na het reinigen de probe in stilstaand water plaatsen, bij voorkeur in dezelfde goot waar de metingen zullen plaatsvinden. Indien niet mogelijk, plaats de probe tijdelijk in een ombouwing om plaatselijk stilstaand water te verkrijgen of plaats een emmer met water in de goot en verbind elektrisch beide waternivo's. Stel de bereikenschakelaar in op de volgende hogere waarde van de te verwachten maximale optredende golfhoogte. Een gunstige indompelingsdiepte om te ijken is de helft van de op de bereikenschakelaar ingestelde waarde, plus 4 cm (gemeten vanaf de referentie-elektrode tot de waterspiegel). Let op, dat het aangegeven meetbereik op de voorzijde geldt voor het gehele spanningsbereik van -10 naar +10 Volt. Laat de signaalverwerker met probe minimaal een half uur aanstaan en regel de uitgangsspanning op de BNC konconnector naar 0,00 Volt. Door de peilnaald een aantal cm naar beneden en boven te verstellen en de uitgangsspanning te noteren kan een kalibratie worden gemaakt.

specificaties:

Materiaal meetelektroden: Roestvrij staal, type 316, rond 4 mm, onderlinge afstand 23 mm, lengte 59 cm. Referentie-elektrode: platina, 5*2 mm rond. Niet-lineariteit: 0,5% meetbereik. Te gebruiken vloeistoffen: alle, indien verenigbaar met bovengenoemde materialen. Minimale vereiste geleidbaarheid vloeistof: 0,08 mS. Invloed geleidingsvermogen: gevoeligheidsverandering < 1% voor variaties tussen 0,1 en 2 mS. Afmetingen voorversterker: 70*8*9. Kabellengte naar signaalverwerker: 10 m. Bereik signaalverwerker: 5, 10, 20 en 50 cm. Responsie: 0 tot 15 Hz. Uitgangsspanning: -10 V tot +10 V +/- 1%.

gebruiksaanwijzing:

Na het ijken is de golfhoogtemeter gereed. De probe en signaalverwerker minimaal een half uur inschakelen voor het gebruik. De uitgangsspanning is af te lezen op het metertje en staat tevens continu op de BNC konconnector. Controleer regelmatig de uitgangsspanning op 0,00 Volt bij stilstaande vloeistof, ook bij omschakelen bereikenschakelaar. De probe kan zonder opnieuw te ijken van plaats of indompelingsdiepte veranderen, indien de referentie-elektrode tenminste 4 cm onder water blijft. Bij meetseries waarbij de probe telkens verplaatst moet worden kunnen waterspiegelvariaties gecorrigeerd worden met de nulinstelling regelaar. Voor elke meting de probe reinigen met een in 3% salpeterzuur oplossing gedrenkt doekje, daarna goed afspoelen met water. De probe bij voorkeur onder water houden als deze enkele dagen niet wordt gebruikt. Als de probe lange tijd droog is geweest, deze na reiniging enkele uren in het water zetten voordat de meting begint. Bij gebruik van verschillende golfhoogtemeters de probes tenminste 20 cm van elkaar zetten.

8.12.97

type

P

handleiding

ems

werkingsprincipe:

De EMS is in feite de omgekeerde versie van de pijpstroommeter, die gebruik maakt van de inductiewet van Faraday voor snelheidsmetingen V van een geleidende vloeistof door een magnetisch veld. Dit veld wordt opgewekt door een wisselstroom door een kleine spoel in de sensor. Twee paar loodrecht tegengestelde elektroden e geven de spanningen af die overeenkomen met de snelheid van de vloeistof langs de sensor. Deze spanningen zijn evenredig met de sinus V_y en de kosinus V_x van de grootte van de vloeistofsnelheid V_e parallel aan het oppervlak van de elektroden. Voor een vloeistof die het sensoroppervlak via een hoek b passeert, bedraagt de grootte van de uitgangsspanning $V \cos b$. Deze kleine signalen worden door de toegevoegde elektronica versterkt tot hoge uitgangsspanning om via goniometrie de vloeistofsnelheid en -richting te verkrijgen.

montage en aansluitingen:

Monteer de probe zo stevig mogelijk, let hierbij op de X en Y richting (aangegeven op de probe). Elektrische stromen in de buurt van de probe en elektrische aardlussen in het meetsysteem vermijden, gebruik zonodig een scheidingstransformator. Verbind de probe met de bijgeleverde kabel met de EMS signaalverwerker via probe-konnektor 2 (achterzijde van de signaalverwerker).

ijking:

Na het reinigen de probe in de stilstaande vloeistof plaatsen, bij voorkeur in dezelfde goot waar de metingen zullen plaatsvinden. Indien niet mogelijk, plaats de probe tijdelijk in een ombouwing om plaatselijk stilstaand water te verkrijgen of plaats een emmer met water in de goot en verbind elektrisch beide waternivo's. Laat de signaalverwerker met probe minimaal een half uur aanstaan. Na het geven van kommando 6 wordt na 10 sek. de uitgangsspanning automatisch naar 0 Volt geregeld voor de kanalen X en Y afzonderlijk. Raadpleeg het kalibratieformulier voor het verband tussen de uitgangsspanning en vloeistofsnelheid.

specificaties:

Sensor: Elektromagnetisch, 2 richtingen, 4 kwadranten. Afmetingen: 11*33 mm elliptisch. Staaf diameter 10 mm, lengte tot 850 mm. Probe-voorversterker 65*150*35 mm. Totale probe-lengte 1090 mm. Max. druk: 3 Bar. Kabellengte naar signaalverwerker 10 m (max. 100 m). Materialen in contact gebracht met de vloeistof: Roestvrij staal type 316, Ampco 45, platina, polykarbonaat, epoxy coating. Te gebruiken vloeistoffen: schoon en verontreinigd water. Min. geleidbaarheid vloeistof: 0,2 mS/cm. Max. temp. 50° C. Uitgangsspanning signaalverwerker: -10 Volt tot +10 Volt. Bereik: 0 tot 1 of 2,5 m/s (omschakelbaar). Responsie: 0 tot 5 Hz (omschakelbaar tot 10 Hz). Systeemnauwkeurigheid: +/- 0,01 m/s +/- 1% volle schaaluitslag bij fouthoek <10 graden. Fouthoek <10 graden te verwaarlozen. Stabiliteit: <1 cm/s per 24 uur. Temp. invloed vloeistof: 0,1 cm/s per graad C. Omgevingstemp. invloed: 0,03 cm/s per graad C. Invloed geleidbaarheid vloeistof: 0,02% per mS/cm.

gebruiksaanwijzing:

Na het ijken is de EMS gereed. De probe en signaalverwerker minimaal een half uur inschakelen voor het gebruik. De uitgangsspanningen zijn af te lezen op het display en staan tevens continu op de BNC konnektoren. Controleer regelmatig de uitgangsspanning op 0,00 Volt bij stilstaande vloeistof, ook bij omschakelen bereikenschakelaar. Zet de bereikenschakelaar alleen op 2,5 m/s als de te meten snelheid boven 1 m/s komt. De probe regelmatig reinigen met een natte spons of een zacht doekje, gebruik nooit chemische middelen. Als de probe lange tijd droog is geweest, deze na reiniging enkele dagen in het water zetten voordat de meting begint. Bij gebruik van verschillende EMS systemen de probes niet te dicht bij elkaar zetten.

Calibratie metringen

De calibratie van de metringen is op de volgende manier gegaan. Aan de metring is een emmer gehangen. In deze emmer is per stap ongeveer een kilo zand toegevoegd. Bij elke stap is het voltage afgelezen. Hierna is de calibratieformule bepaald.

Meetring MV3

Gewicht (g)	Volts	Gewicht (g)	Volts
1000	0.169	11017.2	1.751
2000	0.328	12067.2	1.918
3000.3	0.486	13070.4	2.07
4001.4	0.644	14082	2.23
4999.8	0.800	15094.8	2.39
5999.4	0.958	16123.3	2.56
7001.6	1.116	17151.3	2.73
8008.9	1.276	18154.9	2.88
9008.9	1.433	19159.7	3.04
10009.3	1.592	20165.3	3.20

De calibratie formule voor meetring MV3 is:

$$F = 61.60 \cdot V \text{ (N)}$$

Meetring MV7

Gewicht (g)	Volts	Gewicht (g)	Volts
1030.6	0.173	11060.9	1.855
2037.7	0.342	12048.9	2.02
3024.6	0.507	13011.9	2.18
4027.3	0.676	14059	2.36
5050.2	0.847	15078.2	2.53
5998.3	1.006	16098	2.70
7031.4	1.179	17066.2	2.86
8033.7	1.347	18097.5	3.03
9040.9	1.516	19112.5	3.20
10041.4	1.684	20071.7	3.36

De calibratie formule voor meetring MV7 is:

$$F = 58.50 \cdot V \text{ (N)}$$

Functie bepaling van de golfhoogtemeters

Golfhoogtemeter G19:

Nul vlak = 15.5 cm t.o.v. bodem

Meting: -2.53 cm = -2.57 V
-4.98 cm = -5.08 V

Hieruit volgt: $Y = 0.98 \cdot V$ (cm)

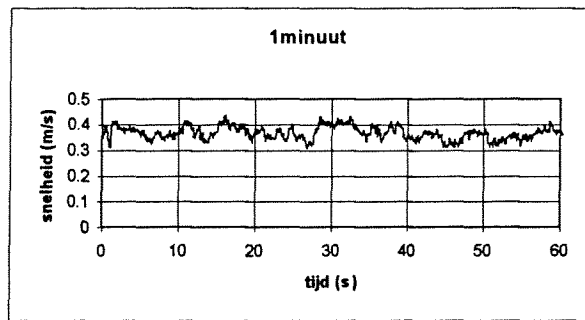
Golfhoogtemeter G18:

Nul vlak = 15.5 cm t.o.v. bodem

Meting: -2.50 cm = -2.50 V
-5.00 cm = -5.00 V

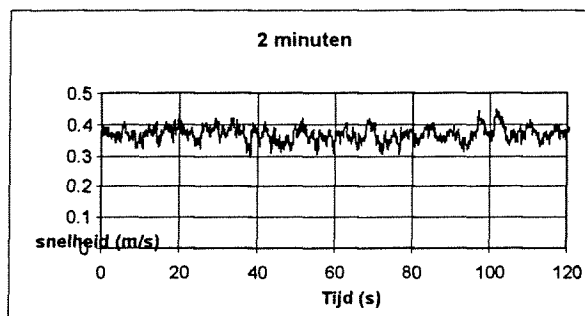
Hieruit volgt: $Y = 1.00 \cdot V$ (cm)

Bijlage 7.2: Gevoeligheidsanalyse duur snelheid meting



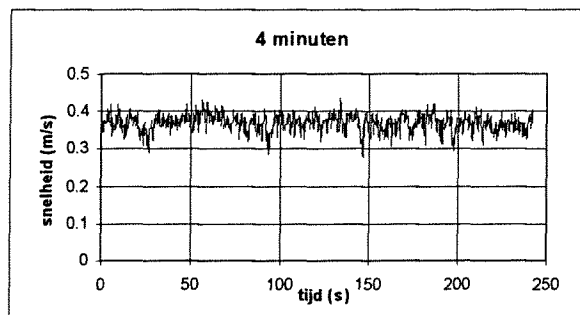
m/s

$$u_{\text{gemiddeld}} = 0.3672$$



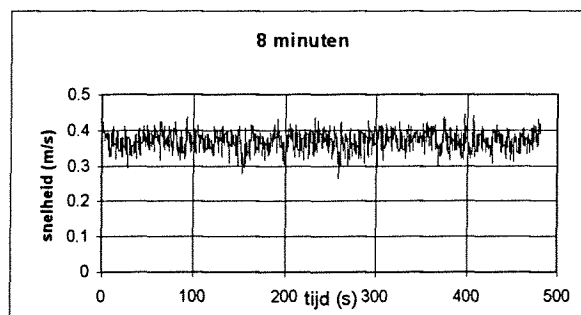
m/s

$$u_{\text{gemiddeld}} = 0.3677$$



m/s

$$u_{\text{gemiddeld}} = 0.3687$$



m/s

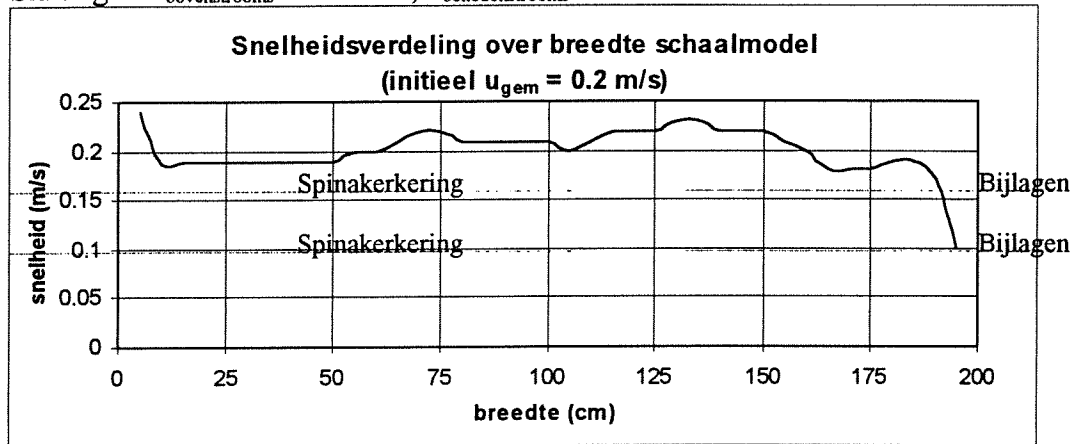
$$u_{\text{gemiddeld}} = 0.3696$$

In de bovenstaande grafieken is de gemeten snelheid uitgezet tegen de tijd. Uit de grafieken is op te maken dat het verloop van de snelheid niet verandert gedurende een lange periode. Ook de gemiddelde snelheid blijft gelijk. Daarom is er gekozen voor een meetduur van 1 minuut.

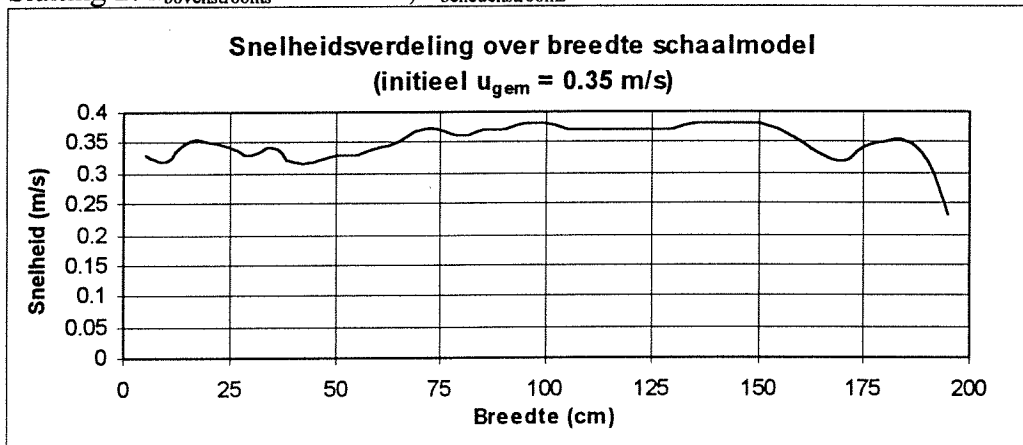
Bijlage 7.3: calibratie v/d stroomgoot

Hieronder staan in 3 grafieken de snelheidsverdeling over de breedte van de stroomgoot weergegeven. Per grafiek verschilt de initiële stroomsnelheid. In de afgebeelde grafieken zijn de gemiddelde stroomsnelheden over de tijd weergegeven. De stroomsnelheden zijn gemeten op een hoogte van $0.4 \cdot \text{waterhoogte}$.

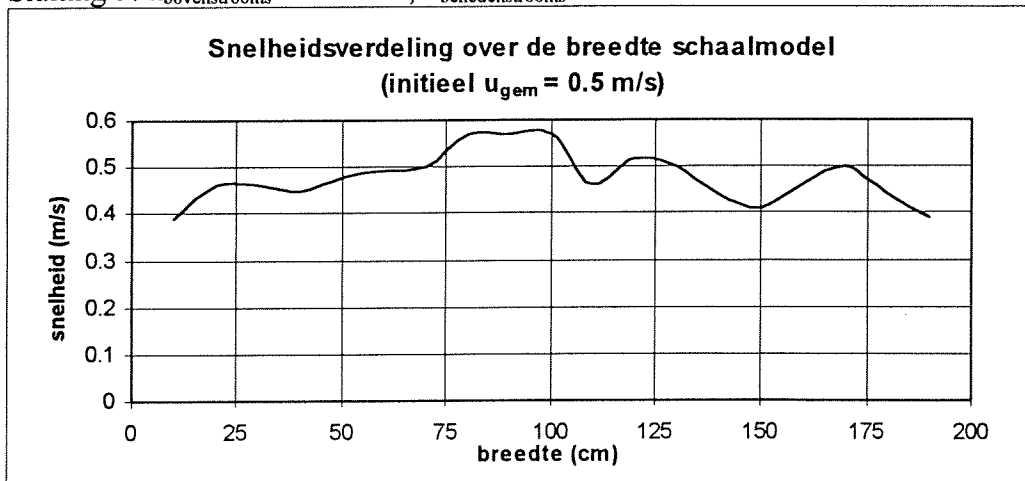
Sluiting 1: $h_{\text{bovenstrooms}} = 15.5 \text{ cm}$, $h_{\text{benedenstrooms}} = 15.5 \text{ cm}$



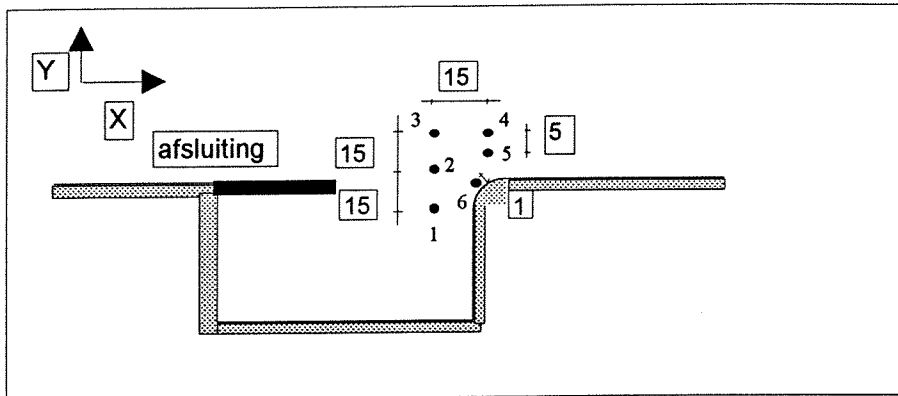
Sluiting 2: $h_{\text{bovenstrooms}} = 16.8 \text{ cm}$, $h_{\text{benedenstrooms}} = 16.8 \text{ cm}$



Sluiting 3: $h_{\text{bovenstrooms}} = 17.9 \text{ cm}$, $h_{\text{benedenstrooms}} = 17.8 \text{ cm}$

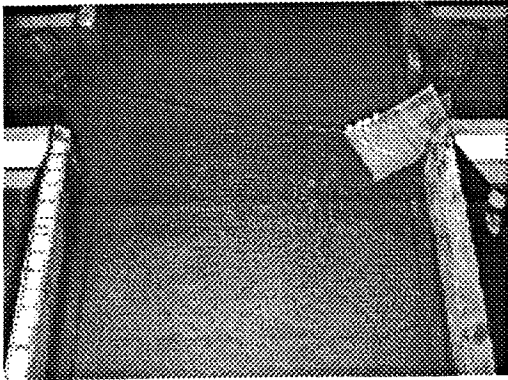
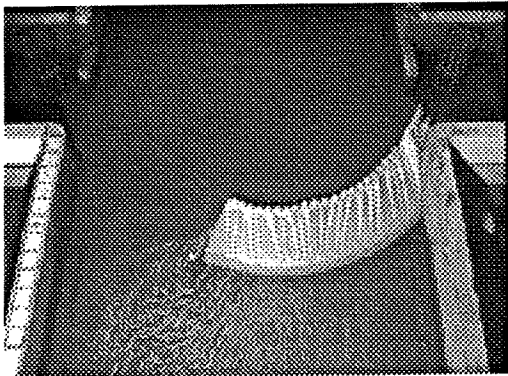
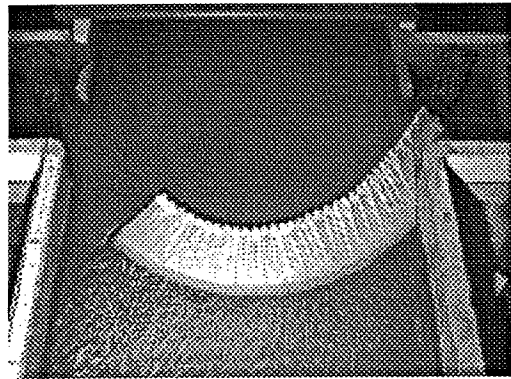
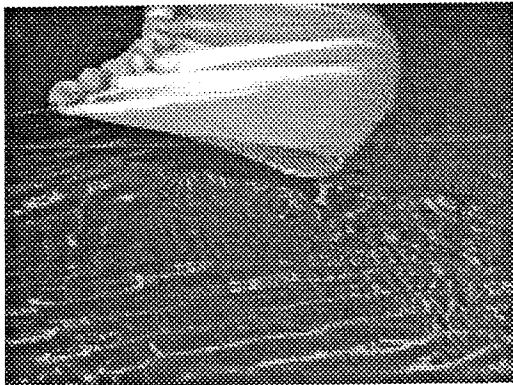
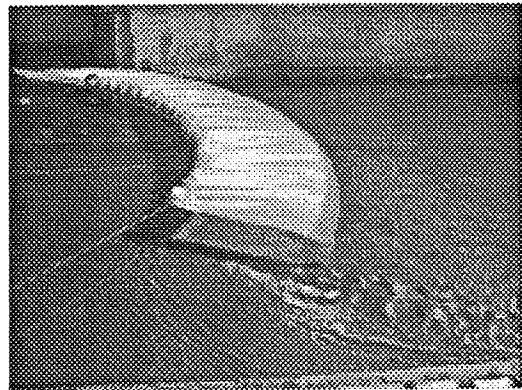


Bijlage 7.4: Invloed van de inhammen



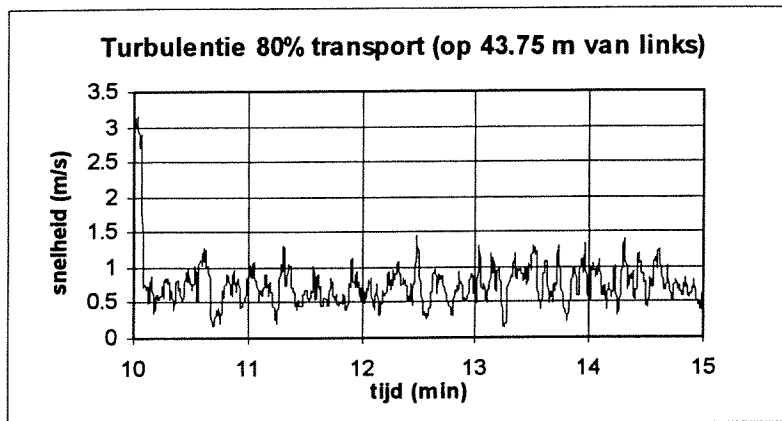
	<i>Zonder afsluiting</i>		<i>Met afsluiting</i>	
	U_x (m/s)	U_y (m/s)	U_x (m/s)	U_y (m/s)
	0.02	-0.07	0.01	-0.04
	0.19	-0.04	0.2	-0.05
	0.31	-0.04	0.31	-0.04
	0.32	-0.04	0.32	-0.03
	0.3	-0.04	0.31	-0.03
	0.123	-0.014	0.126	-0.015

Het verschil is nihil. Er wordt voor een afsluiting gekozen omdat met een test met gekleurde vloeistof is gebleken dat er minder verstoring optreedt.

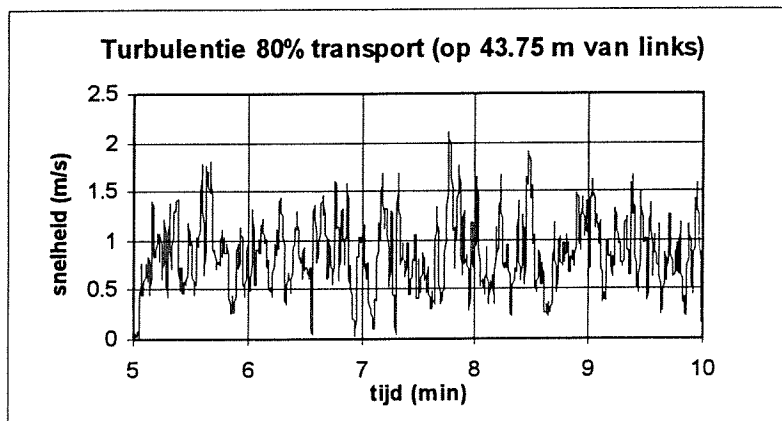
Bijlage 7.5: Transportfases Nul alternatief (sluiting 1)*figuur 1: 20% transport**figuur 2: 40% transport**figuur 3: 60% transport**figuur 4: 80% transport**figuur 5; zijaanzicht 40% transport**figuur 6: doorsnede 60 % transport*

Bijlage 7.6: Turbulentie bij 80% transport

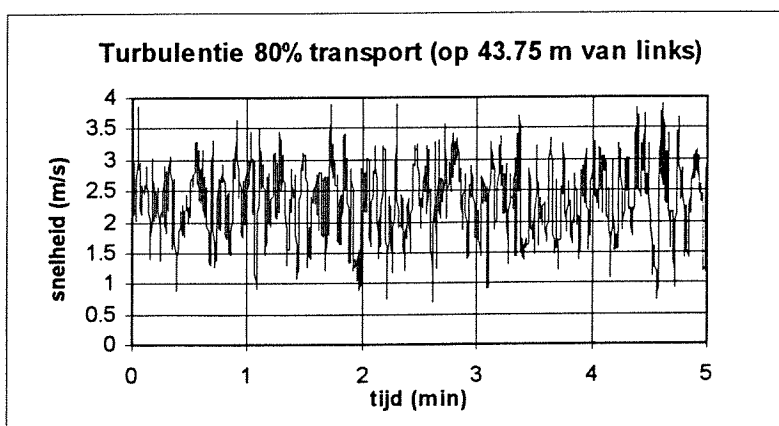
Sluiting 1, 1.0 m/s



Sluiting 2, 1.75 m/s



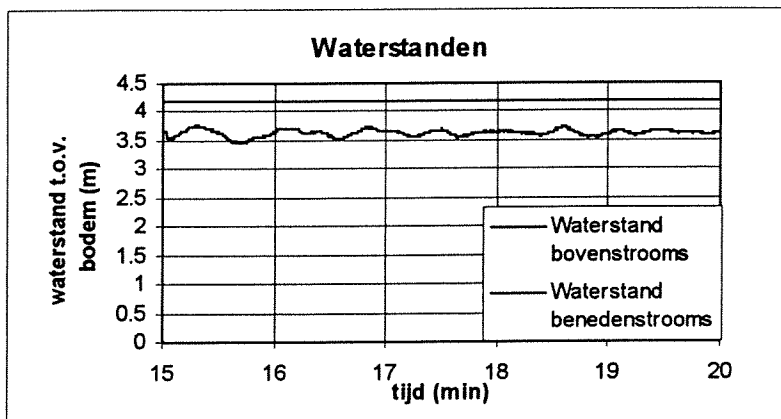
Sluiting 3, 2.5 m/s



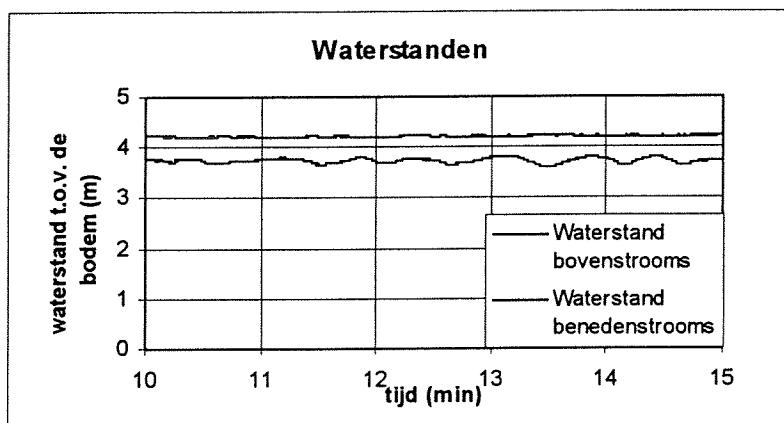
Bijlage 7.7: Waterstanden bij 60% transport

De hoogste waterstand is de bovenstroomse waterstand.

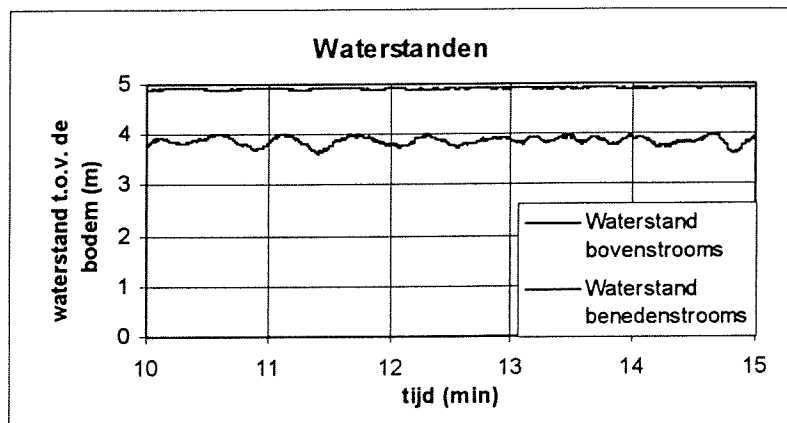
Sluiting 1, 1.0 m/s



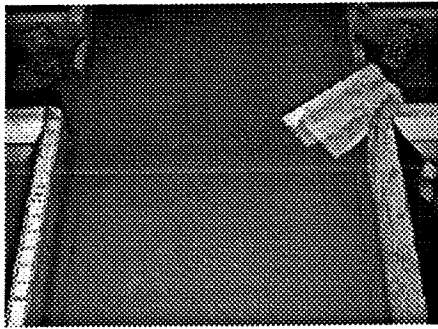
Sluiting 2, 1.75 m/s



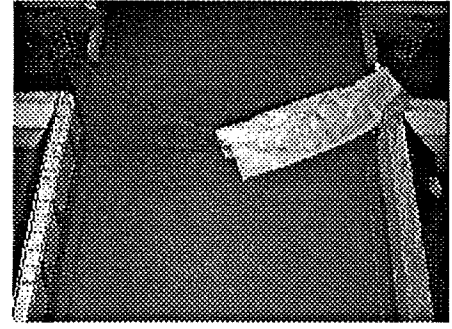
Sluiting 3, 2.5 m/s



Bijlage 7.8: Transportfasen Spinaker met scherm (sluiting 1)



figuur 5: 20% transport



figuur 6: 40% transport



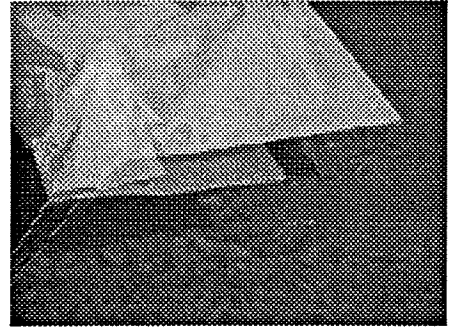
figuur 7: 60% transport



figuur 8: 80% transport

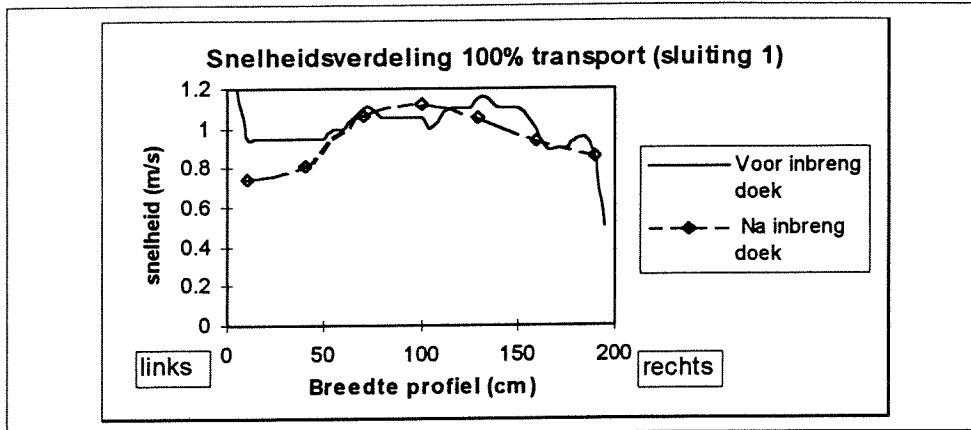


figuur 9: 100% transport (vooraanzicht)



figuur 10: scherm om onderkabel heengevouwen (zij-aanzicht)

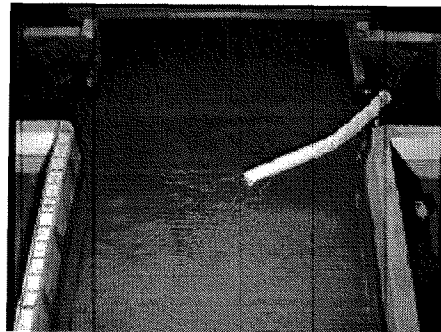
Bijlage 7.9: Snelheidsverdeling over breedte (Spinaker met scherm)



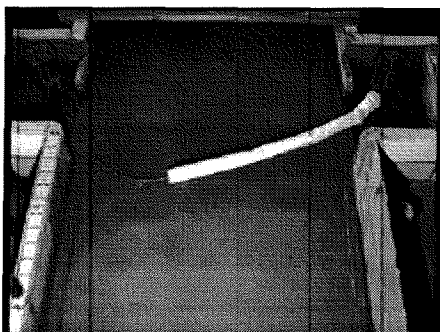
Bijlage 7.10: Spinaker in hoes (sluiting 1)



figuur 1: 20% transport



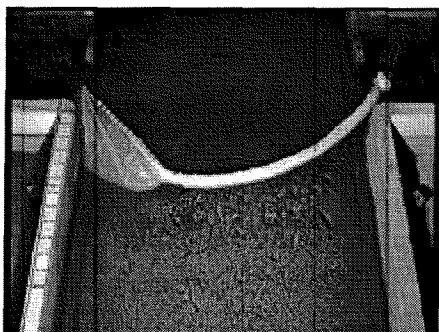
figuur 2: 40% transport



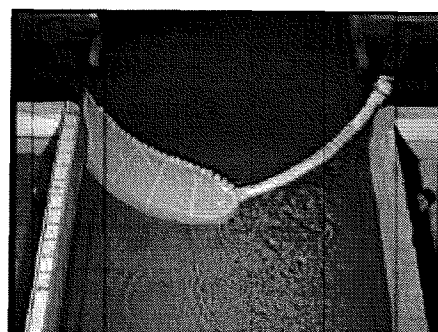
figuur 3: 60% transport



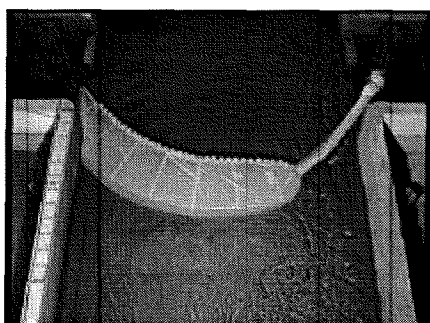
figuur 4: 80% transport



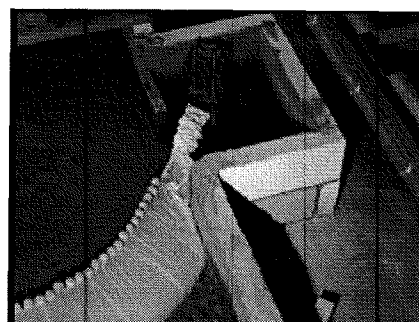
figuur 5: 20% sluiten



figuur 6: 40% sluiten



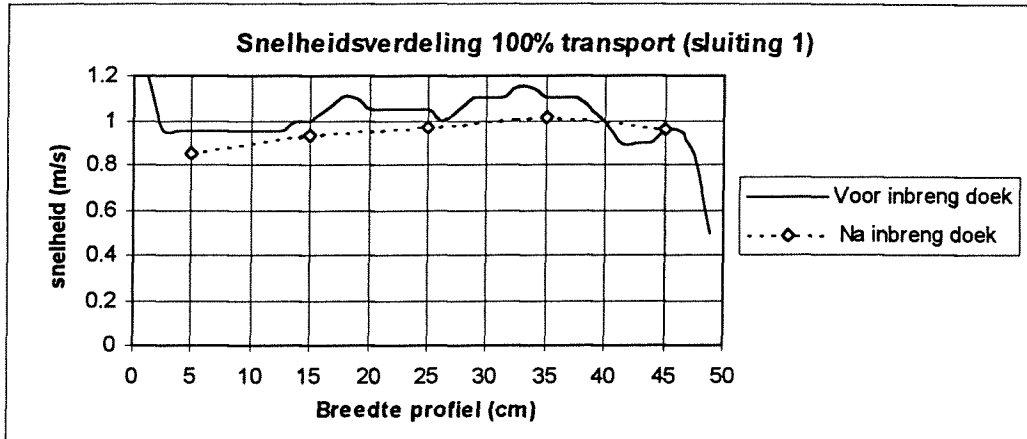
figuur 7: 70% sluiten



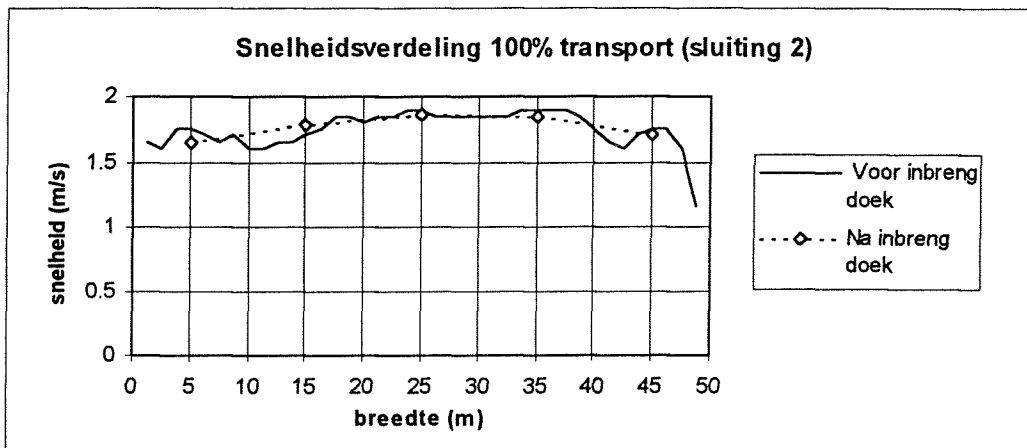
figuur 8: detail

Bijlage 7.11: Snelheidsverdeling over breedte (Spinaker in hoes)

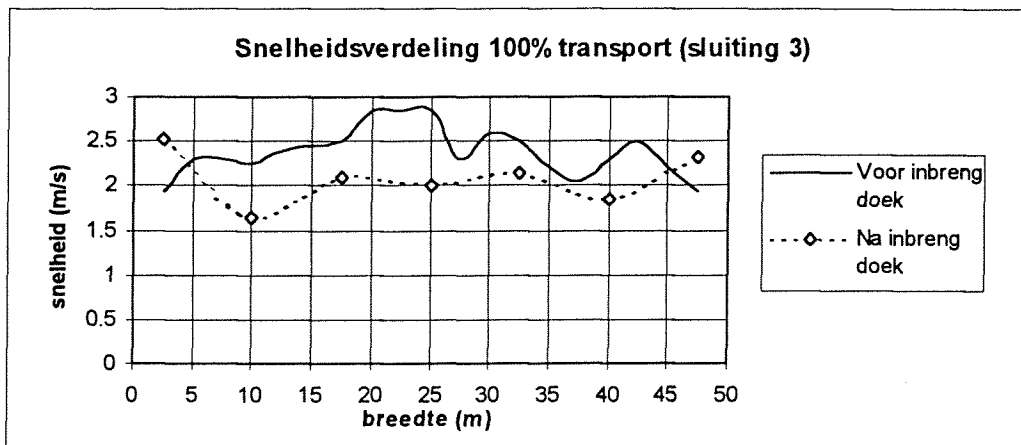
Sluiting 1, 1.0 m/s

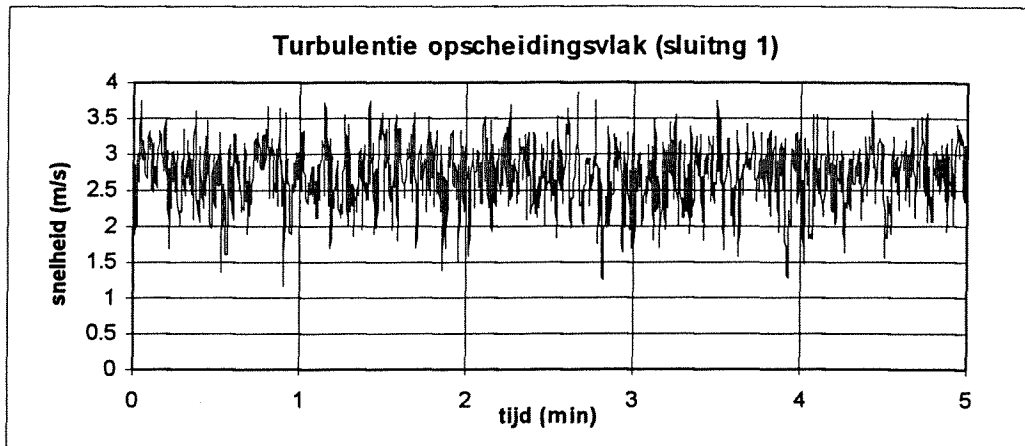
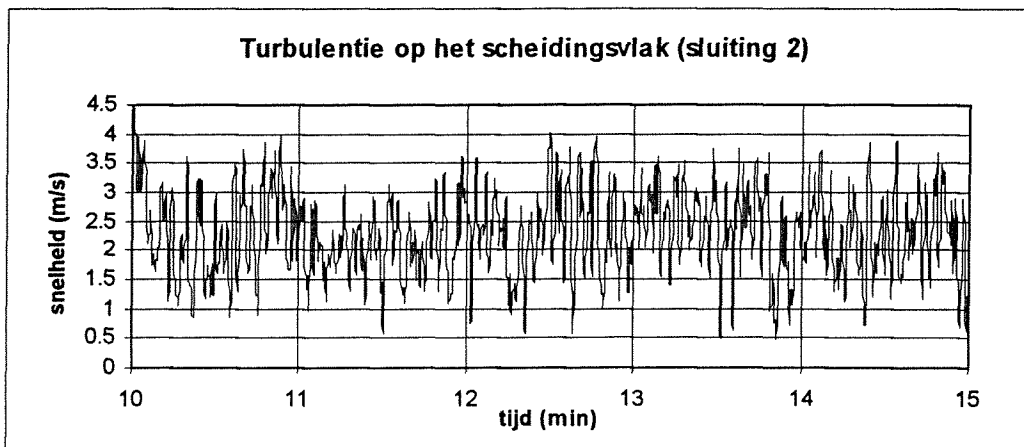


Sluiting 2, 1.75 m/s

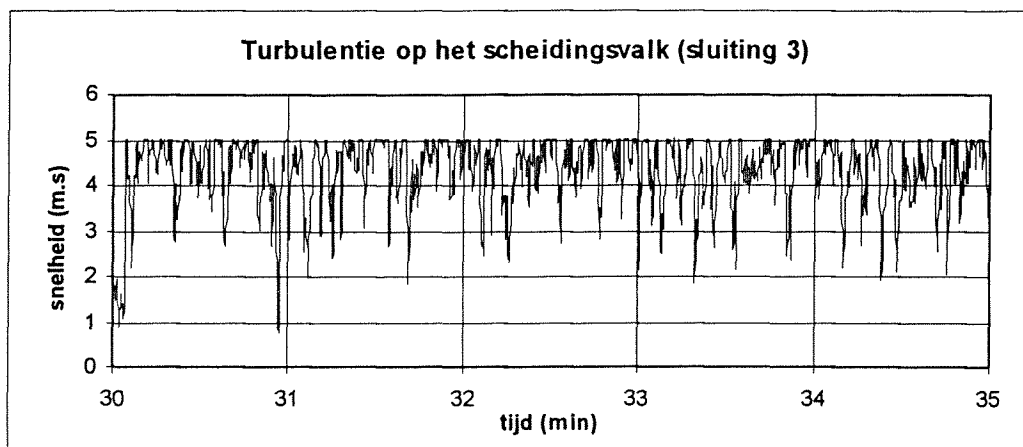


Sluiting 3, 2.5 m/s



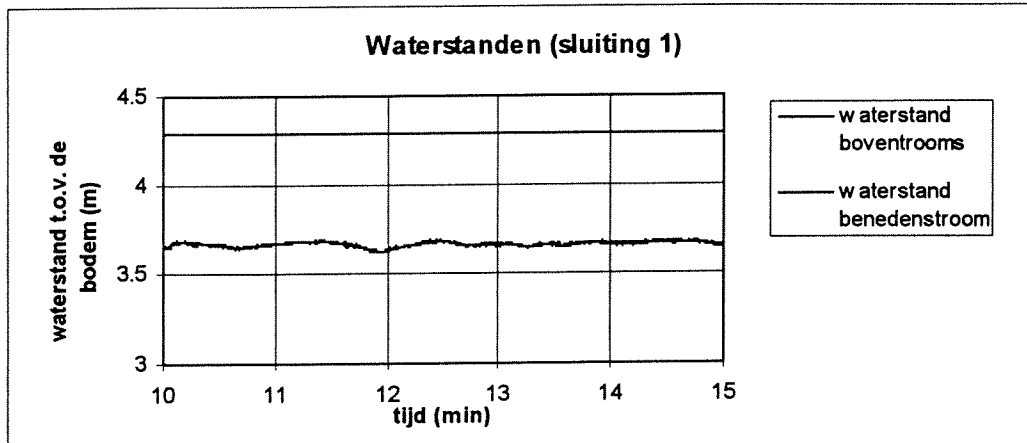
Bijlage 7.12: Grootste turbulentie bij Spinaker in hoes*Sluiting 1, 1.0 m/s**Sluiting 2, 1.75 m/s**Sluiting 3, 2.5 m/s*

Meetwaarden boven de 5 m/s zijn niet geregistreerd. Dit komt omdat de snelheidsmeter (EMS) voor registratie van deze snelheden opeen grotere range moet worden ingesteld. Bij deze meting is dat niet gebeurt. Door de grafiek om de horizontale lijn bij ± 4.75 m/s te spiegelen krijgt men toch een goed beeld van de opgetreden turbulentie.

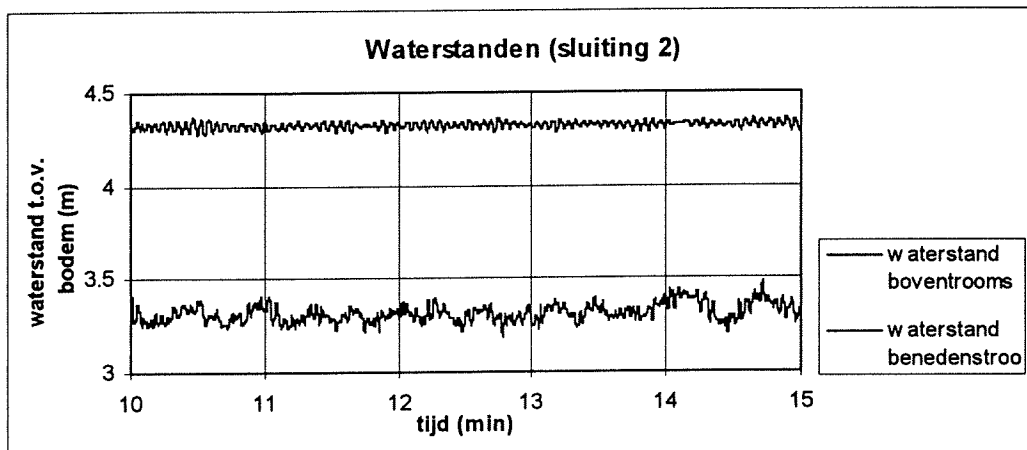


Bijlage 7.13: Waterstanden met grootste verstoring (Spinaker in hoës)

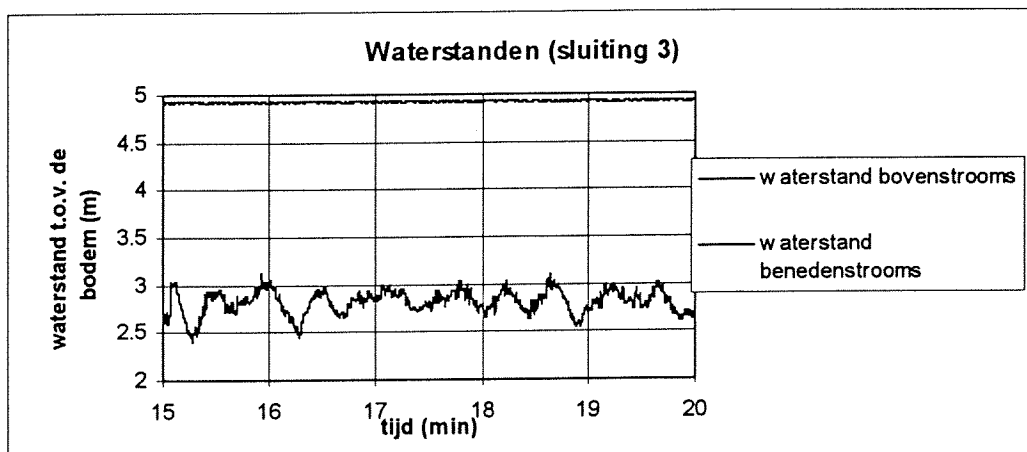
Sluiting 1, 1.0 m/s



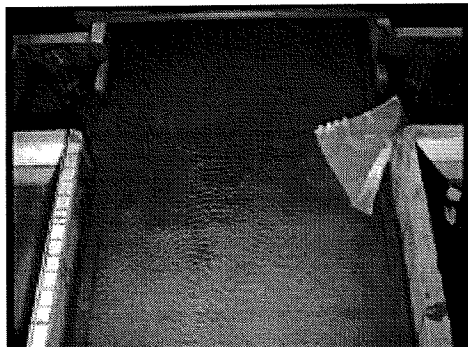
Sluiting 2, 1.75 m/s



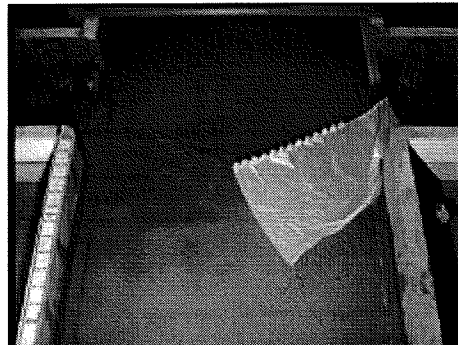
Sluiting 3, 2.5 m/s



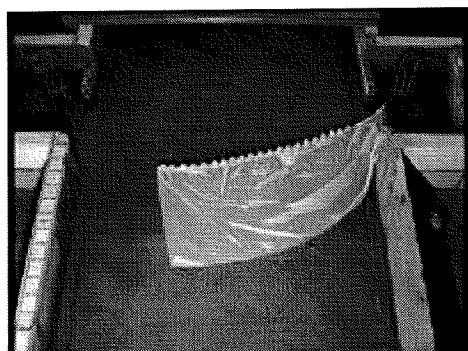
**Bijlage 7.14: Zwevend transport, sluiting van boven naar beneden
(sluiting 1)**



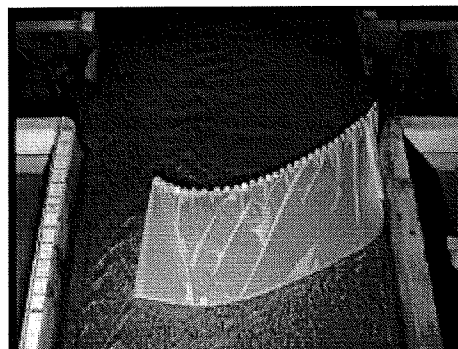
figuur 1: 20% transport



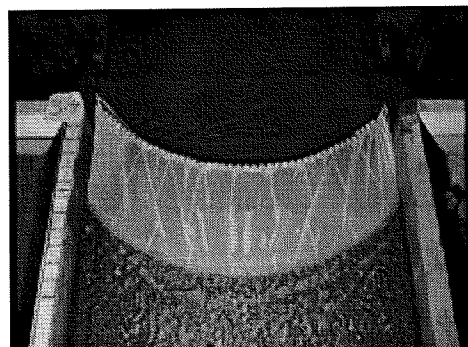
figuur 2: 40% transport



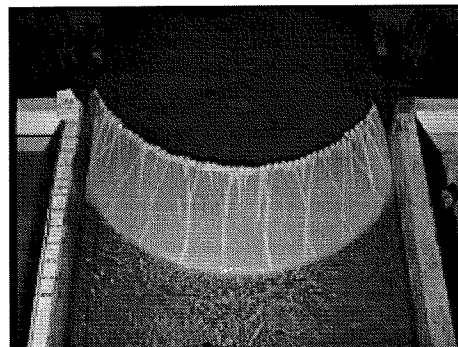
figuur 3: 60% transport



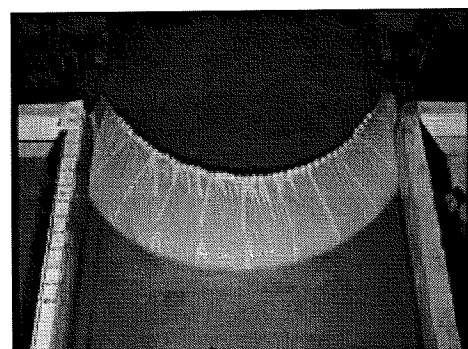
figuur 4: 80% transport



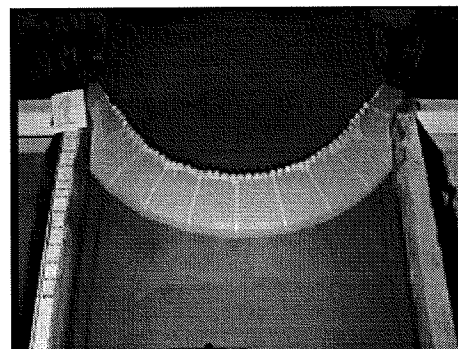
figuur 5: sluiten (X=15 m)



figuur 6: sluiten (X = 11 m)



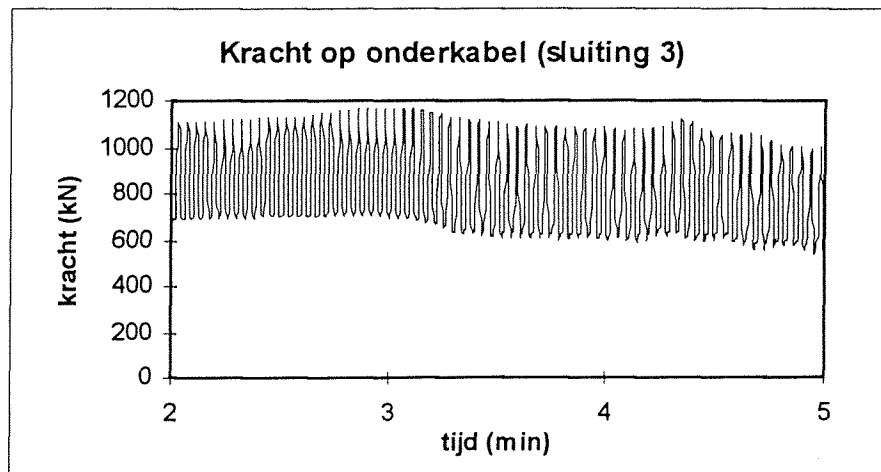
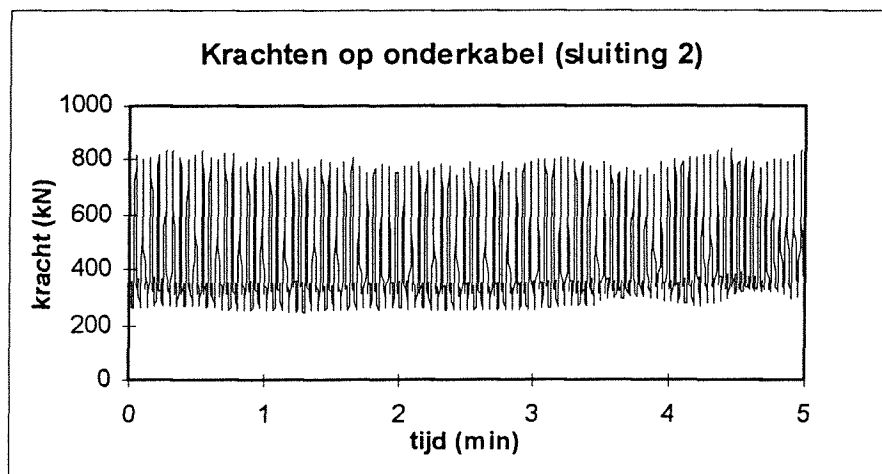
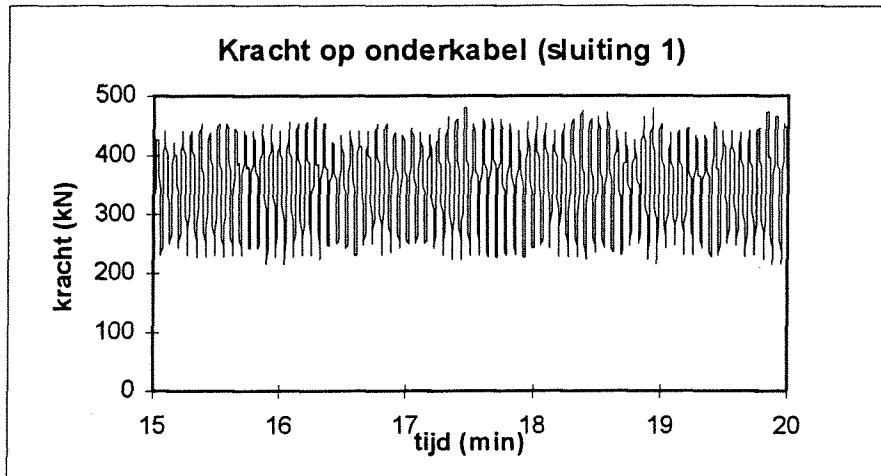
figuur 7: sluiten (X = 7.5 m)



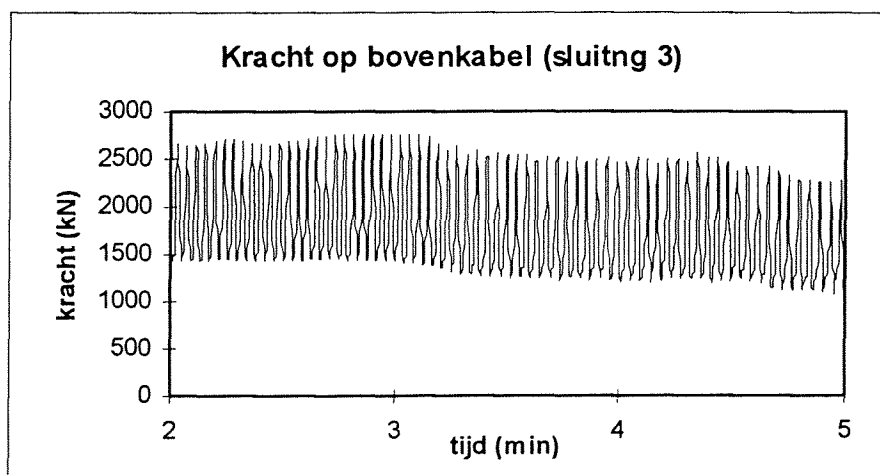
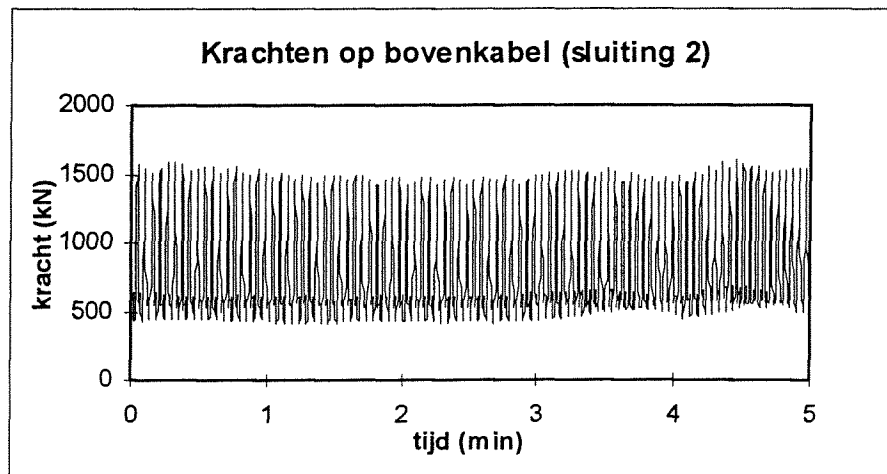
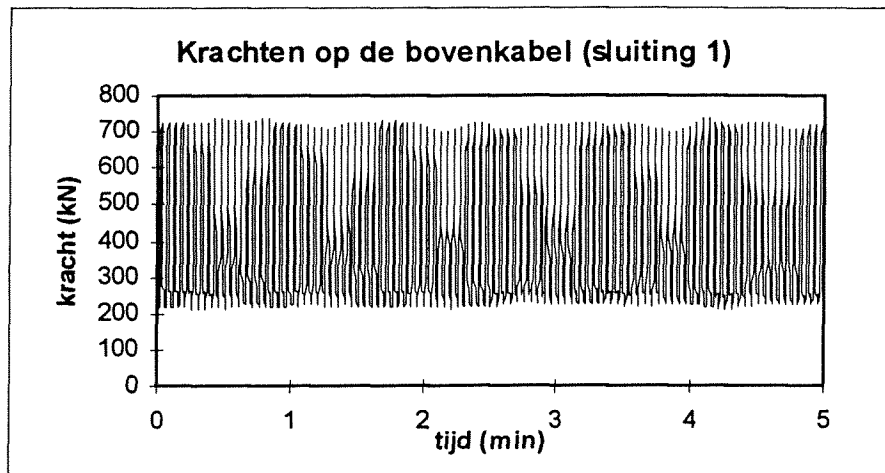
figuur 8: sluiten (X = 0m)

Bijlage 7.15: Maximale krachten op boven- en onderkabel alternatief 3

Onderkabel

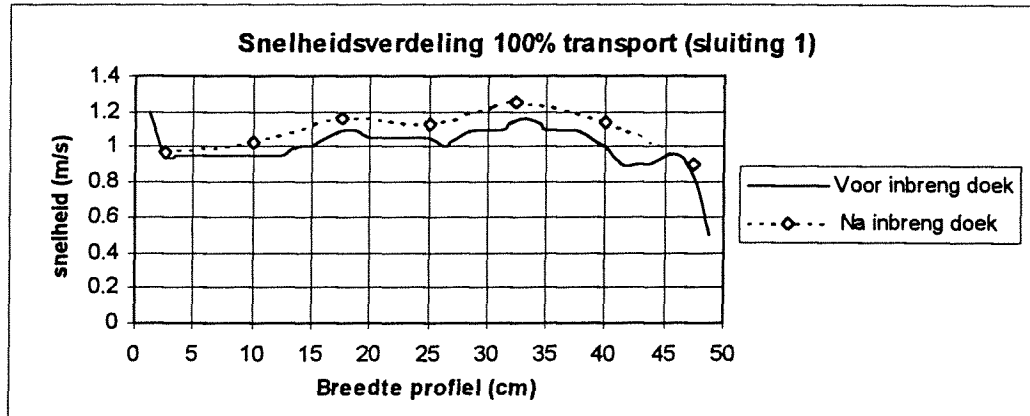


Bovenkabel

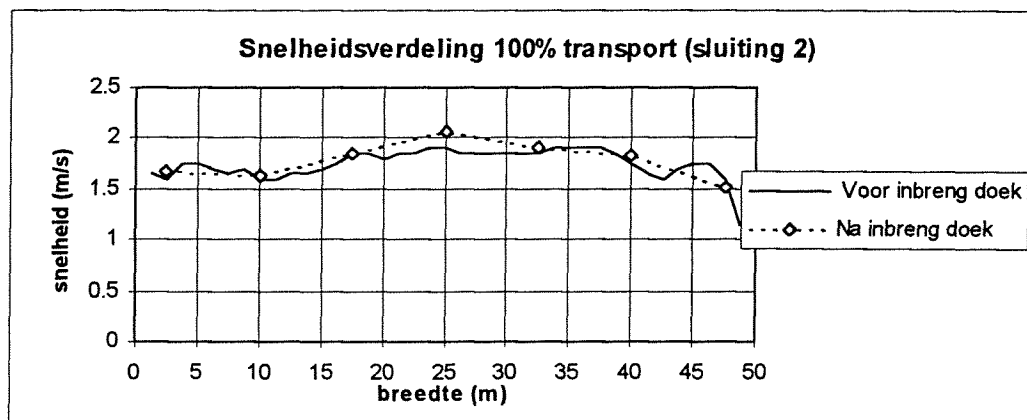


Bijlage 7.16: Snelheidsverdeling over de breedte (Zwevend transport, sluiting van boven naar beneden)

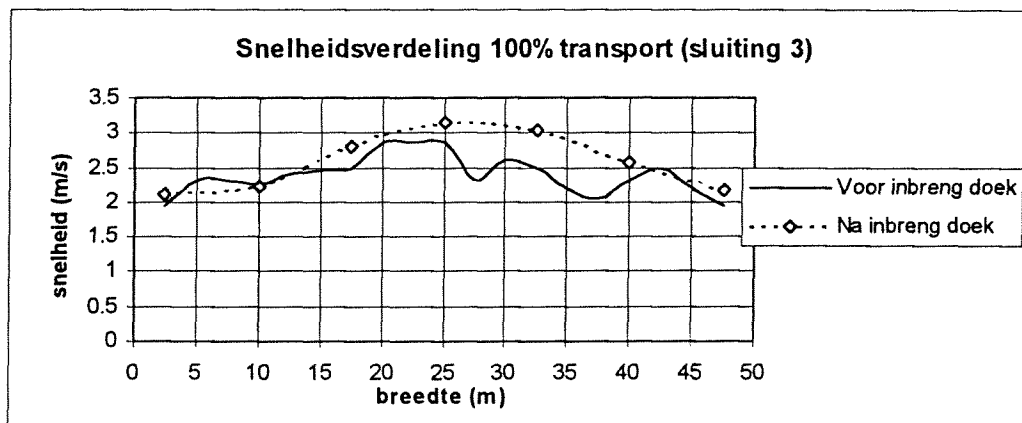
Sluiting 1, 1.0 m/s



Sluiting 2, 1.75 m/s

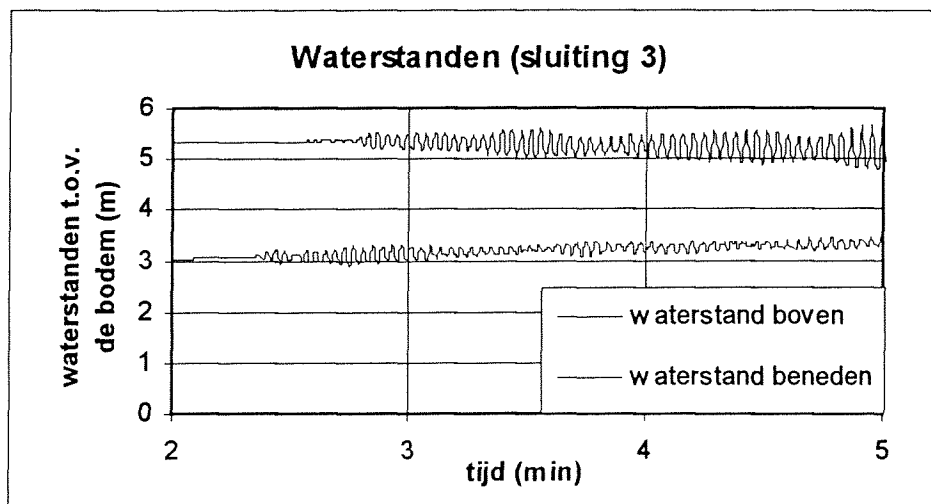
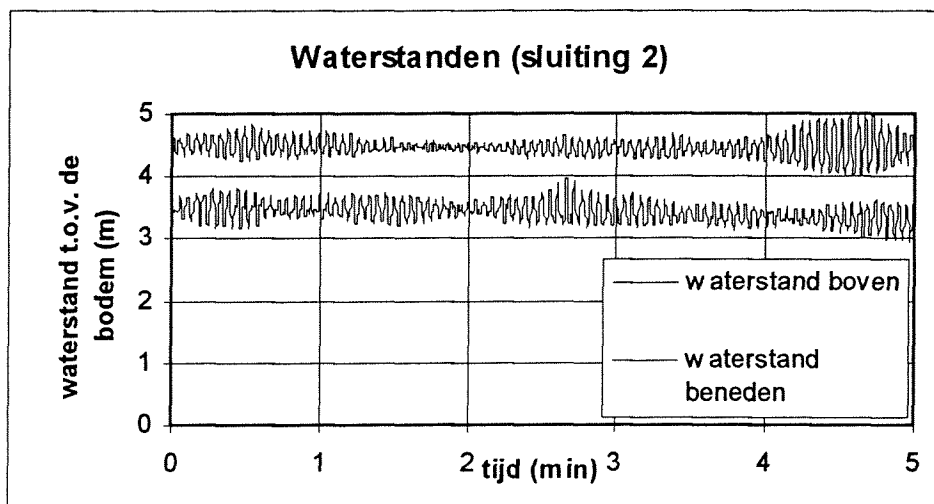
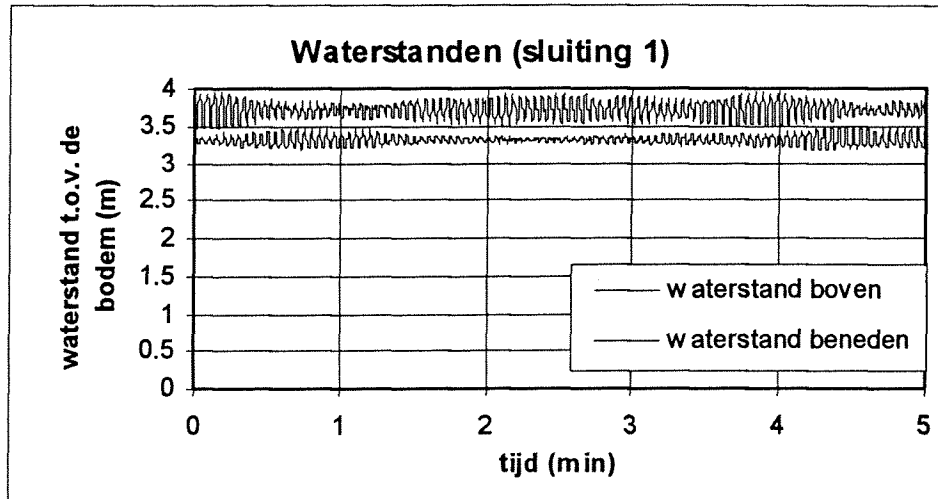


Sluiting 3, 2.5 m/s

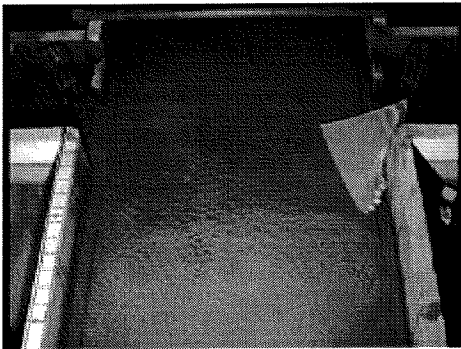


Bijlage 7.17: Maximale waterstanden alternatief 3

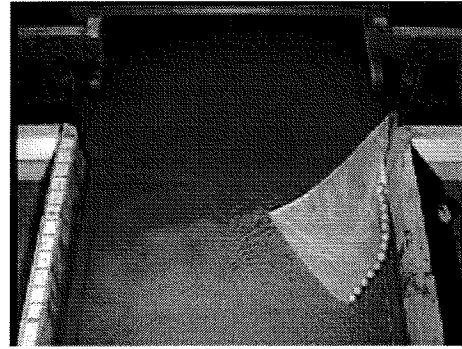
De bovenste waterstand in de grafiek geeft de bovenstroomse waterstand weer. De onderste waterstand geeft de benedenstroomse waterstand weer.



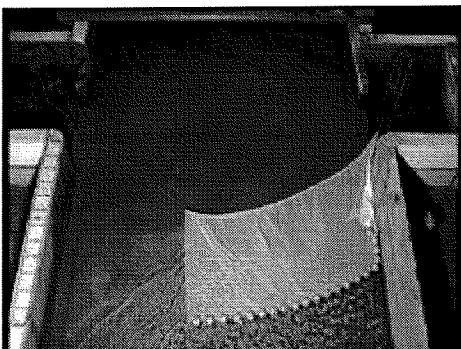
Bijlage 7.18: Zwevend transport, sluiting van beneden naar boven (sluiting 1)



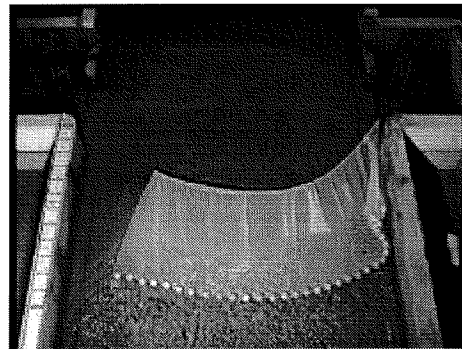
figuur 1: 20% transport



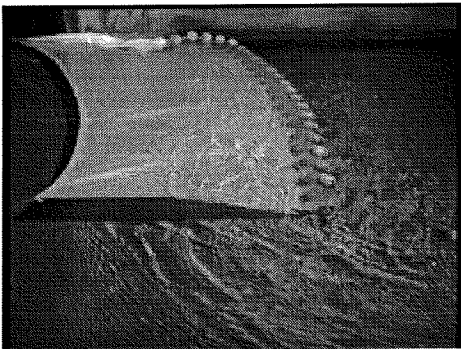
figuur 2: 40% transport



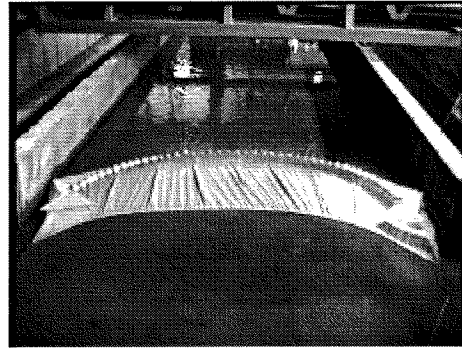
figuur 3: 60% transport



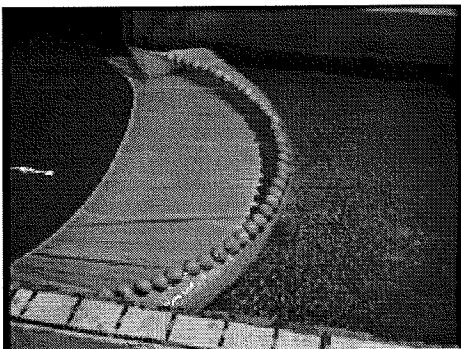
figuur 4: 80% transport



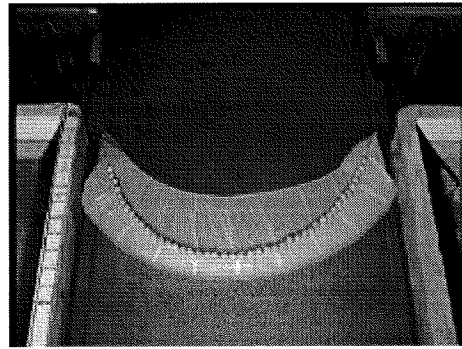
figuur 5: zij aanzicht doek



figuur 6: vooraanzicht tijdens sluiten



figuur 7: sluiten (aantrekken bovenkabel)

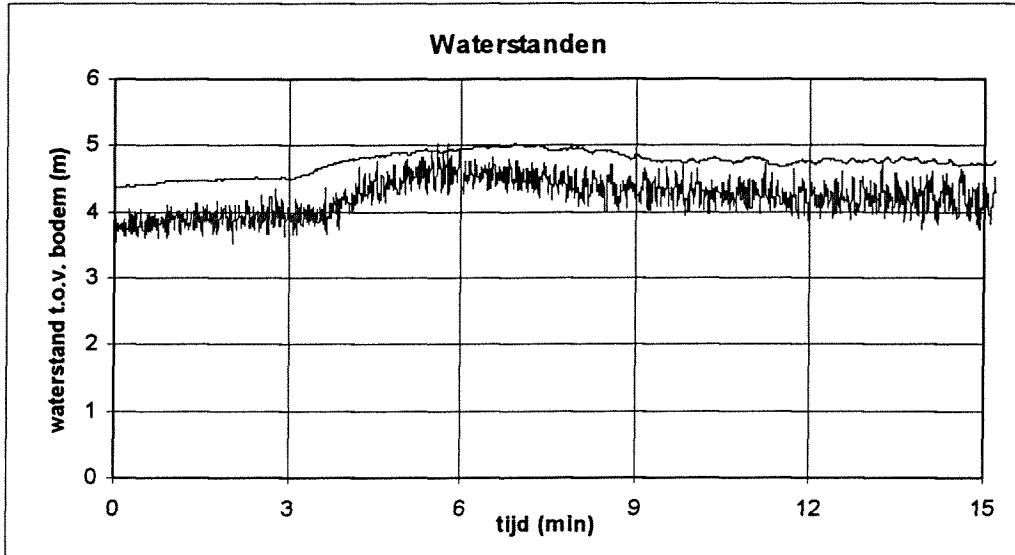


figuur 8: sluiten (aantrekken bovenkabel)

Bijlage 7.19: Waterstandsverstoring benedenstrooms sluiting 3 van alternatief 4

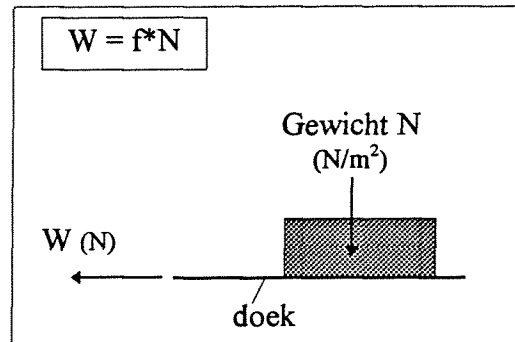
De bovenste waterstand in de grafiek geeft de bovenstroomse waterstand weer. De onderste waterstand geeft de benedenstroomse waterstand weer.

Sluiting 3 (2.5 m/s)



Bijlage 7.20: Globale bepaling wrijvingscoëfficiënt tussen doek en beton (model)

De wrijvingscoëfficiënt van het doek met het beton is bepaald door de kracht te meten bij begin van bewegen van het doek met daarop een gewicht geplaatst (zie tekening).



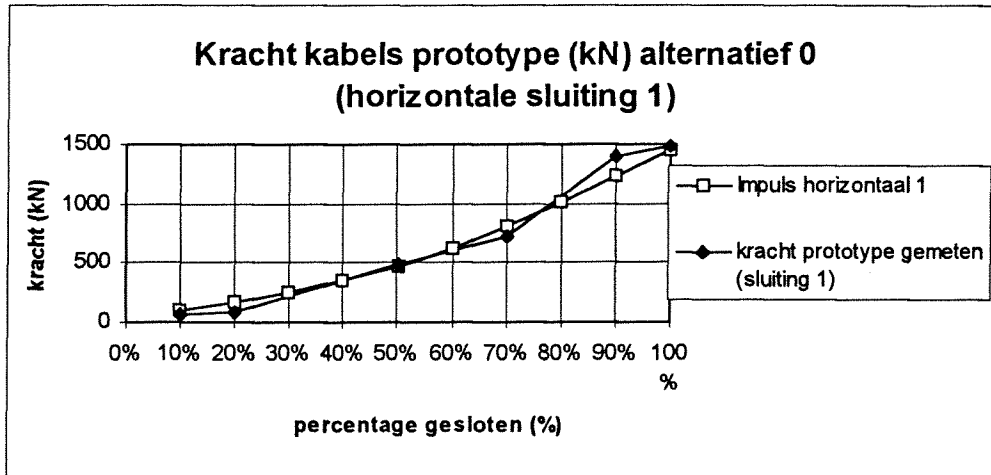
Er zijn drie metingen gedaan met drie verschillende gewichten. De resultaten staan in de tabel vermeldt.

Gewicht N (N/m ²)	Kracht $W_f = W/N$ (N)	
3125	72	0.023
1875	38	0.02
1250	24	0.019

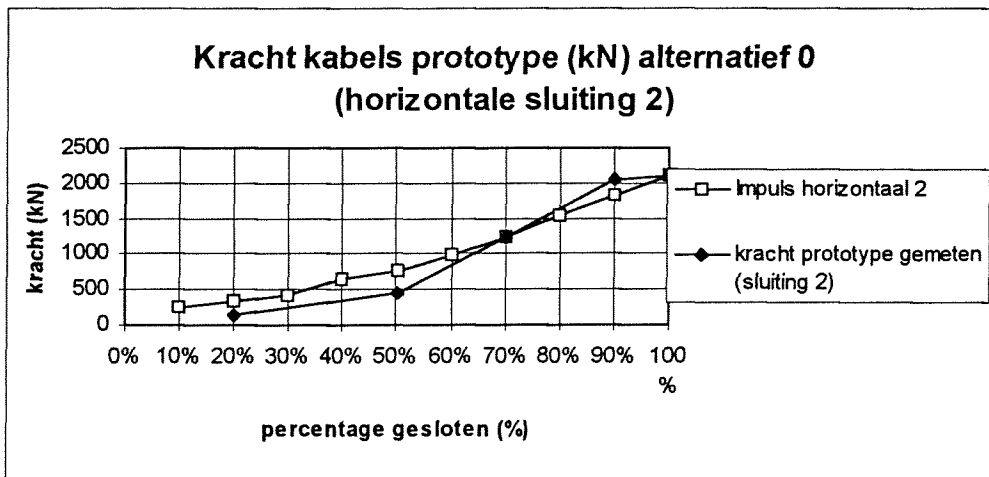
De gemiddelde wrijvingscoëfficiënt is 0.02.

Bijlage 8.1: Grafieken met gemeten en berekende krachten nul-alternatief

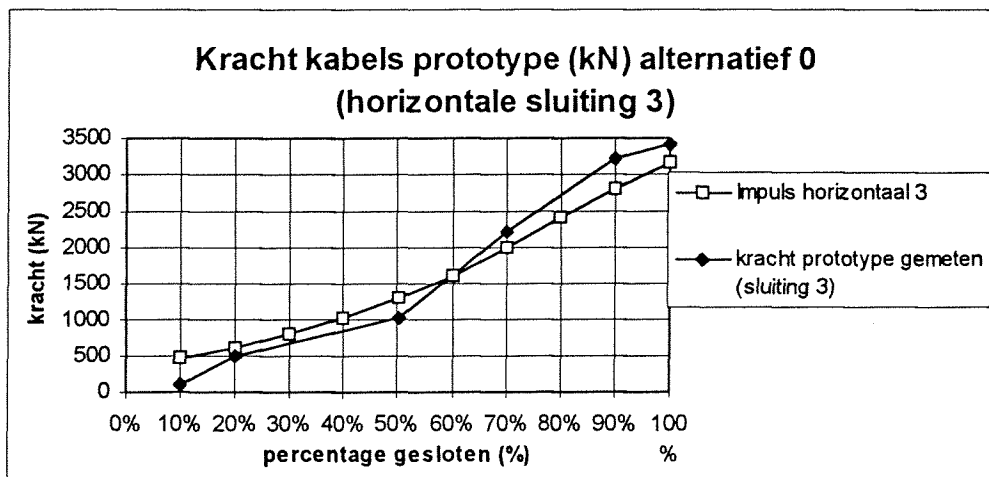
Sluiting 1 (1.0 m/s)



Sluiting 2 (1.75 m/s)



Sluiting 3 (2.5 m/s)



Bijlage 8.2: Bespreking van opgetreden verschillen in meting en berekening.

Dat de gemeten en berekende waarden niet overeenkomen heeft een aantal mogelijke oorzaken:

1. Tijdens het uitvoeren van de proeven is het moeilijk het percentage van sluiten vast te stellen.
2. Waterstanden die bij een percentage van sluiten horen zijn moeilijk precies in te stellen, vooral bij grote vervallen over de kering.
3. Bij grote verstoringen in de waterstanden is het moeilijk te bepalen hoe groot de ingestelde waterstand is.
4. Er treden wrijvingsverliezen op aan de zijkanten vanwege wrijving met de wand. Hierdoor liggen de gemeten waarden lager dan de berekende waarden.
5. De kabels staan niet altijd in een horizontaal vlak, waardoor een extra component in de kracht wordt geïntroduceerd.

In de tabellen hieronder worden de verschillen tussen de berekende en gemeten waarden gegeven in procenten. Een negatieve waarde betekent dat de gemeten waarden hoger is dan de berekende. Verschillen groter dan 20% worden nader bekeken. De gemeten waterstanden worden nagegaan en met deze waterstanden wordt de theoretische waarde weer berekend. Daarna wordt nagegaan hoeveel het verschil tussen deze nieuwe berekende waarde en de gemeten waarde is.

Nul-alternatief

Percentage gestoten	Verschil		
	sluiting 1	sluiting 2	sluiting 3
10%	43%	-	75%
20%	52%	67%	17%
50%	-1%	41%	20%
70%	10%	-15	-11%
90%	-13%	-11%	-15%
100%	-2%	0%	-8%

In onderstaande tabel staan de verschillen groter dan 20% behandeld voor het nul-alternatief. De nieuw berekende kracht is berekend met de impulsbalans. Dit is niet helemaal correct omdat de ingevulde stroomsnelheden niet helemaal kloppen. De stroomsnelheden verschillen echter niet zo heel veel per stap van sluiten. De nieuwe berekende waarden geven een goede indicatie aan van de waarde van de kracht bij de gemeten waterstanden.

Sluiting	percen- tage	gemeten h_1 (m)	berekend h_1 (m)	gemeten h_2 (m)	berekend h_2 (m)	impuls nieuw	gemeten kracht	verschil
1	10%	3.84	3.93	3.83	3.82	≈ 0	60	
	20%	3.98	3.98	3.90	3.81	70	83	-18%
2	20%	4.13	4.21	3.96	3.91	154	142	8%
	50%	4.22	4.42	3.73	3.76	523	438	16%
3	10%	4.44	4.56	4.33	4.11	23	119	500%

Alternatief 2: spinaker met hoes

Percentage gesloten	Verschil		
	sluiting 1	sluiting 2	sluiting 3
10%	-	-	-
20%	-3%	-123%	25%
30%	-	-	6%
40%	1%	9%	-1%
70%	-14%	4%	-11%
80%	-	-	-7%
90%	-15%	-8%	-6%
100%	-5%	-11%	-1%

Sluiting	percentage	gemeten h_1 (m)	berekend h_1 (m)	gemeten h_2 (m)	berekend h_2 (m)	impuls nieuw	gemeten kracht	verschil
2	20%	4.08	4.22	3.48	3.91	632	724	-14%
3	20%	4.31	4.64	3.83	4.08	475	578	-21%

Alternatief 3: zwevend transport sluiting van boven naar beneden

Percentage gesloten	Verschil		
	sluiting 1	sluiting 2	sluiting 3
10%	-	52%	0%
20%	-	-	-
30%	-	-	-
40%	-8%	-	-
50%	-	-	-17%
70%	-20%	8%	-4%
80%	-	-	-
90%	-7%	-	0%
100%	-10%	-2%	-3%

Sluiting	percentage	gemeten h_1 (m)	berekend h_1 (m)	gemeten h_2 (m)	berekend h_2 (m)	impuls nieuw	gemeten kracht	verschil
2	10%	3.83	4.16	3.78	3.92	13.2	44	300%

Alternatief 4: zwevend transport, sluiting van beneden naar boven

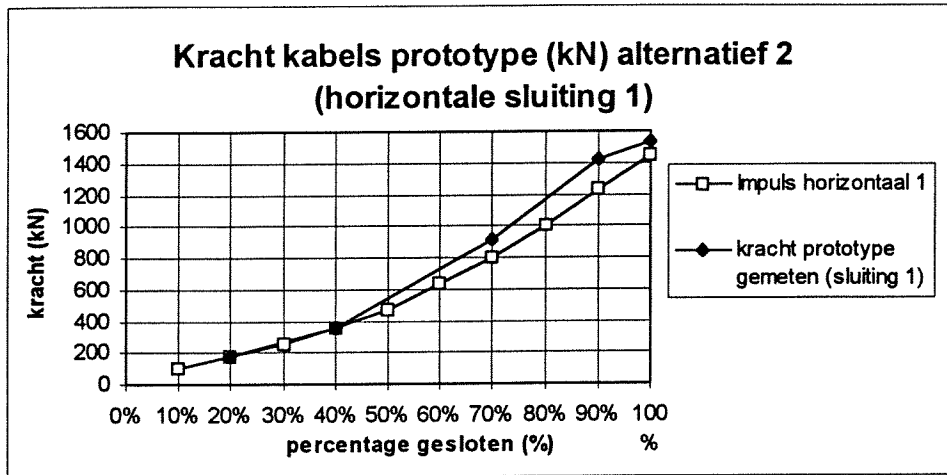
<i>Percentage gesloten</i>	<i>Vershil</i>		
	<i>sluiting 1</i>	<i>sluiting 2</i>	<i>sluiting 3</i>
10%	-	52%	-
20%	-48%	9%	-
30%	-	16%	-
40%	-7%	20%	-
50%	19%	-	-
70%	4%	14%	-
80%	-	-	-
90%	-9%	-	-
100%	-14%	-12%	-

<i>Sluiting</i>	<i>percen- tage</i>	<i>gemeten h_1 (m)</i>	<i>berekend h_1 (m)</i>	<i>gemeten h_2 (m)</i>	<i>berekend h_2 (m)</i>	<i>impuls nieuw</i>	<i>gemeten kracht</i>	<i>verschil</i>
1	10%	4.07	3.93	3.79	3.82	305	308	1%

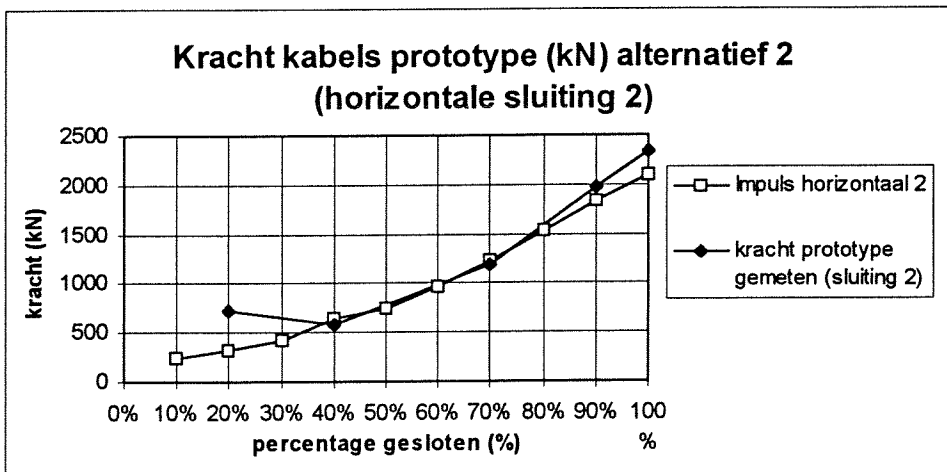
Uit bovenstaande blijkt dat de nieuwe berekende waarden beter in de buurt komen dan de daarvoor gemeten verschillen. Er zijn echter ook grote verschillen. Deze zijn niet te verklaren. Grote verschillen tussen de gemeten en berekende waarden treden op bij lage percentages van sluiten.

Bijlage 8.3: Grafieken met gemeten en berekende krachten alternatief 2

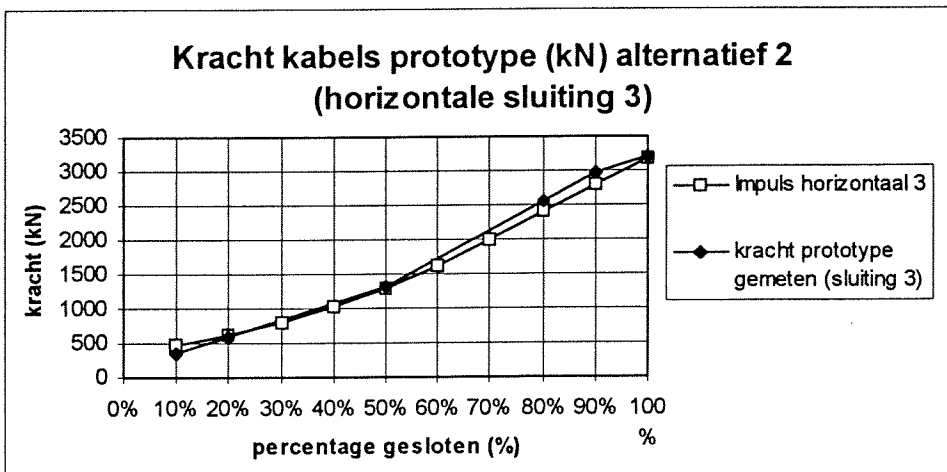
Sluiting 1 (1.0 m/s)



Sluiting 2 (1.75 m/s)

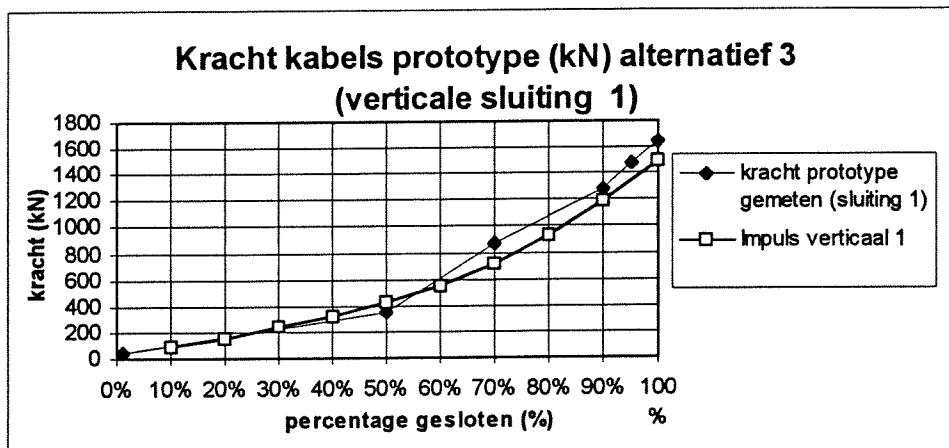


Sluiting 3 (2.5 m/s)

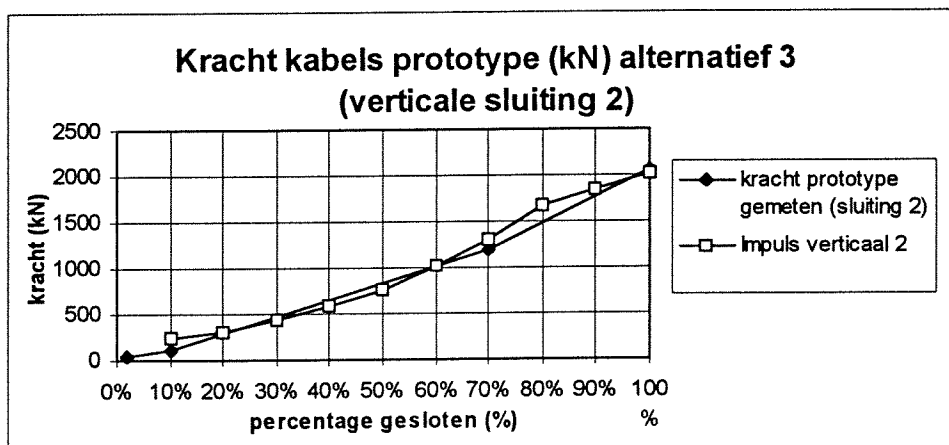


Bijlage 8.4: Grafieken met gemeten en berekende krachten alternatief 3

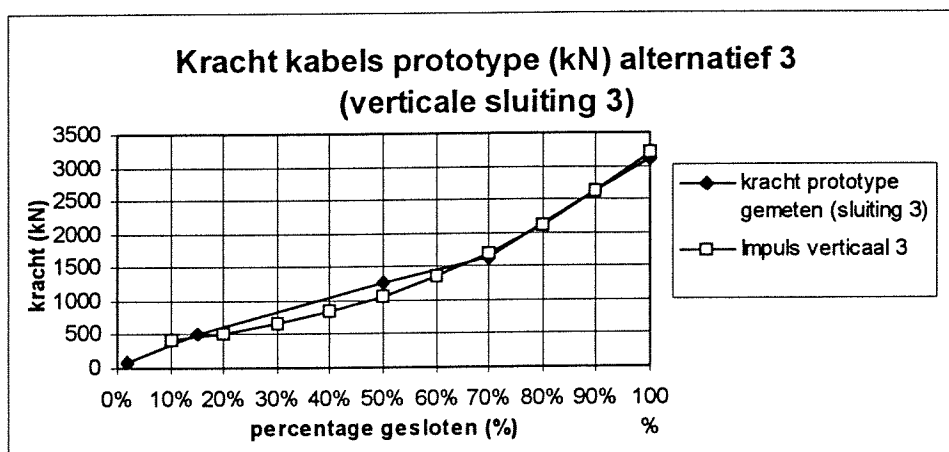
Sluiting 1 (1.0 m/s)



Sluiting 2 (1.75 m/s)

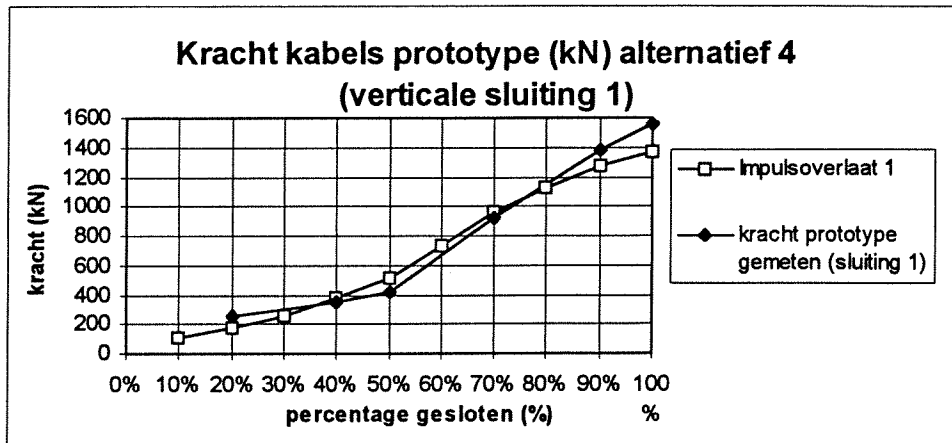


Sluiting 3 (2.5 m/s)



Bijlage 8.5: Grafieken met gemeten en berekende krachten alternatief 3

Sluiting 1 (1.0 m/s)



Sluiting 2 (1.75 m/s)

