

DE SCHELDE BESTUDEERD

75 JAAR HYDRAULISCH EN NAUTISCH ONDERZOEK OVER DE SCHELDE

DEEL 1 – HYDRAULISCH ONDERZOEK

Overzicht van de fysische modelproeven in verband met de Schelde uitgevoerd in het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout.

Samenstelling: Freddy Cumps, voorjaar 2007

- 1 Tijoverzichtsmodellen van de Westerschelde
- 2 Het regime van tijrivieren
- 3 Uitmonding van tijrivieren in de Schelde
- 4 Verbetering van de bevaarbaarheid van de Schelde afwaarts Antwerpen
- 5 Toegangseulen tot zeesluizen
- 6 Kaaimuren en ankerreden langsheen de Schelde
- 7 Stortplaatsen baggerspecie
- 8 Beveiliging tegen stormvloed
- 9 Vaste oeerverbindingen
- 10 Kwaliteit van het Scheldewater
- 11 Diverse studies in verband met de Schelde

1 TIJOVERZICHTSMODELLEN VAN DE WESTERSCHELDE

1	TIJOVERZICHTSMODELLEN VAN DE WESTERSCHELDE	1-1
1.1	MODEL MET VASTE BODEM VAN HET AAN TIJ ONDERHEVIG SCHELDEBEKKEN (M36).....	1-3
1.1.1	<i>Beschrijving van het model</i>	1-3
1.1.2	<i>Onderzoeken uitgevoerd op dit model</i>	8
1.2	MODEL VAN DE SCHELDE VAN HANSWEERT TOT AAN DE SLUIZEN VAN DE HAVEN VAN ANTWERPEN (M119).....	9
1.2.1	<i>Beschrijving van het model</i>	9
1.2.2	<i>Onderzoeken uitgevoerd op dit model</i>	13
1.3	TIJOVERZICHTSMODEL VAN DE SCHELDE (M300).....	14
1.3.1	<i>Beschrijving van het model</i>	14
1.3.2	<i>Onderzoeken uitgevoerd op dit model</i>	16
1.4	TIJOVERZICHTSMODEL VAN DE SCHELDE (M500).....	17
1.4.1	<i>Beschrijving van het model</i>	17
1.4.2	<i>Onderzoeken uitgevoerd op dit model</i>	19

De voorbije vijftien jaar heeft het Waterbouwkundig Laboratorium bijna doorlopend de beschikking gehad over een tijverzichtsmodel van (een deel van) de Westerschelde.

Waar het eerste model (M36) de volledige Westerschelde weergaf, inclusief de aan het getij onderhevige bijrivieren (schaal 1:1250), beperkte het volgende model (M119 - gebouwd in 1958-1959) zich tot het gedeelte tussen Hansweert en Liefkenshoek, later opwaarts uitgebreid tot Oosterweel. Het model was 3.75x gedetailleerder dan het vorige met als horizontale schaal 3:1000. In 1967-1968 werd dit model nogmaals uitgebreid naar afwaarts (tot Baarland-Ossensisse) en naar opwaarts (de aan tij onderhevige bijrivieren).

Het huidige tijverzichtsmodel (M500 - gebouwd in 1992-1994) omvatte het zelfde gebied als M300 maar had een kleinere schaal, namelijk 1:400.

Doorgaans worden deze modellen gebruikt voor vergelijkende studies van alternatieve voorstellen, of voor ingrepen aan de rivier die zich over een grote afstand doen gevoelen. Verdere studie gebeurt dan aan de hand van detailmodellen.

1.1 *Model met vaste bodem van het aan tij onderhevig Scheldebekken* (M36)

1.1.1 Beschrijving van het model

Het model werd gebouwd in de jaren 1940-1942 en omvatte:

- de Schelde zelf vanaf haar monding te Vlissingen tot aan de stuw te Gentbrugge. Opwaarts Gentbrugge werd een verlenging voorzien welke het Gentse waterwegennet, de Bovenschelde en Leie moest vervangen als de stuw te Gentbrugge in model opengesteld werd
- de verschillende bijrivieren, de Rupel, de Beneden Nete, de Grote tot 3.5km stroomopwaarts Kessel en Kleine Nete tot Emblem-stuw, de Dijle tot 3km opwaarts Rijmenam, de Durme met het waterwegennet gevormd door de Moervaart, de Zuidlede, de Langelede en het Kanaal van Stekene
- bij het opmaken van de plattegrond van het model werd zoveel mogelijk getracht de natuurlijke loop aan te houden zodat de ladingsverliezen in de bochten niet door kunstmatige ruwheid diende gecompenseerd. Soms was men echter verplicht hiervan af te wijken door gedeelten in spiegelbeeld aan te leggen of bochten aan te passen om het model binnen de muren van de hal te houden.

Bouwfasen:

Door de zeer ingewikkelde samenstelling van het gedeelte stroomopwaarts Lillo (met de bijrivieren) werd dit gebied eerst uitgevoerd (foto 1). Hiertoe werd onmiddellijk stroomafwaarts Lillo een voorbekken aangebracht en de apparatuur voor het opwekken van het plaatselijk tij. Door het aanbrengen van kunstmatige ruwheid op de modelbodem werd een goede overeenstemming met de werkelijkheid bekomen. Na deze ijking werd ook het vak Vlissingen – Lillo aangesloten (foto 2).

Geometrie

- Schelde 1922-1931
- Rupel 1925-1928
- Dijle 1926-1931
- Beneden Nete 1929
- Kleine en Grote Nete 1914
- Durme 1927-1938

Modelschalen:

- Horizontaal 1:1250
- Vertikaal 1:70
- Tijd 1:149,4
- Debieten 1:732,1

Een periode van gemiddeld tij (12h25 in werkelijkheid) duurt dus in model 5 minuten.

Het getij werd automatisch aan het afwaartse uiteinde ingebracht. Aan het opwaartse uiteinde werden de bovendebieten ingebracht.

Opwekken van het getij

Voor het opwekken van de tijkromme, eerst te Lillo en - na uitbreiding van het model - te Vlissingen werd apparatuur gebruikt, waarvan de bijzonderste delen zijn:

Een *controlevlotter*, geplaatst in een gemetselde bak die met het voorbekken van het model in verbinding stond. De vlotter geeft op elk ogenblik de waterstand in dit voorbekken aan. Op de controlevlotter is een verticale stang bevestigd die een wagentje meevoert geplaatst bij de tijtrommel.

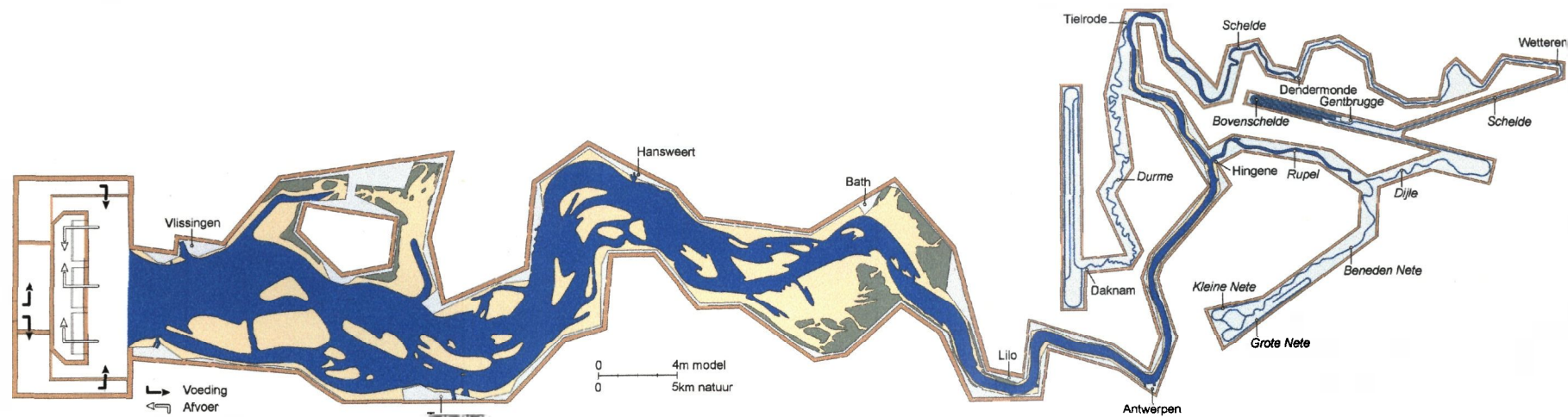
De *tijtrommel*. Aan deze trommel (foto 3) is een messingband gesoldeerd die de tijkromme weergeeft aan het afwaartse modeleinde. Een volledige omwenteling der trommel stelt een volledige tijperiode (12h25min) voor. Het bovenvermelde wagentje draagt twee contactpunten waartussen de messingban

komt. Deze punten zijn een viertal millimeter van elkaar verwijderd. Op de trommel is er naast een messingband voor het gemiddeld tij ook een band voor een cyclisch springtij gesoldeerd.

Voor het nabootsen van stormtijden werd gebruik gemaakt van een *(tij)schijf* (foto 4) met een messingband die toeliet vijf verschillend, opeenvolgende tijen te verwekken, om dan met het eerste tij van de reeks te herbeginnen.

De *beweegbare overlaat*. In de zijwand van het voorbekken werd een beweegbare overlaat aangebracht die uit het model een veranderlijk debiet laat wegstromen. Deze overlaat scharniert rond zijn horizontale onderkant en het water vloeit over de horizontale bovenkant die als kruin fungeert. De kruinhoogte wordt ingesteld door een motor die op zijn beurt gestuurd wordt door de tijtrommel.

De gelijkvormigheid tussen model en natuur werd bekomen door het aanbrengen van ruwheden bestaande uit mozaïeksteentjes in ceramiek van verschillende afmetingen op de oorspronkelijk gladde cementbetting van de bedding en op zodanige wijze dat over het gehele model de plaatselijke tijkrommen, zowel in tijd als in hoogte, overeenkwamen met die der natuur.



Model met vaste bodem van het aan tij onderhevig Scheldebekken (M36)



Foto 1 - Zeeschelde met byrvieren

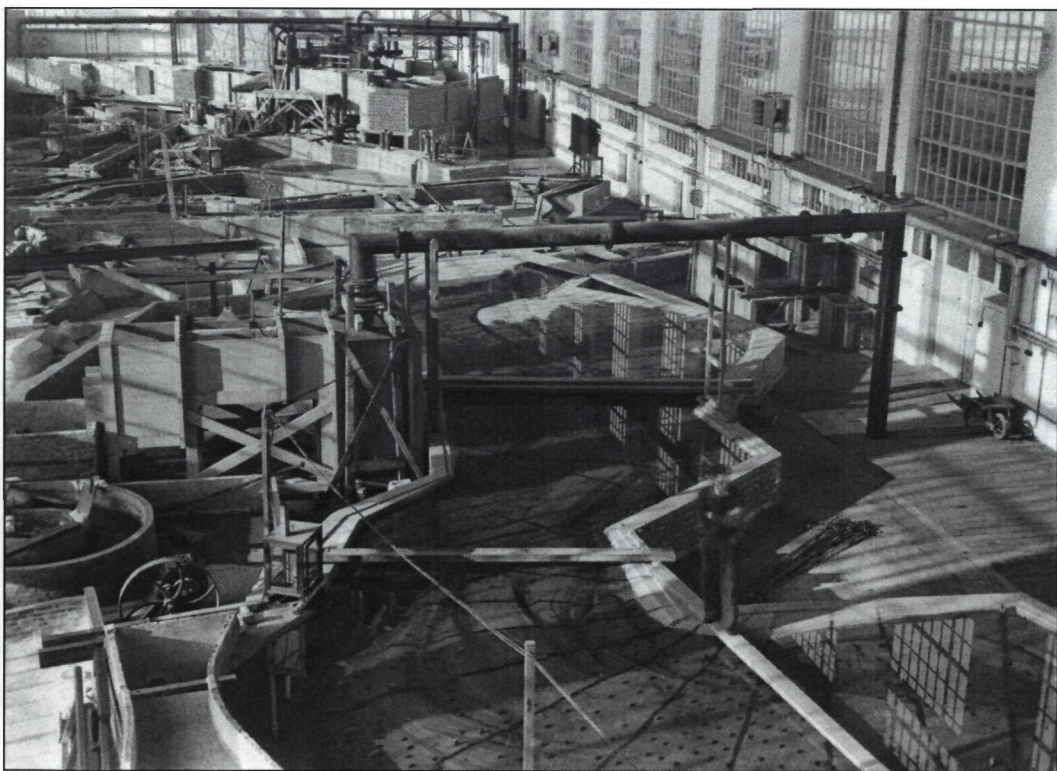


Foto 2 - Westerschelde met achteraan Zeeschelde met byrvieren

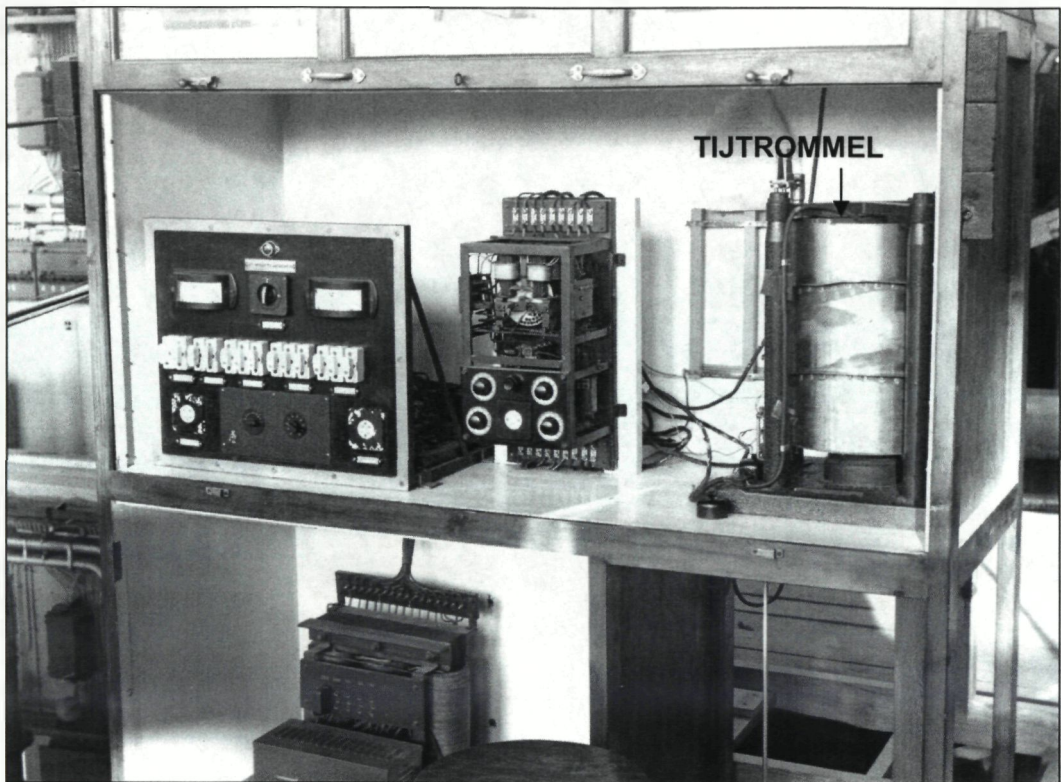


Foto 3 – Typparaatuur aan de monding met typtrommel voor cyclisch gemiddeld ty en springty

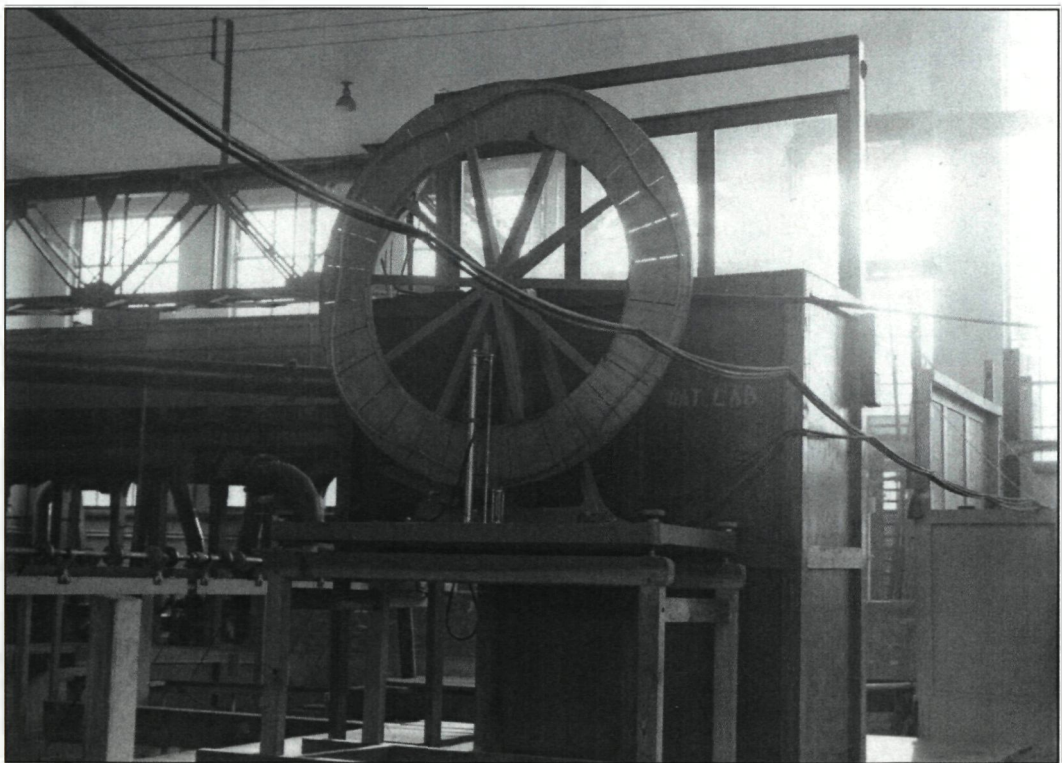


Foto 4 - Tytschijf voor stormty

1.1.2 Onderzoeken uitgevoerd op dit model

De proeven hadden tot doel de invloed te bestuderen welke verschillende wijzigingen aan de rivierbedding zouden uitoefenen zowel op de gewone als op de buitengewone getijden.

- Begrenzing van de getijvoortplanting door het plaatsen van dammen op de Schelde
- Indijkingen
- Insnoeringen
- Verdiepte geulen tussen Hansweert en Lillo
- Ondiepe geulen tussen Hansweert en Lillo
- Mormalisatie tussen Hansweert en Lillo
- Model met labyrint

1.2 Model van de Schelde van Hansweert tot aan de sluizen van de haven van Antwerpen (M119)

1.2.1 Beschrijving van het model

Het model werd gebouwd in 1958- 1959 en stelde de Schelde voor van Hansweert tot juist opwaarts Liefkenshoek.

Modelschalen:

- Horizontaal: 3:100
- Vertikaal 1:100.
- Tijd 3:100
- Debiet 3:1000000

Geometrie:

Voor het nabootsen van de rivierbedding werd gebruik gemaakt van peilingen uit 1955 en 1956, behalve voor het Verdronken Land van Saaftege en buitengronden ten zuiden van de Kreekrakpolder waarvoor peilingen van 1948 – 1949 gebruikt werden.

Profilering van de rivierbedding:

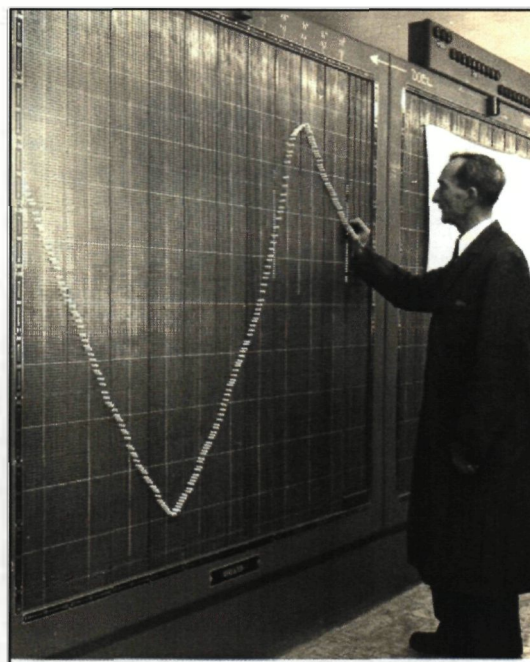
- Dit gebeurde met behulp van dwarsraaien. Tussen de modelmuren werd een zavelbedding aangebracht en geprofileerd op een diepte 3cm groter dan de uiteindelijke diepte. Op deze profilering werden dan de juiste profielen uitgezet in cementmortel. Tussen de profielen werd met behulp van de peilkaarten het verloop der dieptelijnen verwezenlijkt.
- Voor proeven met beweegbaar materiaal werd deze cementbodem plaatselijk weggebroken, waarna herprofilering met dat beweegbaar materiaal uitgevoerd wordt.

Verwezenlijking van het getij:

Aan beide uiteinden van het model wordt, op ieder ogenblik de juiste waterstand opgelegd op de volgende manier:

Er wordt afwaarts van het model een constant debiet ingebracht dat groter is dan het grootste vloeddebet en opwaarts een debiet groter dan het grootste ebdebet. Het overtollige debiet, d.i. het debiet dat aan elk van de uiteinden moet verwijderd worden om de ogenblikkelijke juiste waterhoogten te verwezenlijken stort over kleppen waarvan de helling veranderlijk is en opgelegd wordt door een electromotor.

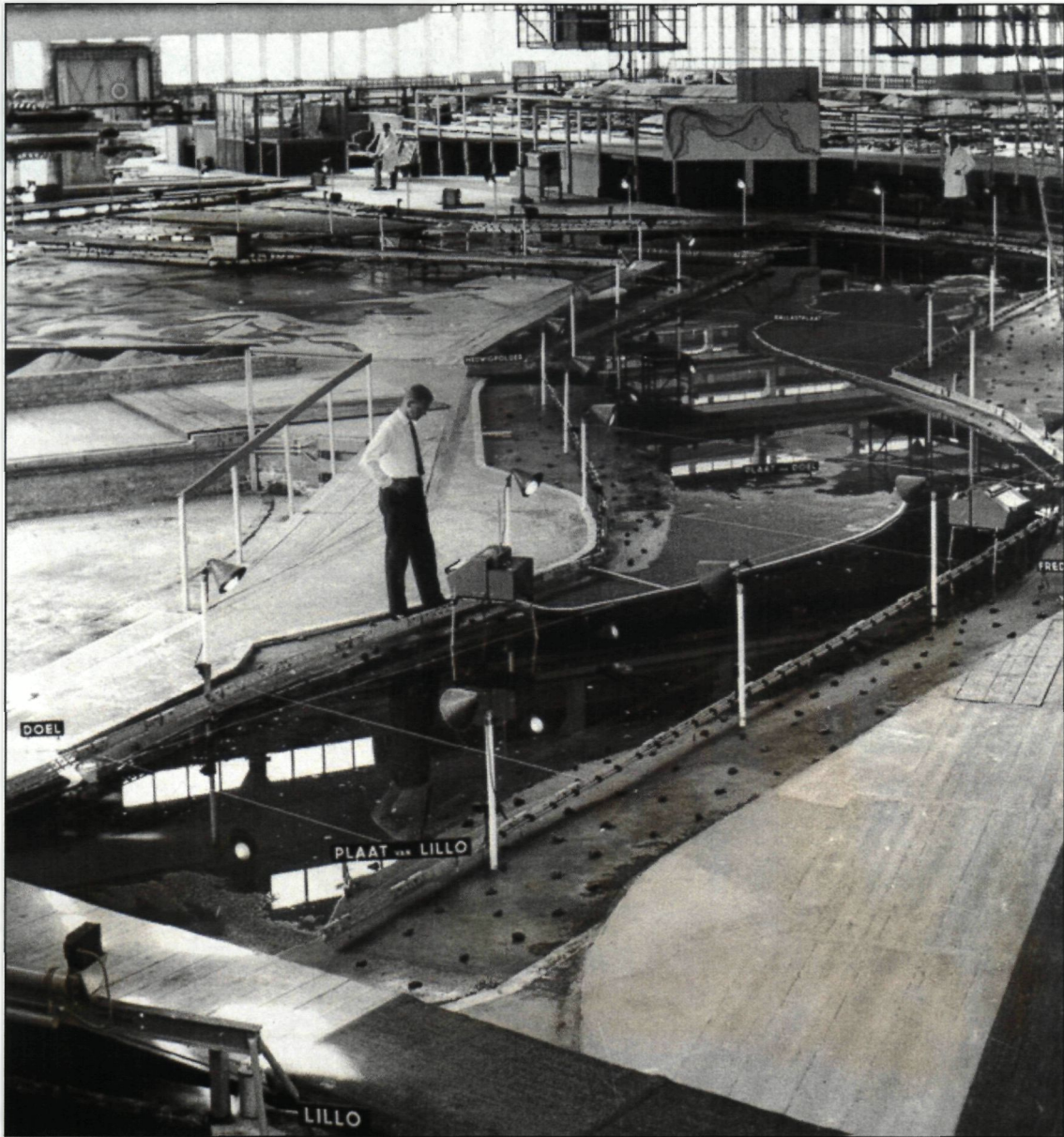
Deze electromotor doet bij afwijking van de juiste getijhoogte de kleppen een op- of neergaande beweging uitvoeren. De electromotor zelf wordt gestuurd door een rooster van verticale en horizontale staven. De verticale staven stellen ogenblikkelijke tijden voor in de cyclus van de tijkromme en de horizontale staven stellen de ogenblikkelijke waterhoogten voor. De sturing gebeurt door een spanning aan te brengen achtereenvolgens op elk der verticale staven, waarbij deze spanning door middel van een stekertje overgebracht wordt op de horizontale staven.



Hydraulische ijking van het model:

De ijking van het model omvat de controle van getijkrommen, debietkrommen, debietverdeling, grootte en richting van der stroomsnelheden en stroombanen.

De gelijkvormigheid van debieten, stroomsnelheden en stroomrichtingen werd bekomen door het aanbrengen van ruwheden op de gladde cementbodem.



Zicht op het Scheldemodel (M119)

Ijkingproeven i.v.m. beweegbaar materiaal:

Voor de proeven werden polystyreenkorrels als bodemmateriaal gebruikt. De gemiddelde korreldiameter is 2.8mm, het soortelijk gewicht 1.05. Het begin van beweging treedt op bij een watersnelheid van 0.08m/s. De korrels werden vooraf bewerkt metzagemeel en benzol om kleven en gemakkelijk opdrijven te verhelfen.

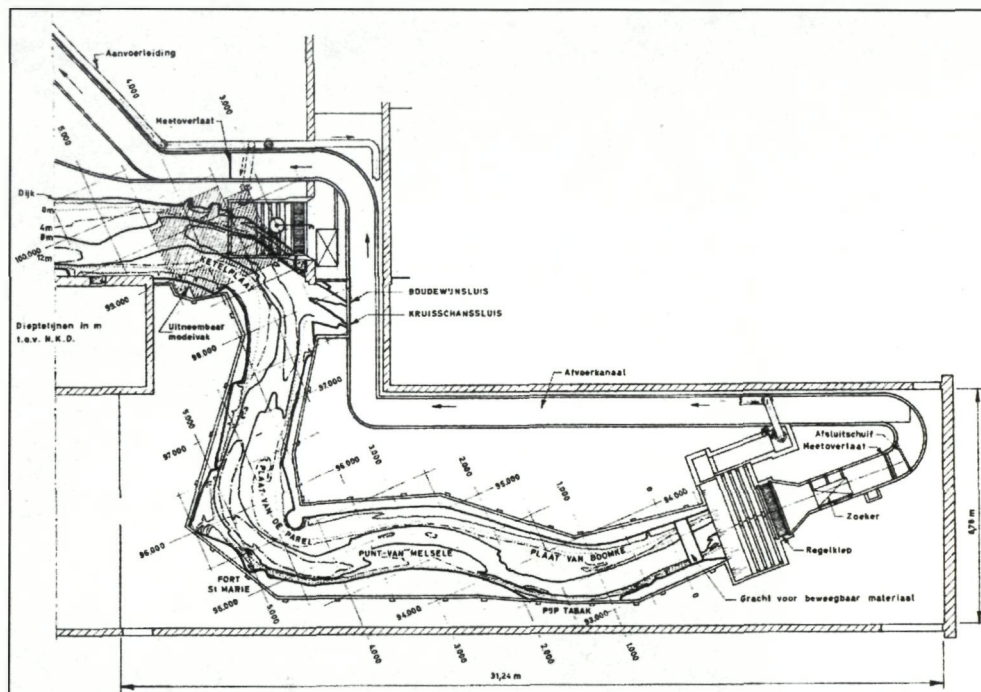
Voor de ijking zelf werden een aantal zandtransportmetingen die in natuur uitgevoerd waren vergeleken met gelijkaardige metingen in model.

Verlenging van het model:

Al zeer snel werd besloten het model naar opwaarts toe te verlengen tot Oosterweel. Deze verlenging was noodzakelijk, aangezien bij de studie van de omgeving van de nieuwe zeesluis te Zandvliet het te bestude- ren vak zich te dicht bij het modeluiteinde bevond waardoor de stroomrichtingen en de stroomverdeling ter hoogte van Lillo negatief beïnvloed werd. Het niet meer mogelijk was dit nieuwe gedeelte in hal 3 onder te brengen. Daarom werd besloten het model doorheen de zijmuren naar buiten te brengen in een voorlopig opgetrokken paviljoen. Tijdens deze verbouwing werd het bestaande model van Hansweert tot aan de toegangssluisen circa 1km (natuur) in opwaartse richting uitgebreid en daar van een tij- en voe- dingsmechanisme voorzien. Ter hoogte van de toegangssluisen werd het model dan met afzonderlijke blokken gebouwd, wat enerzijds moest toelaten een gemakkelijke en vlugge aansluiting te verwezenlijke eens de verlenging voltooid was en anderzijds over de mogelijkheid te beschikken om naargelang de om- standigheden ofwel het bestaande model te gebruiken ofwel het bestaande model plus de verlenging.

Voor het nabootsen van de rivierbedding werd gebruik gemaakt van peilingen van 1955-1957.

Anders dan bij de bouw van het bestaande gedeelte werd voor de verlenging gewerkt volgens de methode van de hoogtebandjes. Deze methode is beschreven onder **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**



1.2.2 Onderzoeken uitgevoerd op dit model

- Proeven aangaande de stortplaatsen van baggerspecie
- Proeven in verband met kalibreringswerken op de Schelde in de omgeving van de nieuwe zeesluis te Zandvliet
- Proeven aangaande het openstellen van een diepe vloedgeul in de verlenging van het huidige vloed-schaar van Ouden Doel met behoud van de ebgeul onder de rechteroever.
- Proeven in verband met de dwarsstromen bij maximum vloed ter hoogte van de uitloop van het Schaar van Zimmermanpolder.
- Proeven in verband met normalisatiewerken van de Schelde in de omgeving van Bath.
- Verder onderzoek van het aanvaarde voorontwerp voor de normalisatie in de omgeving van Bath (leidamproject)
- Ankerreden in de omgeving van de zeesluis te Zandvliet
- Proeven in verband met het aanvullen van de Schorre bij Frederik.
- Atoomkrachtcentrale te Doel M234
- Waterverontreiniging in de Schelde

1.3 Tijloverzichtsmodel van de Schelde (M300)

1.3.1 Beschrijving van het model

Het Waterbouwkundig Laboratorium werd in 1967 belast met de modelstudie van de Schelde tussen Hansweert en Lillo, met het oog op de verbetering van de toegankelijkheid van de haven van Antwerpen volgens een project, voorgesteld door de toenmalige directeur-generaal van het Bestuur der Waterwegen.

Er werd besloten het bestaande Scheldemodel (Model 119), Hansweert-Lillo, te verbouwen en uit te breiden om het project waterloopkundig te kunnen bestuderen.

Een uitbreiding in afwaartse richting tot Baarland_Ossenissee werd nodig geacht voor een juiste debietsverdeling tussen het Zuidergat en de Schaar van Waarde.

Opwaarts was het noodzakelijk het volledige tijgebied in model weer te geven om eventuele wijzigingen aan het getijregime, ingevolge de voorziene werken, op te vangen en na te gaan. Hiertoe werd het gedeelte opwaarts Rupelmonding schematisch in labryntvorm weergegeven.

Begin 1968 was deze verbouwing klaar.

Modelschalen :

Zelfde modelschalen als Model 119.

- Horizontaal: 3:100
- Vertikaal 1:100.
- Tijd 3:100
- Debieten 3:1000000

Geometrie:

Voor het nabootsen van de rivierbedding werd gebruik gemaakt van peilingen uit 1965 tot en met 1967, behalve voor het Verdronken Land van Saafthinge en buitengronden ten zuiden van de Kreekrakpolder waarvoor peilingen van 1948 – 1949 gebruikt werden.

Verwezenlijking van het getij:

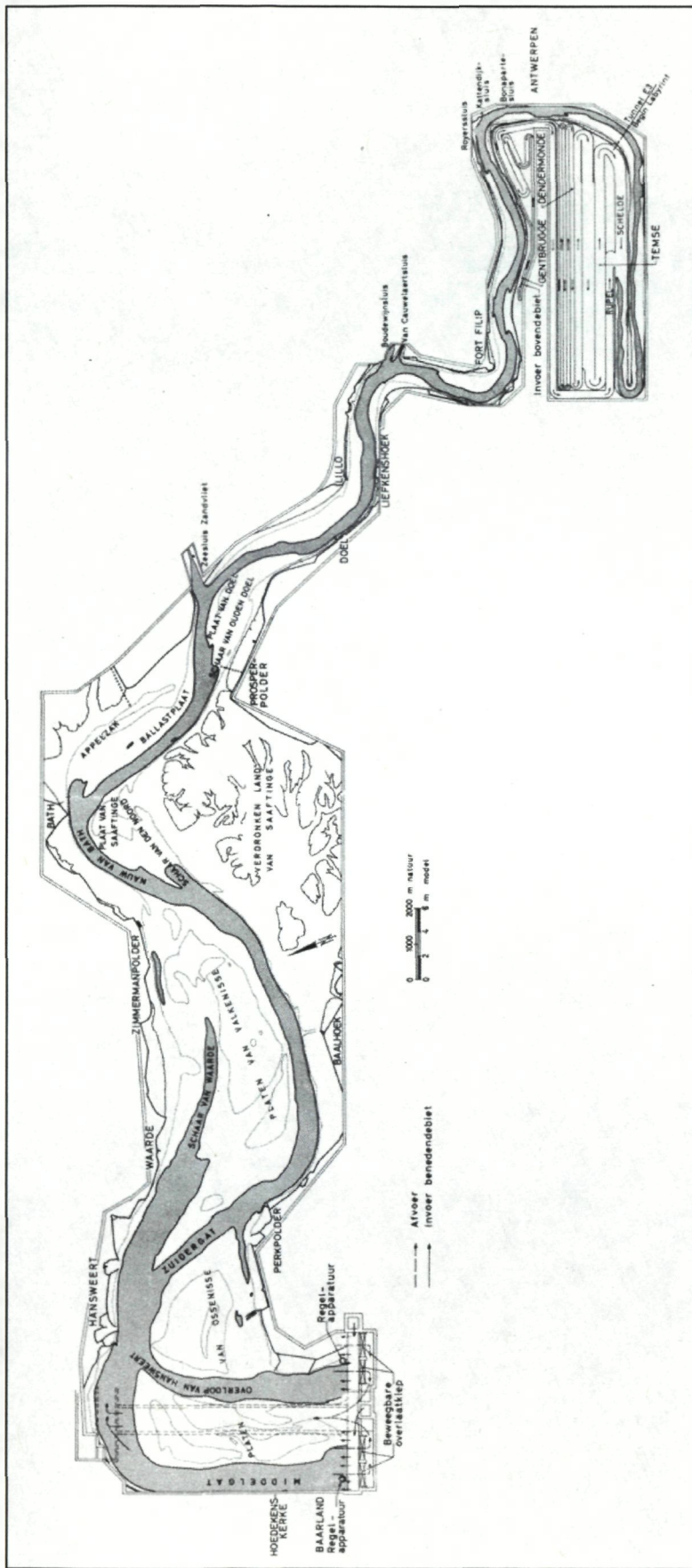
De verwezenlijking van het getij in het model geschiedde, zoals bij Model 119, met dien verstande dat het getij nu alleen aan het afwaartse modeluiteinde moest opgelegd worden met invoering van het bovendebiet aan het opwaartse modeluiteinde. Het getij werd afzonderlijk opgelegd in het Gat van Ossenissee (L.O.) en het Middelgat (R.O.), dit om rekening te kunnen houden met eventuele verschillen in de optredende waterstanden tussen beide geulen.

Het rooster, waarmee het vroegere model gestuurd werd, werd nu echter vervangen door een elektronische apparatuur welke via een ponsband de stuurgegevens ontvangt voor de overlaatkleppen.

Hydraulische ijking van het model:

De ijking van het model omvat de controle van getijkrommen, debietkrommen, debietverdeling, grootte en richting van der stroomsnelheden en stroombanen.

De gelijkvormigheid van debieten, stroomsnelheden en stroomrichtingen werd bekomen door het aanbrengen van ruwheden op de gladde cementbodem.



Tijverzichtsmode van de Schelde (Model 300)

1.3.2 Onderzoeken uitgevoerd op dit model

- Oriëntatieproeven in verband met stormvloedkering te Oosterweel
- Modelstudie van de toegangsgeul tot de Boerinesluis
- Proeven over de doorsteek doorheen het Verdronken Land van Saaftinge
- Bochtafsnijding bij Bath (noordelijk tracé)
- Modelstudie van de toegangsgeul tot de zeesluis te Kallo
- Vaste oeververbinding Westerschelde M301
- Operationeel onderzoek van de Bochtafsnijding bij Bath
- Radartoren Saaftinge
- Toegangsgeul tweede Zandvlietsluis (M410)
- Containerkaai op de Schelde (M410/3)
- Containerterminal ten Noorden van de Zandvlietsluis. Oriënterend onderzoek (M481/1)

1.4 Tijverzichtsmodel van de Schelde (M500)

1.4.1 Beschrijving van het model

In 1991 was het bestaande Scheldemodel (Mod. 119 - Mod. 300) aan een grote onderhoudsbeurt toe. De modelkuip was in zeer slechte staat en de bodemconfiguratie was daarenboven niet of onvoldoende aangepast aan de toenmalige natuurtoestand.

Liever dan de nodige herstellingen en aanpassingen uit te voeren, werd besloten een nieuw model (Model 500) te bouwen. Afbraak van het bestaande model, aanpassing aan de reservoirs van de hal, bouw van het nieuwe model en ijking gebeurde in de periode 1992-1994.

Zoals het oude Scheldemodel geeft dit overzichtsmodel de Westerschelde weer opwaarts Baarland-Ossensisse evenals de Beneden Zeeschelde en de tijonderhevige bijrivieren.

Voor de modelbouw worden in een eerste vak van het afwaartse grens Baarland-Ossensisse tot aan de Kennedytunnel te Antwerpen zowel het planzicht als het verticale profiel van de Schelde gerespecteerd. Voor het vak van de Kennedytunnel tot aan de Rupelmonding werd het verticale profiel behouden, maar het planzicht werd zodanig gewijzigd dat dit modelgedeelte binnen de beschikbare ruimte in de hal blijft. De rest van het tijgebied tot aan de tijdgrens met inbegrip van de bijrivieren werd schematisch weergegeven als twee kanalen. Een eerste kanaal stelt de Schelde samen met de Durme en de Ringvaart rond Gent voor. Het tweede daarnaast weergegeven kanaal stelt de Rupel voor en zijn bijrivieren, de Nete's, de Dijle en de Zenne. Deze beide kanalen werden in labyrintvorm opgevouwen en opgedeeld in vakken met gelijk dwarsprofiel.

De opwaartse grenzen van deze kanalen liggen voor de Schelde met Ringvaart te Zwijnaarde en voor de Rupel met bijrivieren te Emblem.

Modelschalen :

- Horizontaal: 1:400, dus iets kleiner dan bij de vorige tijverzichtsmodellen, waardoor het gehele model (behoudens een klein gedeelte van het labyrint met de bijrivieren) binnen de muren van hal 3 paste.
- Vertikaal 1:100.
- Tijd 1:40
- Debieten 1:400000

Geometrie:

Voor het nabootsen van de rivierbedding werd gebruik gemaakt van peilingen uit 1989 en 1990, behalve voor het Verdrongen Land van Saafinge en buitengronden ten zuiden van de Kreekrakpolder waarvoor peilingen van 1979 gebruikt werden.

De gegevens voor de schematisatie van het labyrint werden ontleend aan het Wiskundig Model van de Schelde (geometrie 1980 met aanpassing 1990).

Verwezenlijking van het getij:

De verwezenlijking van het getij in het model geschiedde, zoals bij Model 300 alleen aan het afwaartse modeluiteinde met mogelijkheid tot invoering van het bovendebiet aan het opwaartse modeluiteinde. Het getij werd afzonderlijk opgelegd in het Gat van Ossensisse (L.O.) en het Middelgat (R.O.), dit om rekening te kunnen houden met eventuele verschillen in de optredende waterstanden tussen beide geulen.

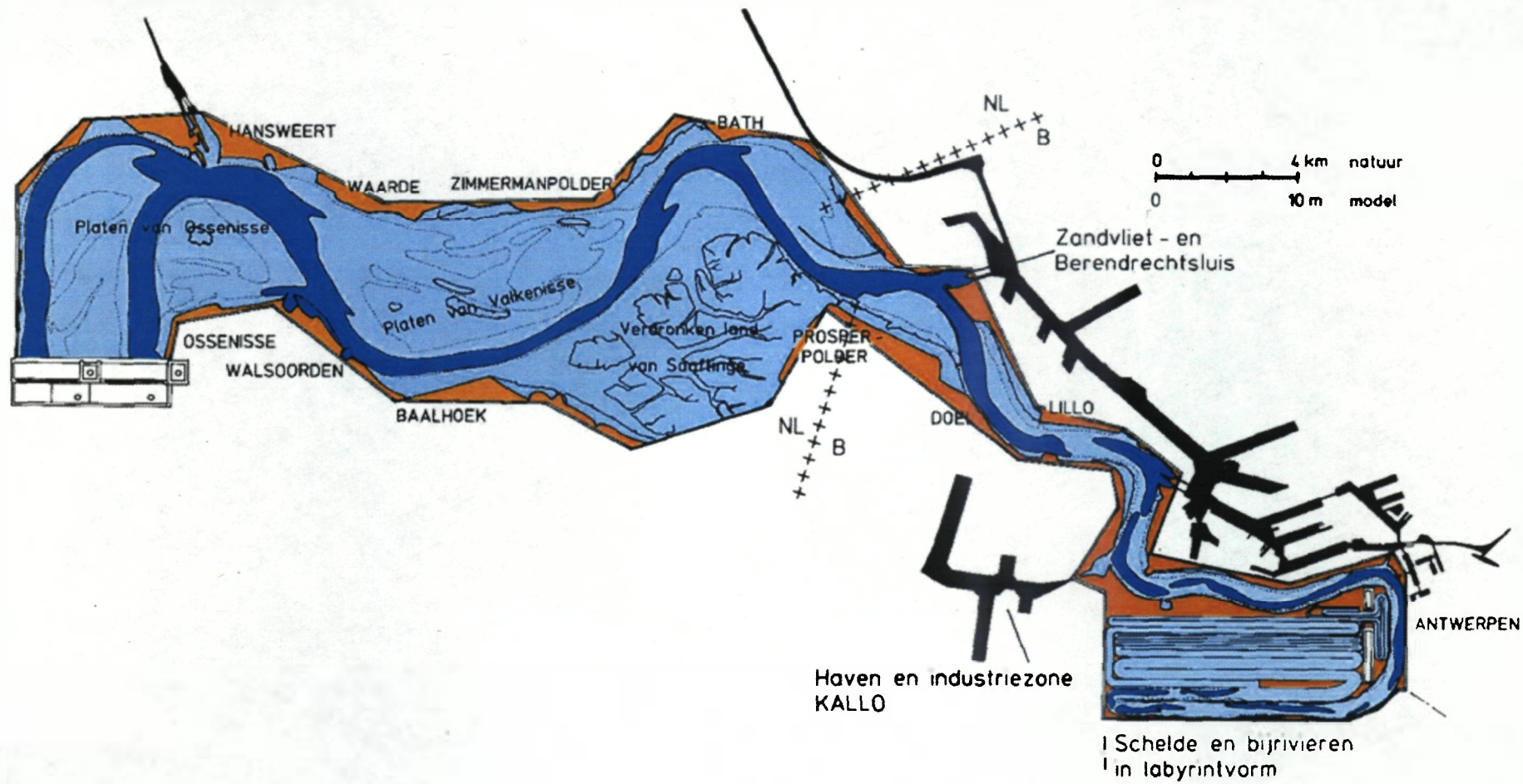
Voor de sturing van het model en het meten van de resultaten werden verschillende programma's ontwikkeld.

Hydraulische ijking van het model:

De ijking van het model omvat de controle van getijkrommen, debietkrommen, debietverdeling, grootte en richting van der stroomsnelheden en stroombanen.

Het getij, gebruikt voor de ijking, is het daggetij van 29.06.1992 (een gemiddeld springtij).

De gelijkvormigheid van debieten, stroomsnelheden en stroomrichtingen werd bekomen door het aanbrengen van ruwheden op de gladde cementbodem.



Tijoversichtsmodel van de Schelde (Model 500)

Inzake het verticale getij kon de overeenkomst prototype – model als optimaal beschouwd worden, de overeenkomst inzake snelheden als bevredigend.



1.4.2 Onderzoeken uitgevoerd op dit model

- Project Oost-West - fysische modelproeven naar de invloed van ontpolderingen op de baggerwerken M531
- Containerkade/Containerdok West. Oriënterend onderzoek – Haven van Antwerpen M504
- Alternatieve strategie voor het dumpen van baggerspecie M678

2 HET REGIME VAN DE TIJRIVIEREN

2	HET REGIME VAN DE TIJRIVIEREN.....	2-1
2.1	DE SCHELDE EN AAN TIJ ONDERHEVIGE BIJRIVIEREN (M36)	2-2
2.1.1	<i>Begrenzing van de getijvoortplanting door het plaatsen van dammen op de Schelde.....</i>	2-2
2.1.2	<i>Proeven met indijkingen.....</i>	2-2
2.1.3	<i>Insnoeringen.....</i>	2-2
2.1.4	<i>Verdiepte geulen tussen Hansweert en Lillo</i>	2-2
2.1.5	<i>Ondiepe geulen tussen Hansweert en Lillo</i>	2-3
2.1.6	<i>Normalisatie tussen Hansweert en Lillo</i>	2-3
2.1.7	<i>Model met labyrint</i>	2-4
2.2	DE NETE (M2 – M18).....	2-5
2.2.1	<i>Beschrijving van de modellen.....</i>	2-5
2.2.2	<i>Uitgevoerde proeven M2</i>	2-5
2.2.3	<i>Uitgevoerde proeven M18</i>	2-6
2.3	DE DURME (M139)	2-8
2.3.1	<i>Beschrijving van het model</i>	2-8

De proeven hadden tot doel de invloed te bestuderen welke verschillende wijzingen aan de rivierbedding zouden uitoefenen zowel op de gewone als op de buitengewone getijden.

2.1 De Schelde en aan tij onderhevige bijrivieren (M36)

Deze modelproeven werden uitgevoerd op het model met vaste bodem van het aan tij onderhevig Scheldebekken (M36) (zie hfdst. 11)).

2.1.1 Begrenzing van de getijvoortplanting door het plaatsen van dammen op de Schelde.

Er werden achtereenvolgens dammen geplaatst te Lillo, te Hingene (Schelde en Rupel afgesloten), te Dendermonde, te Wetteren, te Melle, te Hingene (alleen Rupel afgesloten), te Tielrode (alleen Durme afgesloten), te Hingene en te Tielrode (Rupel en Durme afgesloten).

De proeven gebeurden zowel voor gewoon getij als voor stormtij met volgende veronderstellingen:

- bovendebieten = 0
- bovendebieten = gemiddelde waarden
- bovendebieten = 6 x gemiddelde waarden

De proeven hebben aangeduid dat de afdammingen een verhoging van het hoogwater en een verlaging van het laagwater voor gevolg hadden.

2.1.2 Proeven met indijkingen

Bij deze proeven werden hooggelegen delen van de rivierbedding van de Beneden Schelde, schorren genaamd, door middel van dijken onoverstroombaar gemaakt.

Nagegaan werd welke wijzigingen de cota's van laag en hoogwater ondergaan bij gewoon tij en bij stormtij, zonder bovendebiet en met gewoon en zesvoudig bovendebiet ten gevolge van indijkingen. Werden onderzocht:

- Indijking van het Verdronken Land van Saaftinge
- Indijking van het Verdronken Land van Saaftinge, van de Schorren van Zandvliet, van de Braekman en het Sloe

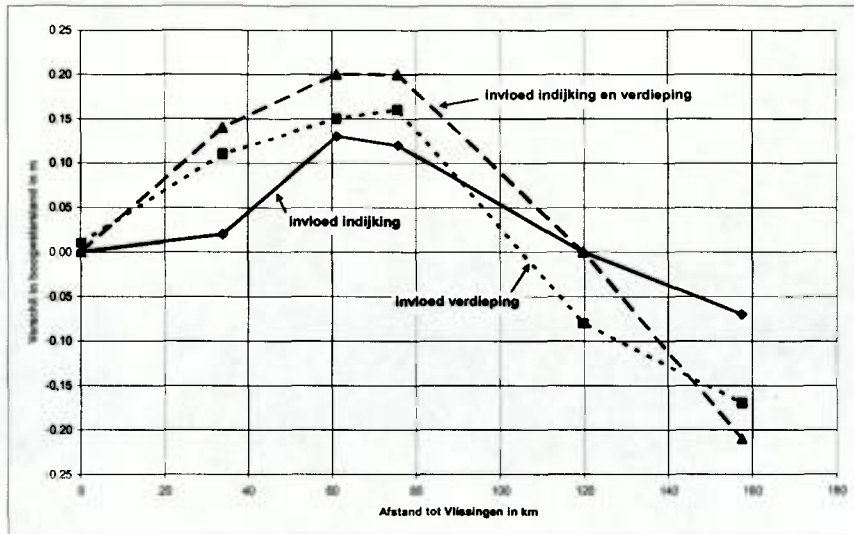
2.1.3 Insnoeringen

Deze insnoeringen werden aangebracht ca. 4km opwaarts van de Rupelmonding. De oorspronkelijke breedte van de rivier op die plaats werd teruggebracht op achtereenvolgens 187.5m, 125m, 62.5m en 12.5m natuur. De proeven werden uitgevoerd zonder bovendebiet.

2.1.4 Verdiepte geulen tussen Hansweert en Lillo

Deze proeven waren een voortzetting van het onderzoek op de indijkingen (zie 2), waar aangetoond werd dat de stroomsnelheden in het pand Hansweert-Lillo door de indijkingen toenemen, zodat voor de toekomst met diepere geulen moet rekening gehouden worden.

In het model werden tussen Walsoorden en Lillo verdiepingen aangebracht, met geleidelijk verloop der gemiddelde diepten. De algemene loop van de vaargeul werd behouden. Volgende grafiek bevat de verschillen in hoogwaterstand en in laagwaterstand met en zonder verdieping en met en zonder indijking van het Verdronken Land van Saaftinge, van de Schorren van Zandvliet, van de Braekman en het Sloe en dit voor een gemiddeld tij zonder bovendebiet.



*Invloed indijkingen en verdiepingen op de hoogwaterstanden
(gemiddeld tij, geen bovendebiet)*

2.1.5 Ondiepe geulen tussen Hansweert en Lillo

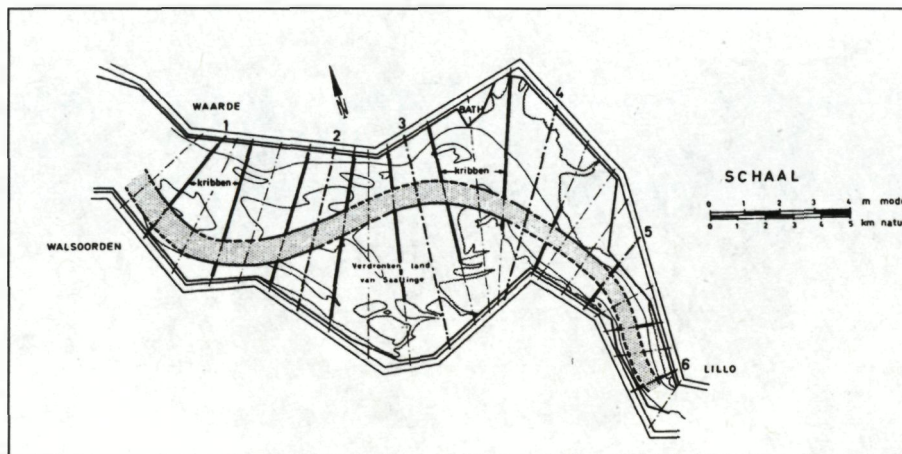
Deze proeven vonden plaats nadat de verdiepte geulen aangevuld werden zodat de resterende doorstromingsprofielen nu kleiner zijn dan deze der normale geulen.

De proeven hebben aangetoond dat de ondiepe geulen tevens een verlaging van het hoogwater en een verhoging van het laagwater teweegbrengen, die beide aanzienlijk zijn.

2.1.6 Normalisatie tussen Hansweert en Lillo

Drie toestanden werden onderzocht:

- Eerste toestand: De normalisatie is deze van onderstaande figuur. De kribben buiten de nieuwe vaargeul werden, gemakshalve, in de richting en op de plaats der modelraaien aangebracht. Hun kruinhoogte kwam nagenoeg overeen met de cota van het plaatselijk hoogwater bij gemiddeld getij.
- Tweede toestand: Het Verdronken Land van Saaftinge werd ingedijkt, terwijl de toestand op de rechteroever dezelfde bleef als bij de eerste toestand.
- Derde toestand: Het Verdronken Land van Saaftinge was ingedijkt. Hetzelfde gebeurde nu met het oppervlak gelegen tussen de kribben en de rechteroever. De kruinen van de kribben van raaien 1 tot 5 werden onoverstroombaar gemaakt.



Plattegrond normalisatie tussen Hansweert en Lillo

2.1.7 Model met labyrint

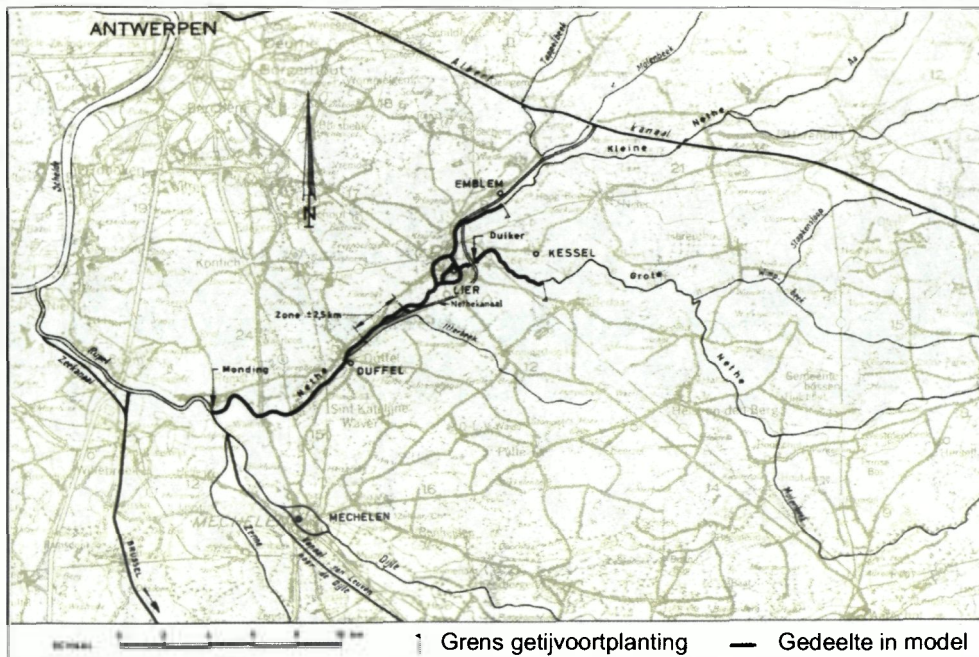
Deze proeven hadden tot doel de invloed na te gaan van het vervangen van het modelgedeelte opwaarts Dendermonde door een sterk vereenvoudigd schema (labyrint).

De ontwikkelde afstand Dendermonde – Gent werd gerespecteerd. De gemiddelde aangenomen dwarsdoorsneden werden met verticale wanden uitgevoerd.

De modeltoestand, op het ogenblik dat het labyrint aangebracht werd, was die van de genormaliseerde Schelde tussen Hansweert en Lillo (eerste toestand: kribben op linker- en rechteroever).

De proeven met gemiddeld tij en stormtij leidden tot volgende conclusie's voor H.W. en L.W. tussen Vlissingen en Dendermonde: geen invloed voor de H.W. cota's, wel invloed voor de L.W. cota's.

2.2 De Nete (M2 – M18)

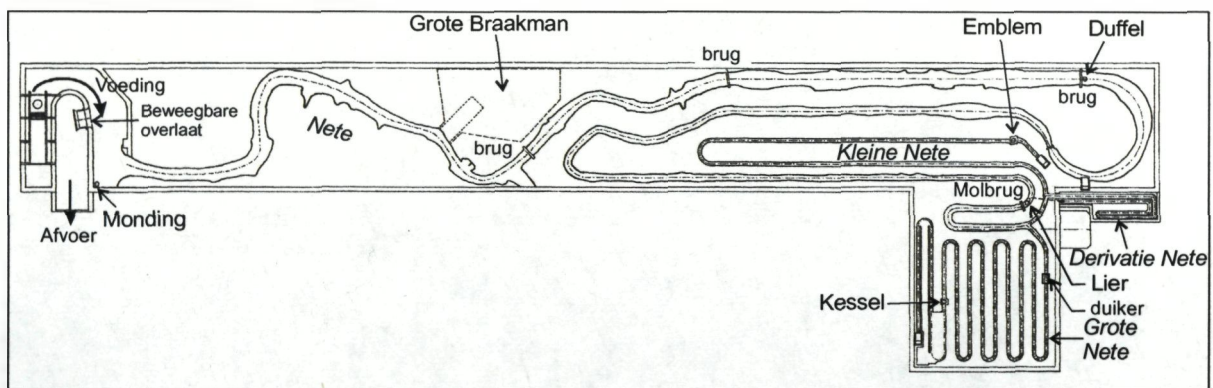


2.2.1 Beschrijving van de modellen

Deze modellen geven de Nete weer met haar bijrivieren, de Kleine Nete en de Grote Nete. De modellen stellen deze rivieren voor tot aan de grens van de tijvoortplanting op de volgende schalen:

- 1:150 voor de afmetingen in plattegrond
- 1:40 voor de hoogten.

Het getij werd automatisch aan de monding vervezenlijkt en er werd gelijkvormigheid bekomen door het aanbrengen van ruwheden, welke in dit geval bestond uit grindbeplakking op de oorspronkelijk gladde cementbezetting van de bedding.



Voor Model 2 (M2) werd uitgegaan van de in natuur opgemeten doorsneden van de rivier. Voor Model 18 (M18) werden de doorsneden berekend volgens de methode Bonnet.

2.2.2 Uitgevoerde proeven M2

Deze proeven werden uitgevoerd in de periode 1934-1936.

2.2.2.1 Verbreiding van een rivierstrook

Over een lengte van circa 2.5 km, tussen Duffel en Lier, werd de rivier gebracht op 2.5 maal haar oorspronkelijke breedte. Deze verbreding had een vermindering tot gevolg van het tijverschil over de volledi-

ge lengte van de rivier Ook een vermeerdering van het vloedvolume afwaarts en een vermindering van dit volume opwaarts van de verbreding.

2.2.2.2 Verhoging van de bodem op deze rivierstrook

De hoogte van de oorspronkelijke bodem werd op elke plaats in de verbrede rivierstrook verhoogd met de helft van het verschil tussen deze bodem en het plaatselijke laagwater. Verder werd een proef uitgevoerd op het oorspronkelijke model (dus zonder verbreding) met verhoogde bodem over dezelfde lengte als in het model met verbreding.

Men heeft vastgesteld dat de verondieping van een gedeelte van een rivier weinig verandering brengt in de cota's van hoogwater, maar dat het laagwater in het ondiepe gedeelte en meer opwaarts aanzienlijk stijgt.

2.2.2.3 Vernauwing van een rivierstrook

Het deel van de rivier waar de verbreding aangebracht was, werd vernauwd tot op $\frac{1}{3}$ van de oorspronkelijke breedte van de rivier. De bodem lag op zijn oorspronkelijke diepte.

De proeven hebben aangetoond dat het hoogwater aanzienlijk daalt en het laagwater zeer aanzienlijk stijgt opwaarts van deze vernauwing en dat aldaar het vloedvolume zeer sterk afneemt.

2.2.2.4 Begrenzing van de voortplanting van het getij door het plaatsen van dammen

De Grote Nete werd afgesloten aan haar monding, dan de Kleine Nete, vervolgens beide rivieren; ook werd een dam geplaatst te Lier aan de Molbrug.

Als voorbeeld worden hieronder de uitslagen gegeven, wanneer op het model in zijn oorspronkelijke toestand, de beide Netten aan hun monding afgesloten worden, en in het gevan er geen bovendebieten zijn.

	Hoogwater		Laagwater	
	Met dam	Zonder dam	Met dam	Zonder dam
Monding	4.90	4.90	1.09	1.10
Duffel	4.87	4.85	1.51	1.63
Lier	5.08	4.63	1.68	1.95
Emblem	-	4.78	-	3.12
Kessel	-	3.91	-	3.48

2.2.2.5 Proeven met verschillende bovendebieten

Zij hadden tot doel de invloed op het getij van aanzienlijke bovendebieten vast te stellen.

2.2.2.6 Duiker op de grote Nete

De aanleg van het Netekanaal dat het Albertkanaal met de Beneden-Nete moest verbinden, eiste dat de Grote Nete nabij Lier door een duiker onder dit Netekanaal zou vloeien.

Het doel van de proeven was na te gaan welke de invloed is van een duiker op een dergelijke aan tij onderhevige rivier. De proeven gebeurden met gewoon getij, met stormtij, met klein en met groot bovendebiet. Zij hebben aangetoond dat er geen bezwaren verbonden zijn aan het in duiker vloeien van de rivier.

2.2.2.7 Zijdelingse kom in verbinding met de rivier

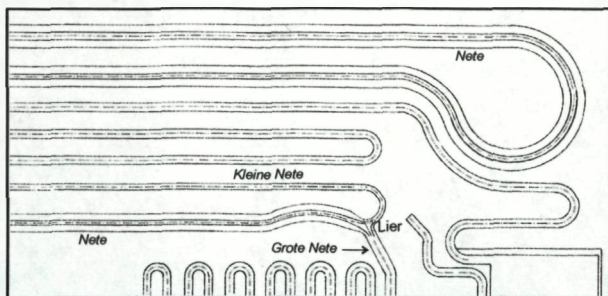
De proeven hebben aangetoond dat, door het aanbrengen van een zijdelingse kom, het tijverschil opwaarts van de kom gevoelig afneemt wanneer de kom zich op een grote afstand van de monding bevindt. Welke ook de afstand is, neemt het vloedvolume aan de monding toe en vermindert opwaarts de kom.

2.2.3 Uitgevoerde proeven M18

Deze proeven werden uitgevoerd in 1939

2.2.3.1 Normalisering van de Nete

Deze proeven hadden betrekking op de studie van een Nete, volgens een ontwerp van de heer Bonnet, toenmalig Administrateur-Inspecteur Generaal.



Het ontwerp werd opgemaakt met het doel de Beneden-Nete bevaarbaar te maken voor 100 ton schepen tot de nieuwe sluis die toegang geeft tot het Netekanaal. Het gedeelte opwaarts de nieuwe sluis is voorzien om de versterkte getijgolf te kunnen ontvangen zonder overstrooming.

De proeven hebben uitgewezen dat het getij zich gemakkelijker voortplant in de verbeterde Nete. Hoog- en laagwater zakken, doch het tijverschil

vergroot en de tijvolumes verhogen.

Er werden ook proeven uitgevoerd met stuwen op de rivier en met zijdelingse kommen; zij hebben de resultaten van de proeven op Model 2 bevestigd.

2.3 De Durme (M139)

Sinds lang was de Durme, een rivier met een uiterst klein bovendebiet, aan verzanding onderhevig en het modelonderzoek had tot doel de middelen te bestuderen om het natuurlijk onderhoud van deze rivier te bevorderen.

Één van deze middelen was het gebruik van potpolders als bestendige vergaarkommen die, bij iedere vloed, een hoeveelheid water konden bergen om dit tijdens de eb aan de rivier terug te geven.

2.3.1 Beschrijving van het model

Het model dat de Durme met de Moervaart en de Zuidlede voorstelde en de geometrie was deze van na de baggerwerken van 1948.

De modelschalen waren:

- Horizontale schaal 1:200
- Verticale schaal 1:30

Het getij werd automatisch aan de monding verwezenlijkt en overeenstemming met de natuur (ijking) werd bekomen door het aanbrengen van extra ruwheid (platte steentjes van verschillende afmetingen).

Daar het model voorzien was van een vaste bodem dienden de snelheidsveranderingen als maatgevend element beschouwd te worden voor de beoordeling van de onderzochte toestanden.

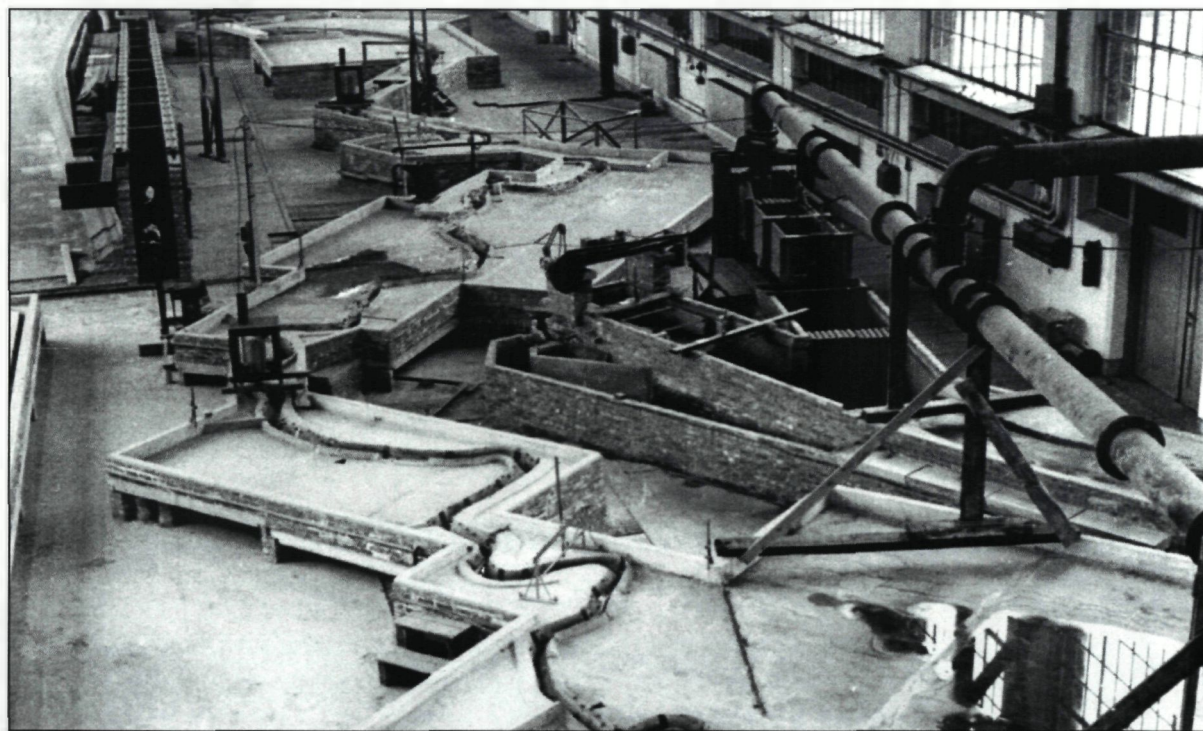
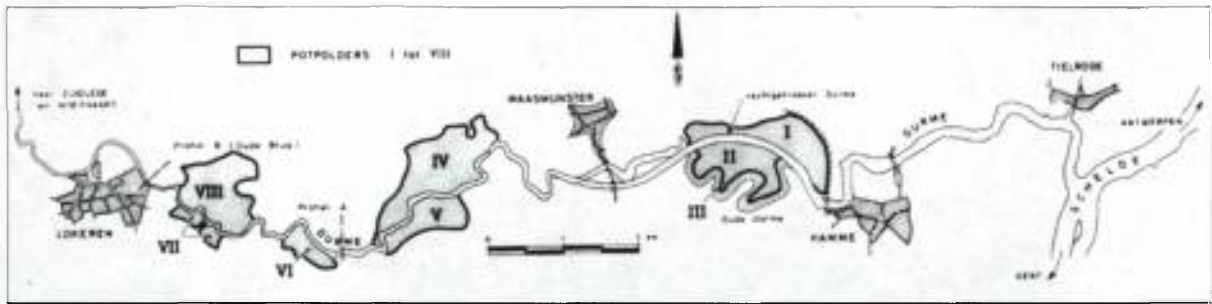


Foto van een gedeelte van het Durmemodel



Loop van de Durme met "potpolders"

Verschillende potpolders werden langs het Durmemodel aangebracht.

Uitgebreide modelproeven werden uitgevoerd in 19.. met de potpolders IV tot en met VIII.

Deze proeven werden uitgevoerd met het gemiddelde getij van 1948; enkele ook met springtij.

De potpolders kunnen gevuld en geledigd worden door sluisjes in de dijken, ofwel kunnen ze gevuld worden door overlaten en geledigd door sluisjes, die automatisch fungeren, d.w.z. dat ze zich openen als de waterstand in de rivier lager is dan die van de potpolder.

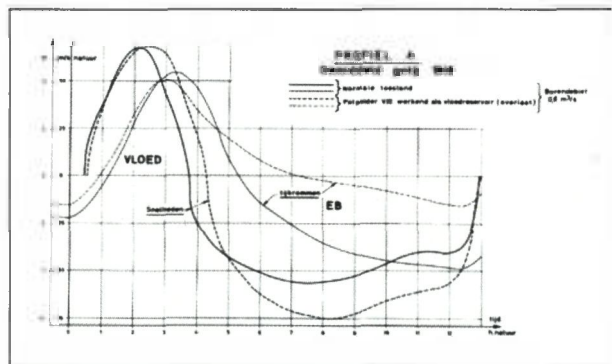
Proeven vonden plaats voor beide gevallen (vullen door sluisjes en door overlaten). Uiteindelijk werd besloten overlaten te gebruiken om zo minder slibrijk water in de polders te brengen.

De uitslagen (met overlaten) kunnen samengevat worden als volgt:

Uitgezonderd voor het profiel B op bovenstaande figuur, dat opwaarts van de potpolders ligt, stelde men een algemene vermindering van het verschil tussen de vloed- en de ebsnelheden vast, hetgeen het natuurlijk onderhoud van de rivier in de hand werkt.

Vaststaande figuur geeft de snelheidsdiagrammen weer wanneer potpolder VIII alleen als vloedreservoir werkt. Hier zijn de ebsnelheden zeer gunstig in vergelijking met voorgaande toestand terwijl het verloop van de vloodsnelheden minder gunstig is.

De proeven hebben verder aangeduid dat het voor het behoud van de diepten niet aan te raden is een afsluitdijk in de Durme aan te brengen. De voorlopige afsluitdijk in Lokeren hat tot doel Lokeren tegen overstromingen te beschermen.



3 UITMONDING VAN TIJRIVIEREN IN DE SCHELDE

3	UITMONDING VAN TIJRIVIEREN IN DE SCHELDE	3-1
3.1	MONDING VAN DE DENDER	3-2
3.1.1	<i>Verbetering van de Schelde afwaarts de nieuwe bruggen van Dendermonde M5</i>	3-2
3.1.2	<i>Nieuwe Dendermonding M202</i>	3-3
3.2	MONDING VAN DE DURME M141	3-5
3.3	MONDING VAN DE RUPEL	3-6
3.4	SAMENVLOEIING VAN RINGVAART ROND GENT MET SCHELDE TE MELLE M51	3-6
3.4.1	<i>Stroming via bestaande tracé naar Gentbrugge M51/I</i>	3-6
3.4.2	<i>Stroming via de Ringvaart M51/II</i>	3-6

Riviersamenvloeiingen zijn in vele gevallen gevoelige punten in een waterwegennet i.v.m. de instandhouding van de vereiste waterdiepte, het sedimentologisch evenwicht, de waterafvoer en waterkwaliteit.

Zo werden in de voorbije 75 jaar de samenvloeiingen van de Schelde met haar bijrivieren Rupel, Dender en Durme bestudeerd evenals de samenkomst van de Ringvaart met de Zeeschelde te Melle en de aansluiting van het Zeekanaal Brussel - Schelde met de Schelde te Hingene

3.1 *Monding van de Dender*

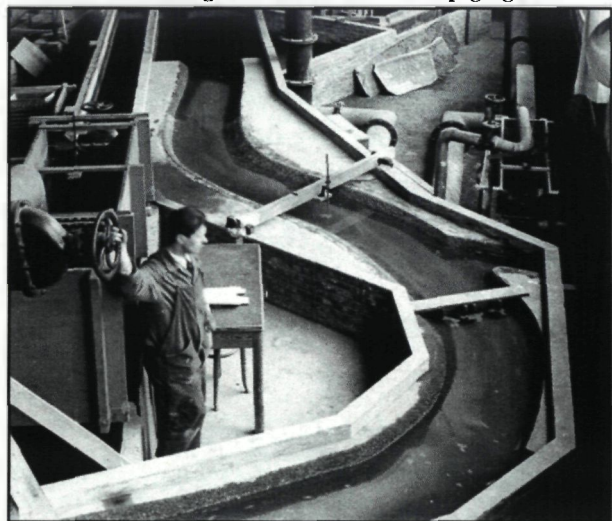
Zowel de oude als de nieuwe Dendermonding werden op model bestudeerd. De hoofdbetrachting bij de modelstudies was de belangen en de veiligheid van de scheepvaart zowel op de Schelde als op de Dender zoveel mogelijk te dienen. Ook werd de morfologische weerslag in de Schelde zelf van nabij gevolgd.

3.1.1 *Verbetering van de Schelde afwaarts de nieuwe bruggen van Dendermonde M5*

De vloed had in de onmiddellijke nabijheid van de bruggen een richting die schuin stond ten opzichte van de lengteas van de pijlers. Een dergelijke toestand was nadelig voor de scheepvaart. Het doel der proeven was behoorlijke stroomlijnen te bekomen door correctie van het tracé van de rivier afwaarts van de brug.

3.1.1.1 *Beschrijving van het model*

Het model werd gebouwd in de voorlopige gebouwen van het Laboratorium aan de Uitbreidingsstraat in Berchem-Antwerpen en omvatte het gedeelte van de Schelde vanaf ca. 950 km afwaarts tot ca. 270 m opwaarts van de monding van de Dender. Van de Dender werd enkel de laatste 75 m tot de monding weergegeven.



Bodemmateriaal:

De vaste modelbodem werd vervangen door beweegbaar materiaal. Hiervoor werden bimssteenkorrels ($d_{50}=2\text{mm}$) gebruikt.

Verwezenlijking van de permanente stromingen:

Om de situatie te Dendermonde natuurgetrouw weer te geven was het noodzakelijk in het model de werkelijke getijbeweging na te bootsen. Rekening houdend met de snelheidsschaal volgens Froude waren de gemiddelde snelheden in model te klein om het gekozen bodemmateriaal in beweging te brengen. Daar een meer geschikt bodemmateriaal niet beschikbaar was werden de proeven uitgevoerd met permanente maximale stromingen (achtereenvolgens vloed en eb), die zo gekozen waren dat ze voldoende op het bodemmateriaal ingrepen.

Het debiet werd manueel ingesteld in een overlaatbak, terwijl de gewenste waterstand aan het andere modeluiteinde werd ingesteld bij middel van overstortkleppen. Ook het Denderdebiet werd manueel ingesteld via een overlaatbak.

Modelschalen:

De modelschalen waren 1:150 horizontaal en 1:50 vertikaal, zodat het model een vertrekking vertoonde van 3. De afgeleide schalen afgeleid 1:21.213 voor de tijd, 1:7.07 voor de snelheden en 1:53033 voor de debieten.

Geometrie:

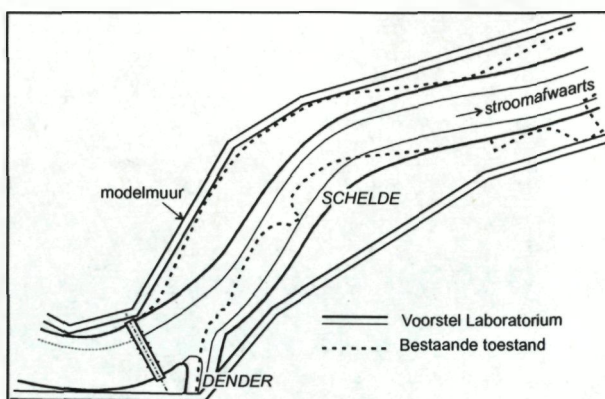
Voor het nabootsen van de rivierbodem werd gebruik gemaakt van peilingen uit 1923.

3.1.1.2 Onderzoek uitgevoerd op model:

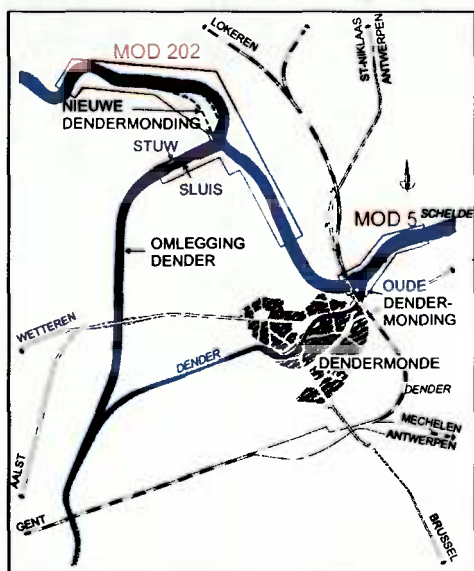
De modelproeven werden uitgevoerd in 1935-1936.

Er werden in totaal 14 projecten onderzocht, waaronder een aantal met kribben langsheen de linker Scheldeoever. Uit de proeven met kribben bleek dat er sterker in de loop van de rivier diende ingegrepen.

Het ontwerp dat door het Laboratorium voorgesteld werd (zie figuur) voorzag een tamelijk belangrijke wijziging aan het tracé van de rivier over een afstand van 1 km.



3.1.2 Nieuwe Dendermonding M202



In het kader van de kalibratie van de Dender voor schepen van 600 werd in 1961 besloten de uitmonding van de Dender in de Schelde te verleggen en over te gaan tot de bouw van een nieuwe sluis.

Het nieuwe tracé had volgende voordelen:

- Het lag buiten de agglomeratie met minder hinder voor de scheepvaart
- Het was mogelijk de Dender te laten uitmonden in een holle oever van een bocht
- De manoeuvreerbaarheid en zichtbaarheid voor de scheepvaart ter plaatse van de nieuwe monding kon – indien nodig – verbeterd worden door kalibreringswerken aan de Schelde zelf.

Op verzoek van de toenmalige Dienst van het Stroomgebied der Schelde werd het Waterbouwkundig Laboratorium gevraagd na te gaan of hun oorspronkelijk ontwerp voldeed aan een aantal nautische en waterloopkundige aspecten en welke verbetering eventueel kon aangebracht worden.

Naast het onderzoek van mogelijke verruiming van de toegangsgeul was een modelstudie noodzakelijk om uit te maken of eventuele kalibreringswerken op de Schelde, hetzij de bolle oever tegenover de nieuwe monding, hetzij een bochtafsnijding al dan niet wenselijk waren. Ook diende aan de hand van deze modelstudie de invloed nagegaan van de nieuwe Dendermonding op de Schelde bij verschillende bovenafvoeren van Dender en Schelde. Uiteindelijk diende ook de invloed nagegaan van de verschillende mogelijke aanpassingen op het sedimentologisch proces in de nabijheid van de monding.

3.1.2.1 Beschrijving van het model

Het model omvatte het gedeelte van de Schelde vanaf 1 km afwaarts tot 1.5 km opwaarts van de nieuwe monding. Van de Dender werd enkel de toegangsgeul tot aan de sluis en het gedeelte afwaarts de stuw in model weergegeven.

Modelschalen:

De modelschalen waren 1:100 horizontaal en 1:40 vertikaal, zodat het model een vertrekking vertoonde van 2.5.

De andere schalen afgeleid uit de wetten van Froude waren 1:6.32 voor de snelheden en 1:25300 voor de debieten.

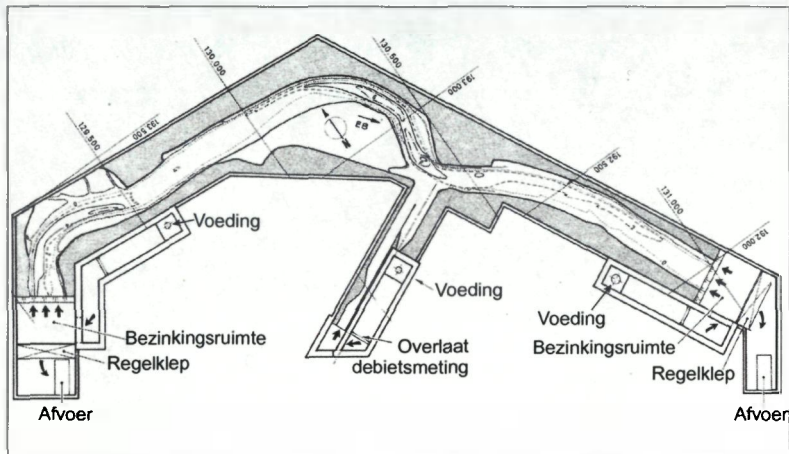
Geometrie:

Voor het nabootsen van de rivierbodem werd gebruik gemaakt van peilingen uit 1974 en van het ontwerpplan van de Dienst van het Stroomgebied der Schelde.

Verwezenlijking van de permanente stromingen:

Daar de modelstudie enkel met permanente maximale stroomtoestanden geschiedde (max. vloed en max. eb) werd het debiet manueel ingesteld in een overlaatbak, terwijl de gewenste waterstand aan het andere modeluiteinde werd ingesteld bij middel van overstortkleppen.

Aan beide uiteinden van het model werden bezinkingsgrachten voorzien voor het opvangen van het beweegbaar materiaal bij het bestuderen van de invloed van mogelijke verruimingen op het sedimentatieproces.



Ijking van het model:

Voor de ijking werd uitgegaan van snelheidsmetingen in september 1974 op de Schelde uitgevoerd bij springtij. Hieruit werden de maximale eb- en vloeddebieten afgeleid. De snelheden gemeten in model werden vergeleken met de metingen in natuur en gaven een aanvaardbare overeenkomst.

3.1.2.2 Onderzoek uitgevoerd op model:

De modelproeven werden uitgevoerd in 1975.

Volgend onderzoek werd uitgevoerd:

- Mogelijke aanpassingen aan het oorspronkelijke voorstel
- Invloed van de nieuwe monding bij grote bovenafvoer van Schelde en Dender
- Oriënterend onderzoek van het bodemtransport in de omgeving van de nieuwe monding.

Voor dit laatste onderzoek werd de verticale schaal van het model herleid tot 1:60 en beweegbaar materiaal (bakeliet ($d_{50}=0.36\text{mm}$) en polystyreen ($d_{50}=2.6\text{mm}$)) werd aangebracht bovenop de bestaande vaste modelbodem.

Besluiten:

- Het verbreden van de ingang van de toegangsgeul naar de sluis schept nautisch meer ruimte, terwijl de stroomsnelheden nauwelijks wijzigen t.o.v. het oorspronkelijk voorstel. Verder nautische verbetering kan bekomen worden door het achteruitbrengen van de linkeroever van de Schelde.
- Oeververdediging op de tegenoverliggende linkeroever, al of niet achteruit gebracht, is noodzakelijk.



- Een rechte trekking van de Scheldebodding juist afwaarts de monding biedt nautische voordelen, maar sedimentatie in en vóór de toegangsgeul is niet uitgesloten.

Realisatie:

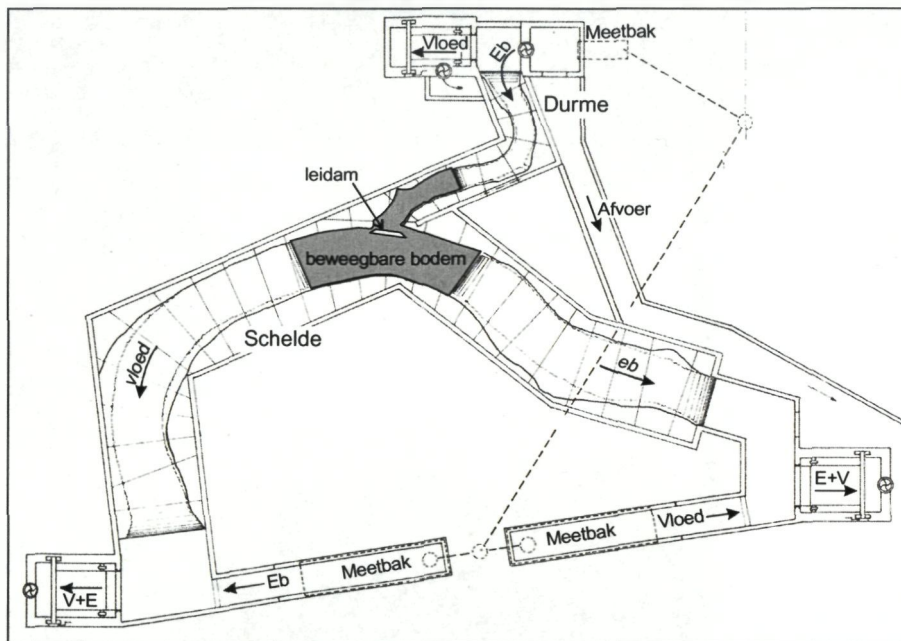
Bij de aanleg van de nieuwe Dendermonding werd rekening gehouden met de aanbevelingen door het Waterbouwkundig Laboratorium. De officiële openstelling vond plaats in november 1978

3.2 Monding van de Durme M141

Er moest onderzocht worden in welke mate een leidam in de Durmemonding kon bijdragen tot de vermindering van de hoeveelheid geslept bodemmateriaal dat van de Schelde in de Durme belandt en deze rivier aanzandt.

3.2.1.1 Beschrijving van het model

Het model gaf de Schelde weer van circa 1.7 km stroomafwaarts tot ca. 2.2 km stroomopwaarts van de monding van de Durme, en deze laatste rivier van haar samenvloeiing met de Schelde tot 1.1 km opwaarts daarvan.



Modelschalen:

De modelschalen waren 1:250 voor de horizontale afmetingen en 1:100 voor de hoogten, zodat het model een vertrekking vertoonde van 2.5.

De andere schalen afgeleid uit de gelijkvormigheidswetten van Froude waren 1:25 voor de tijd, 1:10 voor de snelheden en 1:250000 voor de debieten.

Geometrie:

Voor het nabootsen van de loop en bedding werd gebruik gemaakt van peilingen uit 1948 en 1949. Schelde en Durme werden verzeenlijkt met behulp van 24, respectievelijk 9 dwarsraaien. Op de plaatsen waar de bedding beweeglijk gemaakt werd, werden de bedijking en een deel der schorren in vast materiaal uitgevoerd. Als beweegbaar materiaal werden bimssteenkorrels gebruikt.

Opwekken van de permanente stromingen:

Voor de modelstudie die uitgevoerd werd met permanente stromingen (max. vloed en max. eb) werd het debiet manueel ingesteld in drie meetbakken (1 voor het vloeddebiet van de Schelde, 1 voor het ebdebiet van de Schelde, 1 voor het ebdebiet van de Durme). De gewenste waterstanden aan de modeluiteinden werden ingesteld bij middel van regelbare overstortkleppen.

Er werden voorbereidende proeven werden uitgevoerd om de geschikte stroomsnelheden te bepalen voor een behoorlijk sleeptransport van het beweegbaar materiaal. Uit deze proeven bleek de noodzaak het model plaatselijk aan te passen door een gedeelte van de vaste bodem en van de holle oever te bekleden met bimssteenkorrels om de ruwheid van het beweegbare gedeelte te benaderen.

3.2.1.2 Onderzoek uitgevoerd op model:

De modelproeven werden uitgevoerd in 1953-1954.

De eerste reeks definitieve proeven werd uitgevoerd zonder leidam.

Voor de tweede reeks proeven werd een leidam in de Durmemonding aangebracht. Het doel van de proeven was de meest geschikte kruinhoogte te bepalen van deze dam. Omwille van de scheepvaart moest de kruinhoogte lager zijn dan 3 m onder N.K.D.

Besluiten:

De proeven hebben aangetoond dat het aanbrengen van een leidam het indringen van gesleepte vaste stoffen in de Durme tegenwerkt.

3.3 Monding van de Rupel

Zie hfdst. 6 : Toegangseulen tot zeesluizen³

3.4 Samenvloeiing van Ringvaart rond Gent met Schelde te Melle M51

3.4.1 Stroming via bestaande tracé naar Gentbrugge M51/I

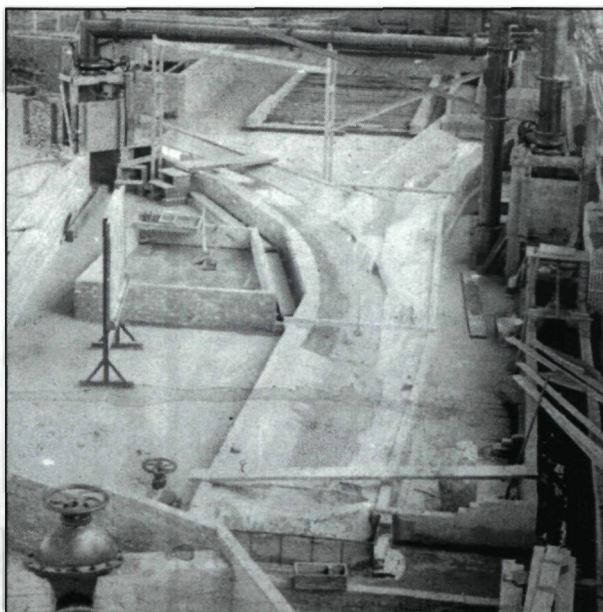
De studie had tot doel de middelen na te gaan die kunnen aangewend worden om de aanslibbing van deze uitmonding van de vaart laag te houden en de aanzanding van het stroomafwaartse uiteinde van deze uitmonding te keer te gaan.

Er werden nochtans geen aanslibbingsproeven uitgevoerd, daar voor dit probleem gebruik kon gemaakt worden van de resultaten verkregen bij de proeven aangaande de uitmondingsgeul van de sluizen van het Netekanaal.

Voor de studie werd een model zonder distorsie op schaal 1:50 gebouwd, dat de loop van de Schelde voorstelde over een lengte van ongeveer 900 m, waarvan nagenoeg 300 m in beweegbaar materiaal (bimssteenkorrels). In de uitmonding tussen de sluizen van de Ringvaart en de Schelde bestond de bodem insgelijks uit bims.

De modelproeven met permanente stromingen werden in 1944 uitgevoerd. Een ontwerp werd door het Laboratorium aan de opdrachtgever voorgesteld.

Model 51/II



3.4.2 Stroming via de Ringvaart M51/II

Na het uitvoeren van hogergenoemde studie werden wijzigingen overwogen aan het tracé en het regime van de doorsteek Merelbeke-Melle. Hierdoor werd de Ringvaart in feite Zeeschelde en de stroom naar Gentbrugge toe wordt door een schutsluis afgesneden even stroomopwaarts van de samenvloeiing.

Het model M51/I werd hiertoe aangepast.

De proeven vonden plaats in 1944. Voor de aanvang van elke reeks experimenten werden bodem en hellingen in het beweegbaar gedeelte geprofileerd met bimssteenkorrels.

De voorgestelde ontwerpen van het Laboratorium voorzagen in de constructie van bodemkribben aan de toegang van de sluis..

4 VERBETERING VAN DE BEVAARBAARHEID VAN DE SCHELDE AFWAARTS ANTWERPEN

4 VERBETERING VAN DE BEVAARBAARHEID VAN DE SCHELDE AFWAARTS ANTWERPEN

4.1	DE DREMPEL VAN DE PAREL (M1).....	4-2
4.1.1	<i>Beschrijving van het model</i>	4-2
4.2	OVERZICHT VAN DE PROEVEN	4-3
4.3	MODEL VAN DE BOCHT VAN WALSOORDEN (M213).....	4-4
4.3.1	<i>Beschrijving van het model</i>	4-4
4.3.2	<i>Onderzoek uitgevoerd op dit model</i>	4-6
4.4	PROEVEN IN VERBAND MET KALIBRERINGSWERKEN OP DE SCHELDE IN DE OMGEVING VAN DE NIEUWE ZEESLUIS TE ZANDVLIET.....	4-7
4.5	PROEVEN AANGAANDE HET OPENSTELLEN VAN EEN DIEPE VLOEDGEUL IN DE VERLENGING VAN HET VLOEDSCHAAR VAN OUDEN DOEL MET BEHOUD VAN DE EBGEUL ONDER DE RECHTEROEVER.	4-8
4.6	PROEVEN IN VERBAND MET DE DWARSSTROMEN BIJ MAXIMUM VLOED TER HOOGTE VAN DE UITLOOP VAN HET SCHAAR VAN ZIMMERMANPOLDER.....	4-9
4.7	PROEVEN IN VERBAND MET NORMALISATIEWERKEN VAN DE SCHELDE IN DE OMGEVING VAN BATH.....	4-10
4.8	VERDER ONDERZOEK VAN HET AANVAARDE VOORONTWERP VOOR DE NORMALISATIE IN DE OMGEVING VAN BATH (LEIDAMMENPROJECT)	4-14
4.9	PROEVEN IN VERBAND MET HET AANVULLEN VAN DE SCHORRE BIJ FREDERIK.	4-18
4.10	PROEVEN OVER DE DOORSTEEK DOORHEEN HET VERDRONKEN LAND VAN SAAFTINGE.....	4-18
4.11	BOCHTAFSNIJDING BIJ BATH (NOORDELIJK TRACÉ).....	4-19
4.12	OPERATIONEEL ONDERZOEK VAN DE BOCHTAFSNIJDING BIJ BATH	4-20

OP HET GEDEELTE VAN DER SCHELDE TUSSEN HANSWEERT EN ANTWERPEN, IS DE NATUURLIJKE DIEPTE VAN HET VAARWATER OP DE DREMPELS ONVOLDOENDE VOOR DE SCHEEPPAART. OVERIGENS VEREISEN DE STEEDS TOENEMENDE AFMETINGEN VAN DE ZEESCHEPEN, ZOWEL IN LENGTE ALS IN DIEPGANG, DAT DEZE BAGGERWERKEN MEER EN MEER OPGEDREVEN WORDEN.

Aangezien men niet door baggeren alleen een aanzienlijke verbetering verwachten kan, moeten anderzijds verbeteringswerken aan de rivier in overweging genomen worden.

4.1 De drempel van de Parel (M1)

Het eerste modelonderzoek in het Waterbouwkundig Laboratorium werd uitgevoerd om te onderzoeken welke middelen konden aangewend worden om een bestendige verbetering van Scheldedrempels tot stand te brengen. Bij deze proeven werd de drempel de Parel als voorbeeld genomen.

4.1.1 Beschrijving van het model

Het model stelde het gedeelte van de Schelde voor van 3.3 km opwaarts tot 2.45 km afwaarts de drempel.

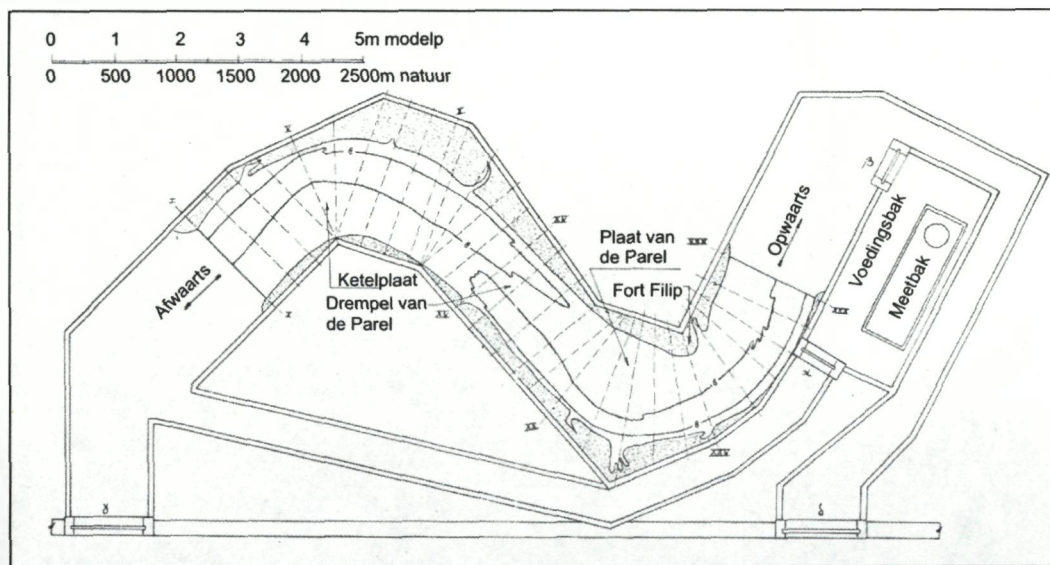
Dijken en oevers werden gemaakt uit hard materiaal, terwijl de bodem in beweegbaar materiaal (bimssteenkorrels) uitgevoerd werd.

Modelschalen:

Horizontale schaal 1:500

Verticale schaal 1:100

De andere modelschalen volgden uit de similitudewetten van Froude: 1:500000 voor de debieten en 1:10 voor de snelheden.



Geometrie:

De modelbodem werd in een eerste fase gerealiseerd door een gladde cementlaag volgens de peilingen van 1932. Na een eerste voorbereidende studie over de richting van de stromingen en hun snelheden werd de cementen modelbedding verwijderd en vervangen door een laag bimssteenkorrels.

Permanente stroming:

De maximum snelheden in natuur bedroegen 0.856 m bij eb en 0.820 m/s bij vloed. Volgens de similitudewetten zou dit in model 10x kleiner zijn (ca. 8 cm/s), wat veel minder is dan de 20 cm/s die nodig zijn om de bimssteenkorrels in beweging te brengen.

Men was dus verplicht gebruik te maken van grotere snelheden, zodanig dat de bimssteenkorrels konden meegevoerd worden en in de beweegbare bodem een morfologische toestand kon bekomen worden die vergelijkbaar was met deze van 1919.

Ook werd het getij niet gereproduceerd maar werden de proeven uitgevoerd met permanente stromingen.

Ijking van het model

Voor de proeven met vaste bodem werd het model afgeijkt door in te grijpen op de ruwheid van de rivierbodem.

Voor de proeven met beweegbare bodem werd de bedding van de rivier vervangen door een horizontale bodem in beweegbaar materiaal tussen vaste oevers. Vervolgens werd gestroomd met reeksen normale getijden (gewone ebstroom gevolgd door gewone vloedstroom), afgewisseld met buitengewone getijden (sterke eb- en vloedstromen) volgens een bepaald patroon, dat na vele testen geschikt werd gevonden. Na 28 getijden was de oorspronkelijk vlakke bodem geëvolueerd tot een toestand die vergelijkbaar was met de toestand 1919. Deze ijking werd nog vier maal herhaald, telkens was hetzelfde resultaat. Ook de ligging van de drempel werd telkens exact gereproduceerd en de diepten boven de drempel vertoonden dezelfde karakteristieke aspecten als in de natuur: minder diep in het midden dan in de uiteinden.

Na deze 28 getijden waren er geen merkbare wijzigingen aan de bodem meer waar te nemen

Als gevolg van deze proeven kon men aannemen dat het volstond een project te onderwerpen aan dezelfde stromingen, om een benaderend beeld te krijgen van de wijzigingen die de uitvoering van dit project aan de bedding van de rivier zal aanbrengen.

4.2 Overzicht van de proeven

De proeven werden uitgevoerd in 1938-1937.

Een eerste reeks proeven betrof de studie van het mechanisme van de vorming van zandbanken en de aanzanding van drempels.

- In tegenstelling tot wat algemeen aangenomen werd was er een zeer intens transport van materiaal over de zandbanken, in dit geval de Plaat van de Parel en de Ketelplaat.
- In de bochten was het transport in de geulen minder belangrijk dan over de aanliggende platen. Het beweegbare materiaal uit de geulen beschreef geen concentrische banen naar de oever toe, maar werd na het eerste gedeelte van de bocht afgeleid naar de plaat aan de convexe oever, waardoor hier afzetting optrad.
- Wat de drempel zelf betrof stelde men vast dat tijdens eb aan de voet van het meest afwaarts uiteinde van de plaat een transport van beweegbaar materiaal plaats vond dat zich snel naar de drempel verplaatste. Dat materiaal was afkomstig van de plaat, maar vooral van de geul. Deze partikels probeerden de plaat op te komen, maar deze beweging werd tegengewerkt door het transport, veroorzaakt door de stroming op de Plaat van de Parel. Als gevolg van deze twee, elkaar tegenwerkende, acties hadden de bimssteenkorrels de tendens om zich neer te zetten aan de afwaartse punt van de plaat. Deze aangroei breidde zich meer en meer uit naar het midden van de vaargeul. De taluds van deze aangroei vlakten echter af en de korrels in transport konden meer en meer vrij passeren.
- Een vergelijkbare actie deed zich voor bij vloed aan het opwaartse uiteinde van de Ketelplaat. Hier bestond de aangroei uit twee vertakkingen die de neiging hadden naar elkaar toe te groeien en zich op elkaar te plaatsen en zodoende de vaargeul af te sluiten door een drempel.

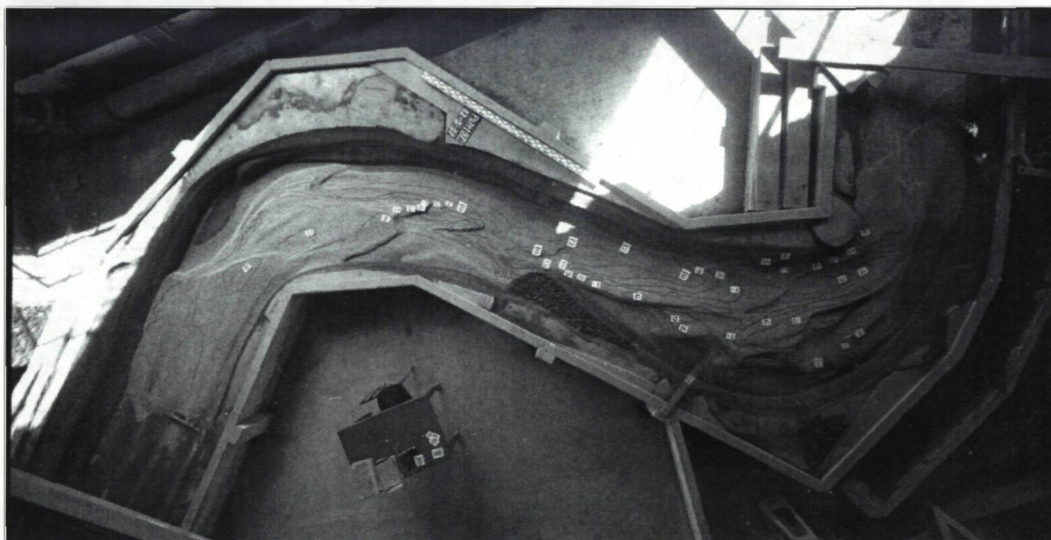
- Voor een rivier met een bepaald hydraulisch vermogen bleken de nefaste acties waardoor een drempel gevormd werd hun eigen limiet, daar de vloed gedeeltelijk het effect van de eb tegenwerkte en omgekeerd. Voor elke drempel bestond er een evenwichtstoestand. Zo wijzigde de minimum diepgang van de drempel van de Parel nauwelijks over een periode van vijf jaren, alhoewel er niet gebaggerd werd.

Een tweede reeks proeven had tot doel na te gaan hoe de cota (-10.00 m) op de drempel kon behouden blijven zonder baggerwerken.

Uit proeven met kribben bleek dat dergelijke constructies ook moesten geplaatst worden in het concave gedeelte van de rivier en discontinue constructies op die plaats wervelingen veroorzaakten die nadelig waren voor de scheepvaart en voor de geschiktheid als ankergrond.

Ook werd de voorkeur gegeven aan langse dijken met een vlak gedeelte onder laag water dat verbonden was met de kruin door een continue talud, ofwel door kribben waarvan de kruin (loodrecht op de rivieras) naar de oever opliep.

In dergelijke verbeteringsprojecten kan men inwerken op volgende elementen: cota van het afgeplatte deel, vorm in plattegrond en tussenafstand van de langse dijken, aard van de verbinding met de oevers (continue taluds of kribben) en helling.



Om economische, maar ook om plaatselijke redenen werd in het weerhouden voorstel (zie foto) enkel de linkeroever door een langse dijk verbonden met de rivier door een continue talud. Op de plaats waar de dijk aansluit aan de oever heeft hij een vlak gedeelte op (-1.72 m). Van hieruit tot aan profiel XXVI daalt de dijk gestadig tot (-3.72 m). Deze cota wordt aangehouden tot aan het opwaarts uiteinde te dalen tot (-7.72 m). Het snijpunt van het aansluitingstalud met de oever ligt meestal op (+0.28 m), de cota van gemiddeld laagwater.

4.3 Model van de Bocht van Walsoorden (M213)

4.3.1 Beschrijving van het model

Het openbaggeren van de Schaar van Walsoorden in 1951 heeft de scheepvaart bij het Hoofd van Walsoorden aanzienlijk vergemakkelijkt. Sindsdien heeft het vaarwater zich geleidelijk naar de linkeroever verplaatst. Dit was te verwachten daar de vroegere evolutie reeds in dezelfde zin gebeurde, maar het tempo waarmee deze verplaatsing gebeurde was nu verrassend snel. Op het ogenblik van de bouw van het model was het Plaatje van Walsoorden die de nieuwe vaargeul scheidde van de oude (Zuidergat) helemaal verdwenen.

Op dat ogenblik stak het 'Hoofd van Walsoorden', ten opzichte van het bebakende vaarwater opwaarts ervan, te ver vooruit, waardoor het vaarwater al te bochtig werd. Te voorspellen viel, dat het vaarwater in

de toekomst geleidelijk verder gaat vernauwen door het blijvend westwaarts aangroeien van de Plaat van Valkenisse; Dit zou de toestand nog aanzienlijk verslechteren.

Daarom werd beslist om verbeteringswerken te bestuderen en tevens de weerslag van deze werken op de drempel van Hansweert na te gaan.

Het model werd gebouwd in 1962-1963 en gaf de omgeving van Walsoorden weer, met als afwaartse begrenzing de lijn die Hoek van Ossensisse met Hoedekenskerke verbindt en als opwaartse grens de verbindinglijn tussen Konijnenschor en een punt halverwege tussen Waarde en Zimmermanpolder.

Daar het in model te brengen gedeelte van de rivier betrekkelijk kort is, was het mogelijk de proeven uit te voeren met opeenvolgende permanente vloed- en ebstromen in plaats van met getijbeweging.

Geometrie:

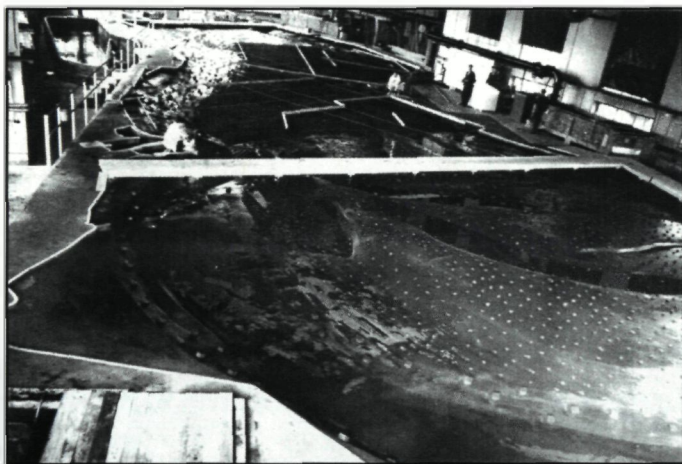
Voor het vaste modelgedeelte werden de peilingen van 1957 weergegeven in model. Voor het beweeglijke modelgedeelte werd vertrokken van de peilingen 1952 voor de ijkingen (zie verder) en van de peilingen 1962 voor de proeven van de verbeteringswerken.

Modelschalen:

- Horizontaal 3:1000
- Vertikaal 1:80
- Snelheid 1:4
- Debiet 1:106666.7

Beweegbaar materiaal:

De studie van de verbeteringswerken werd uitgevoerd op een model met beweeglijke bodem. Als beweegbaar materiaal is bakeliet in fijne poedervorm gebruikt (densiteit 1.35, gemiddelde diameter 0.35mm). De tijdschaal voor het materiaaltransport werd bepaald aan de hand van de ijking. Ze bedraagt ongeveer 1:4000, d.w.z. dat 3 à 4 cyclussen model overeenkomen met 1 jaar natuur.



Bouw van het model:

De bouw van het gedeelte met vaste bodem gebeurde als volgt. Eerst werden op de vloer de coördinaatlijnen getekend en vervolgens werden de dieptelijnen, schorrelijnen en dijken op deze vloer geprojecteerd en overgetekend. Vervolgens werd een stalen band, voorzien van een plastic omhulsel, geplooid in de vorm van een dieptelijn en in houders van verstelbare hoogte vastgezet. Met behulp van een waterpasinstrument en een schietlood werd de band dan op de juiste hoogte en de juiste plaats gezet. Vervolgens werd de band definitief vastgezet met bakstenen en snelverhardend cement-

mortel, zodat de houders konden verwijderd worden. Nadat zo verschillende dieptelijnen aangebracht waren, werd de tussenruimte opgevuld met puin en grind tot enkele centimeter onder de bovenrand van de banden. Vervolgens werd een ruwe laag cementmortel aangebracht en tenslotte een gladde afgewerkingslaag. Voordelen van deze methode zijn een vlotte uitvoering en een zeer natuurgetrouwe nabootsing.

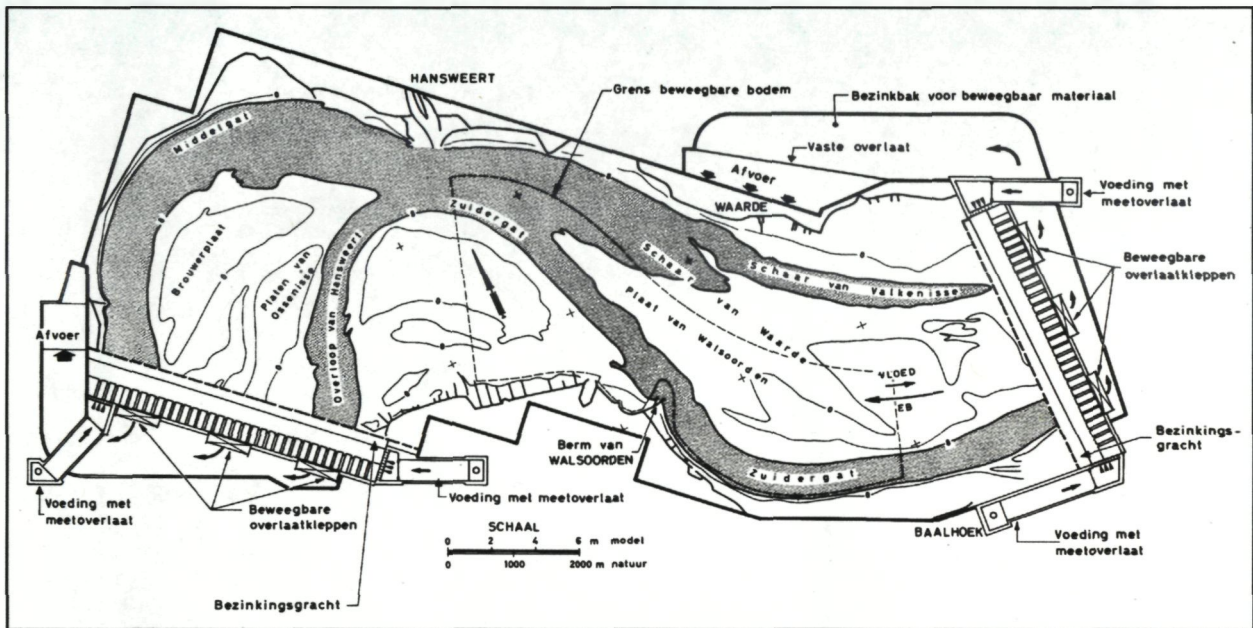
In het gedeelte dat voorzien was van een beweeglijke bodem werden bakstenen geplaatst tot ongeveer 10 à 20 cm onder het te verwezenlijke profiel. Hierop werd het fijne bakeliet aangebracht. Het profileren van de beweeglijke bodem vóór elke proef geschiedde met behulp van profielen waarvan de onderkant overeenkwam met de te verwezenlijken diepte.

Ijking van het model

Voor de ijking van het model werd uitgegaan van de bodempeilingen van het jaar 1952. In het model diende de uit de natuur bekende bodemevolutie gedurende de tijdspanne 1952-1961 getrouw weergegeven te worden. Deze overeenkomst werd bekomen door toepassing van de snelheidsschaal 1:4, van een vloedduur van 13 minuten en een ebduur van 27 minuten.

Na 85 cyclussen (1 cyclus is de duur van 1 permanente vloed- plus 1 permanente ebstroom in het model) konden de modeldiepten als stabiel worden beschouwd. Vertrok men echter van de peilingen 1962, dan bereikte men na een kleiner aantal cyclussen een evenwichtstoestand, wat toeliet de proeven in een kortere termijn uit te voeren.

Bij de ijking werd ook aandacht besteed aan de conforme weergave van de stroombanen en van de snelheidsverdeling over het dwarsprofiel.

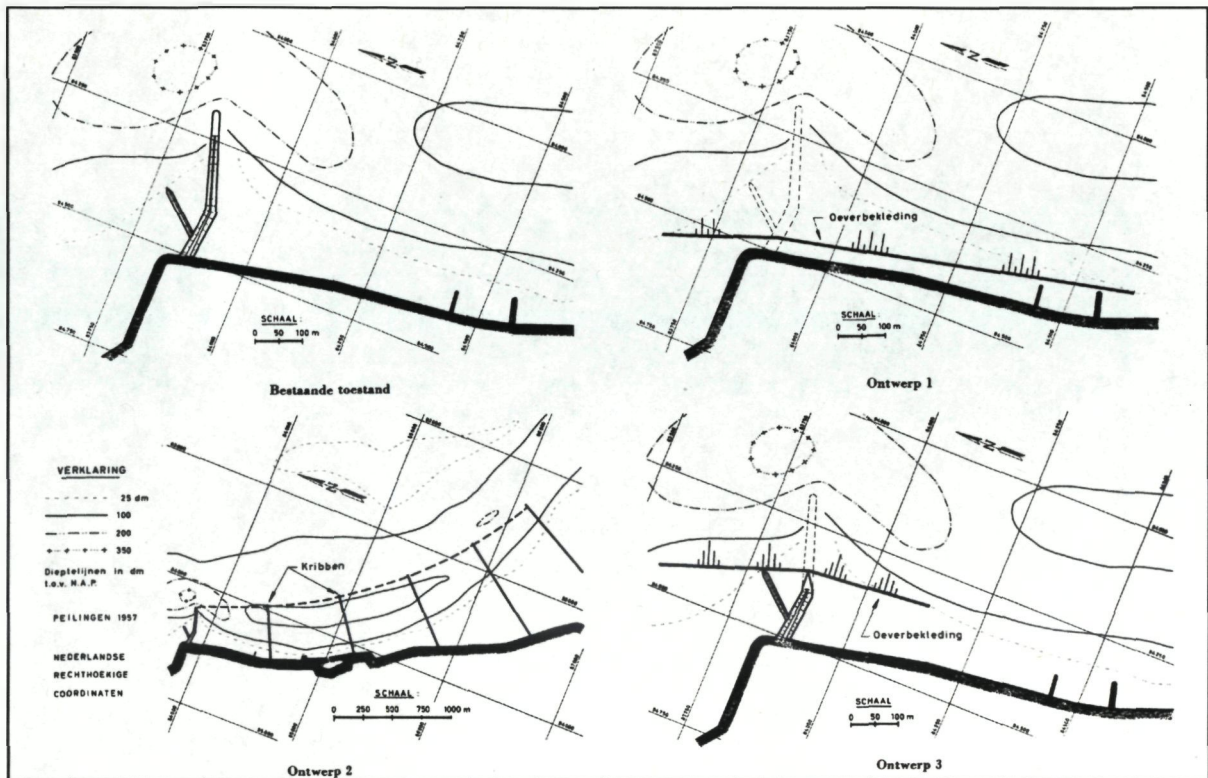


Model van de Bocht van Walsoorden (M213)

4.3.2 Onderzoek uitgevoerd op dit model

Er werden verschillende ontwerpen onderzocht. Onderstaande figuur vergelijkt de 3 belangrijkste met de bestaande toestand.

De dieptelijnen zijn uitgedrukt t.o.v. NAP.



Ontwerpen 1, 2 en 3 voor de verbetering van de omgeving van Walsoorden.

Ontwerp 1: het Hoofd van Walsoorden volledig weggenomen.

Ontwerp 2: het Hoofd van Walsoorden volledig behouden en een vijftal kribben uitgebouwd opwaarts ervan.

Ontwerp 3: het Hoofd van Walsoorden gedeeltelijk ingekort.

Voor de beoordeling van de verschillende ontwerpen waren vooral drie punten van belang: het stroombeeld ter plaatse van het Hoofd, de diepten op de drempel van Hansweert en de oeveraantasting afwaarts.

De ontwerpen 1 en 2 zijn gelijkwaardig voor wat de verbetering van het stroombeeld betreft. In ontwerp 2 treden belangrijke wervelstraten op aan de koppen van de kribben.

De tendens tot verdieping van de drempel van Hansweert is zeer uitgesproken bij ontwerp 3, wat veel minder het geval is bij de ontwerpen 1 en 2.

De oeveraantasting afwaarts van het Hoofd is in het ontwerp 1 belangrijk groter dan in ontwerp 3. Tegen ontwerp 2 pleiten de hoge uitvoeringskosten, daar de kribben in diep water moeten worden aangelegd en hun koppen zeer sterk moeten worden verdedigd.

Ontwerp 3 bleek het meest aangewezen voor uitvoering. In dit ontwerp springt de rest van het Hoofd niet meer uit ten opzichte van het algemene verloop van de oever opwaarts. Op- en afwaarts van het Hoofd dienen een oeverbekleding aangebracht. De lengte van de inkorting bedraagt ongeveer 125m.

4.4 Proeven in verband met kalibreringswerken op de Schelde in de omgeving van de nieuwe zeesluis te Zandvliet

De bouw van de nieuwe zeesluis te Zandvliet brengt mede dat de rechteroever van het vaarwater over een grote lengte onderbroken wordt, hetgeen zekere wijzigingen in de configuratie van de rivierbedding zou kunnen teweegbrengen.

Het doel der studie was bijgevolg:

- Na te gaan welke invloed deze onderbreking in de oever zal hebben op het behoud van het vaarwater in de omgeving van de toegangsecul tot de sluis.
- Middelen te bestuderen welke de eventueel ongunstige weerslag op het behoud van het vaarwater zouden neutraliseren.
- Na te gaan of het niet mogelijk was de vaargeul in de omgeving van de toegangsecul te verbeteren door kalibreringswerken.

De modelproeven werden uitgevoerd op het Model van de Schelde van Hansweert tot aan de sluisen van de Haven van Antwerpen (M119).

Aangezien het te bestuderen riviervak zich dicht bij het opwaarts bovineinde van het model bevindt, diende dit model tot Oosterweel verlengd te worden (zie hoger).

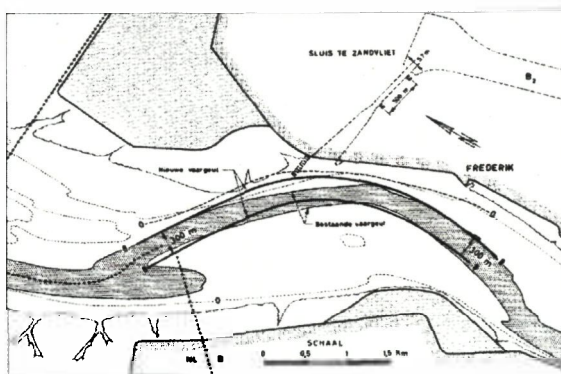
Het vak van de rivier dat in beweegbare bodem aangebracht werd strekte zich uit van de Nederlandse grens (R.O.) tot Lillo. Het bleek nodig het verschil in densiteit tussen de polystyreenkorrels en het water te verminderen om hun beweegbaarheid te vergroten. Dit kon door het toevoegen van natriumcarbonaat aan het modelwater.

Er werd met springtij gewerkt.

De proeven hebben tot volgend resultaat geleid:

- Het aan leggen van leidammen onder de linkeroever over de Plaat en Schaar van Ouden Doel heeft voor gevolg het verslechteren van de toestand in de omgeving van de zeesluis.
- Een aanzienlijke verbetering van het vaarwater in de omgeving van de toegangsecul wordt verkregen door de normalisatie van de rechteroever van het vaarwater.
- Een breedte van 300m tussen de -8.00m dieptelijnen in de omgeving van de sluis, wordt alleen bekomen door, samen met bovenvermelde normalisatie, de ingang van de toegangsecul tot de sluis te vernauwen.

Dit leidde tot het voorgestelde ontwerp uit onderstaande figuur.

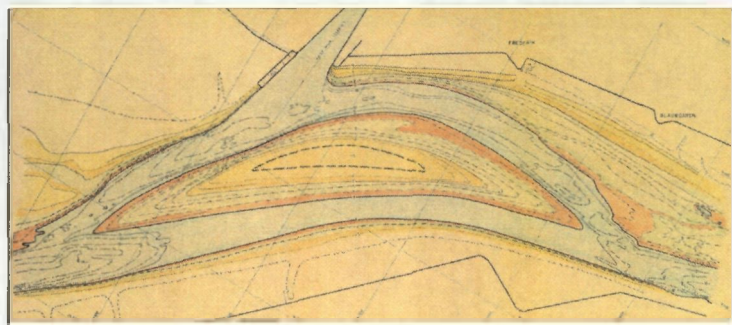


Voorgesteld ontwerp kalibreringswerken in de omgeving van de nieuwe zeesluis te Zandvliet.

4.5 Proeven aangaande het openstellen van een diepe vloedgeul in de verlenging van het vloedschaar van Ouden Doel met behoud van de ebgeul onder de rechteroever.

In het begin van de jaren zestig stelde men vast dat de werking van de vloed in de Schelde steeds krachtiger werd. Deze natuurlijke neiging tot uitdieping kon misschien worden benut om een nieuw diepe geul te

verwezenlijken onder de linkeroever van de Schelde opwaarts de Nederlandse grens door verlenging van de inloop van het huidige schaar van Ouden Doel.



Ontwerp Antwerpse Zeediensten

Daar het de bedoeling was het bestaande vaarwater in stand te houden moest, om het evenwicht in de dwarssectie te bekomen, een eiland aangelegd worden als scheiding tussen het bestaande vaarwater onder de rechteroever en de nieuwe vloedschaar. Het bestaande hoofdvaarwater zou dan vooral kunnen dienen als toegang tot de nieuwe sluis, terwijl de nieuwe geul in principe zou dienen voor de scheepvaart naar en van de opwaartse sluisen en de kaaien.

Het doel van de studie was te onderzoeken in hoeverre een dergelijke nieuwe vaargeul aan de linkeroever zich zou in stand houden.

De modelproeven werden uitgevoerd op het Model van de Schelde van Hansweert tot aan de sluisen van de Haven van Antwerpen (M119).

Op model werd het project ingebracht in het beweegbaar vak dat ter beschikking kwam na de voltooiing van de hiervoor vermelde studie. Uit de proeven bleek dat de geplande geul niet zou kunnen onderhouden worden door de rivier, maar integendeel sterk zou verzanden.

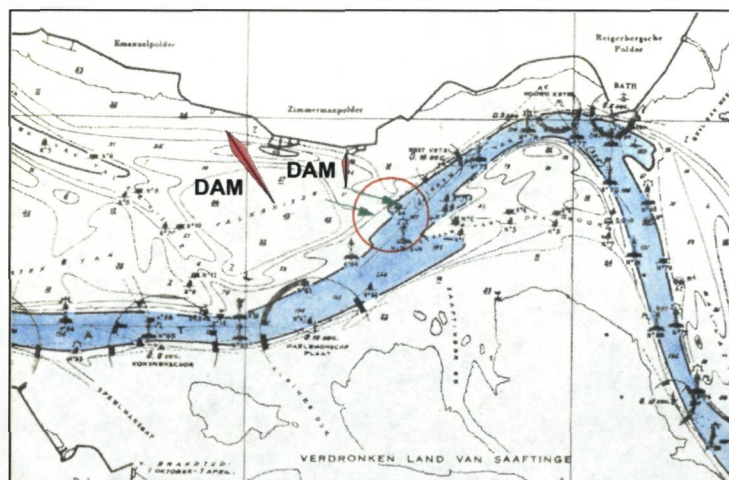
4.6 Proeven in verband met de dwarsstromen bij maximum vloed ter hoogte van de uitloop van het Schaar van Zimmermanpolder.

Bij zwaar springtij verwekt de vloed circa 1h vóór hoogwater grote stroomsnelheden in het Schaar van Zimmermanpolder. Deze stromingen planten zich voort tot in het vaarwater, waar ze aanleiding geven tot dwarsstromingen, welke een groot gevaar opleveren voor de scheepvaart en wel zodanig dat de vaart van grote zeeschepen uit veiligheidsoverwegingen gedurende deze periode uitgesloten is.

Het doel van de studie was na te gaan in hoever het mogelijk is deze dwarsstromen te doen verdwijnen of ze zodanig te verminderen dat de scheepvaart niet meer gehinderd wordt.

De modelproeven werden uitgevoerd op het Model van de Schelde van Hansweert tot aan de sluisen van de Haven van Antwerpen (M119) waarop in de omgeving van Zimmermanpolder stroommetingen bij zwaar springtij uitgevoerd werden.

Verskillende oplossingen werden bestudeerd en telkens werd, op het ogenblik van maximum vloed- en maximum ebstroom, het stroombeeld met behulp van oppervlaktedrijvers vastgelegd.



Dwarsstromen in de omgeving van de Schaar van Zimmermanpolder en locatie van de dammen

Aan de hand van deze proeven werd besloten dat:

- Het uitgesloten is het schaar af te dammen met een onoverstroombare dam;
- Het aangewezen is de grote vloedstroom geleidelijk te reduceren door 2 of meer dammen in het schaar, met de kruin gelegen ongeveer op halftijhoogte.
- De geleidelijke vermindering van de vloedstroom door het schaar, door het aanleggen van meerdere overstroombare dammen, wel een verhoging van de vloedsnelheden over de plaat van Valkenisse zal veroorzaken. Maar deze toename zal zich, gelijkmatig verdeeld, hierover uitspreiden zodat de kans voor het ontstaan van een nieuwe vloedgeul door deze Plaat heen praktisch gesproken zeer klein is.

4.7 *Proeven in verband met normalisatiewerken van de Schelde in de omgeving van Bath.*

Algemene beschouwingen

Nadelen van de omgeving van Bath:

- de baggerwerken voor het behoud van de nodige diepte zijn uiterst omvangrijk en dus kostbaar;
- de schepen zijn bij sterke vloed blootgesteld aan gevaarlijke dwarsstromingen;
- de bocht van Bath is zeer uitgesproken, met daarbij een te geringe breedte, hetgeen de vaart van diepliggende schepen bemoeilijkt.

Ijking van de beweegbare bodem van het model:

De evolutie van het platen- en geulenstelsel van Bath was goed bekend en haar periodiciteit goed te volgen. Wel dient er een onderscheid gemaakt tussen de evoluties welke zich van nature konden ontwikkelen (nl. die van vóór 1929, toen er nog geen regelmatige baggerwerken werden uitgevoerd) en die, welke zich voordeden sedert er regelmatig gebaggerd werd. Deze periodiciteit der evoluties bedroeg gemiddeld 3 jaar.

De modelproeven werden uitgevoerd op het Model van de Schelde van Hansweert tot aan de sluizen van de Haven van Antwerpen (M119).

In het model was het, om technische redenen, onmogelijk de onderhoudsbaggerwerken, en het storten van de baggerspecie in de nevengeulen na te bootsen.

Wel kan men aannemen dat het model gelijkvormig met de natuur zal zijn wanneer, uitgaande van een aangebrachte kunstmatige toestand (d.w.z. de toestand der rivierbedding op een bepaald tijdstip na 1929), het model naar de natuurlijke toestand evolueert en de verplaatsingen van geulen en zandbanken, welke dan in het model optreden, dezelfde zijn als die van de rivier in haar natuurlijke toestand. Een dergelijke ijkingmethode wordt 'historische methode' geheten.

De evolutie van de rivierbedding wordt veroorzaakt door het op elkaar volgen van de meest uiteenlopende getijden. Het is praktisch onmogelijk zulke verscheidenheid van getijden in model na te bootsen en men is verplicht hiervoor een zekere schematisatie toe te passen.

Een systematische modelstudie met verschillende karakteristieke getijden heeft aangetoond, dat gelijkvormigheid met de natuur bekomen wordt door een opeenvolging van 12 gemiddelde getijden, zonder bovendebiet, gevolgd door driemaal het springtij van 30 december 1955 met een viervoudig gemiddeld bovendebiet. Als uitgangstoestand van elke ijkingproef werd genomen de toestand van de rivierbedding in het jaar 1955.

De periode van de waargenomen evoluties in het model bedraagt gemiddeld circa 45 getijden. Wanneer wij dit vergelijken met de periodiciteit optredend in de natuur, nl. gemiddeld circa 3 jaar, dan biedt deze ijkingmethode ons het middel om de tijdschaal van het bodemtransport te kennen: in dit geval circa 1/1500. Met deze 'transportschaal' kan de toestand der rivier worden voorspeld wanneer er zekere normalisatiewerken zullen worden aangebracht.

De verschillende voorontwerpen die voor de verbetering der rivier in de omgeving van Bath werden opgemaakt, zijn achtereenvolgens in het model onderzocht.

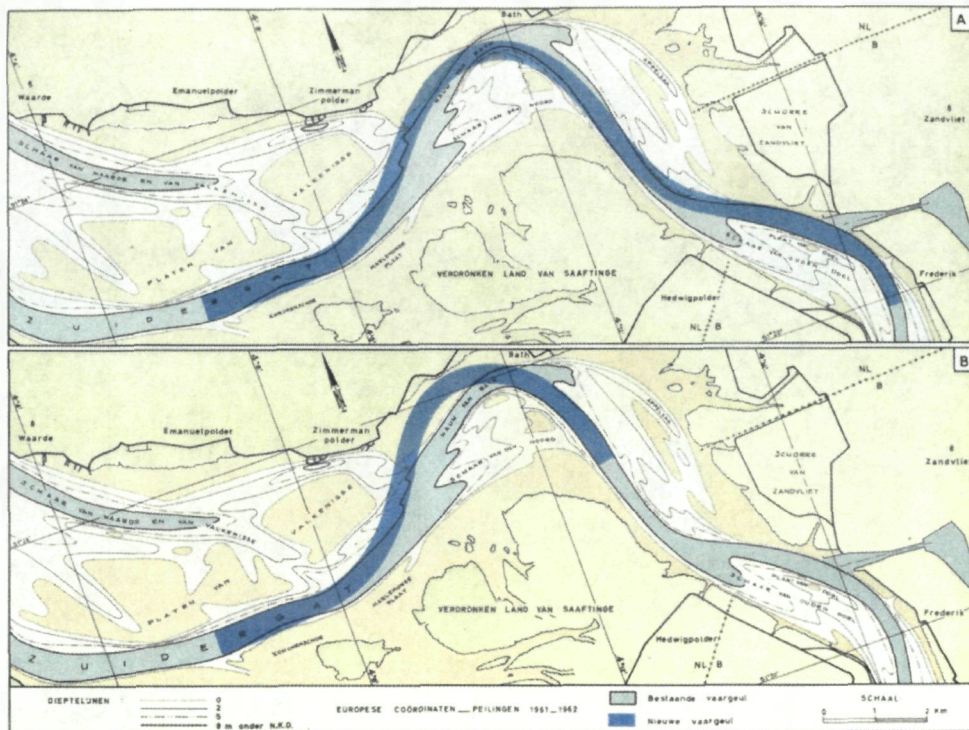
De onderzochte voorontwerpen

Deze voorontwerpen zijn schematisch voorgesteld in de onderstaande figuren; het tracé van de vaargeul is hierin aangegeven. Zij dienen nog aangevuld met zekere werken welke de volgende kunnen zijn:

- taludbeschermingen langs de holle zijde van geulen;
- langsdijken of kribben om de vloedstroom zoveel mogelijk te beteugelen en de ebstroom in het hoofdvaarwater te concentreren;
- leidammen om het zijdelingse kombergingsvolume in de hoofdgeul te brengen.

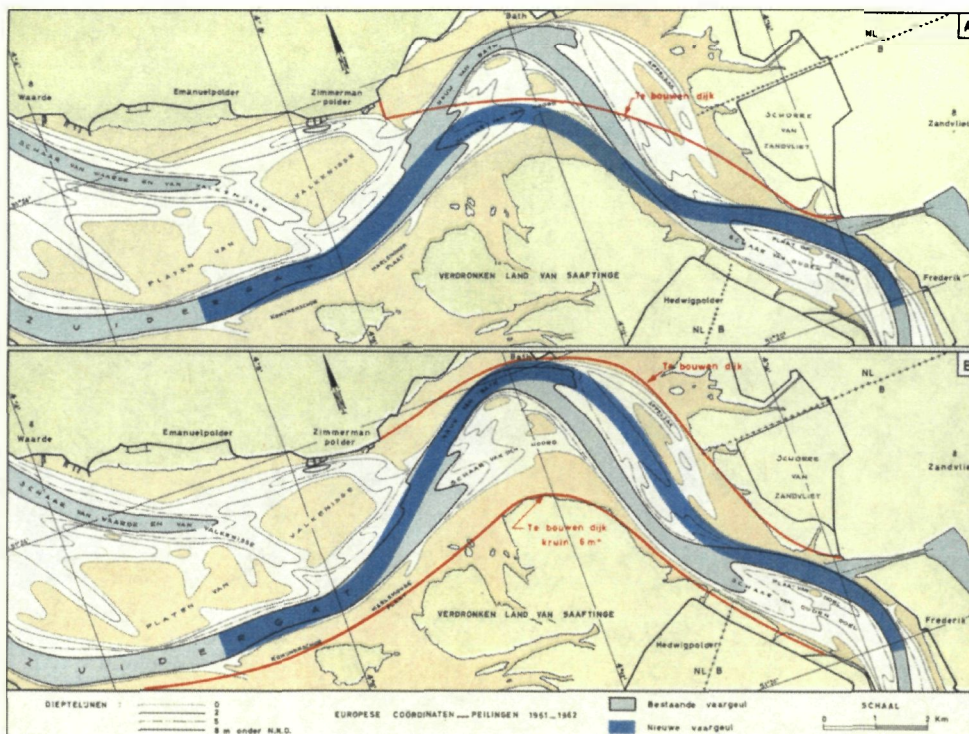
De voorontwerpen kunnen in drie categorieën ingedeeld worden naar gelang het voorgestelde tracé van de vaargeul.

Bij de 1^{ste} categorie wordt het algemeen tracé van de vaargeul behouden en de verbetering gebeurt geleidelijk (ontwerpen A en B).



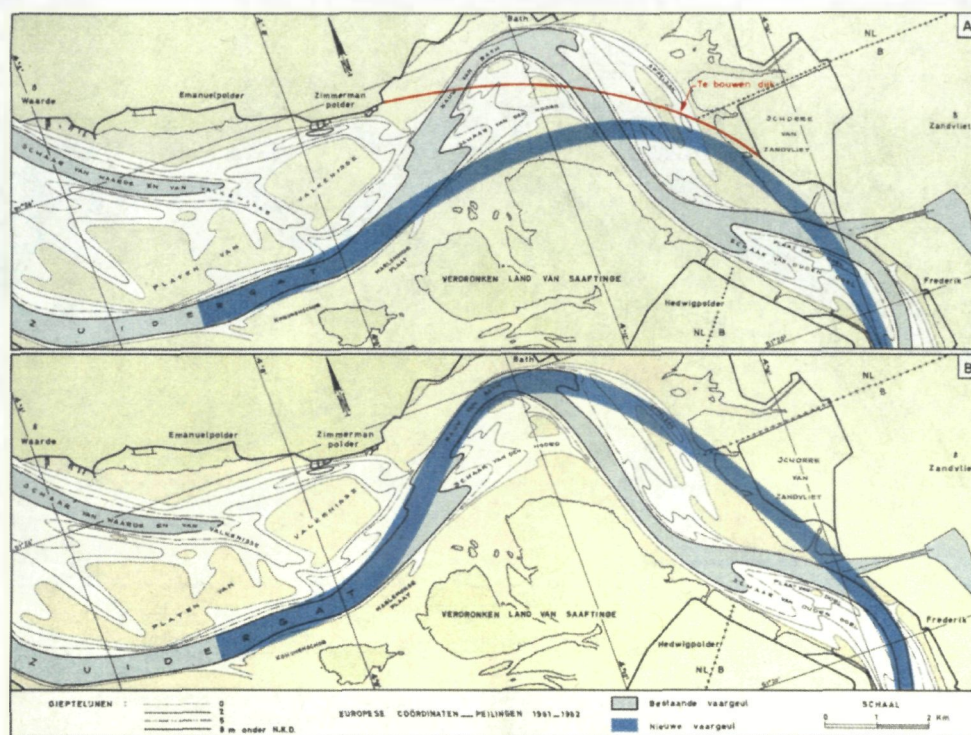
Voorontwerpen 1^{ste} categorie

Bij de 2de categorie wordt in het gebied Zandvliet-Valkenisse een nieuw tracé aan de vaargeul gegeven. Het bestaande aantal buigpunten wordt echter behouden; twee mogelijkheden hierbij zijn: het algemeen tracé van het vaarwater volgt de vloedgeul van de Schaar van de Noord (ontwerp A), ofwel de geul van de Appelzak (ontwerp B).



Voorontwerpen 2^{de} categorie

Bij de 3de categorie wordt in het gebied Zandvliet-Valkenisse het huidige tracé van het vaarwater vervangen door één enkele grote bocht, die een verbinding vormt van het vaarwater aan de overloop van Valkenisse (ontwerp A), dan wel van het vaarwater aan de ingang van de Appelzak (ontwerp B), met de bocht van Zandvliet. De buigpuntzones (en dus de drempels) van Bath en Zandvliet verdwijnen.



Voorontwerpen 3^{de} categorie

Onderlinge vergelijking der voorontwerpen

De eerste fase van het modelonderzoek bestond uit het in grote lijnen bestuderen en onderling vergelijken van deze mogelijke oplossingen, zonder aandacht te besteden aan details.

Voorontwerpen van 1^{ste} categorie

Ontwerp A brengt een merkelijke verbetering van de vaargeul mee, niet alleen wat de geometrische afmetingen, maar ook wat het stromingsbeeld betreft. Door het vastleggen van de holle oever van de bocht van Bath en van de platen van Saaftinge wordt het uitgroeien van deze platen in N.O.-richting bestreden en de natuurlijke evolutie van het platen- en geulenstelsel van Saaftinge, die in bepaalde perioden een slechte toestand op de drempel van Bath veroorzaakt, kan zich niet meer ontwikkelen. De toestand bij Bath wordt stabiel en zal gemakkelijk kunnen worden onderhouden. De diepte in het model op de drempel verkregen komt ongeveer overeen met die welke zich voordoet in de natuur in de gunstigste periode der evolutie.

Verder is de kromtestraal van de bocht van Bath verdubbeld, de vaargeul is verbeterd, zowel stroomopwaarts als -afwaarts van Bath en de intensiteit der dwarsstromen wordt aanzienlijk vermindert.

Ontwerp B verschilt weinig van de vorige. De vaargeul wordt in een ruime bocht door de schorren van Bath-Zimmermanpolder doorgetrokken om benedenwaarts aan te sluiten op het hoofdvaarwater Marlemonsche Plaat-Konijnenschor.

De proeven wezen uit dat de natuurlijke tendens bij de evolutie van het platen- en geulenstelsel van Saaftinge veel meer uitgesproken was en dat de beteugelingswerken bijgevolg veel aanzienlijker dienden te worden dan bij ontwerp A. Voor wat het algemeen tracé betreft en de desbetreffende geometrische afmetingen der vaargeul, geeft deze oplossing resultaten welke die van variant A niet evenaren. Verder is het stromingsbeeld ook eerder ongunstig.

Voorontwerpen van 2^{de} categorie

De uitslagen van deze reeks proeven toonden aan dat deze oplossingen geen gunstige resultaten opleverden, noch op het gebied van de afmetingen der vaargeul, noch wat betreft de stromingen.

Zo heeft bij ontwerp A de breedte van de vaargeul de neiging af te nemen, ondanks de aan de bocht van Bath gegeven grotere kromtestraal, en wel als gevolg van de verzwaring van het stroomopwaarts gerichte transport (veroorzaakt door een toename van de vloedstromingen), waartegenover het transportvermogen stroomaf niet in dezelfde verhouding toeneemt. De toestand op de drempel van Bath is wel in enige mate verbeterd wat de diepte aangaat, maar bij vloed trekken zware dwarsstromingen over deze drempel.

Een ander ongunstig feit is de zeer labiele zone die ontstaat tussen Zandvliet en Bath, waar slechts een vrij korte afstand beschikbaar is voor het inlassen van de tegenbocht, welke de nieuwe bocht van Bath met die van Zandvliet moet verbinden.

Verder verplaatst zich de drempel van Zandvliet enigszins meer stroomopwaarts en verbetert de toestand van deze drempel niet.

De uitslagen der proeven volgens ontwerp B kwamen in grote lijnen met die van ontwerp A overeen. Het opwaarts gerichte zandtransport bleek nog vrij aanzienlijk groter dan het transport naar beneden. De tegenbocht tussen Bath en Zandvliet was nu nog korter, en dus labieler geworden. De drempel van Zandvliet werd ongunstiger dan in de huidige toestand en kwam bovendien nog meer stroomopwaarts te liggen. Verder traden 'bij vloed vrij zware dwarsstromen in het vaarwater op aan de bovenstroomse uitloop der Ballastplaat, juist beneden de toegang tot de sluis van Zandvliet.

De oplossingen brachten in hoofdzaak een verbetering van de hoogwaterbedding mede, terwijl er echter bij normalisatiewerken naar gestreefd moet worden vooral het laagwaterprofiel te verbeteren.

Voorontwerpen van 3^{de} categorie

Ontwerp A verbetert aanzienlijk de vaargeul beneden de sluis te Zandvliet. Als *gunstige* uitslagen der proeven zijn te noteren:

- de breedte en de diepte van de vaargeul in de nieuw geschapen bocht geven volledige voldoening;
- de aansluiting van deze bocht met de bestaande benedenstrooms (Zuidergat) verloopt gunstig. De drempel van Valkenisse is stroomaf verplaatst en lager geworden;
- de stroombanen volgen de bochtvorm buitengewoon goed, zowel bij eb als bij vloed en het gevaar van dwarsstromen bestaat niet meer;
- het wegvallen van de brugpuntzones van Bath en Zandvliet heeft tot gevolg dat het aanzienlijke baggerwerk, dat aldaar in de huidige toestand moet worden uitgevoerd, kan vervallen.

Aan *ongunstige* resultaten is te vermelden:

- de aansluiting stroomop van de grote bocht met de bocht van Doel zal met enige moeilijkheden gepaard gaan; er zullen aanzienlijke geleidingswerken nodig zijn;
- de diepten *in* het vaarwater, juist voor de toegangsgeul van de sluis van Zandvliet, verminderen en het is te vrezen dat in deze toegangsgeul aanzanding zal optreden;
- de hoek gevormd door de as van de sluis met de as van de vaargeul, welke in de huidige omstandigheden 30° is, zal ongeveer 60° worden;
- verdubbeling van de sluis met een 'tweede, die juist stroomop gelegen zou zijn, is praktisch uitgesloten

Wegens de resultaten verkregen met ontwerp A werd ontwerp B niet meer bestudeerd.

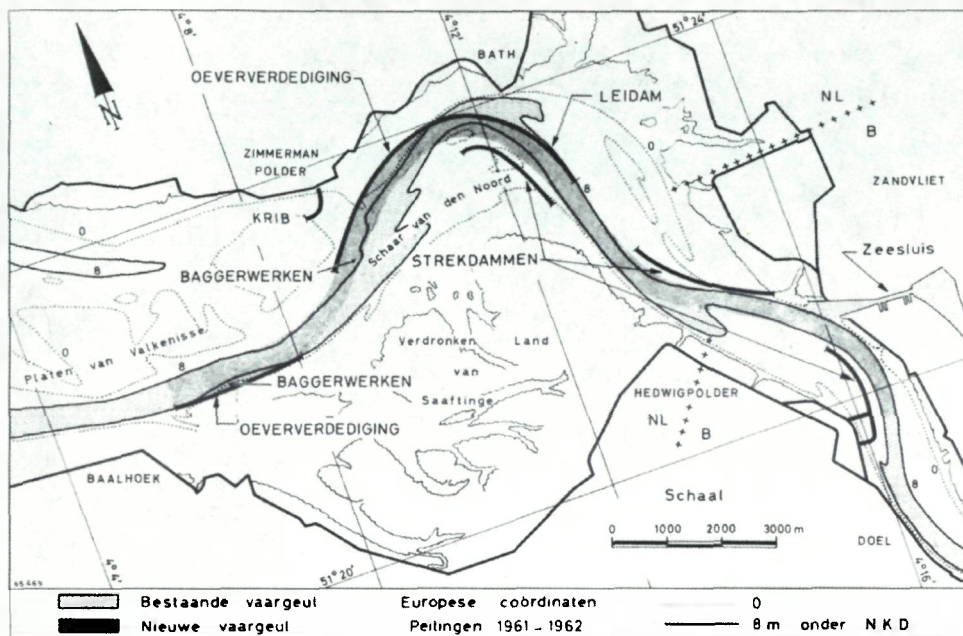
Conclusies

- Oplossingen volgens categorie 2 zijn definitief te verwerpen.
- Ontwerp A van categorie 1 is beter dan ontwerp B van categorie 1.
- De uitvoering van het ontwerp A volgens categorie 1 kan geleidelijk gebeuren met spoedige verbetering van de bevaarbaarheid tot gevolg. Deze verbetering is weliswaar minder vergaand dan die volgens ontwerp A van categorie 2, doch deze laatste kan niet geleidelijk worden uitgevoerd en geeft voorts aanleiding tot bezwaren in de omgeving van de sluis van Zandvliet. De uitvoering van het ontwerp A volgens categorie 3 stelt grote problemen, vooral daar men rekening moet houden met het feit dat de scheepvaart niet gehinderd laat staan onderbroken mag worden.

Daarom werd het Waterbouwkundig Laboratorium opgedragen het ontwerp A van categorie 1 aan een grondig en meer gedetailleerd onderzoek te onderwerpen.

4.8 Verder onderzoek van het aanvaarde voorontwerp voor de normalisatie in de omgeving van Bath (leidammenproject)

Dit ontwerp omvat de uitvoering der volgende werken (zie onderstaande figuur):



- Het aanleggen van strekdammen aan de bovenstroomse uitloop der vloedgeul van de platencomplexen van Doel, Ballastplaat, Saaftinge en Valkenisse, welke de vloedstroom gedeeltelijk beteugelen en naar de overloop der bestaande ebgeul leiden, hierbij tevens de ebstroom meer in het hoofdvaarwater concentrerend. Hierdoor zal (wegens de toename van het zandtransportvermogen) een grotere uitschuring in de vaargeul verwezenlijkt worden, met blijvend grotere natuurlijke diepten als gevolg. De eerder vermelde strekdammen leggen de platengebieden in zekere zin vast en voorkomen het vormen van doorlopende secundaire ebgeulen daarin. Aan zichzelf overgelaten vertonen die platenstelsels evoluties, welke in bepaalde fasen een zeer nadelige invloed hebben op het behoud van het vaarwater; deze natuurlijke evoluties worden tevens door de strekdammen tegengegaan.
- Het enigszins doortrekken van de bocht van Bath door de bestaande slikken van Bath-Zimmermanpolder ter hoogte van het Nauw van Bath verschaft een ruimer verloop aan deze thans zeer scherpe bocht.
- Het doortrekken van de holle oever van de bocht van Bath langs de Appelzak door middel van een leidam geeft aan deze bocht een continu verloop, verruimt de bochtvorm, concentreert de ebstroom meer in het vaarwater en draagt bij tot het bestrijden van het opdringen van de Plaat van Saaftinge in noordoostelijke richting.
- Het wegnemen van de uitsprong onder de linkeroever ter hoogte van de Marlemonsche plaat, ten einde een continu verloopende holle oever te verkrijgen en zodoende een regelmatig vaarwater, heeft bewezen gunstig te zijn voor het behoud der diepten op de drempel van Valkenisse.
- Taludbekledingen langs de holle zijde van de bocht van Bath en ter hoogte van de Marlemonsche plaat, ten einde een verdere aantasting te verhinderen en de vaargeul in definitieve vorm vast te leggen.

Aangenomen mag worden dat het uitvoeren van het ontwerp tot gevolg zal hebben dat:

- het enerzijds mogelijk zal zijn de huidige diepte der vaargeul in stand te houden met aanzienlijk minder onderhoudsbaggerwerk dan thans noodzakelijk, dan wel anderzijds, bij handhaving van onderhoudsbaggerwerk van gelijke omvang als thans, een grotere diepte in de vaargeul zal kunnen worden in stand gehouden; de scheepvaart minder hinder zal ondervinden van dwarsstromen optredend tijdens de vloed;

- de ruimere bocht van Bath gemakkelijker en veiliger zal zijn te bevaren, m.a.w. de nadelen verbonden aan de omgeving van Bath zullen verdwijnen.

De gedetailleerde studie van het ontwerp had betrekking op de aard, de juiste situering en hoogteligging der uit te voeren werken. In dit verband werden de volgende punten onderzocht:

De leidam onder de holle oever van de bocht van Bath Een van de eerste hoofdpogaven was het bepalen van de situatie en de kruinhoogte van de leidam onder de holle oever van de bocht van Bath door de Appenzak, welke leidam in zeer diep water (15 à 20 m onder G.L.W.) komt te liggen, en wanneer hij als overstroombaar werd aangenomen, aanleiding zou geven tot achterloopsheid. Daarom werd allereerst nagegaan of het niet mogelijk was de continuïteit en de bochtgeleiding te bewaren niettegenstaande deze holle oever, ter hoogte van de ingang tot de Appenzak, over een zekere lengte onderbroken zou zijn.

Voorts was het (in verband met eventueel latere toekomstplannen) niet raadzaam ter hoogte van Bath de ingang tot de Appenzak met een leidam af te sluiten, maar deze vloedschaar af te snijden in een punt verder opwaarts gelegen. De proeven werden daarom uitgevoerd met deze leidam aangelegd onder de rechteroever aan de benedenpunt der Ballastplaat, daarbij de ingang tot de Appenzak over een lengte van circa 1000 m vrij latend. De werken beneden de Ballastplaat waren er steeds op ingesteld elke *stroming* door de Appenzak uit te sluiten en deze dus als een soort tij arm der Schelde te beschouwen. Hierbij werd steeds bijzondere aandacht besteed aan de verdediging van de bovenstroomse punt van deze leidam.

De modelproeven werden uitgevoerd op het Model van de Schelde van Hansweert tot aan de sluizen van de Haven van Antwerpen (M119).

Verskillende vormgevingen van de toegang tot deze tijarm, alsmede de maximaal toelaatbare onderbreking in de leidam onder de rechteroever werden onderzocht. De proeven wezen uit dat, ingeval de onderbreking de 1000 m niet overschrijdt en met een gepaste vormgeving aan de ingang, de continuïteit van de bocht niet verstoord wordt en de geleiding van de stroming door deze bocht op dezelfde wijze geschiedt alsof de holle oever over de gehele lengte aanwezig is; de rand van de Plaat van Saafinge aan de overzijde wordt niet beïnvloed door de onderbreking en blijkt niet in N.O.-richting op te dringen.

Dit onderzoek gebeurde slechts met een homogene watermassa en zou later eventueel moeten worden herhaald met een niet homogene watermassa, daar zich eventueel densiteitsstromingen aan de ingang van deze tij arm kunnen voordoen, welke het stromingsbeeld en de bodemconfiguratie zouden kunnen beïnvloeden.

Echter is, ondanks deze laatste beschouwing, de conclusie gerechtvaardigd, dat de geleiding van de holle oever door de Appenzak heen, over een lengte van circa 1000 m kan ontbreken, juist ter plaatse van de van nature aanwezige overmatig grote diepten.

Strekdammen bovenstrooms van de platencomplexen Reeds tijdens de allereerste proeven werd gevonden dat het absoluut noodzakelijk was deze strekdammen bij vloed zo laag mogelijk en zoveel mogelijk overstroombaar te houden, ten einde te vermijden dat zich aan het kopeinde te grote snelheidsconcentraties voordoen, die 1) aldaar grote uitschuringen zullen veroorzaken en het behoud der werken in gevaar brengen, en 2) grote dwarsstromingen en neren in het vaarwater doen ontstaan, welke absoluut ongewenst zijn voor de scheepvaart.

Anderzijds was het echter nodig om de vloedstroom (en hoofdzakelijk de maximale vloedstroom, welke over de platen gericht is en schuin of dwars in het vaarwater terechtkomt) zoveel mogelijk te beteugelen, hetgeen slechts het geval is bij een vrij hoog reikende overstroombare strekdam. Verder is een grotere stroomconcentratie bij eb in het vaarwater ook slechts mogelijk bij een zo hoog mogelijk reikende strekdam. Het is wel duidelijk, dat hier naar een zo goed mogelijk compromis moest worden gezocht tussen beide tegenstrijdigheden.

Het meest voldoening schenkt de oplossing waarbij in het algemeen deze strekdammen dienen te worden aangelegd met de kruin op halftijhoogte nabij de oever en vervolgens horizontaal voortlopend naar de kop van de strekdam toe, ofwel tot halverwege deze lengte horizontaal en vervolgens geleidelijk onder zeer flauwe helling aflopend naar het peil van gemiddeld laagwater aan het kopeinde; een en ander naar gelang van aard en hoogteligging van het aangrenzende platengebied.

Er dient de aandacht op te worden gevestigd, dat het absoluut noodzakelijk is deze strekdammen goed aan de oever aan te sluiten om eventueel een achterloopse stroming te voorkomen. Verder moet aan

weerszijden van de overstroombare strekdam een goede bodembescherming tegen uitschuring worden aangebracht.

Invloed der stortingen van baggerspecie in de Schaar van de Noord Aangezien het verbeteringsontwerp nog altijd bepaald onderhoudsbaggerwerk zal vereisen zal het probleem van de keuze der stortplaatsen voor deze baggerspecie ook in de toekomst actueel blijven. Daar een groot deel der specie thans in de ingang van de Schaar van de Noord gestort wordt, werd eveneens nagegaan wat de invloed zal zijn van deze stortingen op het behoud van het vaarwater, in het bijzonder ter hoogte van de drempel van Bath en de bocht van Bath. De proeven werden uitgevoerd rekening houdend met stortingen in de natuur naar rato van 1,2 à 1,5 10^6 m²/a.

Uitgaande van een zich in natuurlijke toestand bevindende Schaar van de Noord (ongeveer overeenkomend met die van 1921) werd gevonden dat de Schaar zich geleidelijk zal opvullen, tot een bepaalde evenwichtstoestand is bereikt. In het model deed zich deze toestand voor na circa het 100ste getij, hetgeen overeenkomt met circa 7 jaren in werkelijkheid. De totaal waargenomen opvulling in het model kwam overeen met rond 7 $\cdot 10^6$ m³ in werkelijkheid. Voortzetting der stortingen veroorzaakt geen verder opvullen van de Schaar van de Noord meer; al het nadien gestorte materiaal wordt door de stroming meegenomen en zet zich gedeeltelijk af in het vaarwater langs de rand der platen van Saafinge en op de drempel van Valkenisse, wat bijgevolg ongunstig is voor het behoud van de vaargeul.

Wordt echter, na het bereiken van de evenwichtstoestand, voortgegaan met storten van specie naar rato van circa 750 000 m³/a, dan blijkt dit volume juist voldoende om de opgevlude Schaar van de Noord in evenwichtstoestand te houden en treedt geen ongunstige weerslag op voor het behoud van het vaarwater; zelfs wordt de diepte ter plaatse van de drempel van Bath in gunstige zin beïnvloed.

Daar het nabootsen van deze laatste stortingen in het model meer met de toekomstige werkelijkheid zal overeenkomen, werd het merendeel der proeven uitgevoerd inclusief storting van baggerspecie in de Schaar van de Noord naar rato van circa 750000 m³/a.

Invloed van een kunstmatige 'verondieping' van het vaarwater in de bocht van Bath. In de bocht van Bath komen diepten voor, die variëren van 15 tot 20m beneden gemiddeld laagwaterpeil. Daar voor de scheepvaart deze grote diepte niet nodig is, werd nagegaan of een kunstmatige 'verondieping' dezer bocht niet ten goede zou kunnen komen aan een natuurlijke verbreding van het vaarwater aldaar. Hierop werden een aantal proeven afgestemd en de resultaten toonden aan dat:

- de verondieping slechts zeer weinig bijdraagt tot natuurlijke verbreding der geul;
- vrij spoedig grote, ontoelaatbare snelheden gaan optreden in de vaargeul;
- de vloedstroom over het platengebied vrij spoedig in aanzienlijke mate gaat toenemen;
- de invloed van deze kunstmatige verondieping zich tot zeer ver bovenstrooms doet voelen;
- het tijregime in aanzienlijke mate wordt beïnvloed en er een ware afremming van de tijgolf optreedt

Invloed van de werken bij Bath op het vaarwater bij Zandvliet

Alle proeven wezen uit dat de invloed der werken zich vrij ver stroomopwaarts uitstrekt en dat bijgevolg de werken uitgevoerd in de omgeving van Bath een zekere ongunstige invloed hebben op het behoud van het vaarwater in de omgeving van de in aanbouw zijnde zeesluis te Zandvliet. Om dit te verhelpen bleek het noodzakelijk om bovenstrooms van de zeesluis te Zandvliet onder de linkeroever over de platen van Doel een vrij laag gelegen strekdam, (iets boven L.W. reikend) aan te leggen, en deze dam, zoals de proeven uitwezen, in eerste instantie aan te leggen, bijgevolg nog vooraleer met enige andere werken in de omgeving van Bath begonnen wordt. Deze strekdam mag, volgens de proeven, niet op de normale hoogte zoals de andere strekdammen komen, daar dan de invloed zich verder stroomopwaarts zou gaan verplaatsen en men zich aldaar weer voor hetzelfde probleem geplaatst zou zien.

Invloed der werken op het tijregime.

De proeven uitgevoerd met de rivier in de uiteindelijke nieuwe toestand hebben aangetoond dat praktisch gesproken geen wijziging in het tijregime zal optreden.

Volgorde van de werken bij uitvoering

De studie heeft de volgende uitslagen gegeven:

1) Het is noodzakelijk de strekdam op de Plaat van Doel in eerste instantie aan te leggen. Deze strekdam oefent een gunstige invloed uit op het behoud van het vaarwater in de bocht van Zandvliet door:

- a) de uitwerking van de Plaat van Doel naar het vaarwater toe in zekere mate tegen te werken;
- b) een verruiming van het vaarwater tussen Doel en Zandvliet in de hand te werken. De kruinhoogte van deze strekdam mag slechts even boven laagwater reiken, om geen te aanzienlijke toename van de vloedstroom onder de rechteroever afwaarts Lillo te veroorzaken. Op de situatie van het vaarwater bij Bath oefenen deze werken in het geheel geen invloed uit.

2) Proeven uitgevoerd met toevoeging van de strekdam op de Ballastplaat wezen uit dat hij, in eerste instantie, ongeveer dezelfde kruinhoogte diende te verkrijgen als deze op de Plaat van Doel. Een hooggelegen dam zou aanleiding geven tot grote dwarsstromingen over de drempel van Zandvliet en tot zware stroomconcentraties omheen het noordelijk kopeinde van de strekdam, zodat aldaar grote ontgrondingen zouden ontstaan. De toevoeging van deze laaggelegen strekdam op de Ballastplaat heeft ook nog geen invloed op de situatie van het vaarwater bij Bath.

3) Proeven uitgevoerd met toevoeging aan de hierboven vermelde werken van de strekdam op de platen van Saaftinge wezen uit dat hierdoor een gevoelige verbetering van het vaarwater bij Bath optreedt. Doorheen de Appenzak is een lichte toename van de vloedstroom tijdens begin van vloed mogelijk, toename welke echter aanzienlijker zijn zal bij afwezigheid van hogervermelde strekdam op de Ballastplaat. De grotere stroomconcentratie bij eb in het vaarwater van het Nauw van Bath, verschijnsel dat nagestreefd wordt, brengt een toename van de oeveraanval op de rechteroever van het vaarwater in het Nauw van Bath mede, zodat de geplande bochtverbetering en oeverbekleding aldaar praktisch samen moeten gaan niet de aanleg van de strekdam op de Platen van Saaftinge.

4) Verwezenlijking van de bochtverruiming van het Nauw van Bath, vóór de aanleg van de strekdam over de Platen van Saaftinge, valt ongunstig uit voor het behoud van het vaarwater. Toevoeging van de strekdam over de Platen van Saaftinge brengt onmiddellijk de gewenste verbetering van het vaarwater.

5) De proeven tonen aan dat de werken doorheen de afwaartse ingang van de Appenzak voor verbetering van het eigenlijke vaarwater bij Bath niet zo heel veel baat bijbrengen en dat hetzelfde effect kan bekomen worden met de uitvoering van baggerwerken op de noord oostelijke rand der Plaat van Saaftinge. Deze werken doorheen de Appenzak moeten dan vooral gezien worden in het kader van het scheppen van een toegang van de havendokken tot de Schelde welke afwaarts van de huidige toegangen zou gelegen zijn, namelijk langsheen de ingang van de Appenzak.

De volgorde van uitvoering der werken wordt aldus:

- 1) strekdam op de Plaat van Doel;
- 2) strekdam (laaggelegen) op de Ballastplaat
- 3) strekdam op de Platen van Saaftinge en aanvang van de verruiming en de oeverbekleding van de rechteroever van het vaarwater van het Nauw van Bath;
- 4) werken Zimmermanpolder; wegbaggeren van de uitsprong op de linkeroever ter hoogte van de Marlemonsche Plaat en aanbrengen van de oeverbekleding aldaar;
- 5) later, zo eventueel de noodzaak tot het scheppen van een toegang ter hoogte van de Appenzak van de dokken met de Schelde werkelijkheid wordt, uitvoering van de leidam langsheen de Appenzak en verhoging van de strekdam over de Ballastplaat tot op zijn definitieve cotas.

Uitvoering van de werken

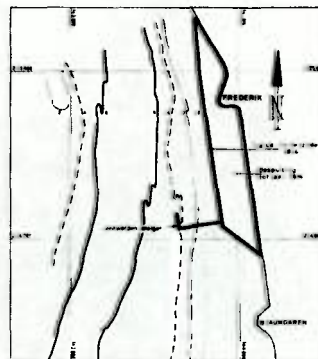
Dit project werd slechts gedeeltelijk uitgevoerd. Zo werden enkel de leidammen over de Ballastplaat en de Plaat van Ouden Doel, beiden op Belgisch grondgebied gelegen, op het einde van de jaren zestig uitgevoerd.

4.9 Proeven in verband met het aanvullen van de Schorre bij Frederik.

Het doel van deze studie was de weerslag te onderzoeken van een opspuiting van de schorre vóór Frederik voor de petroleumraffinerij van de firma Albatros.

De modelproeven werden uitgevoerd in 1966 op het Model van de Schelde van Hansweert tot aan de sluisen van de Haven van Antwerpen (M119), waarbij het stroombeeld bij gemiddeld tij met behulp van oppervlaktedrijvers werd vastgelegd.

De proeven wezen uit dat er zich geen merkelijke wijzigingen voordeden noch wat betreft de richting noch wat betreft de grootte van de snelheden in de omgeving van de opspuitingen.



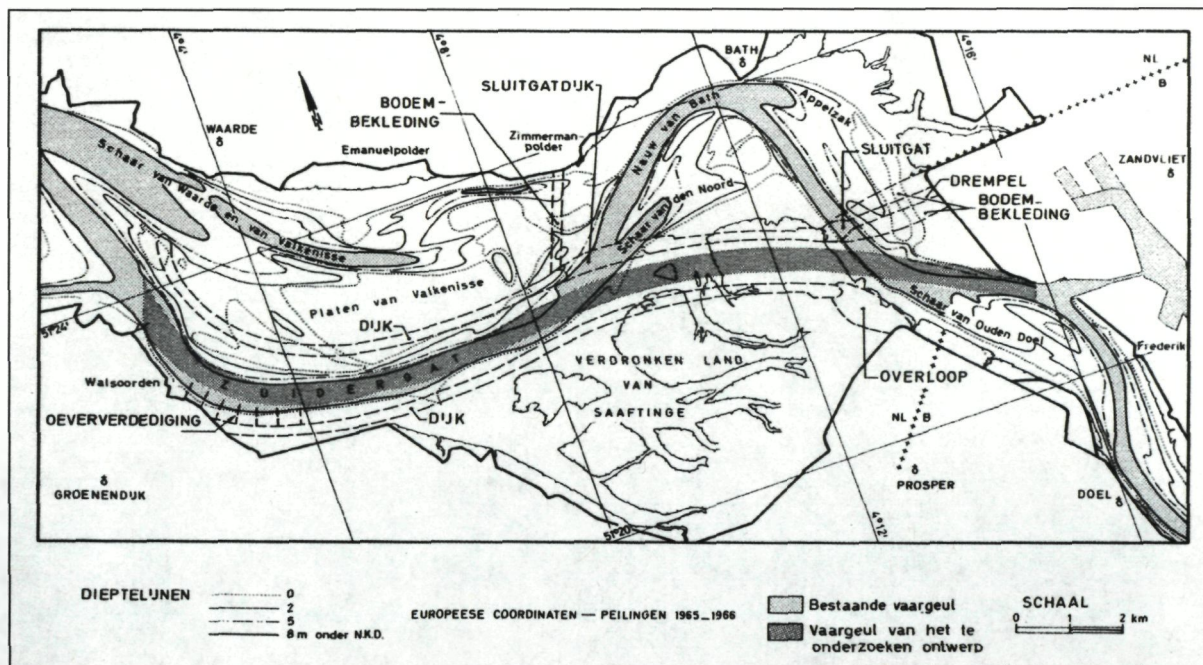
4.10 Proeven over de doorsteek doorheen het Verdronken Land van Saaftinge

Proeven uitgevoerd in 1968-1969 op het Tijoverzichtsmodel van de Schelde (M300).

Het onderzoek werd in 2 fasen uitgevoerd.

In eerste instantie werd het waterloopkundig aspect van het doorsteekproject bestudeerd, alsmede werd getracht door interpretatie en vergelijking van de resultaten met de begintoestand een idee te verwerven over de eventuele wijzigingen van de rivierbodem.

In de daaropvolgende fase werden de proeven uitgevoerd, waarbij in het model plaatselijk een beweegbare bodem was aangebracht.



Ontwerp voor de verbetering van de Schelde

Bij het modelonderzoek werden voorafgaandelijk bepaalde gerechtvaardigde aanpassingen aan het project aangebracht.

- De ligging en vorm van de overlaat in het vaarwater boven Bath en op de Ballastplaat werden aangepast aan de toen in uitvoering zijnde leidam op de Ballastplaat.
- De voorgestelde bodembekleding ter hoogte van de Zimmerman over de platen van Valkenisse werd weggelaten
- De oeververdediging en uitbouw van de oever ter hoogte van Walsoorden werd weggelaten.

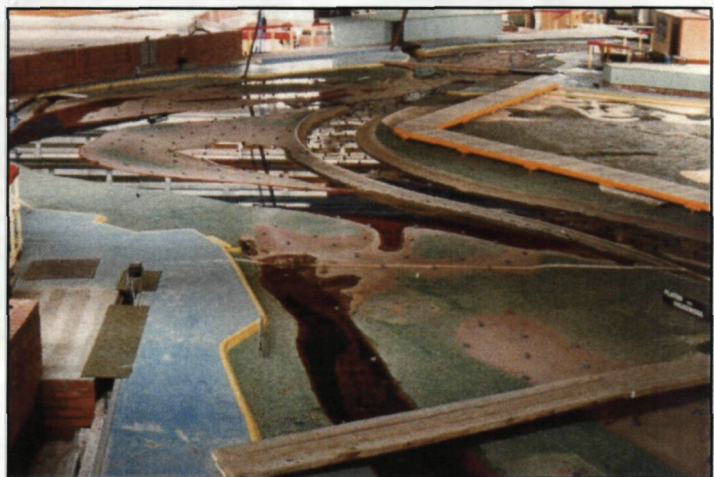
- De leidam over de plaat en de Schaar van Ouden Doel, welke voltooid is, werd in het model ingebracht.
- De voorziene overloop aan het oostelijk uiteinde van het Land van Saaftinge werd niet in model ingebracht.

Besluiten

1. Nautisch zal de doorsteek in het gebied Walsoorden-Zandvliet een merkbare verbetering voor de zeescheepvaart betekenen en zal de toegangsmogelijkheid tot de haven van Antwerpen vergroten.
2. Opschuiving naar opwaarts van de Platen van Valkenisse met afvlakking en inscharing van dit platengebied en verruiming en verschuiving naar opwaarts van de Schaar van Waarde is te verwachten, samen met opslibbing en aanzanding opwaarts Zimmermanpolder in het bekken ten Noorden van de doorsteek.
3. Opwaarts de doorsteek en in de omgeving van Antwerpen kunnen de hoogwaterstanden bij hoog springtij met circa 10 à 15 cm stijgen: hieruit volgt dat het doorsteken van het Verdrongen Land van Saaftinge een ongunstige weerslag kan hebben op de stormvloed hoogwaterstanden in het opwaarts gelegen gebied.
4. Een onoverstroombare dijk over het platengebied van Valkenisse is af te raden. Vastlegging van de platen van Valkenisse, op de plaats van deze geprojecteerde dijk door middel van een leidam met kruin op halftijhoogte, samen met de afsluiting van de huidige vaargeul aan de drempel te Valkenisse (kruin op halftijhoogte) is wenselijk om vorming van sekundaire vloed- en ebgeulen doorheen het platengebied van Valkenisse te beletten en bijgevolg het ontstaan van hinderlijke dwarsstromen in het Zuidergat te voorkomen.
5. De doorsteek dient bij de uitvoering een ruime sectie onder laagwater te krijgen. Een bodembreedte van 400m is verkieslijk. De te realiseren bodemdpte, welke door de natuur kan in stand gehouden worden, zal minstens NKD-10.00m bedragen.
6. De kruinhoogte van de overlaat en van de afsluitdijk ter hoogte van de Ballastplaat aan de opwaartse zijde van het Noordelijk bekken ligt bij voorkeur op cota NKD+2.50m, waarbij dan nog eventueel een opening in de afsluitdijk kan gelaten worden, op voorwaarde echter dat de breedte hiervan niet groter is dan 200m en de diepte niet meer bedraagt dan NKD-4.00m.
7. De afsluiting van het bestaande vaarwater te Zandvliet en te Valkenisse moet zo vlug mogelijk volgen op de indienststelling van de doorsteek met voorrang voor de opwaarts gelegen afsluitdijk.
8. Het stroombeeld in de omgeving van de Zandvlietsluis ondergaat grondige wijzigingen door het invoeren van de doorsteek.
9. De nieuwe drempel in de omgeving van Valkenisse zal qua onderhoud gunstiger uitvallen in vergelijking met de huidige drempel van Valkenisse. Het onderhoud van de drempel van Zandvliet zal ongeveer overeenkomen met de huidige toestand.
10. De baggerwerken voor dit doorsteekproject kunnen de nodige hoeveelheden zand opleveren voor de uitbreiding van industrievestingen op de Scheldeoevers afwaarts Antwerpen.

4.11 Bochtafsnijding bij Bath (noordelijk tracé)

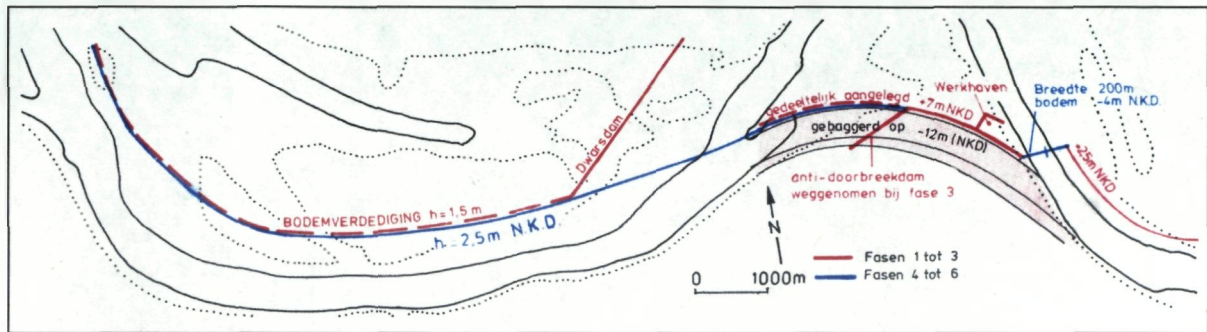
Door de Nederlandse delegatie werd op de vergadering van de Technische Scheldec commissie een zeker voorbehoud gemaakt over een aantal deelaspecten van het doorsteektracé (zie hoger). Ook werd een meer noordelijk gelegen en minder gestrekt tracé van de nieuwe vaargeul voorgesteld. Het laboratorium werd gevraagd dit voorstel op zijn waterloopkundige merites en uitvoerbaarheid te onderzoeken.



Deze proeven werden uitgevoerd in 1971 op het Tijoverzichtsmodel van de Schelde (M300)..

Uitgevoerd onderzoek:

- *Waterloopkundig modelonderzoek van het noordelijk tracé in zijn eindtoestand.*
Deze proeven uitgevoerd met het springtij van 04.11.1967 op een model met een vaste bodem ten zuiden van de leidam en een beweegbare bodem ten noorden hiervan. Later werd het gedeelte met beweegbare bodem vervangen door een vaste bodem.
- *Modeluitslagen in verband met het orienterende bouwfase-onderzoek van het noordelijk tracé.*
In verband met de uitvoeringsmogelijkheden van het weerhouden doorsteekproject (zie figuur) werd een uitvoeringsschema bestudeerd, dat zes bouwfasen omvatte.



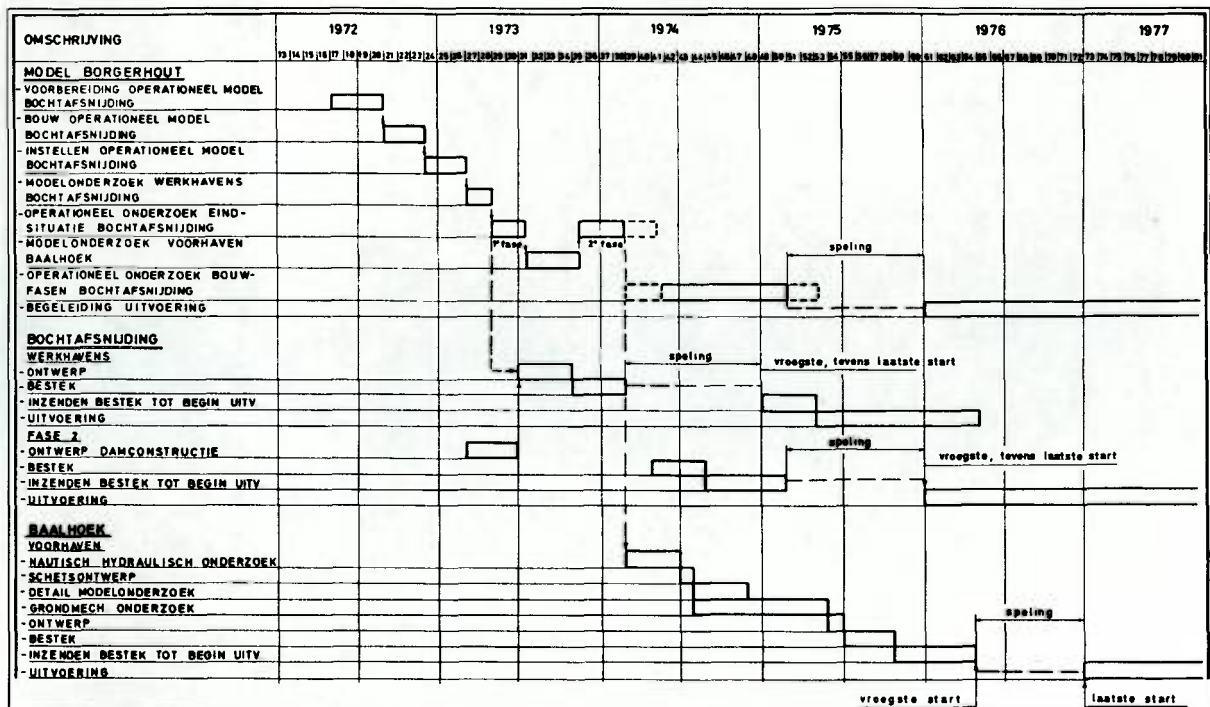
Besluiten:

- Het noordelijk tracé biedt waterloopkundig minstens een evenwaardige oplossing als het zuidelijke tracé. De eindtoestand (bovenstaande figuur) aangevuld met een bodemverdediging op de Platen van Valkenisse verdient de voorkeur.
- Mits in achtname van een aantal specifieke maatregelen levert de uitvoering in zes fasen geen onaanvaardbare toestanden. Een operationeel model is nodig voor de directe voorbereiding en de uitvoering van de werken. De overschakeling van de scheepvaart dient zo vlug mogelijk te gebeuren na het wegbaggeren van de antidoorbreekdam omwille van te verwachten grotere onderhoudsbaggerwerken in het vaarwater afwaarts de Bocht van Bath.

4.12 Operationeel onderzoek van de Bochtafsnijding bij Bath

In 1972 kwam er een princiepsakkoord tussen Nederland en België tot stand in verband met het tracé van de Bochtafsnijding bij Bath en de ligging van de toegangseul tot de Baalhoeksluis. Ook werd besloten verdere modelproeven uit te voeren op het overzichtsmodel van de Westerschelde in het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout voor het operationeel onderzoek van deze bochtafsnijding (voorbereiding en volgen van de werken tijdens de uitvoering) en ook voor de vormgeving van de toegangseul tot de Baalhoeksluis.

Door werkgroepen van de technische Scheldecommissie en de Baalhoekcommissie werd een algemeen tijdsschema opgesteld voor deze proeven in het kader van de tijdsplanning van de werken in de hypothese dat deze in de loop van 1975 zouden aanvangen.



De modelproeven werden uitgevoerd op het Tijoverzichtsmodel van de Schelde (M300). Ook werd besloten in het gebied tussen Hansweert en Doel de bodemconfiguratie van 1965 van dit model te vervangen door deze van 1971. Na deze aanpassing werd terug overgegaan tot de ijking van het model.

Werkhavens Saaftinge en Appelzak

In de aanvangsfase van de geplande bochtafsnijding bij Bath dienden voor de aanvoer en afvoer van materialen naargelang de omstandigheden één of twee werkhavens gebouwd te worden.

Het onderzoek van de verschillende voorgestelde projecten dienden op hun waterloopkundige en nautische merites onderzocht te worden. Dit onderzoek gebeurde door de oppervlaktesnelheden in omgeving van de inplanting te vergelijken met de initiële toestand.

Deze proeven werden uitgevoerd in 1973.

Besluiten:

- De werkhaven in de Appelzak, zoals ze oorspronkelijk gepland werd, zal nautisch en hydraulisch geen problemen meebrengen, maar onderhoudsbaggerwerk in de vaargeul naar en in de werkhaven zelf is nodig.
- Voor de werkhaven op de platen van Saaftinge lijkt een optimale ligging en vormgeving moeilijk te realiseren.

5 TOEGANGSGEULEN TOT ZEESLUIZEN

5	TOEGANGSGEULEN TOT ZEESLUIZEN	1
5.1	ZANDVLIETSLUIS.....	2
5.1.1	<i>Proeven in verband met de kalibreringswerken op de Schelde in de omgeving van de nieuwe Zandvlietsluis M119-3</i>	2
5.1.2	<i>Slib- en zandafzetting in de toegangsgemaal tot de zeesluis van Zandvliet M277</i>	3
5.1.3	<i>Slib- en zandafzetting in de toegangsgemaal tot de zeesluis van Zandvliet. Invloed van de koelwaterafname door BASF M286</i>	4
5.2	SLUIS VAN HINGENE.....	4
5.2.1	<i>Uitmonding van het Zeekanaal van Brussel in de Schelde M214-1</i>	4
5.2.2	<i>Oriënterend modelonderzoek Toegangsgemaal Zeesluis Hingene</i>	6
5.3	BOERINNESLUIS.....	7
5.4	KALLOSLUIS.....	8
5.4.1	<i>Modelstudie van de toegangsgemaal tot de zeesluis te Kallo</i>	8
5.4.2	<i>Uitvoering verdiepingsbaggerwerken in de toegangsgemaal naar de zeesluis Kallo M302/2</i>	8
5.5	BAALHOEKSLUIS.....	9
5.6	BERENDRECHTSLUIS.....	10
5.6.1	<i>Toegangsgemaal tweede Zandvlietsluis M410</i>	10
5.7	SLUIS TE TERNEUZEN.....	10
5.7.1	<i>Modelonderzoek Westbuitenhaven Terneuzen (Mod. 426)</i>	10
5.7.2	<i>Nieuwe zeesluis te Terneuzen (Mod. 445)</i>	12
5.8	ROYERSLUIS.....	14
5.8.1	<i>Toegangsgemaal Royerssluis (Mod. 497)</i>	14

De functie van een toegangsgeul of voorhaven bestaat erin de scheepvaart op een soepele en veilige manier naar en vanuit een rivier of sluis te verzekeren.

Speciale aandacht dient besteed aan inplanting in de oever en vormgeving van deze toegangsgeul, daar zij een voorname rol spelen bij de uitwisselingsstromingen welke aan de basis liggen van mogelijke aanslibbingen.

Modelproeven en terreinmetingen werden uitgevoerd voor de toegangsgeulen tot de Zandvlietsluis, de sluis van Hingene, de Boerinnesluis, de Baalhoeksluis, de Kallosluis, de Berendrechtsluis, de zeesluis van Terneuzen en de Royerssluis.

Naast de studie van inplanting en vormgeving werd voor de meeste van deze infrastructuurwerken ook vulling en lediging van de sluisen zelf op model bestudeerd. Deze studies zijn niet in dit overzicht opgenomen.

Na de oprichting in 1987 van een nautische sectie binnen het Laboratorium werden op de scheepsmanoeuvresimulator simulatievaarten uitgevoerd voor het in- en uitvaren van toegangsgeulen en van buitenmaatse schepen in de sluisen zelf.

5.1 Zandvlietsluis

5.1.1 Proeven in verband met de kalibreringswerken op de Schelde in de omgeving van de nieuwe Zandvlietsluis M119-3

De bouw van de nieuwe zeesluis te Zandvliet brengt mede dat de rechteroever van het vaarwater over een grote lengte onderbroken wordt, hetgeen zekere wijzigingen in de configuratie van de rivierbedding zou kunnen teweegbrengen.

Het doel der studie was bijgevolg:

- Na te gaan welke invloed deze onderbreking in de oever zal hebben op het behoud van het vaarwater in de omgeving van de toegangsgeul tot de sluis.
- Middelen te bestuderen welke de eventueel ongunstige weerslag op het behoud van het vaarwater zouden neutraliseren.
- Na te gaan of het niet mogelijk was de vaargeul in de omgeving van de toegangsgeul te verbeteren door kalibreringswerken.

Aangezien het te bestuderen riviervak zich dicht bij het opwaartse bovineinde van het model bevindt, diende dit model tot Oosterweel verlengd te worden (zie hoger).

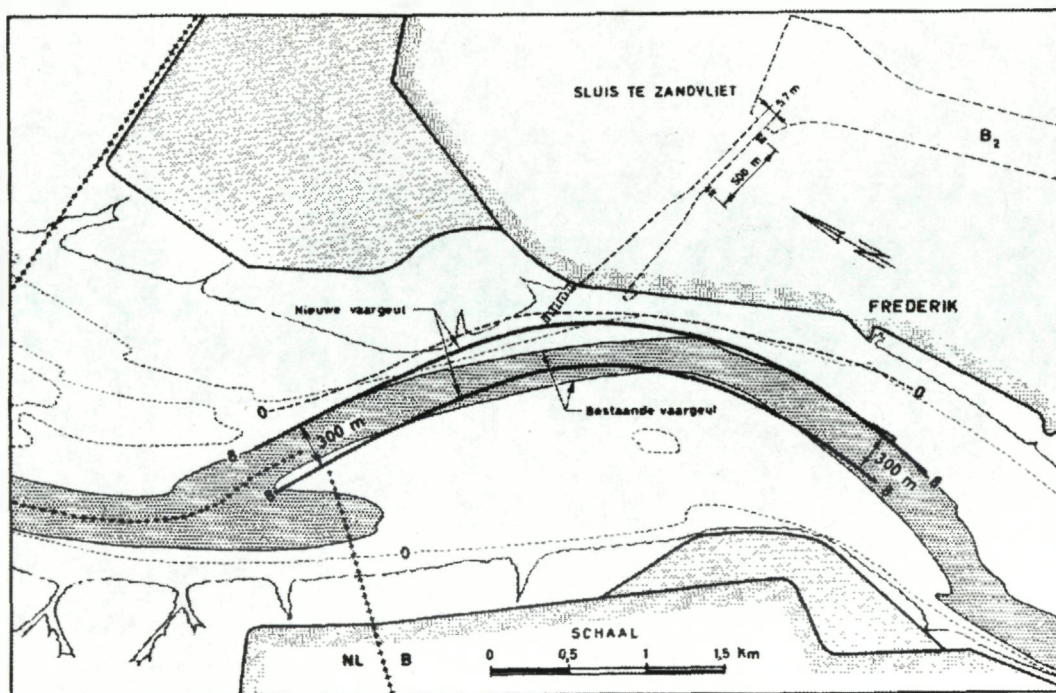
Het vak van de rivier dat in beweegbare bodem aangebracht werd strekte zich uit van de Nederlandse grens (R.O.) tot Lillo. Het bleek nodig het verschil in densiteit tussen de polystyreenkorrels en het water te verminderen om hun beweegbaarheid te vergroten. Dit kon door het toevoegen van natriumcarbonaat aan het modelwater.

Er werd met springtij gewerkt.

De proeven hebben tot volgend resultaat geleid:

- Het aan leggen van leidammen onder de linkeroever over de Plaat en Schaar van Ouden Doel heeft voor gevolg het verslechteren van de toestand in de omgeving van de zeesluis.
- Een aanzienlijke verbetering van het vaarwater in de omgeving van de toegangsgeul wordt verkregen door de normalisatie van de rechteroever van het vaarwater.
- Een breedte van 300m tussen de -8.00m dieptelijnen in de omgeving van de sluis, wordt alleen bekomen door, samen met bovenvermelde normalisatie, de ingang van de toegangsgeul tot de sluis te vernauwen.

Dit leidde tot het voorgestelde ontwerp uit onderstaande figuur.



Voorgesteld ontwerp kalibreringswerken in de omgeving van de nieuwe zeesluis te Zandvliet.

5.1.2 Slib- en zandafzetting in de toegangsegul tot de zeesluis van Zandvliet M277

Onmiddellijk na de indienstneming van de sluis (juli 1967) werd gestart met de studie van de aanslibbing van de toegangsegul.

Daartoe werden niet alleen opeenvolgende peilingen vergeleken maar ook een aantal meetcampagnes uitgevoerd. Daarbij werden gedurende 35 meetdagen densiteitsstromingen gemeten, telkens over een volledig getij. Ook werden tijdens 20 meetcampagnes boringen verricht, telkens in een negental meetpunten verspreid over de toegangsegul.

Volgende parameters werden opgemeten:

- waterdiepten (met echosounder) (uitgevoerd door de toenmalige Antwerpse Zeediensten);
- dikte en volumegegewicht van de sliblaag (met boorbuis);
- stroomsnelheid snelheidsmolen met verticale as), geleidbaarheid (geleidbaarheidsmeter), troebelheid (troebelheidsmeter) en temperatuur (termistor in elektrische brug).

Besluiten van de studie:

De toegangsegul slibt aan door wateruitwisseling met de Schelde.

De oorzaken van deze aanslibbing (met hun relatieve belangrijkheid) zijn

- de vulling en lediging door het getij (circa 12%)
- de neer verwekt door de stromingen in de Schelde (volgens modelproeven circa 18%)



- de densiteitsstromingen veroorzaakt door zoutverschillen in de Schelde gedurende het getij (circa 70%)

Het water in de toegangsecul wordt een achttal keer per getij vernieuwd.

De drempel tussen Schelde en toegangsecul speelt een rol voor de dikte van de sliblaag, maar komt niet in aanmerking voor het aanslibbingsmechanisme.

5.1.3 Slib- en zandafzetting in de toegangsecul tot de zeeluis van Zandvliet. Invloed van de koelwaterafname door BASF M286

Het Laboratorium kreeg de opdracht een studie te maken over de invloed van de afname door BASF van koelwater uit de toegangsecul tot de zeeluis op de zand- en slibafzettingen.

De totale waterafname van de watervang van het koelwaterafnamestation, die zich in de uiterste westhoek van de noordelijke kaaimuur van de toegangsecul bevindt kan schommelen tussen 10000 m³ en 210000 m³/h. Dit laatste debiet is van dezelfde grootteorde als het vul- en ledigingsdebiet van de toegangsecul, wat gebeurlijk tot een verhoging van de aanslibbing kon leiden.

Het Laboratorium voerde metingen uit op verticale profielen gelegen bij de ingang van de toegangsecul. Werden opgemeten: grootte en richting van de stroomsnelheid, de geleidbaarheid en de troebelheid.

Besluiten:

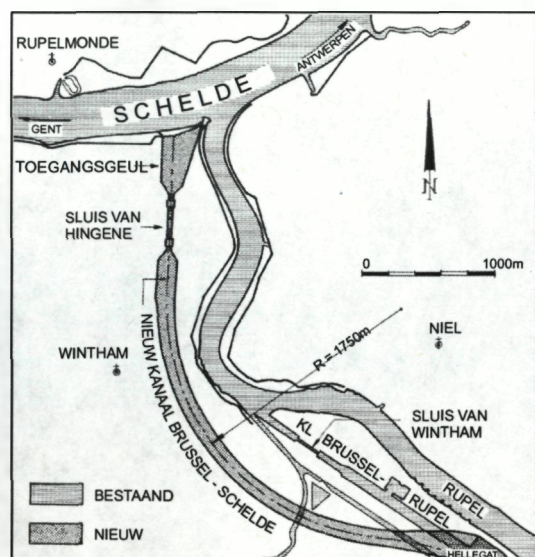
De verhoging van de aanslibbing kan van dezelfde grootteorde zijn als de toename van de wateruitwisseling, dit is 10% voor een continu pompdebiet van 210000 m³. Voor kleinere waterafname neemt de verhoging van de wateruitwisseling af en dient bijgevolg de toename van de aanslibbing af te nemen volgens een lineaire wet.

5.2 Sluis van Hingene

De haven van Brussel is door een kanaal verbonden met de Rupel te Wintam. Het werd noodzakelijk deze uitmonding aan te passen aan de nieuwe noodwendigheden van de scheepvaart.

Verskillende ontwerpen werden onderzocht. De keuze viel op een ontwerp waarbij de toegangsecul tot de nieuwe sluis komt te liggen langs de rechteroever van de Schelde, juist opwaarts de Rupelmonding.

5.2.1 Uitmonding van het Zeekanaal van Brussel in de Schelde M214-1



De NV Zeekanaal en Haveninrichtingen van Brussel was de opdrachtgever voor deze modelstudie en het doel was het bepalen van de gunstige ligging en vorm van de monding van de toegangsecul. Hierbij diende rekening gehouden met scheepvaartseisen, met het onderhoud van de toegangsecul en met de stroming in de Schelde en de Rupel. De afmetingen moesten zodanig zijn dat op ieder ogenblik van het getij een duwconvooi met een totale lengte van 185 m, een breedte van 22.8 m en een diepgang van 3.5 m moet kunnen binnenvaren en dat bij hoogwater een zeeschip met een diepgang van 30voet de toegangsecul moet kunnen binnenlopen.

5.2.1.1 Beschrijving van het model

Om de geprojecteerde toegangsecul te onderzoeken werd een model gebouwd van een deel van de Schelde en de Rupel.

De op- en afwaartse grens in de Schelde is voldoende ver gekozen om verzekerd te zijn van een goede weergave van het stromingsbeeld in de onmiddellijke omgeving van de toegangsecul. Van de Rupel diende slechts een kleine lengte te worden weergegeven daar de toegangsecul hier praktisch gesproken geen invloed meer uitoefent op de stromingen.

Modelschalen:

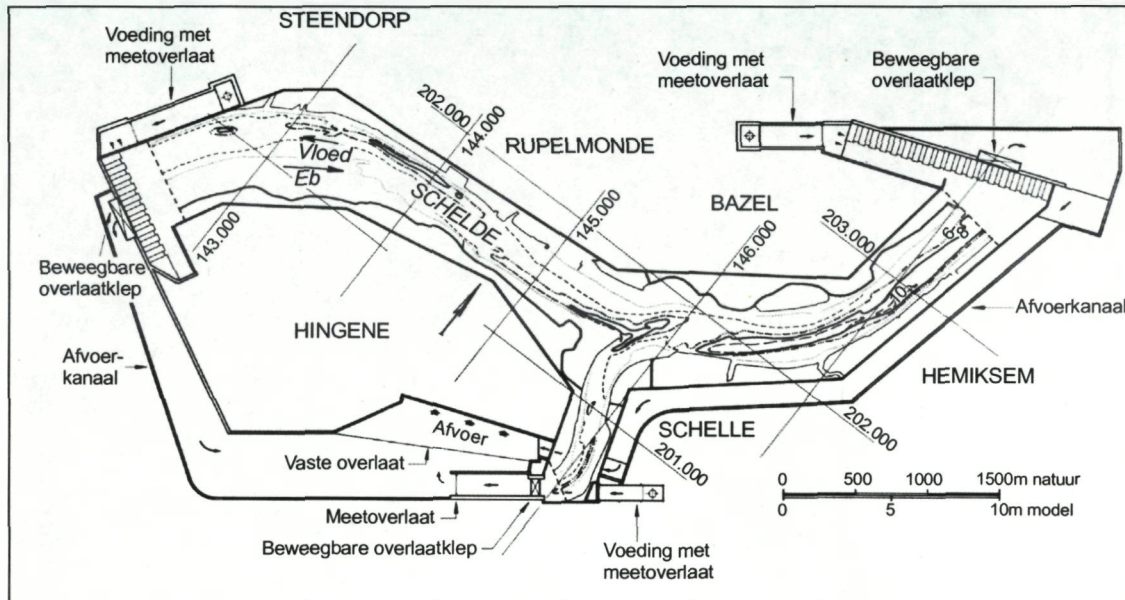
De horizontale schaal was 1:150 en de verticale schaal 1:50. Volgens de modelregel van Froude bedraagt dan de snelheidsschaal 1:7.07 en de debietschaal 1:53033.

Geometrie:

Voor de bouw van het model werd gebruik gemaakt van peilingen uit 1964, aangevuld met gegevens uit 1961.

Profilering van de rivierbedding:

Tussen de modelmuren werden dwarsprofielen geconstrueerd. Tussen deze profielen werd de rivierbodem vloeiend afgewerkt en waar nodig werden met behulp van de peilkaarten de belangrijkste bijzonderheden (kreeken, haventjes, enz.) ingebracht.



Opwekken van de permanente stromingen:

De proeven werden uitgevoerd met permanente vloed- en ebstroom voor verschillende waterstanden. De ingebrachte debieten werden gemeten met rechthoekige (voor de Schelde) en driehoekige meetoverlaten (voor de Rupel). De waterstand werd geregeld met behulp van regelbare kleppen.

5.2.1.2 Onderzoek uitgevoerd op model:

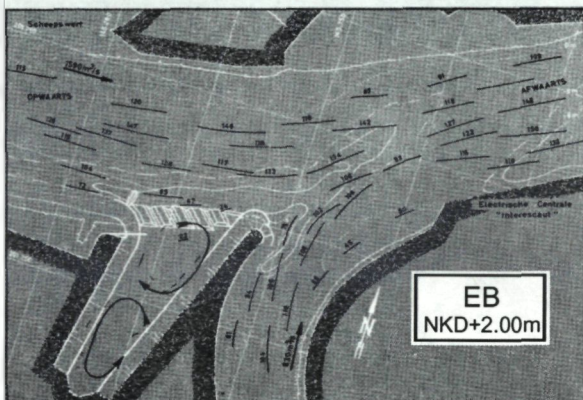
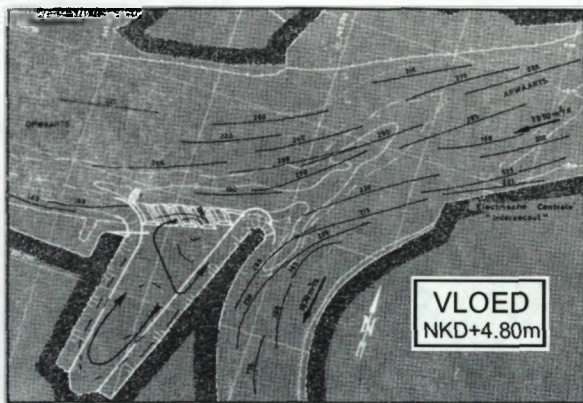
Het onderzoek werd uitgevoerd in 1965-1967.

De beoordeling van het ontwerp voor de toegangsgeul geschiedde hoofdzakelijk uit oogpunt van waterbeweging in de Schelde en de toegangsgeul. De waterbeweging in deze laatste moet inderdaad zo klein mogelijk zijn om de scheepvaart en het meren van schepen te vergemakkelijken en om het onderhoudsbaggerwerk tot een minimum te beperken.

Voor de onderlinge vergelijking van verschillende ontwerpen onder oogpunt van aanzanding werden proeven uitgevoerd met beweeglijk materiaal (fijn bakeliet $d_{50}=0.7\text{mm}$, s.g. 1.35) dat in een vast punt gestort werd in de Schelde. Voor ieder ontwerp werd de hoeveelheid bodemmateriaal bepaald dat tijdens een proef afgezet was in de toegangsgeul.

De aanslibbing in deze geul werd bepaald door de grootte van uitwisseling tussen rivierwater en het water van de toegangsgeul. Deze uitwisseling werd bepaald door het water van de toegangsgeul bij begin van een proef sterk te kleuren en door tijdens de proef de variatie van de lichtabsorptie van dit water te meten met een colorimeter.

Het verschijnsel dat optreedt in de toegangsgeul laat zich als volgt beschrijven. Bij vloed komt de stroom los op het afwaartse hoofd van de toegangsgeul; er wordt een wervelstraat gevormd die tegen het opwaartse hoofd botst en zich splitst in een stroom die in de Schelde doorloopt en een stroom die in de toegangsgeul trekt. Zo ontstaat een draaiende beweging, een neer, die geleidelijk de ganse geul vult. Aan het af



waartse hoofd treedt een stroom uit de toegangsgeul en wordt opgenomen in de wervelstraat. Hoe groter deze neer en hoe groter de snelheden, hoe meer water zal uitgewisseld worden tussen rivier en toegangsgeul. Er moet dus getracht worden de grootte van deze neer en de snelheden die er in optreden te verkleinen. Dit kan door het aanbrengen van steenbestorting op het afwaartse hoofd en een gesloten wand op het opwaartse hoofd van de toegangsgeul.

Uit de aanslibbingsproeven bleek eveneens zeer duidelijk de gunstige invloed van deze voorzieningen op de grootte van de uitwisseling tussen rivierwater en water van de toegangsgeul. De aanzanding kon dan weer verkleind worden door het voorzien van vier bodemkribben in de toegangsgeul en één in het vaarwater. De kruin van de kribben in de toegangsgeul ligt op dezelfde hoogte als bodem van de geul. Deze kribben zijn naar opwaarts gericht en vormen een hoek van 60° met de as van de toegangsgeul. De krib in het vaarwater is evenwijdig met de as van de toegangsgeul.

Nautische studie:

In een simulatoronderzoek uitgevoerd in 1990 werd in het Laboratorium het invaren van de toegangsgeul onderzocht voor een duwvaartconvooi, een 10000DWT vrachtschip en een 110 lang kustvaartuig (zie ...). In 1996 werden bijkomende proeven uitgevoerd voor een breed duwbakconvooi en een 1350 ton binnenschip.

5.2.2 Oriënterend modelonderzoek Toegangsgeul Zeeluis Hingene

Begin 1996 kreeg het Waterbouwkundig Laboratorium van de afdeling Zeeschelde de opdracht om modelonderzoek uit te voeren naar de wijzigingen aan het stromingspatroon tengevolge de aanpassingen aan de toegangsgeul naar de zeeluis te Hingene. Deze aanpassing omvatte de verplaatsing van de linkeroever van de toegangsgeul over circa 70 m om zodoende de in-vaarmanoeuvres te vergemakkelijken.

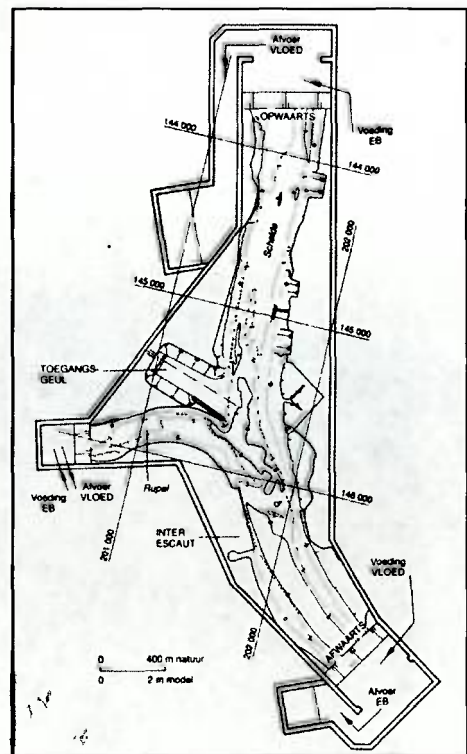
Het modelonderzoek diende aanwijzingen te geven aangaande de invloed van de verbreding van de toegangsgeul op het stroombeeld in deze geul, meer in het bijzonder op de grootte van de snelheden in de neer die zich aldaar ontwikkelt, zodat het uiteindelijk resultaat zou kunnen worden gebruikt voor nautische proeven (invoer voor het scheepssimulatiemodel voor bijkomende proefvaarten).

5.2.2.1 Beschrijving van het model

Het model gaf de toegangsgeul tot de zeeluis van Hingene weer, de Schelde over een lengte van circa 1.8 km op- en 1.8 km afwaarts de toegangsgeul, de laatste 900 m van de Rupel vóór zijn monding.

Modelschalen:

- horizontale schaal 1:200
- verticale schaal 1:100



- snelheidsschaal 1:10
- tijdsschaal 1:20
- debietenschaal 1:200000

Geometrie:

De oorspronkelijke bodemconfiguratie was deze overeenkomstig peilplans uit 1986-1989.

Opwekken van de permanente stromingen:

De proeven werden uitgevoerd op een permanent stromingsmodel, waarbij geen volledige tijgolf wordt gesimuleerd maar welbepaalde ogenblikken van het getij continu worden gestroomd.

Voor de ijking van het model werden de snelheidsvectoren model vergeleken met snelheidsvectoren opgemeten gedurende tijgolven natuur bij vloed en bij eb.

De in te stellen debieten werden berekend met het 1-dimensionaal flood-routing programma "Wiskundig model van de Schelde" met als randvoorwaarde de overeenkomstige tijgolven voor Prosperpolder.

5.2.2.2 Onderzoek uitgevoerd op model:

Volgende twee toestanden werden onderzocht:

1. de ontwerpfase van de toegangsgeul zoals gebruikt voor de simulatorstudie in 1991
2. de verbeterde vorm van de toegangsgeul

Volgende tijfasen werden gehanteerd: halftij vloed, kort voor maximum vloed en kort voor einde eb.

Resultaten:

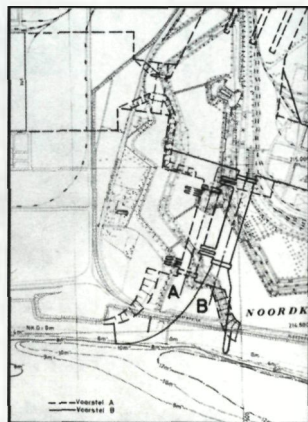
Door verschuiving van de linkerflank van de toegangsgeul was er een toename van de snelheden in de geul, voornamelijk bij vloed. Bovendien is er een kleine richtingsverandering van de stromingen in het centrale zone van de monding, waardoor de dwarse snelheidscomponent op de as van de geul toeneemt. Bij eb deed er zich ook een secundaire neer voor juist voor de ingang tot de sluis, zodat ook daar de snelheden toenemen. Sedimentologisch kon er ook een toename van onderhoudsbaggerwerk verwacht worden doordat het uitgewisselde debiet tussen Schelde en toegangsgeul sterk is toegenomen.



Realisatie:

De toegangsgeul en de nieuwe zeesluis te Hingene werd feestelijk geopend op 26 november 1997.

5.3 Boerinnesluis



Het Waterbouwkundig Laboratorium kreeg de opdracht modelproeven uit te voeren voor de bepaling van de inplanting en de vormgeving van de toegangsgeul van de nieuw te bouwen Boerinnesluis (omgeving Noordkasteel).

Door de Technische Dienst van het Havenbedrijf van de Stad Antwerpen werden twee voorontwerp voor onderzoek overgemaakt (zie figuur).

De proeven werden uitgevoerd in 1968-1969 op het tijoverzichtsmodel van de Schelde (M300). Om de verschillende ontwerpen van toegangsgeulen in model te kunnen brengen werd ter hoogte van de Boerinnesluis een kleine uitbreiding van het model gebouwd.

Het voorontwerp A voorzag een brede toegangsgeul, met oevers onder talud uitgevoerd. De breedte van de toegangsgeul bij de uitmonding in de Schelde

is ca. 400 m.

Het voorontwerp B omvat een sluis meer opwaarts en 501 m meer landinwaarts gelegen met nauwere toegangsgemaal (breedt aan de ingang ca. 225 m) en voorzien van verticale keermuren als oevers.

Besluiten:

De voorkeur werd gegeven aan twee varianten van voorontwerp B of een eventuele tussenoplossing.

Realisatie:

Dit project werd nooit uitgevoerd.

5.4 Kallosluis

5.4.1 Modelstudie van de toegangsgemaal tot de zeesluis te Kallo



Met het oog op de aanleg van een diepzeehaven langs de linkeroever van de Schelde in het poldergebied afwaarts Melsele polder, werd ter hoogte van de bocht van "De Parel" een zeesluis gepland. De afmetingen van deze sluis (360 m lang, 50 m breed en N.K.D.-12.50 m drempelcota) laten toe afgeladen zeeschepen met een diepgang van 80000DWT te versassen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium kreeg de opdracht de vormgeving en de ingang van de toegangsgemaal tot deze nieuwe zeesluis te bestuderen, zodat:

- grote zeeschepen, met behulp van sleepboten, de maximale mogelijkheid krijgen om de toegangsgemaal te kunnen in- en uitvaren;
- de materiaalafzettingen in de toegangsgemaal in de mate van het mogelijke tot een minimum beperkt blijven;
- de onderbreking van de linkeroever geen ongunstige invloed heeft op het behoud van het vaarwater in de omgeving van de toegangsgemaal.

Deze onderzoek werd uitgevoerd in 1970 op het Tijoverzichtsmodel van de Schelde M300 (zie §...

Besluiten:

- het laboratorium beveelt twee voorstellen aan, naargelang de grootte van de zwaairom (\varnothing 450 m of \varnothing 340 m), beiden op cota -12.00 m;
- in de veronderstelling dat de omstandigheden ter hoogte van Kallo en Zandvliet gelijk zijn, is de te verwachten sedimentatie van vaste stoffen in de toegangsgemaal van Kallo globaal gezien over gans de oppervlakte 15 à 20 % kleiner dan in de toegangsgemaal van de Zandvlietluis;
- doorspoeling van het havenbekken op de linker Scheldeoever met waterafname ter hoogte van Baalhoek omstreeks HW en waterlozing van de toegangsgemaal van de Kallosluis omstreeks LW kan een gevoelige vermindering van de sedimentatie voor gevolg hebben.

5.4.2 Uitvoering verdiepingsbaggerwerken in de toegangsgemaal naar de zeesluis Kallo M302/2

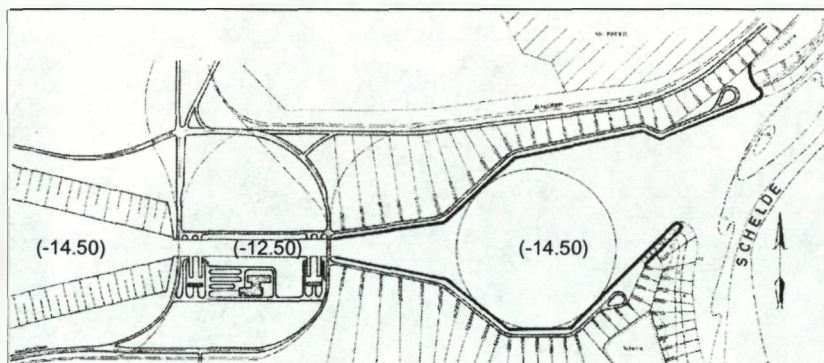
Het feit dat er zich aanslibbingen in de toegangsgemaal naar de Kallosluis voordeden was geen onvoorzien verschijnsel, ook in de toegangsgemaalen naar de andere sluisen deed men analoge vaststellingen.

Om de onmiddellijke aanslibbingen tijdelijk te kunnen opvangen werd besloten om een aanvankelijke baggerdiepte tot het peil -14.50 te realiseren, dit is 2 m dieper dan het drempelpeil van de sluis.

Tijdens de baggerwerken werd ook vastgesteld dat de aanslibbing zich niet gelijkmatig over de hele oppervlakte voordoet.

In samenspraak met de verschillende betrokken diensten werd beslist om in juni 1982 te starten met een doorgedreven onderzoek naar de mechanismen van deze aanslibbingen. Dit onderzoek diende te omvat-

ten: peilingen om de veertien dagen, stroommetingen, waterkarakteristieken en monsternames door boren in de sliblaag voor het bepalen van de rheologische en mineralogische kenmerken van het afgezette slib.



5.5 Baalhoeksluis

Om tegemoet te komen aan de toenemende vereisten van de zeescheepvaart en een betere ontsluiting van de havendokken op de linkeroever werd de aanleg van een toegangskanaal naar deze haven en de bouw van een zeeluis met grote afmetingen voorgesteld.

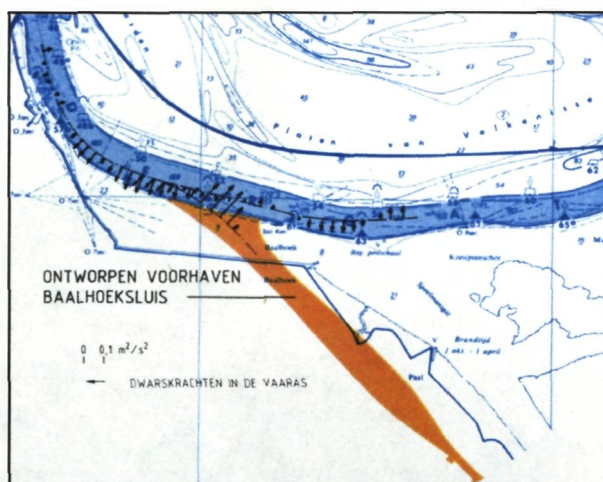
Omdat dit toegangskanaal op Nederlands grondgebied gelegen is, was de toestemming van Nederland nodig om de werkzaamheden uit te voeren. De vastlegging van het tracé werd dan ook gekoppeld aan het overleg binnen de Nederlands-Belgische Technische Schelde Commissie over een bochtafsnijding van de Westerschelde bij Bath (zie ...).

De studie van de sluis zelf werd uitgevoerd in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft. De studie van de aansluiting van de toegangsecul met de Westerschelde vond plaats in Borgerhout.

5.5.1.1 Voorhaven Baalhoeksluis (M303)

Het doel van deze studie was het bepalen van de optimale vormgeving van deze voorhaven vertrekkend van het ontwerpplan en steunend op volgende uitgangspunten:

- het binnendijs tracé voortvloeiend uit de gevoerde adviesprocedure;
- aansluiting van de voorhaven aan de huidige bochtvorm van de vaargeul te Walsoorden;
- de scheepvaart van en naar de Baalhoeksluis wordt verondersteld zonder sleepbootassistentie te gebeuren teneinde het doorgaand verkeer zo min mogelijk te hinderen;
- de diepte van de voorhaven werd, gezien mogelijke wachttijden vóór de sluis, gesteld op NAP-19.40 m.



Deze proeven werden uitgevoerd in 1973-1974 op het toenmalige tijmodel van de Westerschelde (Mod. 300)..

Besluiten:

De vormgeving en aansluiting van de voorhaven op de Westerschelde werd bepaald aan de hand van drie parameters: afwaartse aansluiting voorhaven – rivier, opwaartse aansluiting en tegenoverliggende oever. De voorkeur ging uit naar een afrondingsstraal van 1800 m voor de afwaartse aansluiting, het oorspronkelijk ontwerp voor de opwaartse aansluiting en een tegenoverliggende oever volgens een verruimd profiel.

Ook werd de vormgeving bestudeerd van een werkhaven nodig voor de uitbouw van sluis en voorhaven.

5.6 Berendrechtsluis

5.6.1 Toegangsgeul tweede Zandvlietsluis M410

Voor de ontubbeling van de Zandvliet zeesluis in de Haven van Antwerpen werden twee voorontwerpen (één ten Noorden en één ten Zuiden van de Zandvlietsluis) opgesteld.

Uitgaande van de nautische, sedimentologische en uitvoeringstechnische voor- en nadelen van beide voorstellen werd de voorkeur gegeven aan de zuidelijke oplossing en werd voor dit ontwerp op het Scheldemodel (M300) hydraulisch modelonderzoek uitgevoerd in 1979 en 1981. Uit deze proeven bleek dat het voorgestelde ontwerp hydraulisch aanvaardbaar was. Ook werd de voorkeur gegeven aan het aanbouwen van een korte zuidelijke pier.

Realisatie:

Deze tweede Zandvlietsluis kreeg de naam Berendrechtsluis en werd in 1989 opgesteld voor de scheepvaart.



5.7 Sluis te Terneuzen

5.7.1 Modelonderzoek Westbuitenhaven Terneuzen (Mod. 426)

Het oplopen van de Westbuitenhaven met grote schepen ging altijd gepaard met een zeker risico voor aanvaringen met de havenhoofden of met de oevers binnenin de voorhaven.



De invaaropening bood immers relatief weinig ruimte (breedte 200 m op het bodempeil -14.00 m NAP en 300 m op peil NAP) en was bovendien zodanig ingeplant dat de invarende schepen een richtingsverandering van ongeveer 90° moesten ondergaan waarbij ze gedurende bepaalde tijd dwars op de stroomrichting in de rivier kwamen te liggen. Dit reduceerde de theoretisch gunstige invaartperiode tot de tijperiode waarin voldoende waterdiepte in de Westbuitenhaven beschikbaar was en waarin bovendien matige stroomsnelheden in de Pas van Terneuzen optraden.

Er werd voorzien dat dit ongevalrisico bij de vaart met bovenmaatse schepen zou vergroten, zodat een aanpassing, in casu verruiming van de haveningang in overweging diende genomen.

De studie hiervan werd in handen gegeven van de werkgroep TGH, waarin zowel vertegenwoordigers van Nederlandse als van Belgische zijde zitting hadden. De opdracht werd omschreven als volgt:

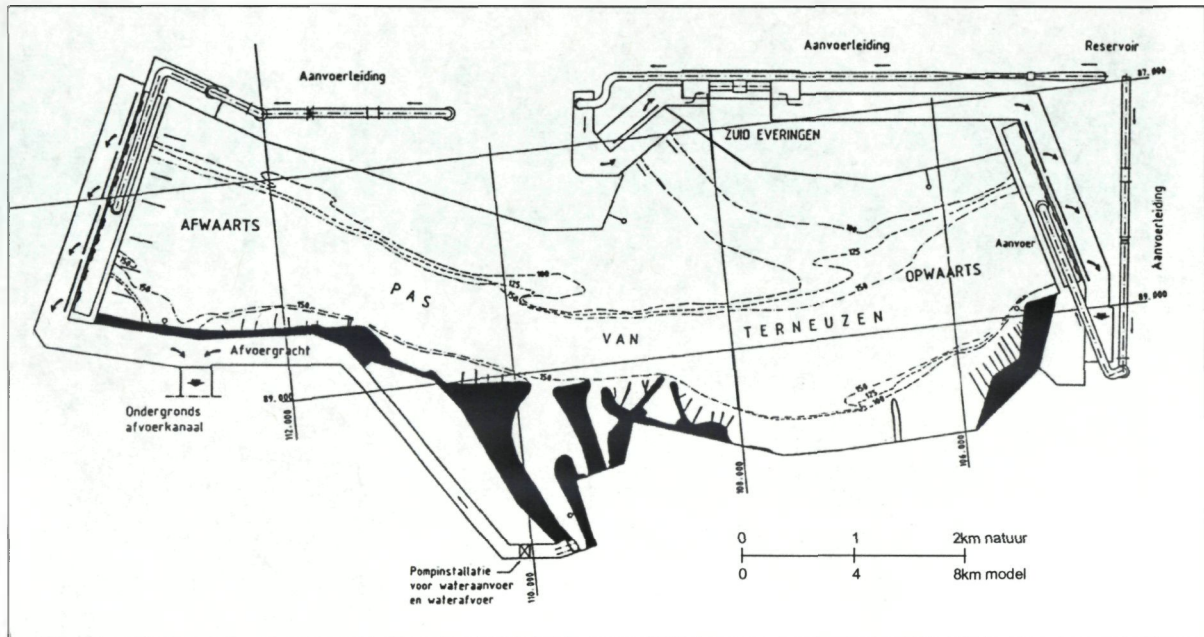
1. onderzoek naar het huidige vaargedrag van de schepen met grote afmetingen;
2. inventarisatie van mogelijke verbeteringsvarianten;
3. nader onderzoek van de aanvaardbare varianten;
4. indienen van een gemotiveerd advies met voorstelling van een optimale variante.

Het hydraulisch onderzoek op een fysisch schaalmodel (onderdeel van punt 3) werd toevertrouwd aan het Waterbouwkundig Laboratorium.

5.7.1.1 Beschrijving van het model

Alleen de stroming in de Pas van Terneuzen had invloed op de stroompatronen in de omgeving van de Westbuitenhaven.

De gemodelleerde lengte van de Pas van Terneuzen bedroeg ongeveer 8.5 km (4 km afwaarts en 4.5 km opwaarts de havenmond).



Modelschalen:

Horizontaal 1:250

Vertikaal 1:100

en hiervan afgeleid (Froude):

snelheidsschaal 1:10

tijdschaal 1:25

debietschaal 1:250000

Geometrie:

Het bodemreliëf werd in het schaalmodel gerealiseerd aan de hand van peilgegevens uit 1982.

Profilering van de rivierbedding:

Tijdens de opbouw werden eerst de dieptelijne en hoogtelijnen aangebracht door middel van een staalband die op het juiste niveau werd ingesteld en vastgezet. Nadien werden de tussenruimten opgevuld met steengruis en grind, terwijl het bodemoppervlak afgewerkt werd met een laag cementmortel.

Realisatie van de verbeteringsvarianten:

Door de werkgroep TGH werden 5 mogelijke verbeteringsvarianten voor de invaartopening weerhouden. Om zo weinig mogelijk tijd te verliezen bij het overstappen van een bepaalde aanpassingsvariante naar een volgende, werd het aan verandering onderhevige oevergedeelte van de Westbuitenhaven in geprefabriceerde betonelementen uitgevoerd. Zulks gebeurde ook voor de aanvangssituatie (T0).

Opleggen van het getij:

De modeluitrusting en de besturing waren zodanig aangepast, dat zowel in permanentie als in getijomstandigheden kon gestroomd worden.

Ijking van het model:

De ijking van het model gebeurde aan de hand van een natuurmeting die op 15 juni 1983 werd uitgevoerd en gebeurde eerst voor de stroming in permanent regime en pas later voor tijregime.

5.7.1.2 Modelonderzoek

Het model werd gebouwd in 1983 en het modelonderzoek vond plaats in 1984.

Een eerste aspect van het onderzoek betrof het **vastleggen van de stroombeelden** in de nabijheid van de havenmond en in de voorhaven voor de T0-situatie en voor een aantal ontworpen aanpassingsvarianten.

Hierbij dienden stroomgegevens verzameld te worden die nuttig konden zijn voor het nautisch onderzoek met een stuurautomaat die aangewend werd als vaarsimulator door de Dienst Verkeerskunde te Dordrecht en voor een afchatting van de toename van de aanslibbingen.

Aanvankelijk werd onderzoek uitgevoerd in permanent regime, wat een vlugge eerste evaluatie van de verschillende varianten mogelijk maakte. Daarna werden de weerhouden varianten aan een verder doorgedreven onderzoek in tijregime onderworpen.

Een tweede aspect was het **uitwisselingsonderzoek** tussen de Westbuitenhaven en de Pas van Terneuzen. Hierbij werd nagegaan of de theoretische uitwisselingsberekening door de Adviesdienst Vlissingen kon gestaafd worden door een bijkomend onderzoek op het fysisch model.

Hiervoor moest het effect van de densiteitsstromingen in het model ingebracht worden. Daarom werd gesteund op het gegeven dat de densiteitsstromingen tussen watermassa's met verschillende temperatuur vergelijkbaar zijn met de stromingen veroorzaakt door een verschil in zoutgehalte. Dus werd het water in de voorhaven op een hogere temperatuur gebracht tot een temperatuurverschil van ca. 5°C, wat overeenkomt met een gemiddeld dichtheidsverschil van 0.8 g/dm³ en dit komt in natuurlijke omstandigheden dan weer overeen met een verschil in zoutgehalte van ongeveer 1000 mg/l.

Dit bijkomend onderzoek heeft het mogelijk gemaakt de vermoedelijke slibafzettingen bij het aanbrengen van een bepaalde variante te begroten.

5.7.2 Nieuwe zeeluis te Terneuzen (Mod. 445)

Omwille van de toenemende schaalvergrotingen van de schepen vanaf het begin van de jaren 60 wenste men het Kanaal Gent-Terneuzen aan te passen voor schepen van 300 m lengte, 50 m breedte en een zoetwaterdiepgang van 16.36 m (ca. 175000 DWT). Hierdoor zou er in Terneuzen een nieuwe zeeluis nodig zijn met een lengte tussen de binnendeuren van 500 m, een breedte van 68 m en met een drempel op 14.81 m onder GLLWS. Een toegangseul van ca. 2500 m zou naar de sluis moeten voeren, met een bodembreedte van 400 m op een diepte van 16.82 m onder GLLWS.

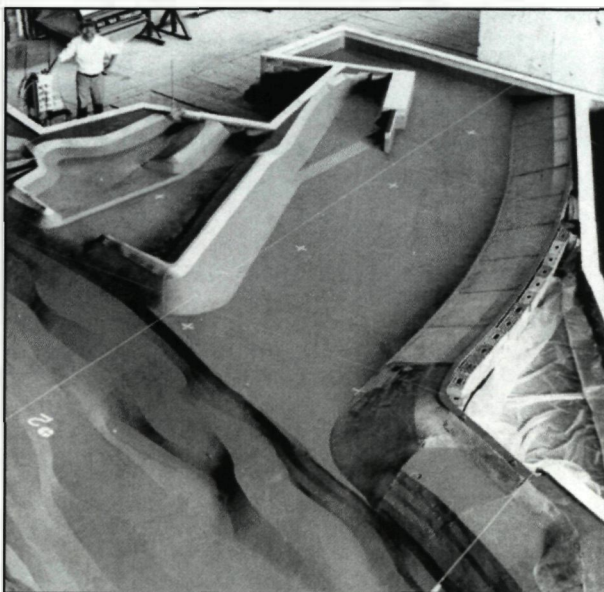
Op vraag van de nieuwe werkgroep binnen TGH, namelijk TGSV (=werkgroep Sluis en Voorhaven) werd het Waterbouwkundig Laboratorium gevraagd oriënterend onderzoek uit te voeren naar de nieuwe zeeluis en haar toegang tot de Schelde.

5.7.2.1 Ombouw van het model

In het bestaande model M426 (zie hoger) werd een eerste voorontwerp van inplanting van de nieuwe zeeluis en voorhaven ingebouwd. Dit model moest dienen als onderzoeksinstrument voor tussentijdse verkennende studies.

Wegens plaatsgebrek diende de ontwerpconfiguratie van de voorhaven ter plaatse van de nieuwe zeeluis te worden vervormd. De stroming in de havenmond zelf werd hierdoor niet beïnvloed omdat het kombergingsvolume omgewijzigd bleef.

Opm.: Afwaarts de havenmond is aan de oorspronkelijke ingebrachte vormgeving van de nieuwe voorhaven in de loop van het onderzoek een lichte wijziging aangebracht, namelijk een aanvulling van het bestaande dijklichaam.



Ijking van het omgebouwde model:

De ijking van het model in de T0-toestand van het model (overeenstemmend met de bestaande Westbuitenhaven) dat uitgevoerd werd ter gelegenheid van de onderzoeksopdrachten van TGH werden hernomen en waar nodig, weer op punt gesteld.

5.7.2.2 Modelonderzoek

De structuur van het onderzoeksprogramma was afgestemd op het onderzoek dat in het kader van de activiteiten van de werkgroep TGSV werd uitgevoerd.

Volgend onderzoek werd uitgevoerd in de periode 1985-1987:

Hydraulisch onderzoek met het oog op de bepaling van de stroomsnelheden en de stroomrichtingen in de nabijheid van de voorhaven, met beoordeling van de verkregen stromingspatronen. De resultaten van de stroommetingen werden vergeleken met de stroming in de pas van Terneuzen (natuurmetingen). Ook werd gekeken naar de stroompatronen die zich voordeden bij de verschillende varianten die in het kader van het onderzoek van TGH (Mod. 426) in model waren ingebracht.

Onderzoek naar het wateruitwisselingsmechanisme tussen de Pas van Terneuzen en de nieuwe voorhaven tijdens het verloop van een tijperiode.



Om de wateruitwisseling te kunnen begroten tussen de rivier en de voorhaven, werd een procédé ontwikkeld waarbij gekleurde vloeistoffen werden gebruikt. Deze gekleurde vloeistoffen met een initiële dichtheid van ongeveer 1.015 kg/m^3 werden tijdens het getij in de stroom ingebracht, en werden in suspensie door de stroming meegevoerd. Het uitwisselingsproces werd vastgelegd door fotografische opnamen. Met het oog op een natuurlijke dichtheidsstroom tussen de voorhaven en de Pas van Terneuzen werden analoog aan het TGH-onderzoek, ook nu verwarmingselementen in de voorhaven aangebracht, zodat vergelijking

tussen de uitwisselingsmechanismen met en zonder simulatie van de dichtheidsstromingen mogelijk werd.

Besluiten:

Uit de beoordeling van de eerste resultaten van het verkennende onderzoek kon geconcludeerd worden dat op hydraulisch gebied geen ongunstige elementen ten aanzien van het onderzochte voorontwerp werden vastgesteld. Dit voorontwerp was dus volkomen geschikt als vertrekbasis voor eventuele verdere detailstudie.

Realisatie:

5.8 Royerssluis

5.8.1 Toegangsgeul Royerssluis (Mod. 497)



De binnenvaartschepen en de duwkonvoeien moeten de Royerssluis op elk ogenblik van het getij kunnen invaren. De verkorting van de toegangsgeul door de verlenging van de sluis maakt dat extra moeilijk. Simulatoronderzoek zal leiden tot een betere vorm van de toegangsgeul en de remmingswerken.

Een schaalmodel van de Schelde tussen Oosterweel en de voetgangerstunnel zal de nodige stroomgegevens leveren voor deze simulatorstudie.

Op verzoek van de Antwerpse Zeehavendiens werd in 1994 modelonderzoek gestart inzake de toegangsgeul van de te renoveren Royerssluis.

Gezien de grote problemen om een degelijke overeenstemming tussen natuur- en modelresultaten te bereiken werden bijkomende natuurmetingen uitgevoerd. Op basis van deze nieuwe metingen werd opnieuw getracht overeenstemming te bereiken tussen

natuur- en modelresultaten. Ook dit maal faalden de pogingen en werd er beslist het model af te breken.

De vaarsimulaties zullen dienen te gebeuren op basis van de natuurmetingen alleen, terwijl met bijkomende natuurmetingen zal getracht worden de oorzaak van de merkwaardige stromingspatronen aldaar op te sporen.

6 KAAIMUREN EN ANKERREDEN LANGSHEEN DE SCHELDE

6	KAAIMUREN EN ANKERREDEN LANGSHEEN DE SCHELDE	1
6.1	ANKERREDEN IN DE OMGEVING VAN DE ZEESLUIS TE ZANDVLIET M119-11	2
6.2	EUROPA TERMINAL	2
6.2.1	<i>Containerkaai op de Schelde (M410/3)</i>	2
6.3	NOORDZEE TERMINAL.....	3
6.3.1	<i>Containerterminal ten Noorden van de Zandvlietsluis. Oriënterend onderzoek (M481/1) –</i>	3
6.3.2	<i>Containerterminal ten Noorden van de Zandvlietsluis. Hydraulisch-morfologisch onderzoek (M481/4)</i>	4
6.4	DEURGANCKDOK.....	6
6.4.1	<i>Containerkaai West. Oriënterend hydraulisch en sedimentologisch onderzoek – Oriënterend onderzoek</i>	6
6.4.2	<i>Containerkade/Containerdok West. Oriënterend onderzoek M504</i>	6
6.4.3	<i>Containerdok West. Hydraulisch en sedimentologisch onderzoek M504/3</i>	7

Omwille van de snelgroeïende containertrafiek naar de haven van Antwerpen en het aanzienlijke tijdsverlies aan de sluisen voor grote containerschepen werd uitgekeken naar kaaimuren langsheen de rivier.

Reeds in 1969 werd door het Havenbedrijf van Antwerpen gevraagd een studie uit te voeren voor een containerterminal met een kaaimuur van 1600 à 2000 m lengte, noordelijk van de Zandvlietluis. Hieruit bleek dat de voorgestelde ligging hydraulisch geen bezwaren vertoonde, mits de bestaande oeverpunten vast te houden. In 1978 verzocht het Havenbedrijf, in het kader van het nieuwe vijfjarenplan, de mogelijkheid en plaats van inplanting te onderzoeken van een roll on – roll off terminal (Mod. 407). Ook hier werd weer gesteld dat er voor de inplanting afwaarts de Zandvlietluis uit hydraulisch oogpunt geen bezwaren bestonden. Wel volgde er negatief advies van het Loodswezen wegens hinder voor de overige scheepvaart. Ook een inplanting opwaarts de sluis zou hinderlijk blijven.

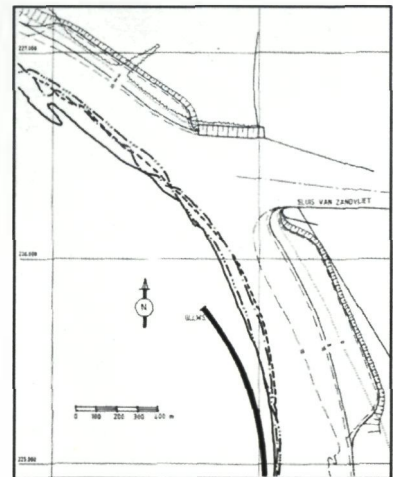
Momenteel zijn de Europaterminal (1990), de Noordzeeterminal (1997) en het Deurganckdok (1^{ste} fase 2005) operationeel. Op het Waterbouwkundig Laboratorium werd onderzocht of inplanting en vorm van deze infrastructuur voldeed aan de hydraulisch-sedimentologische en nautisch vereisten.

6.1 Ankerreden in de omgeving van de zeesluis te Zandvliet M119-11

Het Laboratorium heeft de mogelijkheid onderzocht het vaarwater te verbreden van 300 m tot 400 m tussen de 8 m dieptelijnen door het achteruitbrengen van de rechterwal op- en afwaarts de toegangseul der sluis te Zandvliet.

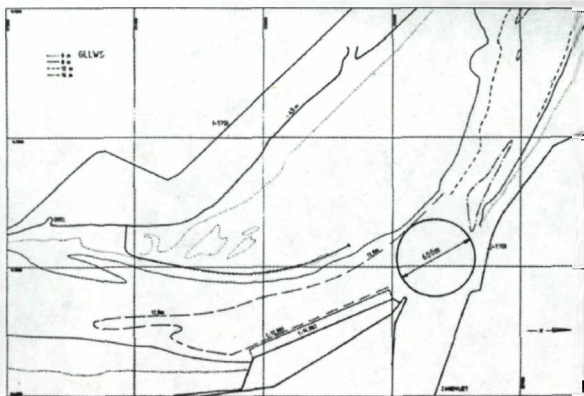
Een dergelijke verbreding werd wenselijk geacht om, in de nabijheid der sluis, over ankerreden te kunnen beschikken, waar daarbij nog voldoende ruimte overblijft om, buiten het verankeren der schepen, een ongehinderde vaart naar en van de andere haventoeegangen te kunnen verzekeren.

Het vraagstuk werd in 1966 onderzocht op het Scheldemodel M119 met uitgerust beweegbare bodem en de proeven hebben tot het besluit geleid dat het achteruitbrengen van de rechterwal niet de gewenste verbreding oplevert omdat hierdoor de tegenovergestelde rand van het vaarwater in de richting van dit vaarwater uitwijkt.



6.2 Europa Terminal

6.2.1 Containerkaai op de Schelde (M410/3)



Modelonderzoek voor de Berendrechtsluis (1979-1981, zie ...) en stroomdrijvermetingen op het Scheldemodel tussen Zandvliet-Berendrechtsluis en het haventje van Doel ten behoeve van oriënterend simulatoronderzoek voor een containerterminal opwaarts Berendrechtsluis (1984) resulteerde in een aanvaardbare situatie voor 750 voet schepen, met zwaaimanoeuvre ter hoogte van de drempel van Frederik.

In 1985 volgde de vraag naar modelonderzoek op het tijverzichtsmodel van de Schelde (Mod. 300) voor deze laatste inplanting.

Aanpassingen aan het model:

De modelbodem in de te bestuderen zone werd in overeenstemming gebracht met de toestand van 1978 en het gebruikte getij was een cyclisch gemiddeld springtij overeenkomstig het dagtij van 11 mei 1971.

Uitgevoerd onderzoek:

Het proevenprogramma moest aanwijzingen geven over:

- de invloed van het verdiepingsprogramma op het stroombeeld, zodat het uiteindelijk resultaat zou kunnen gebruikt worden voor verder uit te voeren nautisch onderzoek;
- de invloed op het tijregime en de getijvoortplanting;
- de morfologische invloed opwaarts en afwaarts de verdieping en verbreding en de overgang van het zuidelijk uiteinde van de kaaimuur naar de oever.

De modelproeven, waarbij een achttal ontwerpsituaties werden bestudeerd, werden uitgevoerd in 1985.

Besluiten:

Uit hydraulisch oogpunt was de invloed op de tijvoortplanting beperkt tot een lichte vervroeging van het van hoogwater.

Bij alle ontwerpsituaties zullen plaatselijk merkbare snelheidsafnamen optreden. De stroming ter hoogte van de kaaimuur vertoont tendens tegen de rechteroever aan te leunen. Door het opwaarts uiteinde van de kaaimuur vooruit te brengen treedt bij eb juist opwaarts de kaaimuur een merkbare snelheidsafname op.

Uit economische overwegingen werd beslist de resultaten van de ontwerpsituatie T5 (zie figuur) met zwaaimanoeuvre afwaarts en opwaarts uiteinde 50 m rivierwaarts verschoven te gebruiken bij verder scheepssimulatoronderzoek.



Realisatie:

Deze containerkade is operationeel sinds 1990 en kreeg de naam Europa Terminal.

6.3 Noordzee Terminal

6.3.1 Containerterminal ten Noorden van de Zandvlietsluis. Oriënterend onderzoek (M481/1) –

Evenals voor de containerterminal ten Zuiden van de Berendrechtsluis (6.2.1), werd het Waterbouwkundig Laboratorium gevraagd de optimale lay-out van de kaaimuur te bestuderen om de invloed op tijstromingen, bodemmorfologie en mogelijke sedimentatie in de rivier zo klein mogelijk te houden.

De studie werd uitgevoerd in samenwerking met het studie bureau IMDC bij middel van een mathematisch hydraulisch zandtransport- en slibtransportmodel (IMDC), het tijoverzichtsmodel van de Schelde (M300) en een detailmodel van de omgeving van de kaaimuur M(zie ...).

In een volgende fase werd door de nautische afdeling van het Waterbouwkundig Laboratorium op de scheepsmanoeuvresimulator nagegaan of de schepen op de beschikbare ruimte op een veilige wijze 180° konden draaien en aanmeren (zie hfdst. 2).

Oriënterend onderzoek op het tijoverzichtsmodel van de Schelde (M300):

Het onderzoek werd uitgevoerd in 1990 en moest:

- een inzicht geven hoe de rivier en de toegangseul naar Berendrecht- en Zandvlietsluis zal reageren op de inplanting van een bijkomende kaai;
- gegevens leveren betreffende de invloed van de kaai op het algemeen stroombeeld, zodat het uiteindelijke resultaat zou kunnen gebruikt worden voor verder uit te voeren nautische proeven (vaarsimulatie);
- gegevens leveren over de invloed op het tijregime en de getijvoortplanting;
- een eerste kwalitatief inzicht geven over de morfologische invloed met bijzondere aandacht voor de omgeving van de Plaat van Ouden Doel.

Op het model met bodemconfiguratie 1978 en springtij 11.05.1971 (zie 6.2.1) werden een viertal varianten onderzocht.

Om het verlies aan schorregebied ter plaatse van de nieuwe containerkaai (natuurgebied Grote Buitenschoor) te compenseren werd de invloed onderzocht van een kunstmatig aan te leggen eiland achter de leidam van Doel.



Besluiten:

Uit *hydraulisch oogpunt* is de invloed van de verschillende ontwerpsituaties op de tijvoortplanting miniem.

Bij vloed zal zich afwaarts de kaai een stroomconcentratie voordoen over de leidam Ballastplaat en die de vaargeul kruist. Bij de ontwerpsituaties met 1800 m zal er in de vaargeul vóór de containerkaai merkbare snelheids afnamen optreden. Dit is ook het geval achteraan in de toegangseul naar de sluisen.

Uit *morfologisch standpunt* kan gesteld dat een sneller opvullen van de Schaar van Ouden Doel, in combinatie met een licht vooruitschuiven van de Plaat van Doel naar het vaarwater toe, mogelijk onderhoudsbaggerwerken zou kunnen vergen, terwijl vóór de containerkaai de verruiming van het profiel ook tot enige sedimentatie aanleiding zou kunnen geven.

Door de aanleg van het kunstmatige eiland zouden de snelheden in gans de vaargeul tussen de leidammen van Doel en Ballastplaat sterk toenemen, terwijl de snelheden in de Schaar van Ouden Doel (bij eb en bij vloed) en op de Plaat van Doel tegenover de nieuwe kaai (bij eb) sterk afnemen. De stroombeeldwijzigingen zijn zo ingrijpend op de morfologie, dat meer gedetailleerd onderzoek nodig is (zie ...).

Door de aanleg van het kunstmatige eiland zouden de snelheden in gans de vaargeul tussen de leidammen van Doel en Ballastplaat sterk toenemen, terwijl de snelheden in de Schaar van Ouden Doel (bij eb en bij vloed) en op de Plaat van Doel tegenover de nieuwe kaai (bij eb) sterk afnemen. De stroombeeldwijzigingen zijn zo ingrijpend op de morfologie, dat meer gedetailleerd onderzoek nodig is (zie ...).

Realisatie:

Deze containerkade is operationeel sinds 1997 en kreeg de naam Noordzee Terminal.

6.3.2 Containerterminal ten Noorden van de Zandvlietsluis. Hydraulisch-morfologisch onderzoek (M481/4)

In de besluiten van het oriënterend modelonderzoek op het tijoverzichtsmodel voor een containerterminal ten Noorden van de Zandvlietsluis werd aangedrongen op verder hydraulisch en vooral morfologisch onderzoek op een detailmodel.

6.3.2.1 Permanent stromingsmodel van de omgeving van het sluisencomplex Zandvliet-Berendrecht

Het model werd in 1991-1992 gebouwd in hal 3 naast het in aanbouw zijnde nieuw tijoverzichtsmodel van de Schelde M500 (zie ...)

Beschrijving van het model

De begrenzingen van dit model waren het afwaarts uiteinde van de leidam over de Ballastplaat enerzijds en twee kilometer opwaarts Liefkenshoek anderzijds.

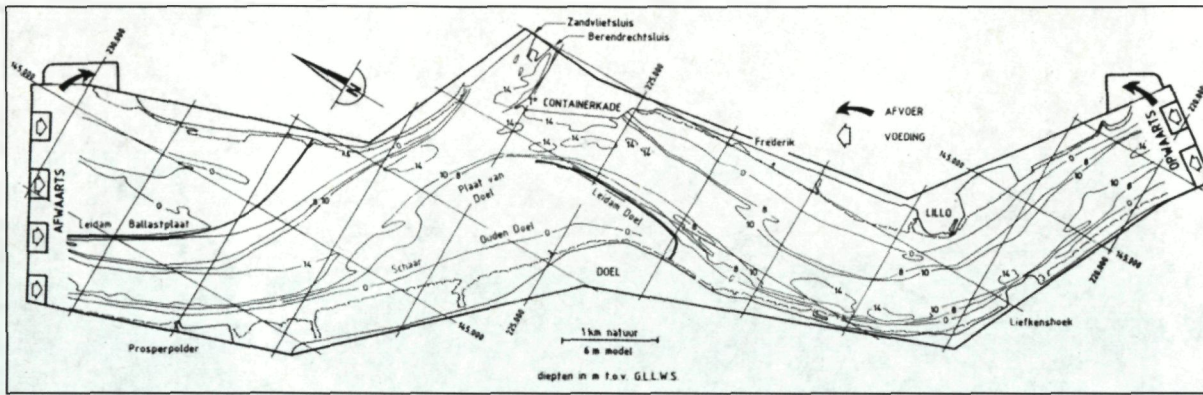
Modelschalen :

De modelschalen waren:

- Horizontaal: 6:1000
- Vertikaal 1:64
- Tijd ca. 1:21
- Debieten ca. 1:85

Geometrie:

Voor het nabootsen van de rivierbedding werd gebruik gemaakt van peilingen van juni en juli 1990.



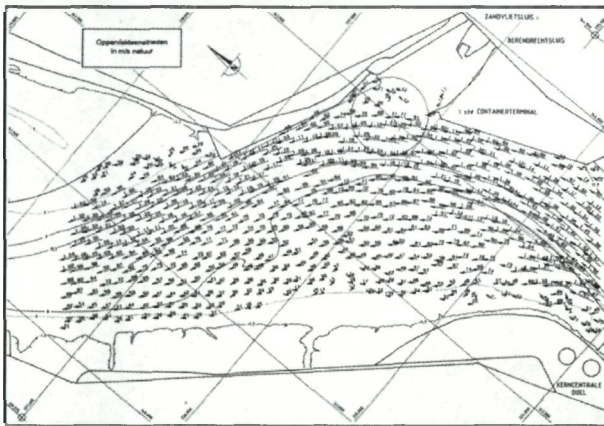
Uitvoering van de proeven:

Dit was een vervolgstudie op het oriënterend modelonderzoek uitgevoerd in 1990 op het tijverzichtsmodel van de Schelde M300 (zie 6.3). Aangezien de nieuwe reeks proeven uitgevoerd werden op het permanentemodel met een horizontale schaal die dubbel zo groot was als die bij het oriënterend onderzoek, waren de resultaten ook gedetailleerder.

Deze proeven werden uitgevoerd in 1992-1993 (samenwerking IMDC-WLB).

In het totale proevenpakket voor het *hydraulisch onderzoek* werden verschillende simulaties voorzien:

- de bestaande toestand (zonder kaaimuur) met en zonder verdiepte vaargeul;



- vier toestanden met rechte kaaimuren van verschillende lengten;
- drie configuraties met terminals met een knik;
- twee rechte containerkaaien die iets meer naar de vaargeul toeligen.

Ook voor het morfologisch onderzoek werd een selectie uit bovenstaande alternatieven onderzocht. Hiertoe werd een deel van de vaste bodem voor het hydraulisch onderzoek vervangen door een beweegbare bodem. Als meest geschikt bodemmateriaal werd nacre (gemalen kunstpa-relmoer) weerhouden.

Besluiten:

Volgende wijzigingen aan het stroombeeld werden vastgesteld:

- de ebstroom, die zich vooral in de vaargeul doorzet, ondergaat een snelheidsafname door de verdieping van de vaargeul. Deze afname wordt groter naarmate de ingebrachte containerkaai langer wordt;
- de vloedstroom, die zich eerder tegen de linkeroever doorzet, wordt nauwelijks beïnvloed door de verdieping van de vaargeul of de inbouw van een containerkaai.

De morfologische gevolgen van de geplande werken kunnen als volgt worden samengevat:

- de verschuiving van de Plaat van Doel ten gevolge van de verdieping van de vaargeul, zet zich verder voort door de aanbouw van de containerkaai;
- een lichte erosie ter hoogte van het afwaartse gedeelte van de containerkaai ten gevolge van de verdieping van de vaargeul, wordt gedeeltelijk opgevuld door de aanbouw van de kaai;
- door deze aanbouw kan een erosieput verwacht worden juist afwaarts de terminal.

Gelijktijdig met het onderzoek op fysisch model voerde IMDC simulaties uit op mathematische modellen (hydraulisch model, slibtransportmodel en zandtransportmodel).

6.4 Deurganckdok

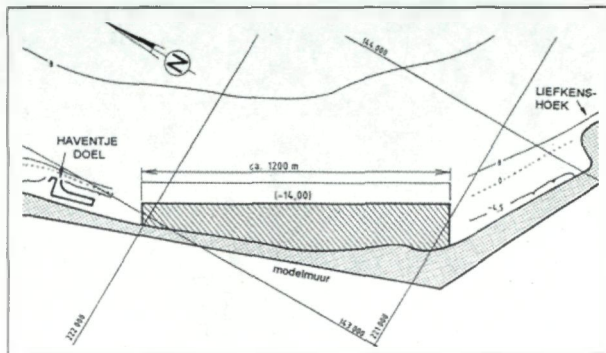
Door het sterk groeiende containerverkeer in de haven van Antwerpen ging men uitkijken naar de inplanting van een extra containerkaai (na Europa- en Noordzeeterminal).

Vooreerst werden een aantal alternatieven bestudeerd. Later werden op een detailmodel de juiste inplanting en hydraulisch-sedimentologisch modelonderzoek uitgevoerd.

Ook werd nagegaan hoe men slibafzetting in de toegang tot het tijdok kon reduceren door de aanleg van een 'current deflecting wall'.

6.4.1 Containerkaai West. Oriënterend hydraulisch en sedimentologisch onderzoek – Oriënterend onderzoek

Rekening houdend met de nodige kaailengte en de noodzakelijke diepgang werd geopteerd voor een inplanting van een 1200 m lange containerkaai langs de linkeroever in de zone tussen het haventje van Doel en het fort van Liefkenshoek. Aan het consortium IMDC-WLB werd gevraagd een oriënterend hydraulisch en sedimentologisch onderzoek uit te voeren om zo een eerste analyse te maken van de mogelijke effecten van de bouw van de westelijke containerkaai op de directe omgeving.



Hydraulisch en morfologisch onderzoek werd in 1993 uitgevoerd op fysisch model in het Waterbouwkundig Laboratorium. De figuur toont één van de onderzochte voorontwerpen. Gelijktijdig werden door IMDC simulaties uitgevoerd op mathematische modellen (hydraulisch model, slibtransportmodel en zandtransportmodel).

Besluiten:

- het stroombeeld werd sterk gewijzigd met een sterke stroming langs de kaai en gevaar voor bodemerosie. Een verdere detailstudie voor de optimalisering van de kaailengte en oriëntering is aangewezen;
- gezien de grote snelheden ter hoogte van de voorziene zwaaicirkel opwaarts van de kaai, is verder nautisch onderzoek nodig om de zwaamanoeuvres in detail te bestuderen.

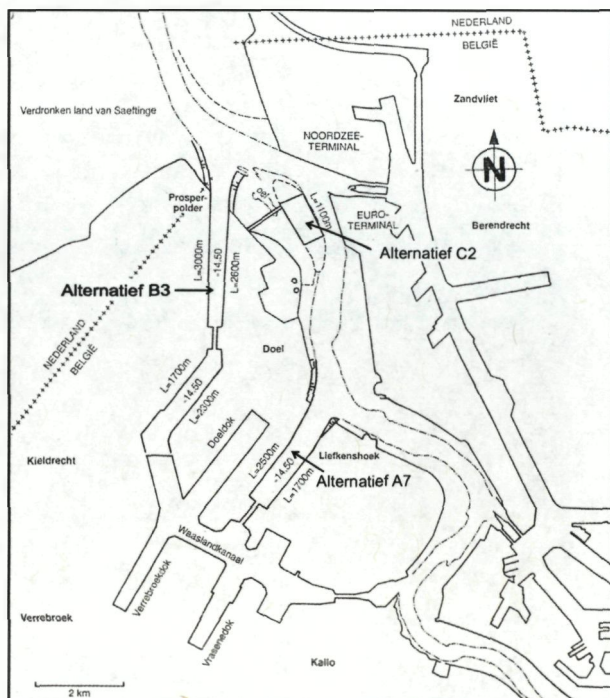
6.4.2 Containerkade/Containerdok West. Oriënterend onderzoek M504

Het oorspronkelijke ontwerp voor een containerkade langs de linkeroever van de Schelde (zie ..) werd niet weerhouden en het Havenbedrijf Antwerpen gaf in juni 1995 aan het Waterbouwkundig Laboratorium de opdracht hydraulisch-sedimentologisch oriënterend modelonderzoek uit te voeren naar het effect van de insteek van een tijdok op de linkeroever, op het stromingspatroon in de Schelde en naar de complicaties ervan op de onderhoudsbaggerwerken.

Voor de studie van het stromingspatroon betekent dit de bepaling van de stromingspatronen met het 2D hydrodynamisch numeriek model (zie ...), aangevuld met een evaluatie van de stromingspatronen in het fysisch Scheldemodel.

De modelproeven werden uitgevoerd in 1995 op het fysisch tijverzichtmodel van de Schelde (Mod. 500).

Besluiten van de modelproeven:



De oplossing "Eiland op de Plaat van Doel" (C2) had een zeer sterke invloed hebben op het hydraulisch-morfologisch regime van de Schelde. Ook de oplossing B3 "Tijdok afwaarts van de Kerncentrale Doel" had nog een grote invloed, terwijl de oplossing A7 "Tijdok opwaarts de Kerncentrale van Doel" slechts een beperkte invloed had, die wel kon toenemen door de geplande vaargeulverdieping opwaarts Zandvliet.

6.4.3 Containerdok West. Hydraulisch en sedimentologisch onderzoek M504/3

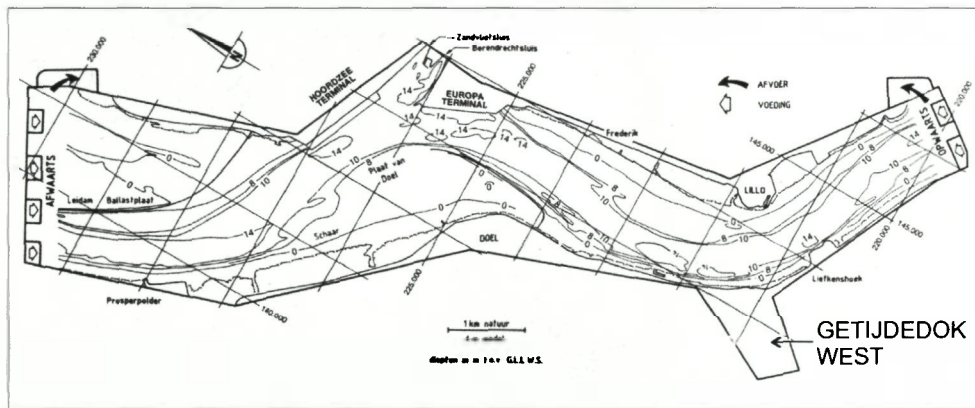
De oplossing A7 "Tijdok opwaarts de Kerncentrale van Doel" werd weerhouden.

Door de afdelingen Maritieme Schelde, Zeeschelde en Waterbouwkundig Laboratorium van de Administratie Waterwegen en Zeewezen en de Technische Dienst van het Havenbedrijf van Antwerpen werd de opdracht uitbesteed voor het uitvoeren, via twee- en drie-dimensionale mathematische modellen, van een hydraulisch en sedimentologisch onderzoek om de invloed na te gaan van de aanleg van een getijdedok en aanhorigheden en waarin ook rekening zou gehouden worden met de gefaseerde aanleg van het dok en met het verdiepen van de drempel van Frederik op de rivier.

Onafhankelijk van deze aanbesteding en ter ondersteuning van de mathematische studie diende er in het Waterbouwkundig Laboratorium modelproeven uitgevoerd om de overgang tussen rivierbedding en containerdok te bestuderen, de invloed van de verdieping van de Drempel van Frederik na te gaan en bij middel van beweegbaar materiaal de invloed op de bodem morfologie te bestuderen.

De modelproeven werden uitgevoerd op het permanent detailmodel dat reeds vroeger werd gebruikt om de containerkaaien ten zuiden en ten noorden van het sluizencomplex Zandvliet-Berendrecht te bestuderen (zie ...).

Het mathematisch modelonderzoek werd toegewezen aan het studie bureau IMDC



Voor de beschrijving van het model zie ...

Voor de aanpassing van de bodemligging van het schaalmodel aan de meest recente toestand werd gebruik gemaakt van peilingen van 1994.

Ijking van het model:

Het schaalmodel werd geijkt voor de ogenblikken van maximum vloed en maximum eb van het springtij van 13 juni 1991. Deze ijking gebeurde op basis van puntsnelheidsmetingen en stroomdrijvermetingen. De afwijkingen ten opzichte van de metingen natuur bleven binnen aanvaardbare grenzen (± 10 voor de ingang van het tijdok en ± 5 à 10% boven de Drempel van Frederik).

Proevenprogramma:

De modelproeven werden uitgevoerd in 1997.

- Lay-out van het tijdok:

Verschillende vormen van het tijdok werden uitgetest met het doel de oppervlakte van de neer aan de ingang zo klein mogelijk te houden. Ook werd uitgetest wat de meest geschikte vorm van een Current Deflecting Wall (CDW) was. Een CDW bestaat uit een gekromde muur en een drempel op de bodem. De drempel laat toe de onderste waterlagen, met hoger slibgehalte, af te buigen van de haveningang. De

gekromde muur zorgt ervoor dat water uit de bovenste lagen, en dus minder rijk aan slib, naar de haven gestuurd wordt.

Ook werden op fysisch model een aantal technieken om de slibtoevoer te verminderen nagegaan die voorgesteld werden op basis van het wiskundige model .

- Onderzoek naar de invloed van de verdieping van de Drempel van Frederik.

Besluiten:

- De neersnelheden gedurende vloed aan de ingang van het tijdok kunnen met 50% gereduceerd worden. Met een CDW wordt dit 65 à 75%. De neersnelheden bij eb ondergaan hierbij weinig verandering.
- De goede werking van een CDW wordt bepaald door zijn vorm en afmetingen in relatie met de vorm van het tijdok. Belangrijk is dat voldoende stroming wordt verkregen tussen de CDW en de oever. Via de vormgeving van de voorgestelde lay-out zonder CDW is het mogelijk om later een CDW optimaal te dimensioneren. Wel dient nog aangetoond dat een CDW ook in een zout-zoet omgeving gelijkaardige resultaten genereert.
- Onder invloed van de verdieping van de vaargeul en in mindere mate van het tijdok zullen de snelheden bij vloed in het ganse gebied stroomafwaarts van het tijdok dalen. Bij eb zal de bouw van het dok lokaal de snelheden doen stijgen, terwijl boven de Plaat van Lillo en de Drempel van Frederik een daling optreedt.

Verdere studie en realisatie:

In 1997 werd nautisch onderzoek met de scheepsmanoeuvresimulator uitgevoerd naar het in- en uitvaren van het getijdedok (zie ...). In 2005 werd onderzocht welke de invloed van de CDW zou zijn op het scheepvaart (zie...).

Uiteindelijk werd met de bouw van het tijdok (dat de naam Deurganckdok kreeg) gestart in 1999. Een eerste afgewerkt gedeelte werd in 2005 opengesteld. De eventuele constructie van een CDW is nog steeds in onderzoek.

7 STORTPLAATSEN BAGGERSPECIE

7	STORTPLAATSEN BAGGERSPECIE.....	1
7.1	PROEVEN AANGAANDE DE STORTPLAATSEN VAN BAGGERSPECIE.....	2
7.2	ALTERNATIEVE STRATEGIE VOOR HET DUMPEN VAN BAGGERSPECIE M678	2
7.2.1	<i>Haalbaarheidsonderzoek.....</i>	3
7.2.2	<i>Eerste proefstorting.....</i>	3
7.2.3	<i>Opvolging en beoordeling.....</i>	4
7.2.4	<i>Een tweede proefstorting.....</i>	4

Op het gedeelte van der Schelde tussen de monding en Antwerpen, is de natuurlijke diepte van het vaarwater op de drempels onvoldoende voor de scheepvaart. Overigens vereisen de steeds toenemende afmetingen van de zeeschepen, zowel in lengte als in diepgang, dat deze baggerwerken meer en meer opgedreven worden.

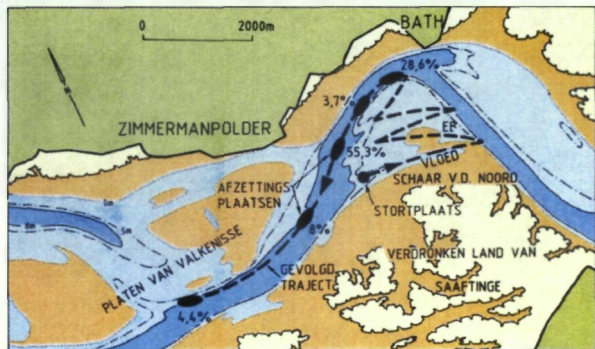
Wanneer het op Belgisch grondgebied mogelijk is de baggerspecie uit de rivier te verwijderen, is dit niet het geval op het Nederlandse gedeelte van de Schelde, waar het grootste gedeelte van de baggerspecie in de rivier moet gestort worden. Het vraagstuk stelt zich dan deze stortplaatsen oordeelkundig te kiezen om het rendement van de baggerwerken te verkrijgen.

7.1 Proeven aangaande de stortplaatsen van baggerspecie

Deze modelproeven werden in 1960 uitgevoerd op het Model van de Schelde van Hansweert tot aan de sluizen van Antwerpen (M119).

Als stortplaats in model werd telkens een zone aangenomen van circa 60x30cm met de langsas in de stroomrichting, waarop dan gedurende een bepaald aantal achtereenvolgende tijen, telkens bij kentering van hoogwater, een zekere hoeveelheid beweegbaar materiaal op de bodem werd neergelegd.

De proeven hebben tot het besluit geleid dat als gunstige stortplaatsen konden beschouwd worden: Schaar van Waarde, Appelzak, Schaar van Ouden Doel en langsheen de rechteroever van het vaarwater tussen Baalhoek en een plaats even afwaarts de Marlemonse Plaat. Proeven wezen uit dat volgende locaties ongunstig waren: Schaar van de Noord, langsheen de linkeroever van het vaarwater ter hoogte van het lichtbaken Marlemonse Plaat en langsheen de linkeroever van het vaarwater tussen Baalhoek en een plaats even afwaarts de Marlemonse Plaat.

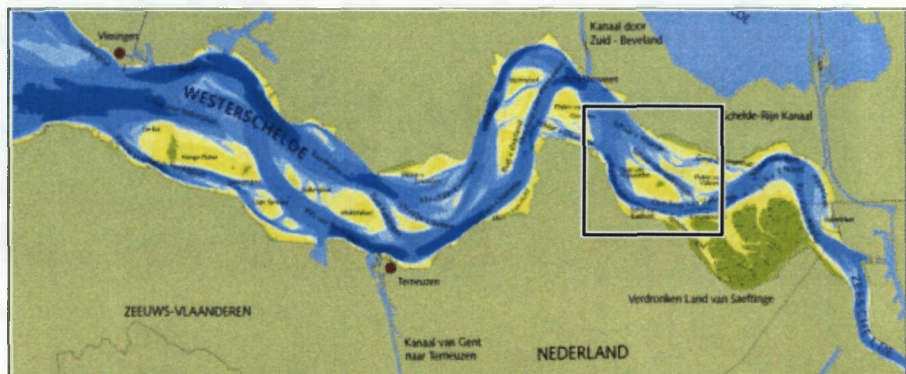


7.2 Alternatieve strategie voor het dumpen van baggerspecie M678

Jaarlijks wordt er in de Westerschelde tussen 8 en 10 miljoen m³ zand gebaggerd om de toegang tot de Scheldehavens te onderhouden. Dit zand wordt hoofdzakelijk in de nevengeulen gestort. Bij een nieuwe verruiming van de vaargeul – gepland in 2008 – zou éénmalig 7 miljoen m³ extra gebaggerd moeten worden. Omdat weinig zand wordt uitgewisseld tussen het estuarium en de zee, geniet het terugstorten binnen het estuarium sterk de voorkeur op het storten in zee.

Het terugstorten van stijgende hoeveelheden baggerspecie in de ondiepe vloedgeulen werd als een gevaar voor het instand houden van het meergeulen stelsel gezien.

Een onafhankelijke groep experts (Port of Antwerp Expert Team PAET) formuleerde in 2001 het idee om baggerspecie aan te wenden om het Schelde-estuarium morfologisch en ecologisch gezonder te maken.



Als alternatief voor het storten in de vloedgeulen stelden zij voor om het gebaggerde sediment te storten aan de zeewaartse punt van de platen in de Schelde zelf. Door de werking van de getijden bestaat de Schelde uit een aantal eb- en vloedgeulen die gescheiden zijn door platen. Door de stroming is vooral de zeewaartse kant van de platen geërodeerd. De bedoeling van het project is dus te onderzoeken of materiaal gestort kan worden op deze

platen en nog belangrijker, of dat zand wel blijft liggen en niet onmiddellijk na het storten terug in de vaargeul belandt.

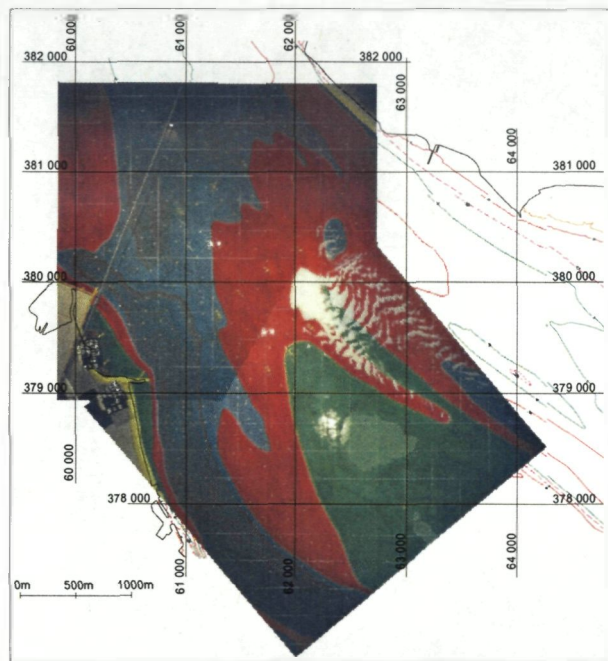
Als pilootproject om de haalbaarheid van de alternatieve stortstrategie te bestuderen koos het PAET voor de plaat van Walsoorden.

Voor de opzet van het hele project werd gekozen voor een combinatie van meetcampagnes ter plaatse, numerieke modellering en proeven met een schaalmodel.

7.2.1 Haalbaarheidsonderzoek

In 2002 en 2003 onderzocht het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout in opdracht van ProSes (Projectdirectie Ontwikkelingschets Schelde-estuarium) de haalbaarheid van deze nieuwe stortstrategie. Het onderzoeksprogramma omvatte de analyse van historische gegevens, metingen op de Westerschelde en het gebruik van schaalmodellen en computermodellen.

Voor het eerste onderdeel van het onderzoek werden een aantal *meetcampagnes* opgezet.



Het tweede onderdeel was de *numerieke modellering*, uitgevoerd met DELFT3D. De waterstanden en vooral de stroomsnelheden berekend met zowel een 2D- als een 3D-model worden vergeleken met de meetgegevens en datgene wat gemeten is op het schaalmodel. Deze laatste proeven werden in 2003-2004 uitgevoerd met sediment in het fysisch tijverzichtmodel van de Schelde (M500 – zie 11.4). Als bodemmateriaal werd gekozen voor polystyreen dat vermalen was tot een diameter van 45 µm. Van dit sediment is op een aantal plaatsen rond de plaat rond de plaat van Walsoorden een hoeveelheid van 40 kg per getij gestort. Na het 4^{de}, 7^{de}, 10^{de}, 13^{de} en 16^{de} tij werd met een camera een foto genomen om de verspreiding van het sediment te bepalen.

Uit de proeven met het sediment in het schaalmodel kon de locatie bepaald worden waar het sediment het best blijft liggen. De hiernaast weergegeven foto is genomen 12 tijen na de laatste storting

(wat overeenkomt met 8 jaar in werkelijkheid). Als het gebaggerde zand op deze plaats gestort wordt zal de secundaire vloedgeul zichzelf opvullen en zal de plaat aangroeien. Dit heeft tot gevolg dat een betere scheiding van de stroming tijdens eb en vloed bekomen wordt.

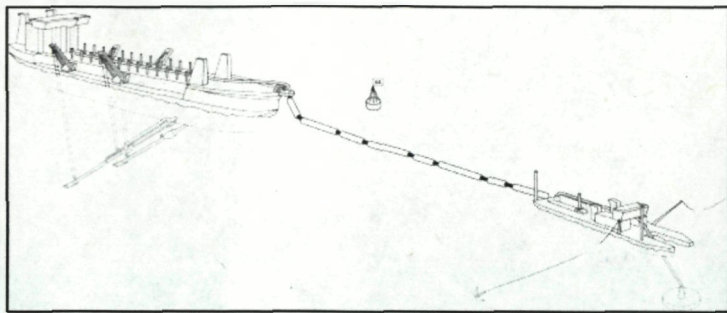
Volgend op deze modelproeven werd een numerieke modellering van sedimenttransport rond de plaat van Walsoorden uitgevoerd (zie ...).

Alle resultaten in het haalbaarheidsonderzoek gaven aan dat de strategie haalbaar was, maar volgens de onderzoekers zou alleen een proefstorting in de natuur definitief uitsluitsel kunnen geven. Een groep internationale experts, aangesteld door ProSes, onderschreef deze conclusies in een “second opinion” en er werd besloten proefstortingen uit te voeren.

7.2.2 Eerste proefstorting

Er werd voorgesteld een hoeveelheid van 500.000 m³ te storten. Deze hoeveelheid is enerzijds groot genoeg om een morfologische verandering waar te kunnen nemen, anderzijds klein genoeg mochten zich ongewenste effecten voordoen.

Er werd gebruik gemaakt van een speciale sproeikop om in ondiep water te storten om zo weinig mogelijk het milieu te verstoren. Bovendien was de diepte op de voorgestelde stortlocatie niet voldoende om te storten met de traditionele kleptechniek. De sproeikop techniek laat bovendien toe het zand nauwkeurig aan te brengen, zowel qua plaats als qua dikte van de storting. Een sleeplopper pompt het zand door een



persleiding naar het ponton waaraan de speciale sproeikop is bevestigd. Eind 2004 werd de in situ stortproef uitgevoerd: in één maand werd 500.000 m³ zand op de rivierbodem aangebracht met de sproeikop.



In het onderzoeksprogramma was een intensieve opvolging voorzien om op een objectieve manier het succes van het proefproject te beoordelen, zowel op gebied van morfologie als ecologie.

Op voorhand werden criteria geformuleerd voor het slagen van de proef. Zo moest er bijvoorbeeld twee weken na het einde van de storting nog 80% van de specie binnen een vooraf bepaalde controlepolygoon liggen.

7.2.3 Opvolging en beoordeling

Om de *morfologische ontwikkelingen* te kunnen opvolgen werden gedurende één jaar wekelijks (na 3 maanden werd de frequentie van opname verlaagd tot tweewekelijks, later tot maandelijks) hoogresolute multibeam peilingen van de bodem op en rond het stortgebied uitgevoerd. Per trimester werd eveneens een groter gebied (van Bath tot Hansweert) opgemeten met dezelfde techniek. Aanvullend werd vanuit een vliegtuig tweemaal de hoogteligging van de plaat van Walsoorden opgemeten (LIDAR).

Ook werd de stortproef opgevolgd met een uitgebreid *ecologisch monitoringprogramma*. Dit bestond uit een intertidaal (plaat van Walsoorden) en een subtidaal (ondiepwater rond de plaat van Walsoorden) luik. Binnen de verschillende gebieden werden in verschillende seizoenen bodemmonsters genomen waaruit de samenstelling van de bodem (korrelgrootte, slibpercentage) kon bepaald worden. Er werden eveneens monsters genomen voor de analyse van het macrobenthos (biomassa, diversiteit, densiteit). Daarnaast werd op 3 locaties op de plaat de erosie/sedimentatie in detail opgevolgd. Een vlucht werd uitgevoerd waarbij met behulp van remote sensing en hyperspectraal analyse de ontwikkelingen van de plaat van Walsoorden in zijn geheel gevolgd konden worden.

Vanuit de morfologie kan de stortproef als een succes beschouwd worden: één jaar na de uitvoering van de proef was nog meer dan 80% van de aangebrachte specie aanwezig binnen de controlepolygoon.

Wat betreft ecologie werden geen significante negatieve effecten vastgesteld, zodat ook deze doelstelling gerealiseerd werd.

7.2.4 Een tweede proefstorting

Het succes van deze stortproef heeft ertoe geleid dat in 2006 de proef verder gezet werd. Hierbij werd opnieuw 500.000 m³ zand gestort aan de zeevaartse punt van de plaat van Walsoorden.

In tegenstelling tot de stortproef van 2004 werd deze storting uitgevoerd gebruik makende van de traditionele "klep"-techniek.

Een monitoringprogramma, quasi identiek aan het vorige, met als doel het al dan niet slagen van deze nieuwe stortproef te beoordelen is momenteel nog lopende. De tussentijdse resultaten geven aan dat de specie grotendeels binnen de nieuwe controlepolygoon blijft, doch mobieler is dan bij de eerste stortproef (70% vs 85%).

Medio 2007 zal de evaluatie van de nieuwe stortproef beschikbaar zijn.

8 BEVEILIGING TEGEN STORMVLOEDEN

8	BEVEILIGING TEGEN STORMVLOEDEN.....	1
8.1	STORMVLOEDKERING TE OOSTERWEEL.....	2
8.1.1	<i>Eerste berekeningen en proeven.....</i>	<i>2</i>
8.1.2	<i>Nieuw uitgebreid modelonderzoek in verband met de stormvloedkering Oosterweel.....</i>	<i>5</i>

De Belgische Zeeschelde, vanaf de Belgisch - Nederlandse grens tot in Gent, evenals haar bijrivieren, de Rupel, de Dijle, de Netes, de Zenne en de Durme, staan via de Westerschelde in rechtstreekse verbinding met de Noordzee en zijn dan ook onderhevig aan getijbeweging.

Immers, aan de monding van de Westerschelde in Vlissingen stroomt er tweemaal per dag ongeveer één miljard kubieke meter water de Schelde binnen (vloed) en vervolgens terug buiten (eb), wat in Antwerpen, op ongeveer 80 kilometer van de monding, aanleiding geeft tot een getijverschil tussen hoog- en laagwater van ongeveer vijf meter.

Dat bij een combinatie van springtij en sterke aanhoudende wind uit noordwestelijke richting het water in het zuidelijk gedeelte van de Noordzee en bijgevolg ook in de Schelde nog een stuk hoger kan opstuwen en door wateroverslag en dijkdoorbraken aanleiding kan geven tot overstromingen, heeft men de vorige eeuw nog verschillende malen kunnen ondervinden.

In februari 1953, toen vooral in Zeeland maar ook op Belgisch grondgebied grote overstromingen optraden, steeg het water in Antwerpen tot $Z + 7.83$ m en in 1976, toen vooral Ruisbroek wekenlang overstromde was het hoogste waterpeil in Antwerpen $Z + 7.35$ m.

Om in het Scheldebekken steden, dorpen en industriegebieden tegen overstromingen te beschermen kan men kiezen uit volgende mogelijkheden:

- de dijken niet verhogen, maar versterken zodat ze overstroombaar worden zonder gevaar voor bres-
- de dijken verhogen zodat ze onoverstroombaar worden;
- het bouwen van een beweegbare stormvloedkering;
- de aanleg langs de Schelde van overstromingsbekkens (potpolders);
- een combinatie van twee of meer van voornoemde maatregelen.

8.1 Stormvloedkering te Oosterweel

Een stormvloedkering is een stuw die in normale omstandigheden openstaat en het getij ongehinderd doorlaat maar die in uitzonderlijke omstandigheden – wanneer een stormvloed verwacht wordt – geheel of gedeeltelijk kan gesloten worden. Zodoende wordt het opwaarts gelegen bekken afgesneden van het gebied en ligt het volledig beschut tegen de aankomende vloed.

Reeds in de zestiger jaren door het Bestuur der Waterwegen van het Belgische Ministerie van Openbare Werken beslist een studie uit te voeren naar het bouwen van een zo afwaarts mogelijk gelegen stormvloedkering op de Schelde.

Om de scheepvaart op de rivier zo weinig mogelijk te hinderen werd gekozen voor een stormvloedkering met hefschuiven, die zich in open stand hoog in de lucht tussen grote pijlers bevinden en werd het rechtlijnig gedeelte van de rivier te Oosterweel, afwaarts de stad Antwerpen, als inplantingsplaats weerhouden.

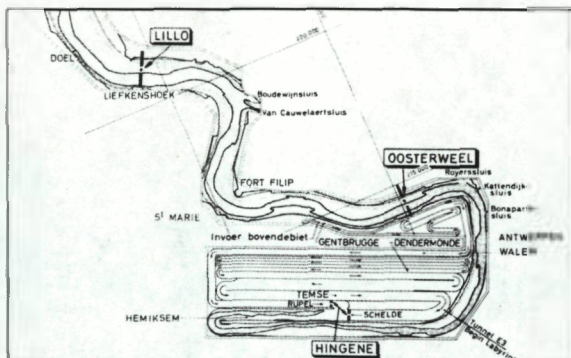
8.1.1 Eerste berekeningen en proeven

Van 1965 tot 1972 werden op het Waterbouwkundig Laboratorium verschillende varianten van dergelijke stormvloedkering met hefschuiven berekend.

Ook werden met een ééndimensionaal getijmodel op computer hydraulische berekeningen uitgevoerd en werden op het bestaande Scheldemodel (zie 0.2) proeven uitgevoerd naar de wijzigingen aan de tijvoortplanting en de niveaoverschillen aan de stormvloedkering en werden modelstudies uitgevoerd (schaal 1/100) naar de snelheden nabij de stormvloedkering (zie 7.2.2) en de krachten en drukken op de schuiven bij onderdoorstroming en golven (zie 7.1.2).

8.1.1.1 Oriëntatieproeven in verband met stormvloedkering te Oosterweel

Deze proeven werden uitgevoerd in 1968 op het Tijverzichtmodel van de Schelde (M300).



De onderzochte plaatsen voor de inplanting van stormvloedkeringen (SVK) waren: Lillo, Oosterweel en Hingene (stroomopwaarts de Rupelmonding samen met de monding van de Rupel).

Het doel van de proeven was na te gaan welke de wijzigingen aan de tijkrommen afwaarts de stormvloedkering waren en welk niveauverschil ter hoogte van de stormvloedkering optrad.

Volgende proeven werden uitgevoerd:

- Stormvloedkering volledig gesloten bij kentering laagwater (K.L.W.) tijdens gemiddeld getij en tijdens springtij. De tijkrommen afwaarts de afsluiting werden vergeleken met deze zonder afsluiting.
- Stormvloedkering gesloten op het ogenblik van stroomkentering bij laagwater tijdens een stormtij en tijdens een buitengewoon stormtij.
De vorige proeven werden herhaald, maar nu voor een stormtij en een buitengewoon stormtij.
- Stormvloedkering te Oosterweel volledig gesloten op het ogenblik van halfijhoogte tijdens de vloed bij een stormtij en bij een buitengewoon stormtij.
- Verdronken Land van Saaftinge en Schorre van Ossendrecht ingedijkt.
Hier werd nagegaan welke de invloed was van een volledige of van een gedeeltelijke afsluiting van een stormvloedkering van Oosterweel met of zonder indijking van het Verdronken Land van Saaftinge en de Schorre van Ossendrecht, en dit bij stormtij en buitengewoon stormtij.

Besluiten:

- De verhoging van het hoogwater afwaarts een stormvloedkering bij volledige afsluiting, wordt bepaald door al de karakteristieken van het getij. Dus niet alleen de cota van hoogwater is welke maatgevend.
- Indijking van het Verdronken Land van Saaftinge en de Schorre van Ossendrecht levert bij volledig gesloten S.V.K. te Oosterweel een aanzienlijke bijdrage in de verhoging van de hoogwaterstanden afwaarts de stormvloedkering.
- De verhoging van het hoogwater juist afwaarts een volledig gesloten S.V.K. te Oosterweel is van de orde van 1 m. Aan de Belgisch-Nederlandse grens kan deze verhoging nog circa 40 cm bedragen.
- De afsluiting van de S.V.K. dient te gebeuren op het ogenblik van stroomkentering (laagwater).
- Door de zeer grote niveauverschillen bij volledig gesloten stand zal het wenselijk zijn regelbare doorstroomopeningen te voorzien. Deze moeten zoveel mogelijk over gans de breedte van de rivier verspreid worden en zich zo hoog mogelijk boven de rivierbodem bevinden om erosieverschijnselen te voorkomen.

8.1.1.2 Snelheids- en krachtmetingen op maquette 1:100

Op dit model werden de eerste gegevens bekomen, die dan verder gebruikt werden bij stabiliteitsberekeningen of bij de studie van de vorm de grote schuif op grote schaal.

Beschrijving van het model

Het model, zonder distorsie werd gebouwd op schaal 1:100 en geeft gedeelte van de Schelde weer van 725 m afwaarts de stormstuw tot ca. 3.3 km opwaarts ervan.



van

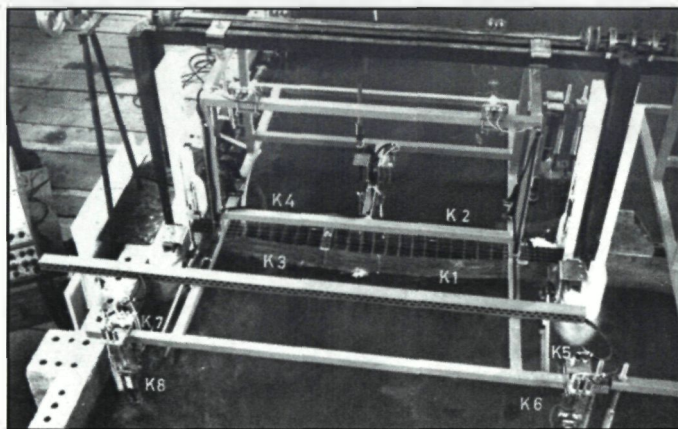
een

De ingebouwde stormstuw geeft één van de projecten weer die voor de berekeningen werden aangehouden. Ze bevat twee grote openingen en drie kleine. De eendelige grote schuiven, zoals die zich eerst in het model bevonden, werden later vervangen door tweedelige grote schuiven waarbij debiet doorheen de schuiven kon afgevoerd worden..

Uitgevoerde proeven

De modelproeven werden uitgevoerd in de periode 1970-1972.

- *Meting van het debiet en van de snelheden*
 - De proeven werden uitgevoerd zowel met gesloten als met debiet doorlatende grote schuiven (bodemspleet of tussenspleet).
 - Wilde men het verval over de stuw beperken tot 3 m dan volstonden de drie kleine schuiven niet om het debiet af te voeren. Het afgevoerde debiet kon vergroot worden door de drempel van de kleine schuiven te verlagen of door te debiteren langs de grote schuiven. De beste situatie werd bereikt door twee grote schuiven die debiteren langs een middenspleet en drie kleine schuiven.

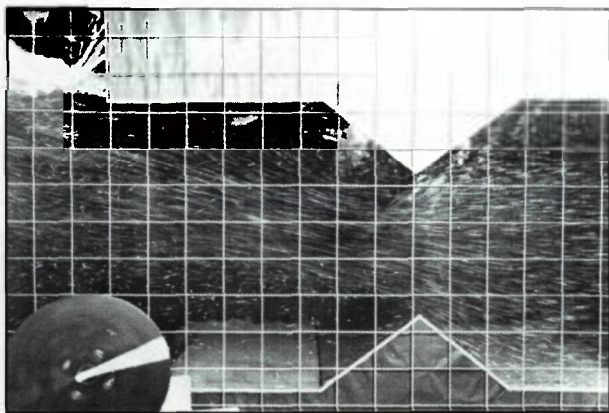


- *Meting krachten inwerkend op een debiterende schuif*
 - Tijdens deze proeven werd een schuif op een bepaalde wijze tussen veren opgesteld en aan verschillende belastingen onderworpen (verschillende schuifopeningen, waterstanden, vervallen en golven).
 - Uit deze metingen bleek o.a. dat er in model grotere dwarskrachten ontstaan door golven dan door stromingen

8.1.1.3 Drukmetingen op debiterende schuiftypes

Om het verval over de schuif zo klein mogelijk te houden werd o.a. gedacht debiet door de grote schuiven te laten stromen. Een oplossing die bij voorgaande proeven (zie 7.1.1.1) goede resultaten gaf, bestond erin de schuif tweedelig uit te voeren. Hierbij hangt het onderste gedeelte (hoogte = 6 m) aan een bovendeele van 12 m hoogte. Tussen beide is een spleet die regelbaar is.

Met deze modelproeven werd de vorm van de spleet in de grote schuif bestudeerd met het doel zo goed mogelijke stromingen te bekomen, d.w.z. regelmatig verloop van de drukken langs de schuifwand (vermijden van onderdrukken), geringe krachten op de schuif, grote debietscoëfficiënten.



Alhoewel de meeste proeven uitgevoerd werden voor een tweedelige grote schuif, gaven de profresultaten ook inzicht voor de stromingen bij een eendelige grote schuif en gebeurlijk voor een kleine schuif.

Beschrijving van het model

De modelschuif op schaal 1:20 werd opgesteld in het midden van een lang glazen kanaal (breedte 70 cm). Dit kanaal werd gevoed via een rechthoekige meetoverlaat en het afwaarts peil werd geregeld door een overstortklep. Bij latere proeven werden ook andere modelschalen gebruikt.

Uitgevoerde proeven

- In het model werden debieten, drukken en watersnelheden gemeten voor 55 verschillende schuifvormen werden bestudeerd. Hiervoor werden verschillende schuifopeningen, verschillende vervallen en verschillende opwaartse waterstanden ingesteld.

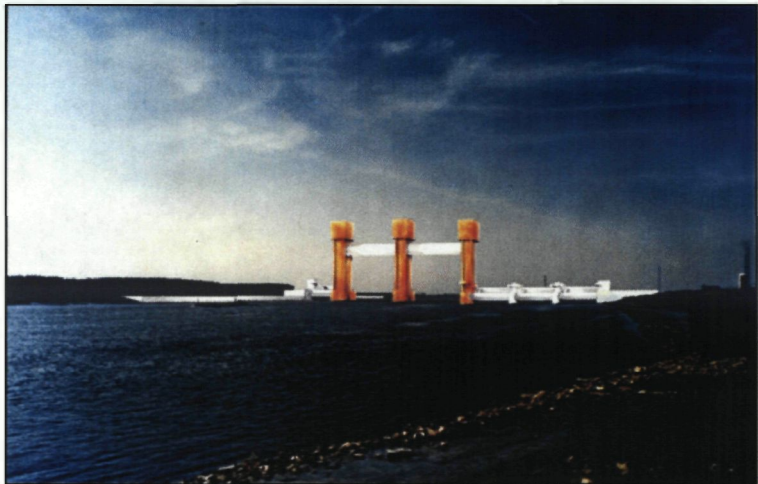
8.1.1.4 Stopzetten van het onderzoek

Dat het project vervolgens tijdelijk begraven werd had ook toen reeds te maken met budgettaire problemen.

8.1.2 Nieuw uitgebreid modelonderzoek in verband met de stormvloedkering Oosterweel

Nieuwe overstromingen, die ons land tijdens de stormvloed van 3 januari 1976 teisterden (vooral in Ruisbroek), hebben het probleem van de stormvloedbeheersing in het Scheldebekken snel terug op de agenda geplaatst.

En gelet op het feit dat men ondertussen tot de bevinding kwam dat door baggerwerken, indijkingen, zeespiegelrijzing, bodemdaling en grotere oppervassen, het gevaar voor overstromingen voortdurend aan het toenemen was, werd het Waterbouwkundig Laboratorium zeer nauw betrokken bij de opmaak van een "Sigmaplan" ter beveiliging van het Scheldebekken tegen overstromingen.



Fotomontage van één van de ontwerpen

Dit Sigmaplan, dat in 1977 door het Belgische Parlement werd goedgekeurd, leidde tot drie conclusies:

1. Het verhogen en versterken van de rivierdijken waar mogelijk;
2. Het voorzien van gecontroleerde overstromingsgebieden;
3. Het bouwen van een stormvloedkering te Oosterweel.

Het verhogen van de dijken werd immers beperkt door de aanwezigheid van verschillende steden (Antwerpen, Lier, Mechelen, Dendermonde, Gent, ...), scheepswerven en industriegebieden en het aanleggen van overstromingsgebieden vereiste zeer grote zones om enige invloed te hebben zodat een optimale beveiliging van het Scheldebekken, met eenzelfde risicofactor als in het Nederlandse "Deltaplan", aangenomen voor de Westerschelde, enkel kon bereikt worden door het bouwen van een stormvloedkering.

Dit kunstwerk zou dan een eerste waterkering vormen, maar daar perfectie niet van deze wereld is, kan uiteraard ook zo'n stuw falen, zodat de verhoogde en verstevigde dijken nodig blijven als tweede waterkering.

In 1979 sloot het Belgische Ministerie van Openbare Werken een raamcontract af met een consortium van studie bureaus en aannemers, genaamd SVKS (StormVloedKering Schelde), voor de ontwerpstudie en uitvoering van een stormvloedkering te Oosterweel, en het was maar normaal dat het Waterbouwkundig Laboratorium bij dit consortium onmiddellijk als onderaannemer werd betrokken.

Tussen oktober 1979 en januari 1985 werden bijna twintig WL rapporten uitgebracht over de hydraulische en hydrodynamische studies. Deze laatste werden uitgevoerd op een aantal stroomgoten en behelsden de keuze van het schuiftype en drukmetingen en berekening van optredende krachten.

Startend van meer dan twintig verschillende ontwerpen (bodemdeuren, hefdeuren, klapdeuren, bootdeuren, draaideuren, opblaasdeuren, sectordeuren, segmentdeuren, ...) leidden deze modelstudies samen met uitgebreid theoretisch onderzoek uiteindelijk tot een voorstel met drie doorvaarbare openingen van 80

meter breed voor zee- en binnenscheepvaart, met hefdeuren die op 70 meter boven de waterspiegel tussen 125 meter hoge pijlers werden opgehangen en drie ondoorvaarbare openingen van 50 m breed met vallende segmentschuiven om bij gesloten stuw toch nog een gedeelte van het tijwater door te laten en zo het niveauverschil over de kering te beperken.

8.1.2.1 Hydrodynamische studies (M400-22/23/24/25/26)

Hierbij werden verschillende types schuiven bestudeerd, waarbij telkens de uitwendige drukken bij verschillende standen van de schuif opgemeten werden. De proeven die parallel uitgevoerd werden voor verschillende kleptypes, gebeurden in het raam van een definitieve keuze van het kleptype voor de stormvloedkering.

Volgend modelonderzoek werd uitgevoerd:

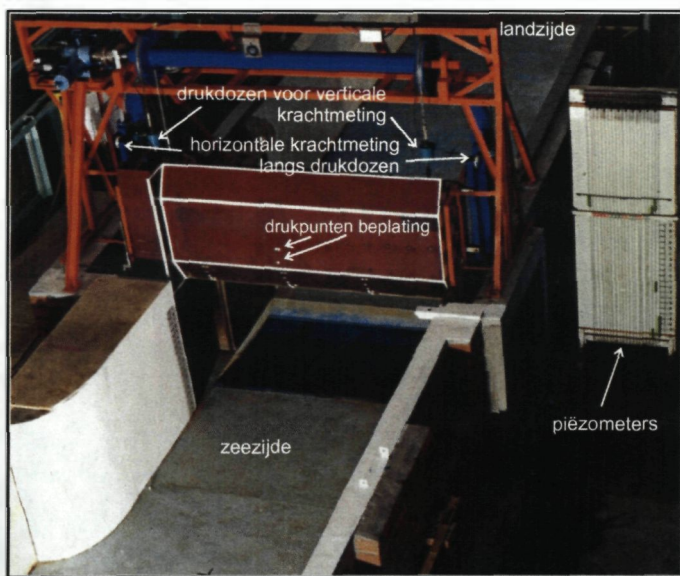
- Modelonderzoek op schaal 1:40

De modelschuif is opgesteld in een rechthoekig glazen kanaal met een breedte van 56 cm. De wateraanvoer geschiedt langs een rechthoekige meetoverlaat. In het model van de hefschuif zijn een aantal drukpunten voorzien, zowel aan de zeewaartse als aan de landwaartse zijde.

De modelproeven werden uitgevoerd in 1979-1980.

Het meten van de drukken gebeurt door aflezing op waterkolom op een bord naast het model.

- Drukmetingen op verzonken segmentschuif met as op (-2.5)
- Drukmetingen op hefschuif "caisson" type
- Drukmetingen en krachtenberekening op hefschuif "caisson" type III
- Drukmetingen op verzonken segmentschuif met as op (+8.0)
- Drukmetingen op klapdeur



- Modelonderzoek op schaal 1:20

Een halve hefschuif en een halve pijler is ingebouwd in een 56 m lange stroomgoot (breedte = 1.2 m). Deze stroomgoot werd gevoed langs zeewaartse zijde. Aan de landwaartse zijde van het model is een verticaal werkende regelschuif aangebracht die kan afgesteld worden op de landwaartse waterstand.

Model op schaal 1:20 van de weerhouden schuif

De modelproeven werden uitgevoerd in 1980-1984. Volgende proeven werden uitgevoerd

- Permanente beweging bij hefschuif "caisson" type IV
- Tijproef bij hefschuif "caisson" type IV
- Permanente beweging en golven bij hefschuif "caisson" type IV

- Modelonderzoek op schaal 1:25

Als schuiftype voor de zijpassen van de stormvloedkering werd gekozen voor een vallende segment-schuif.

Het doel van deze studie was een eerste waarde te bekomen van de krachten en momenten op de schuif. De proeven waren analoog aan deze uitgevoerd voor de schuiven van de hoofdpassen (proeven op schaal 1:40 – zie hoger).

De modelschuif is opgesteld in een rechthoekig glazen kanaal met een breedte van 70 cm. De schuif was uitgevoerd in koper en voorzien van een aantal drukpunten, zowel aan de landwaartse als aan de zeewaartse zijde.

- In 1980 werden drie reeksen proeven uitgevoerd: een eerste reeks met vlakke bodem op NKD-8m, en een tweede en derde reeks met verdiepte bodem.

Hieruit kon afgeleid worden dat het drukverloop quasi hydrostatisch is, behalve aan de aan de aanstroomzijde in de omgeving van de onderste rand. Ook het drukverloop in de verdiepte bodem was quasi hydrostatisch.

- In 1982 werden in dezelfde stroomgoot en met dezelfde segmentschuif tweedimensionale modelproeven uitgevoerd voor de dimensionering van de bodembescherming in de omgeving van de schuif. Voor deze dimensionering kon uitgegaan worden van drie stromingstoestanden: normale eb- en vloedstroming bij open kering, normale sluitingsprocedure en exploitatie en uiteindelijk fallende schuif.

Uit de proeven bleek dat de bodembescherming, nodig bij falingstoestanden deze bij normale exploitatie verzwaarde aan de zeezijde van de kering (pijlereffect) en landwaarts de oeverpassen (oeverbescherming). Het voorgestelde ontwerp diende nog onderzocht te worden op het driedimensionale model (zie verder).

8.1.2.2 Hydraulische studie van de stormvloedkering

Beschrijving van het model

Voor het gedetailleerd hydraulisch onderzoek werd een onvertrokken model uitgebouwd dat het gedeelte van de Schelde tussen Draaiende sluis (ca. 2,5 km afwaarts) en het Loodswezen (ca. 2,5 km opwaarts de ontworpen kering) weergaf.

Modelschalen :

- Horizontaal: 1:100
- Vertikaal 1:100.
- Tijd 1:10
- Debieten 1:100000

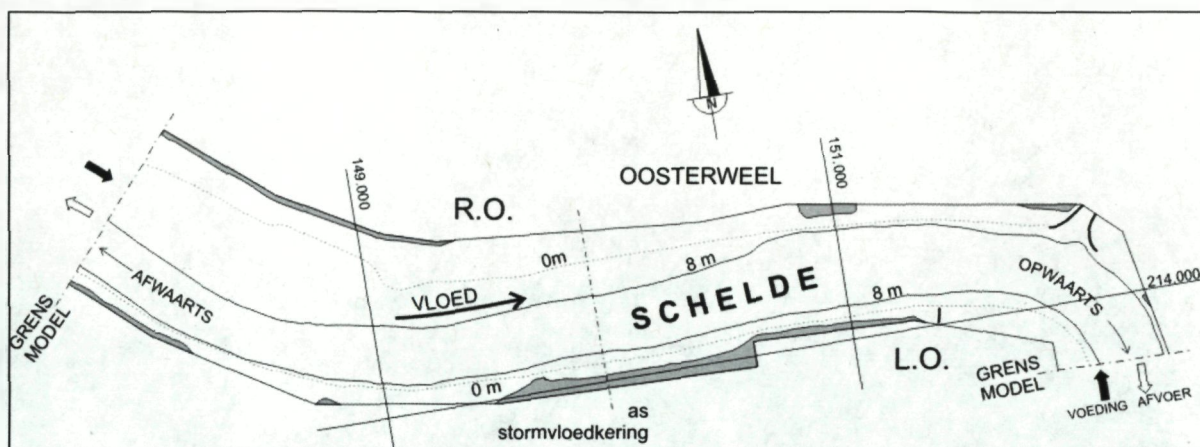
Geometrie:

Voor het nabootsen van de rivierbedding werd gebruik gemaakt van peilingen uit 1977 en 1978.

Verwezenlijking van permanente stromingen en van het getij:

Het model werd in eerste instantie met permanente stroming uitgebouwd waarbij het debiet aan één modeluiteinde bij middel van vlinderkleppen werd ingesteld terwijl de gewenste waterstand aan het andere modeluiteinde werd ingesteld bij middel van overstortkleppen. In te stellen debieten en waterstanden werden bepaald met het wiskundig model M331 of met het fysisch tijmodel M300.

Begin 1980 werd getracht het detailstroommodel om te schakelen door het in te schakelen in een wiskundig systeem dat afwaarts en opwaarts van het fysisch model een tijberekening uitvoert (hybride model).



Hydraulische ijking van het model:

Voor de ijking van het model werd uitgegaan van stroom- en debietsmetingen uitgevoerd door de Antwerpse Zeediensten bij springtij ter plaatse van de drempel van Oosterweel. Deze maximale stroomtoestanden werden weerhouden voor de ijking van het model, waarbij getracht werd de debietsverdeling over de dwarsraai zo getrouw mogelijk weer te geven door aanpassingen aan de instroomzijde.

Onderzoek uitgevoerd op dit model

- *Hydraulisch onderzoek op Mod. 400 (+ Mod. 300 + wiskundig 1D-model)*

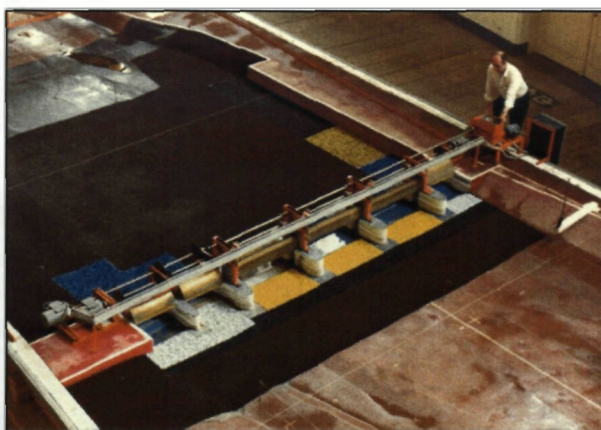
Het hydraulisch onderzoek (invloed van het kunstwerk op de waterbeweging) bestudeerde de invloed van de stormvloedkering op de tijvoortplanting afwaarts en opwaarts de kering tijdens het geheel of gedeeltelijk sluiten alsook de waterbewegingen in de onmiddellijke omgeving van het kunstwerk.

De tijvoortplanting werd (nog steeds) bestudeerd met behulp van een ééndimensionaal wiskundig computermodel. Bij dit onderzoek werden verschillende mogelijke type - stormtijden gehanteerd alsmede verschillende sluitingsogenblikken, sluitingswijzen (geheel of gedeeltelijk) en falingstoestanden van de kering.

Naast de optimale inplanting van de pijlers en de breedte en diepte van de openingen (vier verschillende configuraties) werden op dit model tientallen sluitingsprocedures onderzocht.

- *Dimensionering bodembescherming*

Tevens werd op dit model bestudeerd welke oever- en bodembescherming in de nabijheid moest aangebracht worden. Een eventueel fallende klep zou immers tijdens het sluitingsmaneuver achter de kering ernstige uitschuringen kunnen teweegbrengen.



Realisatie:

De kostprijs werd in het begin van de jaren tachtig immers reeds geraamd op meer dan 20 miljard Belgische frank (een half miljard euro) en die had men blijkbaar niet want andere projecten zoals de voorhaven van Zeebrugge, de scheepslift van Strépy Thieu en de Liefkenshoektunnel gingen met alle beschikbare middelen lopen.

In het begin van de jaren negentig was er nog wel een korte opstoot met het onderzoek naar kleinere stormvloedkeringen op de Rupel en de Bovenschelde maar uiteindelijk was het wachten op het project "Ruimte voor water" vooraleer de beveiliging tegen overstromingen op het Scheldebekken echt terug aan bod kwam, zij het dan zonder stormvloedkering.

9 VASTE OEVERVERBINDINGEN

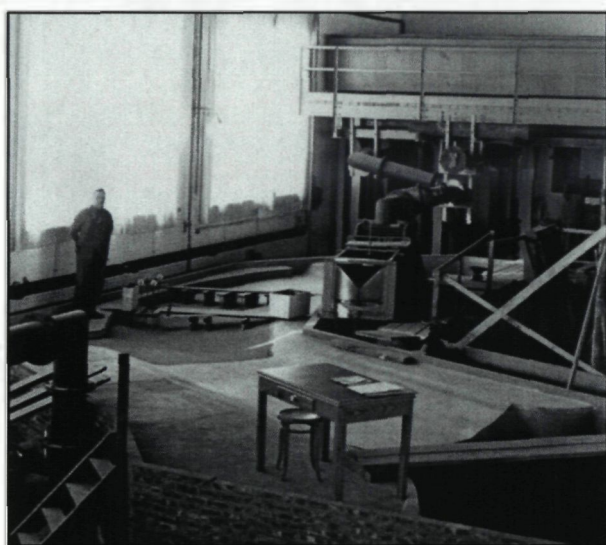
9	VASTE OEVERVERBINDINGEN	9-1
9.1	HET ZINKEN VAN EEN CAISSON VOOR DE BOUW VAN EEN BRUG OP DE SCHELDE TE DENDERMONDE (M7)	9-2
9.2	VASTE OEVERVERBINDING WESTERSCHELDE M301	9-2
9.3	E3-SCHELDETUNNEL. MODELPROEVEN IN VERBAND MET HET TOT ZINKEN BRENGEN VAN DE TUNNELEMENTEN M224	9-3
9.3.1	<i>Beschrijving van het model</i>	9-4
9.3.2	<i>Het meten van de krachten</i>	9-6
9.3.3	<i>Proeven op een tunnelement vlottend met een vrijboord</i>	9-6
9.3.4	<i>Bijkomende proeven</i>	9-7
9.3.5	<i>Theoretische studie</i>	9-7
9.4	TUNNEL TE LIEFKENSHOEK	9-7
9.4.1	<i>Oriënterende proeven in verband met de Scheldetunnel te Liefkenshoek (M403)</i>	9-8
9.4.2	<i>Scheldetunnel te Liefkenshoek - Stroommetingen en krachtenmetingen (M403/2)</i>	9-9
9.5	BRUG OVER DE ZEESCHELDE TE TEMSE/BORNEM (M785)	9-10

Het kruisen van de Schelde gebeurde vroeger, en in zekere mate nu ook nog, met veerboten. De grote toename van het personen- en vrachtverkeer en ook de noodzaak om bij alle weersomstandigheden deze trafiek mogelijk te maken leidden tot plannen om vaste oeververbindingen te voorzien. Deze kunnen bestaan uit bruggen of tunnels of een combinatie van beiden.

Maar niet alleen personen en vaste goederen moesten de rivier kruisen, ook aardolie en aardgas dienden vanuit Nederland naar België getransporteerd. Hiertoe dienden pijpleidingen aangelegd in gebaggerde sleuven.

Elk type van infrastructuur vereiste hydraulisch onderzoek, zij het verschillend voor elk type. Voor bruggen was dit het onderzoek naar de invloed van de insnoering van de natte sectie door pijlers, voor tunnels het afzinken van de tunnelementen en voor de buisleidingen de problematiek van kunstmatige werkeilandjes bij zeer lange leidingen.

9.1 *Het zinken van een caisson voor de bouw van een brug op de Schelde te Dendermonde (M7)*



Bij het zinken van de caisson van de dubbele middenpijler van de nieuwe brug te Dendermonde, hadden aanzienlijke ontgrondingen plaatsgevonden. Daar de caisson voor de pijler aan de rechteroever nog moest gezonken worden, werd besloten naar middelen uit te kijken om deze ontgrondingen in de mate van het mogelijke te keer te gaan.

Het model op schaal 1:50 bootste een strook van de Schelde, ongeveer 600 m lang, na. De afgeleide schalen waren 1:7.07 voor de snelheden en de tijden en 1:17675 voor de debieten. De bedding in beweegbaar materiaal werd verwezenlijkt in gemalen bimssteen met een korrelgrootte van één tot twee millimeter.

De modelproeven werden uitgevoerd in 1936-1937.

Het onderzoek van verschillende oplossingen heeft geleid tot het voorstel de bodem voorafgaandelijk te beschermen met een groot zinkstuk.

9.2 *Vaste oeververbinding Westerschelde M301*

Reeds lang was er de intentie voor de aanleg van een vaste verbinding tussen Zuid-Beveland en Zeeuwsch-Vlaanderen. Eind jaren zestig werden plannen gemaakt voor een vaste verbinding tussen Krainingen en Perkpolder; het traject van de toenmalige veerverbinding. Het ontwerp bestond uit een hangbrug en een afgezonken tunnel.

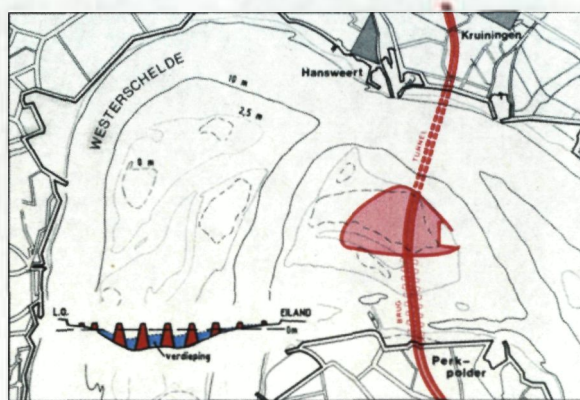
In een eerste fase werd het Waterbouwkundig Laboratorium gevraagd een modelstudie uit te voeren in verband met de vormgeving van een kunstmatig eiland op de platen van Ossensisse bij een brug-tunnel verbinding.

Deze proeven werden uitgevoerd op het Schelde-model (M119) in 1970.

In een tweede fase werd de vormgeving van het eiland verder onderzocht evenals de invloed van de brugpijlers op de stromingen en de vorm van de zinksleuf voor de tunnel.

Dit onderzoek werd uitgevoerd in 1972.

Een derde fase werd uitgevoerd in 1976 op M300



met de bodemconfiguratie van 1971 (zie ...).

Deze fase omvatte:

- het vaststellen van de invloed van de tijdelijke eerste fase van het eiland op het stroombeeld en de hierbij te verwachten diepteveranderingen rond het eiland;
- het bepalen van de afmetingen van het maximaal toelaatbare eiland en het vaststellen van de invloed van eiland en brugpijlers op de stromingssituatie en bodemconfiguratie in het algemeen;
- het verkrijgen van stroomgegevens voor het in het Waterloopkundig Laboratorium "De Voorst" te verrichten detailonderzoek.

Uit de proeven bleek dat de invloed van afmetingen en vorm van het eiland gering was. Ook bleek de noodzaak van een verdieping en bodemverdediging tussen de brugpijlers en bleef de oriëntatie van de pijlers zelf best behouden op 20° als hoek tussen de as van de pijler en de loodrechte op de as van de brug. Bij het werkeiland 1^{ste} fase is het aangewezen de beëindigingsdammen op de plaats van de definitieve eilandvorm te leggen en de noordelijke dam extra te verdedigen.

Realisatie:

Dit ontwerp werd niet uitgevoerd wegens te duur.

In 1986 wordt een nieuw plan opgemaakt voor een vaste oeververbinding. Eerst ging men opnieuw uit van een brug en een afgezonken tunnel. Later wordt het ontwerp aangepast tot een geboorde tunnel. Na diverse studies kozen de provincie Zeeland en de minister van Verkeer en Waterstaat uiteindelijk voor het tracé dat loopt van Ellewoutsdijk op Zuid-Beveland en Terneuzen. Deze tunnel werd in 2003 in gebruik genomen.

9.3 E3-Scheldetunnel. Modelproeven in verband met het tot zinken brengen van de tunnelementen M224

De huidige ring rond Antwerpen loopt in tunnel onder de Schelde, 3 km ten zuiden van de Imalso voertuigtunnel en vormt zo een tweede vaste oeververbinding te Antwerpen. Naast twee vakken met elk 3 rijstroken was nog een vak voor een dubbele spoorbaan en een ander voor fietsen voorzien.

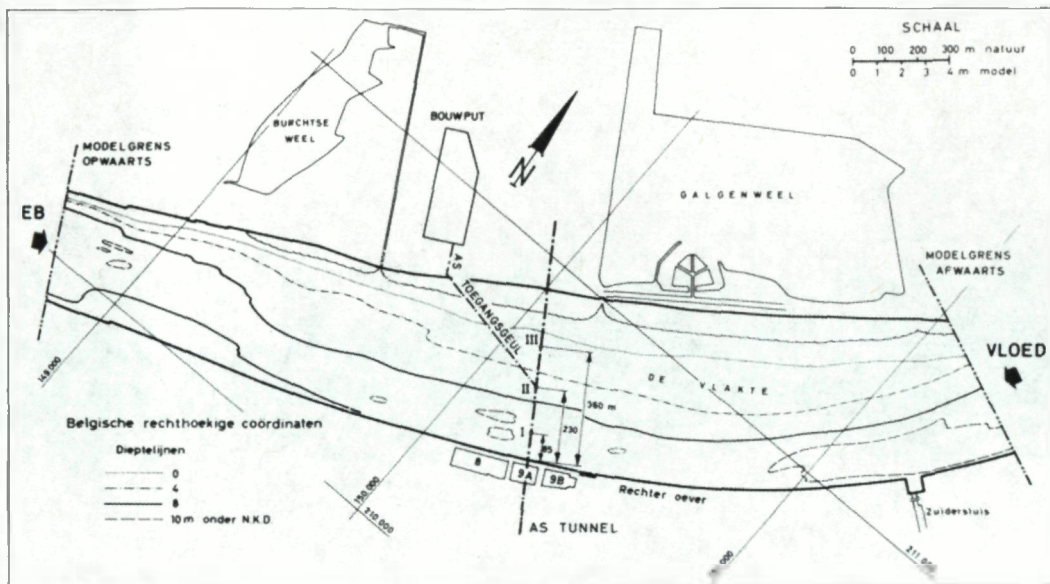
De tunnel onder de rivier, die ter plaatse een gemiddeld tijverschil van 4.70 m vertoont, werd volgens de afzinkmethode gebouwd worden en bestond uit vijf tunnelementen, ieder van 98.80 m lang, 47.80 m breed en 10 m hoog. Het zinken moest geschieden van linker- naar rechteroever. Ieder tunnelement had een gewicht van circa 45.000 ton en bevatte vier waterballasttanks. Zonder waterballast had het element, voorzien van zijn afzinkinstallatie, nog slechts een vrijboord van 0.10 m. Tijdens het zinken was het tunnelement opgehangen aan 4 pontons. Op de pontons waren de lieren opgesteld voor het neerlaten van het element. Kabels welke verankerd waren in de rivier en verbonden met lieren op de wal en welke over kabelschijven liepen op tunnelement en pontons lieten toe deze elementen op hun juiste plaats te brengen.

De tunnelementen werden gebouwd in een bouwdok op de linkeroever. Vervolgens werd elk element vlottend versleept naar een uitrustingsplaats in de toegangseul onder de linkeroever. Daarna werd het element versleept naar de afzinkpositie boven de tunnelsleuf.

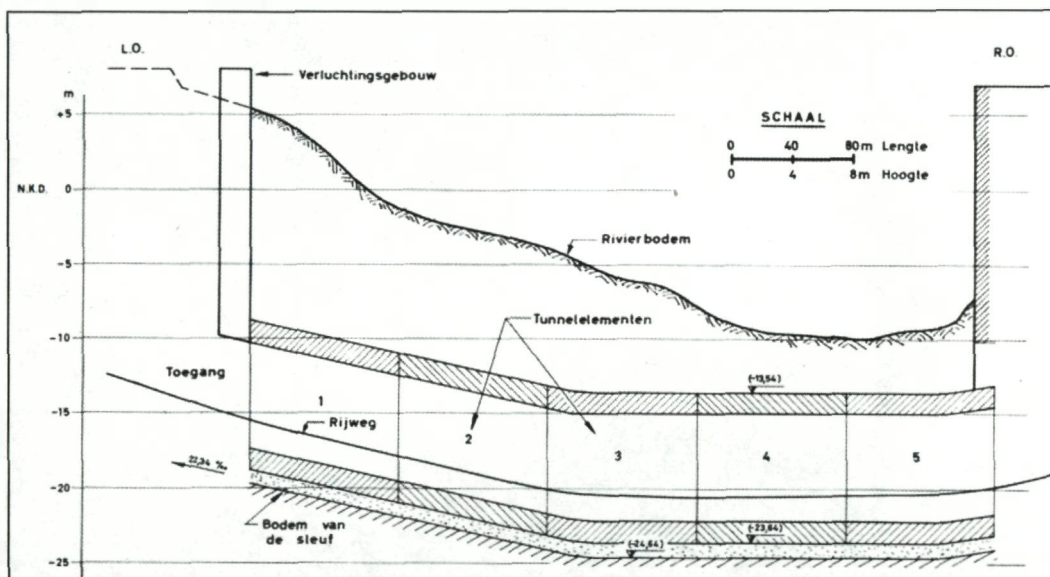
Het modelonderzoek was een opdracht van de Tijdelijke Vereniging E3 Scheldetunnel en had als doel de krachten te meten tijdens het transport en het afzinken van de tunnel elementen.

Volgende punten dienden onderzocht:

- a) het afzinken van tunnelementen 2, 3, 4 en 5;
- b) verschillende transportfasen van tunnelementen 3 en 5 met vrijboord;
- c) tunnelementen 2, 3 en 4 vlottend met een vrijboord boven de afzinkpositie.



E3 - Scheldetunnel - Situatie



E3 - Scheldetunnel - Langdoorsnede

9.3.1 Beschrijving van het model

Het model werd ingebouwd in het vroegere Walsoordenmodel (M213), waardoor de uitrusting van dit model (kleppen, watertoevoer en -afvoer) kon gebruikt worden.

Om een bevredigende weergave der stromingen te bekomen werd de Scheldebedding in model weergegeven over een lengte van ongeveer 3 km.

Het model werd gebouwd met behulp van dwarsprofielen welke ongeveer 150 m natuur (2 m model) van elkaar verwijderd waren. Tussen deze dwarsprofielen werd de rivierbodem continu geprofileerd. De bodem bestond uit glad afgewerkte cementmortel op een vulling van grind.

Modelschalen:

De schaal (horizontaal en verticaal) van het model was 1:75.

De snelheidsschaal werd afgeleid uit de gelijkvormigheidswet van Froude en was $1/\sqrt{75}$ of 1:8.66.

De krachtenschaal volgde uit de formule die de kracht geeft welke een voorwerp in een oneindig stromend medium ondervindt, namelijk: $K = \frac{1}{2} C_w \rho v^2 A$

Hierin is C_w : een dimensieloze coëfficiënt afhankelijk van de vorm van het voorwerp en van het Reynoldsgetal.

ρ : dichtheid van het medium, in kg massa/m³.

v : snelheid van de ongestoorde stroom, in m/s.

A : oppervlakte van het voorwerp in projectie loodrecht op de stroomrichting, in m²

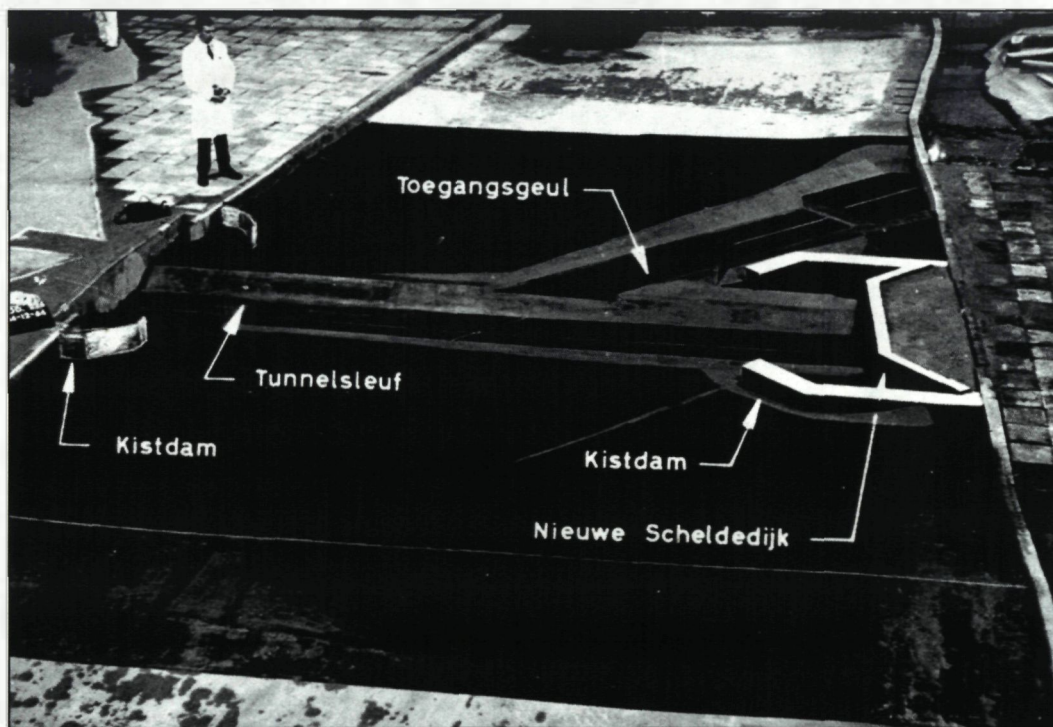
K : kracht, in kg.

Waardoor de krachtenschaal in dit geval gelijk is aan 1:421875.

Vermelden we nog dat in het modelonderzoek geen rekening gehouden werd met mogelijke dichtheidsverschillen in het prototype.

Het bouwdok was niet weergegeven in model daar de vul- en ledigingsstromen verwaarloosbaar zijn.

Bijgaande foto geeft een beeld van de tunnelsleuf en de toegangsecul, evenals van de kistdam langs de linkeroever, en gedeelten van de kistdam langs de rechteroever. Deze tijdelijke kistdammen zijn nodig om de aansluitende tunnelgedeelten in open bouwput te kunnen uitvoeren.



E3 - Scheldetunnel - Zicht op het model

Geometrie:

Voor het weergeven van de Scheldebedding en de oevers werd gebruik gemaakt van peilkaarten van 1963.

De as van de tunnelsleuf en van de toegangsecul, de afmetingen van de kistdam op de rechteroever en de afmetingen van het tunnelelement werden overgenomen van ontwerpplannen opgesteld door de opdrachtgever.

De ijking van het model en de stroomvoorwaarden voor het uitvoeren van de proeven:

De conformiteit model-prototype werd gecontroleerd aan de hand van uitgevoerde stroommetingen (stroombanen en snelheidsmetingen in een verticaal) in het prototype.

De proeven onder a, b en c werden uitgevoerd met maximale eb- en vloedkarakteristieken van het gemiddeld getij. De proeven vermeld onder b) en c) werden herhaald met eb en vloed, met 20 % verhoogd debiet maar met behoud van dezelfde waterstand.

9.3.2 Het meten van de krachten

De modelproeven gebeurden bij permanente vloed- en ebstroom en werden uitgevoerd in 1964-1965.

Op een tunnelelement werden vier verticale krachten gemeten (overeenstemmend met de vier pontons waaraan het tunnelelement opgehangen werd) aangeduid met A, B, C en D en drie horizontale krachten waarvan twee loodrecht op de as van het tunnelelement E en F en een in de as van het tunnelelement, aangeduid met G.

Het tunnelelement was horizontaal gespannen tussen draden die bevestigd waren aan gelijke bladveren voorzien van rekstrookjes en dit volgens de drie genoemde richtingen E, F en G. Aan deze bladveren werd door de horizontale draden, bevestigd aan het vrije uiteinde van de bladveren, een voorspanning gegeven.

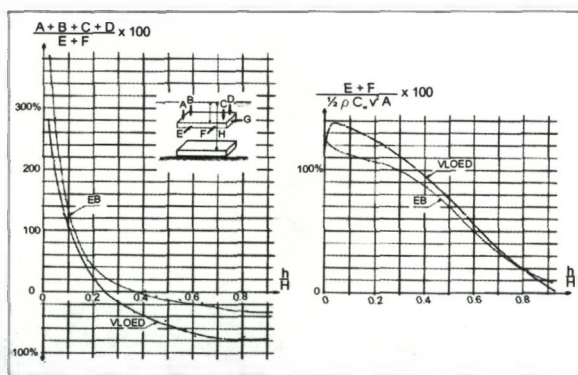
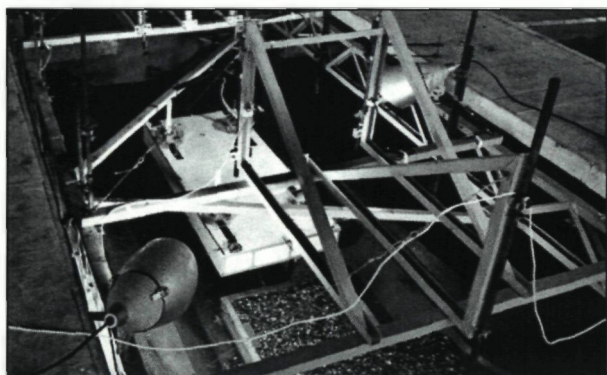
In sommige gevallen was het tunnelelement opgehangen aan vier drijfponçons; in het algemeen echter was het tunnelelement verticaal door draden opgehangen aan ingeklemde en van rekstrookjes voorziene bladveren waaraan, door ballast, een voorspanning gegeven werd.

Als gevolg van de krachten door het water uitgeoefend op het tunnelelement veranderde de voorspanning in de verticale en horizontale draden. Deze verandering van de voorspanning werd gemeten.

De karakteristieken van de vier bladveren voor de verticale krachten waren zodanig bepaald dat de uitwijking van het bevestigingspunt van de draad, op schaal, in overeenstemming was met de verandering van de opdrijvende kracht van ieder ponton.

De zeven gemeten krachten werden, voor verschillende indompelingen, gelijktijdig geregistreerd.

Op bijgaande grafieken, één voor de verticale en één voor de horizontale krachten, is het krachtenverloop op tunnelelement 4 voor eb en vloed weergegeven.



De abscis van iedere grafiek is de verhouding h/H waarin h de veranderlijke afstand is tussen bovenzvlak tunnelelement en waterspiegel en H dezelfde afstand als het element op zijn plaats rust.

Voor de verticale krachten is in ordinaat uitgezet de verhouding in % van de som der werkelijk optredende verticale krachten tot de som der werkelijk optredende horizontale krachten.

Voor de horizontale krachten E en F, is in ordinaat uitgezet de verhouding in % van de som van de werkelijk optredende horizontale krachten tot de theoretisch berekende kracht als het tunnelelement zich in een oneindig milieu zou bevinden ($C_w = 1.05$ verondersteld).

9.3.3 Proeven op een tunnelelement vlottend met een vrijboord

Verschiedende vlottende posities van de tunnelementen werden onderzocht.

Om modelpraktische redenen was het onmogelijk met een vrijboord van 0.10 m natuur te werken. De proeven werden daarom uitgevoerd met een vrij boord van 0.37 m natuur (0.5 cm model).

Tijdens de proeven van een element vlottend met een vrijboord werd de verandering van dit vrijboord ten gevolge van de stroming nagegaan.

9.3.4 Bijkomende proeven

Na het neerleggen van het rapport van de modelproeven kreeg het Laboratorium de opdracht nog twee reeksen bijkomende proeven uit te voeren.

Een eerste reeks bijkomende proeven werd uitgevoerd in 1965 en betrof volgende onderzoeken:

- de fase waarin een tunnelement vlottend is met een positief vrijboord;
- de invloed van een langsscherm, op het bovenvlak van het tunnelement geplaatst, op de grootte van de verticale krachten;
- de gedragingen van het tunnelement dat solidair verbonden is met de pontons, waarbij het tunnelement een negatief of een gedeeltelijk negatief vrijboord heeft, al of niet met een dwars- of/en een langshelling;
- de gedragingen van de pontons als boei beschouwd;
- de invloed van de verschillende meetmethoden voor de verticale krachten op de grootte van deze laatste;
- snelheidsmetingen op het bovenvlak van het afgezonken tunnelement 4.

Een tweede reeks bijkomende proeven, eveneens uitgevoerd in 1965 en betrof volgende onderzoeken:

- tunnelement 2 en 3 vlottend met een positief vrijboord boven de afzinkpositie;
- tunnelement 5 vlottend met een positief vrijboord op drie verschillende plaatsen in de toegangsgeul;
- tunnelement 3 vlottend met een positief vrijboord gedeeltelijk boven toegangsgeul en tunnelsleuf

9.3.5 Theoretische studie

Ter oriëntatie van de eigenlijke proeven voor de studie van het zinken van tunnelementen werden proeven uitgevoerd in een experimenteel kanaal met het doel de meetmethode en meetapparatuur op punt te stellen en het personeel te scholen.

Na deze oriëntatieproeven en evenwijdig met de proeven op het model van de E-Scheldetunnel zijn in dit experimenteel kanaal vergelijkende proeven uitgevoerd om de invloed van sommige parameters na te gaan.

Daar het model van de E-Scheldetunnel op lengteschaal 1:75 gebouwd werd, gebeurden ook alle proeven in het experimenteel kanaal op dezelfde schaal.

Werden bestudeerd:

- sollicitatie van een ondergedompeld tunnelement onderworpen aan een permanente stroming en weerhouden door een stelsel van kabels welke symmetrisch waren aangebracht ten opzichte van de stroming;
- zelfde proeven maar dan voor dissymmetrisch aangebrachte kabels

Realisatie:

De tunnel werd in 1969 in gebruik genomen en kreeg de naam Kennedytunnel



9.4 Tunnel te Liefkenshoek

Ter hoogte van Liefkenshoek werd onder de Schelde een tunnel gebouwd om het havenverkeer tussen de beide oevers mogelijk te maken.

De tunnel bestaat uit acht elementen in beton, elk 141 m lang, 9.6 m hoog en 31.25 m breed, die in de Schelde werden afgezonken. Deze zinkmethode werd ook toegepast voor de Kennedytunnel (zie hoger).

De tunnelementen werden gebouwd in een dok op de linkeroever van de Schelde en vlttend naar de afzinkpositie boven een sleuf gebracht die vooraf in de rivierbodem werd gebaggerd. De elementen werden daarin één na één neergelaten.

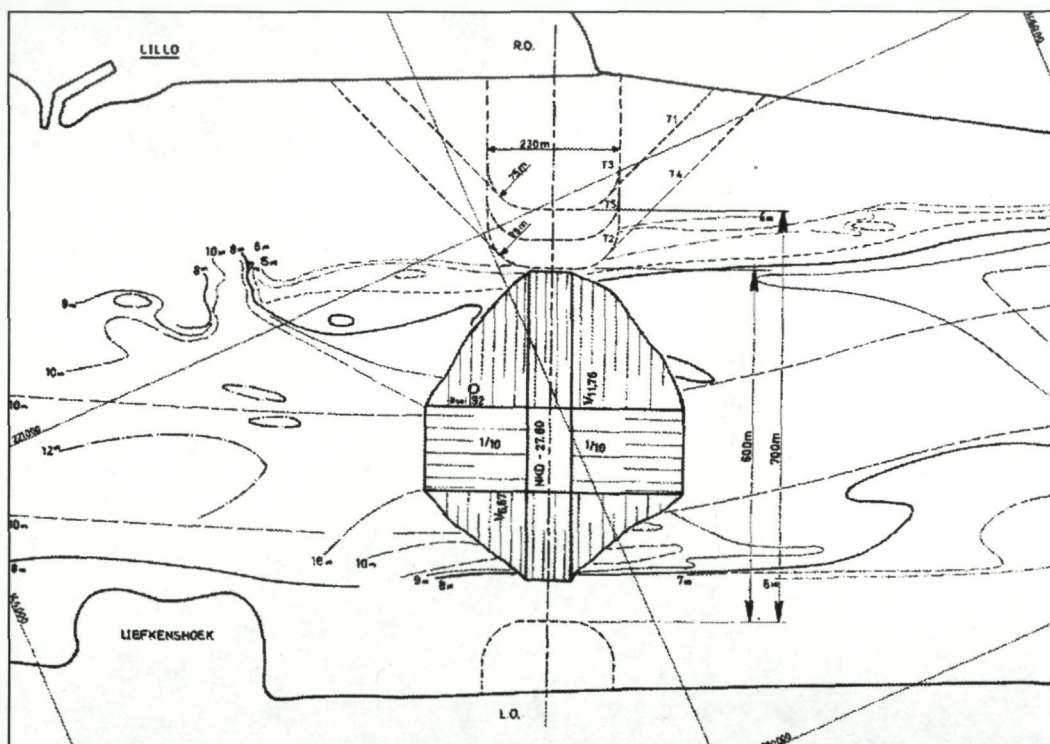
Het tijverschil op die plaats bedraagt gemiddeld 5.2 m en de stroomsnelheden varieerden vóór de aanvang der werken volgens de tij-omstandigheden, maar konden oplopen tot 2 m/s.

9.4.1 Oriënterende proeven in verband met de Scheldetunnel te Liefkenshoek (M403)

In maart 1978 verzocht de Dienst Ontwikkeling >Linker Scheldeoever het Waterbouwkundig Laboratorium te willen nagaan of het verminderen van de doorvaartbreedte ter plaatse van de tunnel tot 600 m tussen de te bouwen kofferdammen toelaatbaar kon zijn uit nautisch en hydraulisch oogpunt, en ook te onderzoeken welke maatregelen er eventueel dienden genomen om deze toestand aanvaardbaar te maken.

De modelproeven werden in 1978 uitgevoerd op het Tijverzichtsmodel van de Westerschelde (M300), waarvan de bodem in het vak Doel – Fort De Parel werd aangepast volgens peilingen van 1976.

Modelproeven:



De verschillende ontwerpen van kofferdam werden ingebouwd. Hierbij hadden de te bouwen damkuipe een breedte evenwijdig met de stroom van 230 m, terwijl de aansluiting aan de oever zowel volgens een haakse vormgeving als onder een hoek van 45° onderzocht werd.

De metingen gebeurden door het nemen van stroombeelden met oppervlakedrijvers en werden uitgevoerd voor het dagtij van 11 mei 1971 met een tijfactor 1.08.

Besluiten:

- De schuine vormgeving geeft geen wezenlijke.
- Bij insnoering van de doorstroombreedte tot 700 m doen er zich geen wijziging aan het stroombeeld voor. Insnoering tot 650 en eventueel tot 600 m blijft, mits het nemen van maatregelen (bodemverdieping, scheepvaartreglementering), mogelijk.

9.4.2 Scheldetunnel te Liefkenshoek - Stroommetingen en krachtenmetingen (M403/2)

In opdracht van de Tijdelijke Vereniging De Meyer-Van Laere-Betonnac voerde het Waterbouwkundig Laboratorium modelonderzoek uit om de krachten te bepalen die op de tunnelelementen zouden uitgeoefend worden door de stromingen van het water tijdens invaar en afzinkoperaties.

9.4.2.1 Beschrijving van het model

Dit model gaf de Scheldebedding weer over een afstand van 3.2 km met daarin de geplande tunnel centraal gelegen.



Modelschalen:

De lengte- en diepteschaal van het model bedraagt 1:64.

Volgens de gelijkvormigheidswetten van Froude bedraagt de snelheidsschaal $1/\sqrt{64} = 1:8$ en de krachten-schaal $1/64^3 = 1:262144$.

Geometrie:

Het model werd gebouwd overeenkomstig peilingen uit 1986 en 1987, terwijl voor de oevergedeelten oeverplannen ter beschikking gesteld werden door de opdrachtgever.

Bouw van het model:

Het model werd gebouwd volgens de methode van de niveaulijnen, waarbij de niveaulijnen van de peilingsplannen op de gewenste hoogte gematerialiseerd werden door een metalen band, omgeven door een plasticbekleding. De oppervlakte van het model werd met cementmortel afgewerkt.

Aan de op- en afwaartse uiteinden was het model voorzien van een hydraulische voedings- en regelinstallatie, zodat alle gewenste debieten konden ingesteld worden, zowel bij eb als bij vloed.

De waterhoogten in het model werden aan de afvoerzijde hydraulisch-pneumatisch geregeld door een aantal verticaal bewegende regelschuiven.

Ijking van het model in permanent regime:

Hierbij werd getracht waterstanden, debieten, snelheden, debiets- en snelheidsverdelingen in het model in overeenstemming te brengen met de natuurgegevens. Deze natuurgegevens waren de maximum eb-situatie en de maximum vloed-situatie van de stroomsnelheidsmetingen van 28 april 1987.

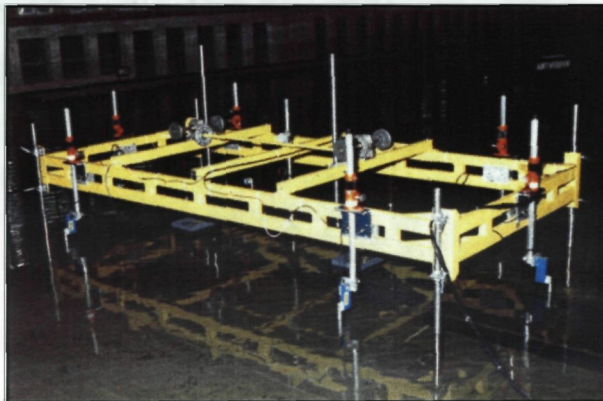
Door aanpassing van de bodemruwheid van het model bij middel van steenslag werd een aanvaardbare overeenkomst model-natuur verkregen.

9.4.2.2 Uitgevoerd onderzoek

De modelproeven werden uitgevoerd in 1987-1988.

Vooreerst werden stroommetingen uitgevoerd bij maximum eb-stroming en bij maximum vloed-stroming zowel met een rivierbedding vóór aanvang der werken, als met uitgebaggerde tunnelsleuf. Daarna werden krachtenmetingen uitgevoerd door middel van een verplaatsbare meetbrug, waarin een tunnelement werd opgehangen en verbonden met dynamometers via rekvrije kabeltjes. Deze metingen gebeurden voor verschillende horizontale en verticale posities van de elementen en voor verschillende tijfasen.

Ook werden op het model de stroomsnelheden gemeten die ter plaatse van de tunnel zouden optreden tijdens verscheidene uitvoeringsfasen van het afzinken van de elementen. Zo kreeg men een duidelijk beeld over stromingen, sedimentatie en uitschuring rond de kop van ieder afgezonken tunnelement en van de grootte van de oppervlakte- en bodemsnelheden.



Het afzinken van de elementen op model gebeurde volgens een vooraf bepaalde volgorde die gunstige resultaten gaf, de doelmatigheid van deze volgorde werd later bevestigd tijdens het afzinken van de elementen op de Schelde.

Uiteindelijk werd door het Waterbouwkundig Laboratorium in situ het effect gemeten van een accidentele anker-inslag op een tunnelement. Immers diende de voorziene beschermlaag in grint van 3.5 tot 2.55 m herleid te worden. Testen op een element beschermd met een speciale mat in steenasfalt onder het grint, hebben de veiligheid ervan aangetoond.

Realisatie:

De bouw- en afzinkwerken werden gestart in 1988 en beëindigd in 1991.

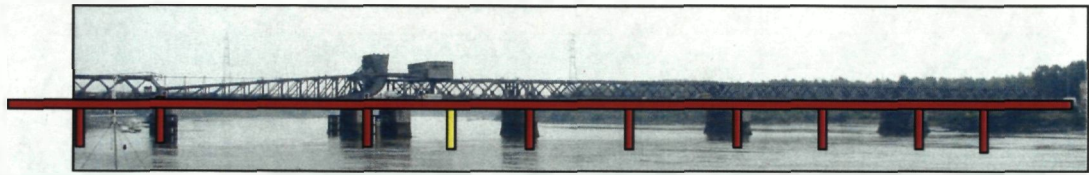
9.5 Brug over de Zeeschelde te Temse/Bornem (M785)

In het kader van een ontdubbeling van de brug te Temse, werd door de NV Waterwegen en Zeekanaal opdracht gegeven aan het Waterbouwkundig Laboratorium om advies te leveren met het oog op het bepalen van de correcte inplanting

Het Waterbouwkundig Laboratorium kreeg de opdracht advies te leveren met het oog op het bepalen van een correcte inplanting, het aantal en de tussenaafstand en vorm van de pijlers in de rivier inzake een voorgenomen nieuwe brug over de Zeeschelde te Temse/Bornem. Het advies betrof zowel aspecten van hydraulica, morfologie als en nautica. In het kader van deze studie werden bijkomende metingen uitgevoerd aan de bestaande brug en werd een 2D hydrodynamisch-numeriek model ontwikkeld.

Metingen in situ (midden openingen 1 en 4):

Uit de metingen blijkt dat de stroomsnelheden quasi loodrecht op de as van de brug staan en er dus geen gevaar is van schuine aanstroming. De maximale snelheden bij vloed zijn 1.50 m/s (doodtij) en 1.90 m/s (springtij). Bij stormvloed en liggen deze waarden ongeveer 20% hoger.



Wiskundige modellering:

Het algemene stroombeeld vertoont geen toename van de snelheid, behalve in de directe omgeving van de nieuwe pijlers. In doorlaatopening 3 ontwikkelde zich een situatie die ongunstig kon zijn voor de scheepvaart. De bijkomende pijlers veroorzaken geen significante veranderingen van stroomrichting en er is ook geen significante morfologische verandering te vrezen.

Nautische analyse:

De invloed van de verlenging van de pijlers is gering en de breedte van de doorvaartopening volstaat voor vierbaks duwkonvoeien. De vaste opening voldoet voor klasse V schepen.

De pijler waarmee overspanning 3 van de nieuwe brug in twee wordt verdeeld, maakt deze doorvaartopening ongeschikt voor beroepsvaart en moet vermeden worden.

Het realiseren van een doorvaarthoogte van 7 m is aan te bevelen.

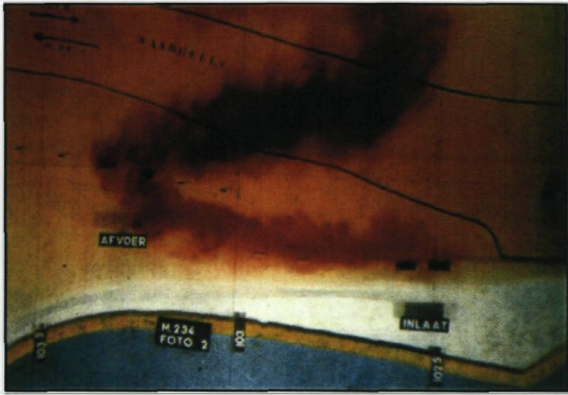
Algemene conclusie:

De tweede brug stoort noch hydraulisch noch nautisch, met uitzondering van de nieuwe brugpijler 3 (gele pijler op de foto).

10 KWALITEIT VAN HET SCHELDEWATER

10	KWALITEIT VAN HET SCHELDEWATER.....	10-1
10.1	KOELWATER ATOOMKRACHTCENTRALE TE DOEL M234.....	10-2
10.2	WATERVERONTREINIGING IN DE SCHELDE.....	10-2
10.3	DE HYDRODYNAMISCHE ASPECTEN IN DE STUDIE VAN DE VERONTREINIGING VAN DE OPPERVLAKTEWATEREN (M295).....	10-2
10.4	THERMISCHE WATERVERONTREINIGING WESTERSCHELDE (M295).....	10-3
10.4.1	<i>Exploitatie van een mathematisch diffusiemodel.....</i>	<i>10-3</i>
10.4.2	<i>Vergelijking van de resultaten van het mathematisch model met proeven op een fysisch schaalmodel.....</i>	<i>10-3</i>
10.5	WATERKWALITEIT VAN DE SCHELDE TUSSEN HANSWEERT EN BURCHT EN VAN DE BIJRVIEREN (M295) 10-5	
10.6	MEETNET VOOR DE AUTOMATISCHE CONTROLE VAN DE WATERKWALITEIT (M342).....	10-6
10.7	WATERKWALITEITSMETINGEN SCHELDEESTUARIUM (M346).....	10-6

10.1 Koelwater atoomkrachtcentrale te Doel M234



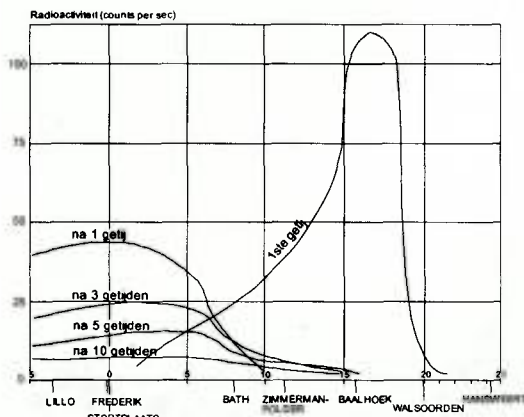
De atoomkrachtcentrale neemt koelwater uit de Schelde en lost het daarna terug. In het hiervoor speciaal uitgerust bestaande Scheldemodel (M119) werden oriëntatieproeven uitgevoerd om het eventueel recycleren van koelwater tussen afvoer en watergang van de atoomkrachtcentrale te bestuderen. Hierbij moest rekening gehouden worden met een temperatuursstijging van ca. 8°. Een pompinstallatie zuigt langs de inlaat het gewenste debiet uit het model. De aanzuigleiding is voorzien van een aftapkraan voor regelmatige monsternamen. Een tweede pompinstallatie zuigt een gelijkaardig debiet uit een watertank en steekt dit langs één van de afvoeren in het model. Het

water uit deze tank werd opgewarmd en er werd een kleurstof (Rhodamine B) toegevoegd.

Bij recyclage wordt een gedeelte van het afgevoerde koelwater terug ingezogen langs de inlaat. Door regelmatige monsternamen kan met een calorimeter het lichttransmissievermogen van het aangezogen water bepaald worden. Dit is een maatstaf voor het recycleren en kan uitgedrukt worden in procent afvoerwater aanwezig in het aangezogen water of in graden temperatuursstijging van dit aangezogen water.

Deze proeven werden uitgevoerd in 1966.

10.2 Waterverontreiniging in de Schelde (Mod. 119.16 à 18)



De voorafgaande kennis van de optredende dilutiegraad van afvalstoffen in het Scheldewater is vereist om samen met de gegeven maximum aanvaardbare concentratie, de maximaal te lozen hoeveelheid afvalprodukten te bepalen.

De optredende dilutie in het maritiem gedeelte der Schelde is enerzijds een gevolg van het optredend bovendebiet maar anderzijds ook van de getijbeweging. Om een juiste kennis te hebben van de dilutiegraad werden op het model proeven uitgevoerd met lozingen van radioactieve tracers evenals op de rivier met lozingen enerzijds van kleurstoffen (Rhodamine B) en anderzijds van geïrradieerd broom Br 82 (zie ...). De proeven bestonden er in

de ingebrachte tracer te volgen en de concentratie in het water te meten gedurende meerdere achtereenvolgende getijden. Zij werden uitgevoerd in samenwerking met het Studiecentrum voor Kernenergie en de toenmalige Antwerpse Zeediensten.

Deze proeven werden uitgevoerd in 1966 op het toenmalige overzichtsmoedel M119..

10.3 De hydrodynamische aspecten in de studie van de verontreiniging van de oppervlaktewateren (M295)

In het kader van de werkzaamheden van de Baalhoekcommissie werd het Waterbouwkundig Laboratorium belast met de studie van de Waterverontreiniging in de Westerschelde.

In een voorbereidende studie werden daarvoor de verschillende factoren of parameters die de verontreiniging van een rivier bepalen of kenmerken beschreven.

In een tweede gedeelte werd één van deze parameters, namelijk de dispersie meer grondig behandeld evenals de samenhang tussen de dispersie en andere, hydraulische grootheden.

In een derde fase werd een beschrijving gegeven van het gebruikte wiskundige model voor de studie van de waterverontreiniging in een waterloop en de eerste berekeningen uitgevoerd op het theoretisch model.

10.4 Thermische waterverontreiniging Westerschelde (M295)

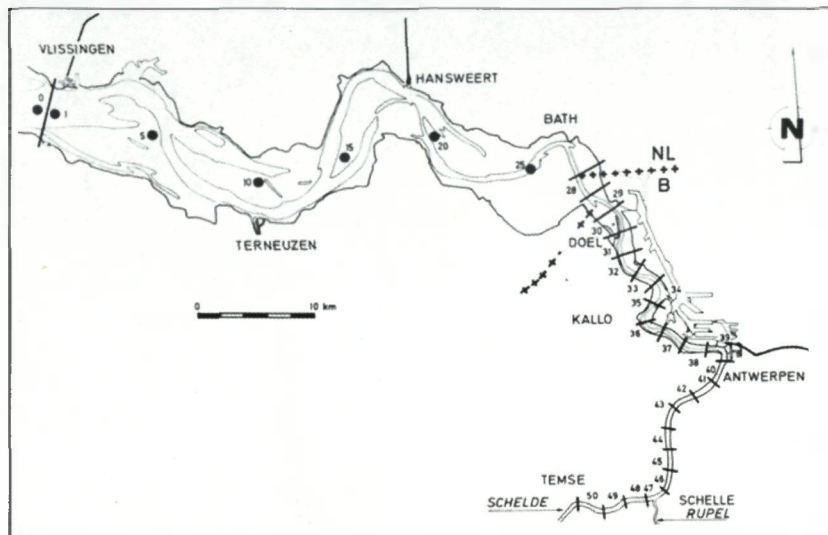
De toenemende industrialisatie van het Antwerpse havengebied en de toenemende vraag naar elektrische energie, waardoor men genoodzaakt werd grote elektrische centrales in de nabijheid van de Schelde te Antwerpen te bouwen, heeft een aanzienlijke uitbreiding van de koelwaterlozingen tot gevolg gehad.

10.4.1 Exploitatie van een mathematisch diffusiemodel

Daar de voorzieningen wezen op een belangrijke verdere uitbreiding, werd door het Waterbouwkundig Laboratorium met een één-dimensionaal mathematisch diffusiemodel de invloed van de koelwaterlozingen op de temperatuur van het Scheldewater nagegaan. Deze studie stond tevens in verband met de onderhandelingen tussen Nederland en België voor de verbetering van de bevaarbaarheid van de Westerschelde.

Volgende berekeningen werden uitgevoerd (1973):

- Berekening van de belastingstoestand 1976 en 1980. Aan de hand van toekomstvoorzieningen van lozingen van centrales in het Antwerpse (met inbegrip van de kerncentrale Doel) werden de excess Temperaturen berekend voor een zomersituatie (bovenafvoer = $40 \text{ m}^3/\text{s}$) en een wintersituatie (bovenafvoer = $100 \text{ m}^3/\text{s}$). Ook werd de invloed van



de geplande doorsteek van de Bocht van Bath op het temperatuursverloop nagegaan, waaruit bleek dat ten opzichte van de toestand zonder bochtafsnijding, het exces in vak 28 met 40% gestegen was bij zomersituatie en met 35% bij wintersituatie. Dit betekent dat bij halftij een exces van 3°C aan de grens steeds overschreden zou worden in 1980.

- Temperatuurexces bij beperking van lozingen van de centrales. Volgende scenario's werden onderzocht: voorkoeling van het koelwater, beperking van de capaciteit van de centrale en een combinatie van deze twee.
- Berekening van de invloed van de temperatuur op de verontreinigingsgraad en het zuurstofverloop. Één van de neveneffecten van de thermische verontreiniging is de versnelling van de biochemische reacties die een rol spelen in de zuurstofhuishouding. De hoeveelheid zuurstof die door zuiver water kan bevat worden, daalt met stijgende temperatuur.

10.4.2 Vergelijking van de resultaten van het mathematisch model met proeven op een fysisch schaalmodel

Om de resultaten van het mathematische model beter op hun absolute waarde te kunnen beoordelen werden parallel op het bestaand fysisch model van de Westerschelde M300 (zie 10.3), mits inachtneming van bepaalde schaalfactoren, koelwaterlozingen te Kallo en te Doel gesimuleerd.

Modelproeven en berekeningen werden uitgevoerd in 1974.

10.4.2.1 Fysisch model

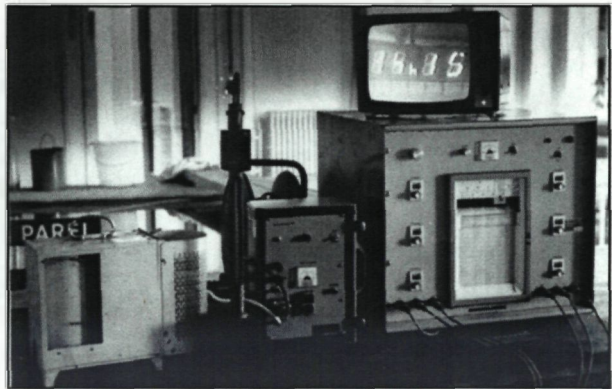
Vooreerst werd de schaalfactor bepaald om temperatuursstijgingen in model om te rekenen naar natuurwaarden. Voor de eigenlijke koelwaterlozingen werd uitgegaan van een lozing van 1000 Mcal/s teneinde

voldoende nauwkeurig meetbare resultaten te bekomen. Dit komt overeen met een debiet van $66 \text{ m}^2/\text{s}$ (natuur) of 0.2 l/s (model), beide opgewarmd met 15°C .

Met termistorsonden op verscheidene plaatsen in het model werd de opwarming gevolgd. Deze plaatsen werden zo gekozen dat ze telkens overeenstemden met het midden van een vak uit de indeling van het mathematisch model.

Uitgevoerde proeven:

- Bepaling van de ideale proefomstandigheden en de natuurlijke temperatuur van het water in het model.
- Bepalen van warmteuitwisselings- en diffusiecoëfficiënten.
- Lozingsproeven:
 - proeven met gemiddeld springtij en lozingen te Kallo en te Doel
 - vergelijkende proeven met getijden over een veertiendaagse periode
 - maximaal toelaatbare koelwaterlozingen



Termistorsonde met registreertoestel

Beschouwingen:

- de maximale gemiddelde temperatuurstijging over een getijcyclus doet zich in beide lozingen voor enkele kilometer opwaarts van het lozingspunt
- voor Doel is de beperking aan de Belgisch-Nederlandse grens strenger dan de eis voor lokale opwarming, voor Kallo stelt dit zich omgekeerd.

10.4.2.2 Mathematisch model

De opvatting, de parameters en de hypothesen waarop het mathematisch model gebaseerd was, werden na kritisch onderzoek aangepast.

Zo werd het model naar afwaarts uitgebreid en werden de diffusiecoëfficiënten aangepast, waarna de lozingsproeven zoals uitgevoerd op het fysisch model werden nagerekend met het mathematische model.

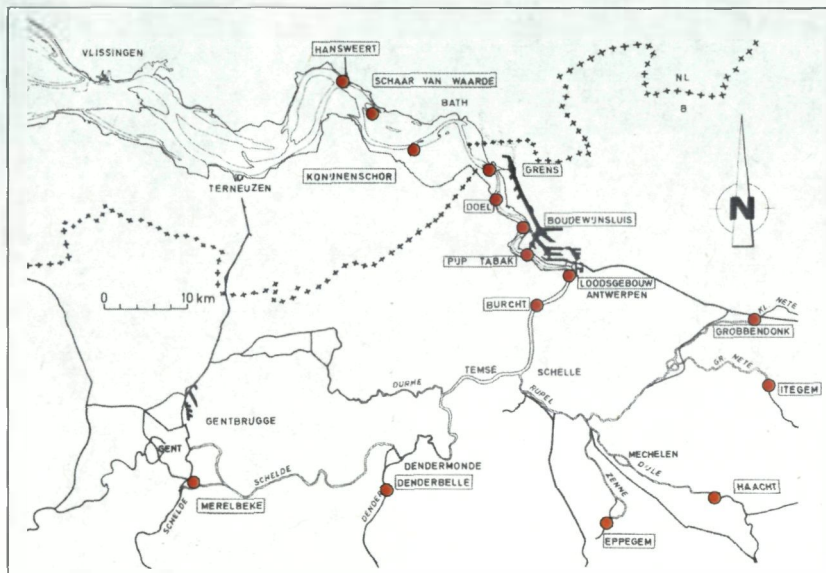
10.4.2.3 Vergelijking van de resultaten van het fysische en mathematische model

De resultaten van de berekeningen bleven onder de mogelijkheden voortvloeiend uit de resultaten van de proeven op het fysisch model. Aangezien er zowel voor de berekeningsresultaten als voor de fysische proeven nog verschillende kritische bemerkingen geformuleerd werden, leek het aangewezen voorlopig de resultaten van het mathematisch model als maatgevend te beschouwen, gezien deze leidden tot de meest veilige situatie.

Om de resultaten van beide onderzoeksmethoden dichterbij elkaar te kunnen brengen was meer onderzoek van warmteuitwisseling en diffusie in natuur en op het fysische model nodig. Ook dienden de berekeningen op een tijafhankelijk mathematisch model te worden uitgevoerd in plaats van op een hydraulisch permanent model.

10.5 Waterkwaliteit van de Schelde tussen Hansweert en Burcht en van de bijrivieren (M295)

In het kader van de onderhandelingen over het Baalhoekkanaal (zie ook 10.3) werd tussen België en Nederland een gemeenschappelijk meetprogramma opgesteld voor de beoordeling van de waterkwaliteit van de Westerschelde. Dit meetprogramma ging van start in 1971. De metingen zelf werden uitgevoerd door het Provinciaal Instituut voor de Hygiëne te Antwerpen, in samenwerking met de Antwerpse Zeediensten. Op Nederlands grondgebied werden zij uitgevoerd door het Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwaters in Nederland. Op bijgevoegd kaartje wordt de ligging van de verschillende meetpunten weergegeven.



Het Waterbouwkundig Laboratorium stond in voor de statistische analyse en de rapportering van de resultaten.

Metingen op de Schelde:

Deze metingen vonden plaats om de veertien dagen en bestond uit het nemen van twee watermonsters aan de oppervlakte rond kentering laagwater. In één van de twee watermonsters werd de erin opgeloste zuurstof gefixeerd voor latere analyse. Ter plaatse werd ook de temperatuur van het water opgemeten.

Metingen op de bijrivieren:

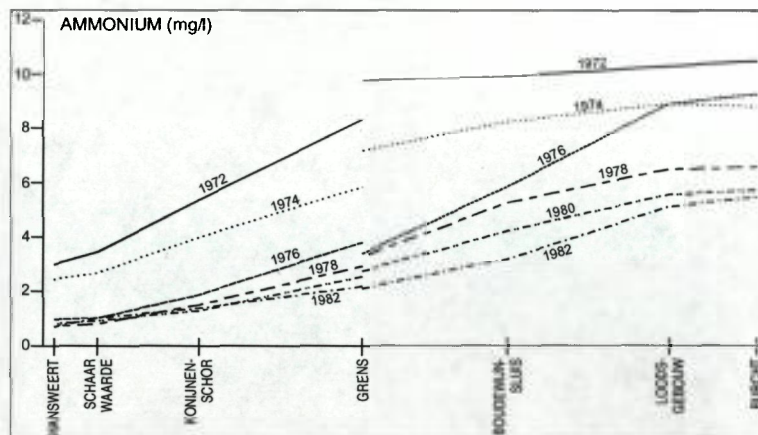
Deze metingen werden uitgevoerd op de rand van het tijgebied ter hoogte van de meetraaien die door de Antwerpse Zeediensten gebruikt werden voor de continue debietsbepaling. De metingen vinden één of tweemaal per maand plaats; per meetdag werden gedurende 4 uur om het halfuur watermonsters genomen aan de oppervlakte. Evenals op de Schelde werd de temperatuur gemeten en in een monster de opgeloste zuurstof gefixeerd. Ook werd het ogenblikkelijke debiet bepaald.

Onderzochte parameters:

Volgende parameters die de kwaliteit van het oppervlaktewater kenmerken werden opgemeten: temperatuur, zuurtegraad pH, opgeloste zuurstof O₂ (ter plaatse), biologisch zuurstofverbruik BOD, chemisch zuurstofverbruik COD (bijrivieren), bezinkbare stoffen na 2 uur, totale stikstof volgens Kjeldahl, nitraten, nitrieten, ammonium, orthofosfaten, chloriden, detergenten (bijrivieren) en fenolen (alleen op Schelde)

Besluiten:

Globaal genomen en zich baserend op de evolutie van de parameters BOD, COD en opgeloste zuurstof kon men stellen dat de waterkwaliteit van de Schelde en de hier beschouwde bijrivieren tegen het einde van de periode 1971-1982 enigszins verbeterd was. Het verband tussen de gecumuleerde daggemiddelde belastingen van deze parameters en de gecumuleerde daggemiddelde watervolumes vertoonde in het algemeen voor de verschillende rivieren een knik omstreeks 1978-1979, die op enige kwaliteitsverbetering wees, vermoedelijk te wijten aan de economische recessie en de ermee gepaard gaande vermindering van de belasting van de waterlozingen



10.6 Meetnet voor de automatische controle van de waterkwaliteit (M342)

Om een overzicht te verkrijgen van de waterverontreiniging van de oppervlaktewaters in België, en in geval van een noodsituatie tijdig te kunnen ingrijpen, is door het toenmalige Ministerie van Volksgezondheid en van het Gezin een meetnet gepland voor de automatische controle van de waterkwaliteit van de Belgische rivieren en kanalen.

Het net moest bestaan uit een aantal onbemande meetstations, waarin continu de kwaliteitskarakteristieken van het water in een aantal raaien van de belangrijkste rivieren en kanalen bepaald werden. De gegevens die door deze stations werden verzameld, moesten continu, via een teletransmissienet beheerd door het Bestuur van Elektriciteit en Electromechanica, naar een centrale computer gestuurd worden.

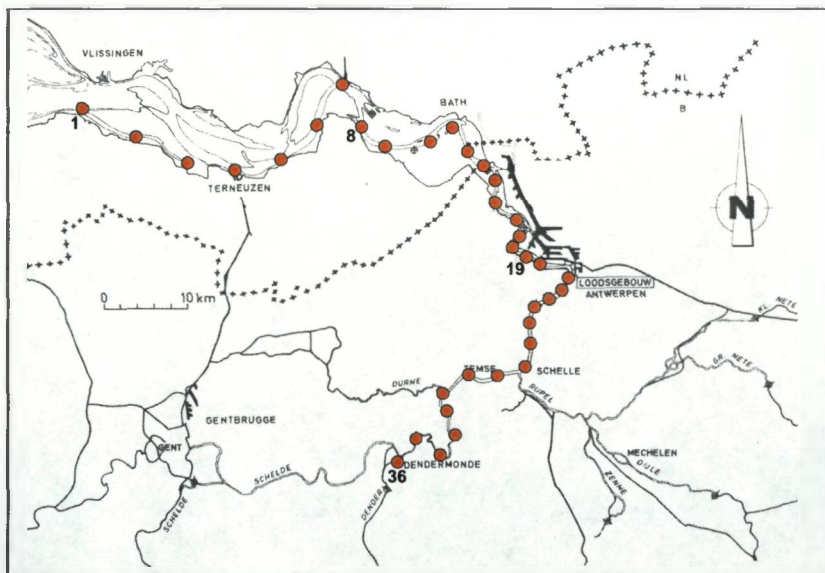
In eerste instantie zouden volgende parameters gemeten worden: temperatuur, zuurtegraad ph, geleidbaarheid, zoutgehalte, zuurstofgehalte, redoxpotentiaal en materiaal in suspensie.

Het Waterbouwkundig Laboratorium was tussen 1975 en 1977 betrokken bij het ontwerp en de inplanting van de meetstations en voerde een aantal modelproeven en berekeningen uit om het systeem te optimaliseren. Zo werd onderzocht:

- Bepalen van de aard en vorm van de bescherming van de pomp
- Bepalen van de invloed van vertakkingen in de pompleiding op de concentratie aan vaste stoffen
- Bepalen van de meest geschikte vorm van een inham waarin de waterafname moet geschieden zonder gevaar voor de scheepvaart.
- Bepalen van de invloed van een onderwaterpomp op het gehalte opgeloste zuurstof in het verpompte water.

Debiets- en drukverdeling in het hydraulisch net.

10.7 Waterkwaliteitsmetingen Scheldeestuarium (M346)



In het kader van een nationaal onderzoeks- en ontwikkelingsprogramma voor het leefmilieu heeft het Waterbouwkundig Laboratorium in samenwerking met de Universiteit Libre de Bruxelles (U.L.B.) meegewerkt aan een meetprogramma geleid door de Interministeriële Commissie voor het Wetenschapsbeleid (I.C.W.B.).

Een gedeelte van dit programma had betrekking op het onderzoek van de waterverontreiniging van de Noordzee ter hoogte van de Belgische kust en aangrenzende Neder-

landse en Franse kusten, met het oog op het ijken van een mathematisch model van de Noordzee.

Het Schelde-estuarium maakte deel uit van het te onderzoeken gebied. Vanaf 1972 werd het Laboratorium ingeschakeld bij de in situ metingen. Bedoeling was de waterkwaliteit, gekarakteriseerd door verschillende fysico-chemische parameters te bepalen. De metingen en staalnames gebeurden vanop schepen van de Belgische Zeemacht.

Deze metingen kunnen onderverdeeld worden in twee groepen.

Een eerste reeks metingen werd uitgevoerd in 1972-1974, telkens gedurende een volledig getij (ca. 13 uur) op welbepaalde plaatsen in het Schelde-estuarium.

Een tweede reeks betrof metingen die uitgevoerd werden volgens de langszin van het estuarium omstreeks de laagwater (of hoogwater) kenteringen van eenzelfde of gelijkaardig getij. Deze metingen werden uitgevoerd in de periode 1973-1979. De rode punten op het liggingplannetje geven de plaatsen aan waar de waterstalen werden genomen.

Opgemeten parameters:

Bij de keuze van de parameters werd rekening gehouden met het feit dat het estuarium een menggebied vormt voor rivierwater (bovenafvoer) en zeewater (getijdebieten).

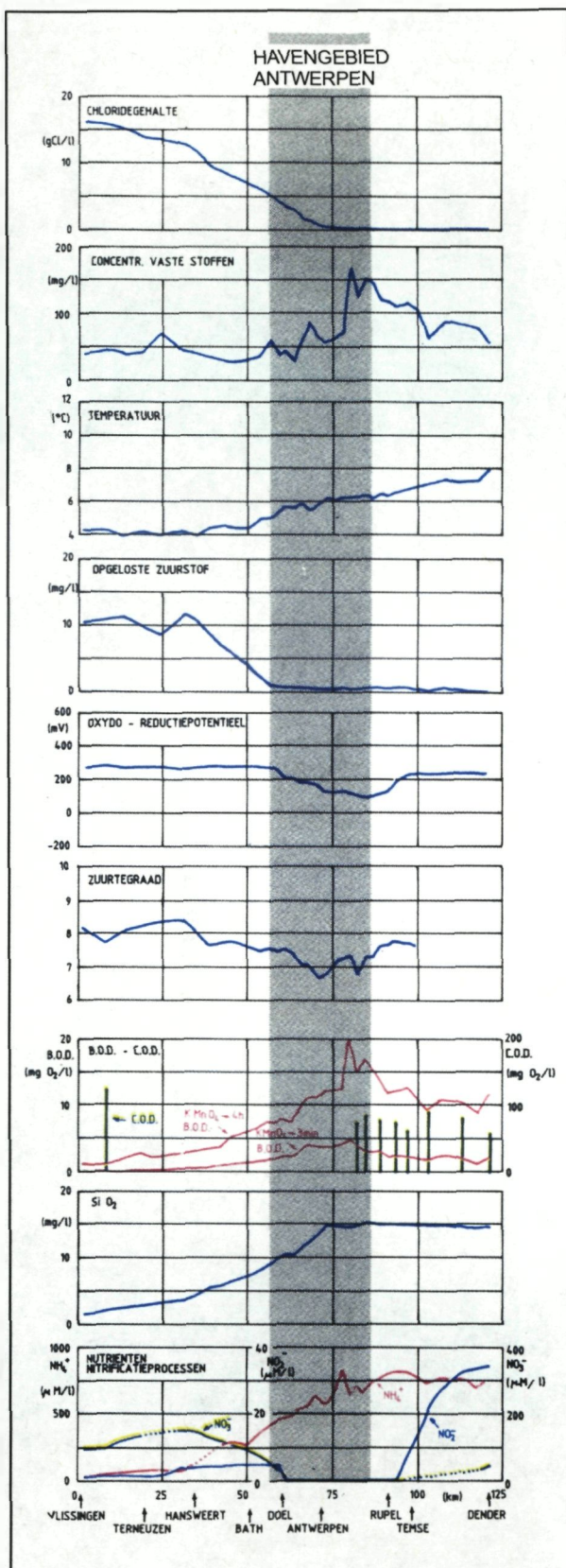
Voor de metingen werden volgende parameters weerhouden:

- chloridegehalte
- concentratie aan vaste stoffen
- temperatuur
- opgeloste zuurstof
- zuurtegraad ph
- oxydo-reductiepotentiaal

Deze parameters karakteriseren zowel de waterkwaliteit als de menging in het estuarium.

Door het instituut voor Hygiëne en Epidemiologie (Ministerie van Volksgezondheid en het Gezin) en de Dienst "Environnement et Chimie Industrielle" van de Universit  Libre de Bruxelles werden nog andere parameters gemeten zoals: chemisch zuurstofverbruik (COD), biochemisch zuurstofverbruik (BOD), organische stoffen, nutriënten, bacteriologische activiteit, zware metalen.

Bijgaande grafiek geeft de resultaten van een dergelijke meting volgens de langszin van de Schelde (30 jan-1 febr 1973).



11 DIVERSE STUDIES IN VERBAND MET DE SCHELDE

11	DIVERSE STUDIES IN VERBAND MET DE SCHELDE	1
11.1	RADARTOREN SAAFTINGE	2
11.2	MAATREGELEN TEGEN DE ONTZANDING VAN HET SINT ANNASTRAND (MOD. 519)	2

11.1 Radartoren Saafdinge



Voor de radarketen van de Westerschelde is een radartoren op een artificieel eiland in de Schaar van den Noord gepland.

Aan het laboratorium werd gevraagd het eiland in het bestaand tijmodel van de Westerschelde in te bouwen om een idee te krijgen van het stroombeeld ende snelheidsvermeerderingen verwekt door het eiland.

Deze proeven werden uitgevoerd in 1971 op het toenmalige tijmodel van de Westerschelde (M300)..

Besluiten:

- De stroomrichtingen vallen beter samen met de langsvanrichting van het eiland bij kloksgewijze draaiing van het eiland met tien graden.

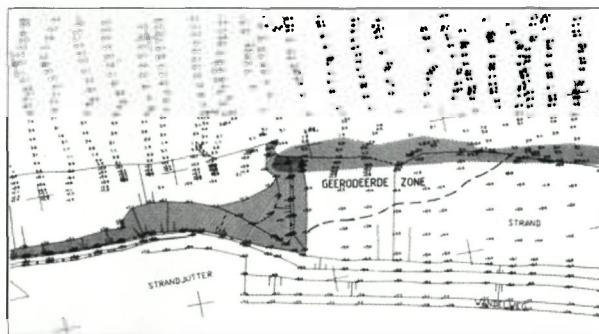
- Uitschuring aan de noord- en zuidzijde van het eiland is te verwachten. Een uitbreiding van de geplande zinkstukken moet wellicht overwogen worden.

11.2 Maatregelen tegen de ontzanding van het Sint Annastrand (Mod. 519)

In februari 1993 werd een vrij plotse en ernstige uitschuring vastgesteld aan het afwaarts gedeelte van het St. Annastrand op de linkeroever van de Schelde te Antwerpen.

Het Waterbouwkundig Laboratorium diende na te gaan hoe dergelijke erosies konden vermeden worden.

Ongeveer 800 m van de linkeroever werd weergegeven in de kuip van het permanent stromingsmodel. De schalen waren 1:80 horizontaal en 1:50 verticaal en 1: 7 voor de snelheden. De proeven werden uitgevoerd in 1993.



Als oplossing werd voorgesteld de aan de rivierzijde van het strand aangelegde tombolo naar afwaarts te verlengen en het schorregebied achter deze tombolo schuin naar de tivierdijk toe met stortsteen op te vullen.