

DI: 163689

rijkswaterstaat

dienst getijdewateren

nr. C-4014

bibliotheek

512

16 OKT. 1981

rijkswaterstaatsdienst
bibliotheek en documentatie
v. alkemadeln. 400
2597 AT 's-gravenhage
opgenomen in bibliotheek
onder nr. C1525

ELEKTRISCHE ANALOGIEMODELLEN VAN GETIJSTEISELS.1. Inleiding.

Zoals bekend verondersteld mag worden, beantwoorden de stroming van een vloeistof en de stroming van elektriciteit aan analoge wetten. Dit op zichzelf oude inzicht heeft in en na de oorlog geleid tot het construeren van een reeks elektrische modellen van getijrivieren, ten behoeve van de Studiedienst der Benedenrivieren.

In de oorlog werd met de medewerking van ir Geluk van de A.V.R.O. een eerste model gebouwd, waarmee het M2-getij op de rivier de Lek werd nagebootst.

Een tweede model, waarin ook de bovenafvoer werd weergegeven, kwam na de oorlog tot stand in het laboratorium voor kabeltelegrafie van de P.T.T.

Bij de voortzetting van het onderzoek werd de P.T.T. door het toenemen van haar eigen werkzaamheden genoopt haar medewerking te staken. Hierna is de ontwikkeling van de elektrische modeltechniek door de Studiedienst Benedenrivieren in eigen beheer voortgezet. Daarbij werd het elektronische werk toevertrouwd aan een middelbare technicus die reeds bij de proeven in het laboratorium van de P.T.T. gelegenheid had gehad zich in te werken. Het nu in bedrijf zijnde elektronische model is het resultaat van deze voortgezette ontwikkeling.

Na de ramspoedige storm van 1953 ontving de Centrale Studiedienst van de Directeur-Generaal opdracht zich nader op de hoogte te stellen van de mogelijkheden van toepassing van het elektronische model. Dit gaf aanleiding tot een hernieuwde bezinning op de problematiek en op de toepassingsmogelijkheden van de hydraulisch-elektrische analogie.

Daar het al spoedig duidelijk was dat de hulp van een specialist op het gebied van de elektronentechniek hierbij niet gemist zou kunnen worden, werd de medewerking gezocht en verkregen van de elektronische afdeling van de Technisch Fysische Dienst T.N.O. en T.H., onder leiding van ir Verhagen. Deze heeft zich allereerst op de hoogte gesteld van de bereikte resultaten, en vervolgens zijn de mogelijkheden tot voortzetting van het onderzoek in ogenschouw genomen.

Gemeend wordt dat het ogenblik gekomen is rekenschap af te leggen omtrent de stand van zaken. Dit houdt in dat de bereikte resultaten nader beschouwd zullen worden, om dan op grond daarvan aan te geven in welke richting de ontwikkeling zal moeten worden voortgezet.

100222.217



MEMORANDUM FOR THE RECORD

DATE: 11/15/54

1. On 11/15/54, the following information was received from the [illegible] regarding the [illegible] of the [illegible] in the [illegible] area. The [illegible] was [illegible] and [illegible] the [illegible] of the [illegible] was [illegible].

2. The [illegible] was [illegible] and [illegible] the [illegible] of the [illegible] was [illegible]. The [illegible] was [illegible] and [illegible] the [illegible] of the [illegible] was [illegible].

3. The [illegible] was [illegible] and [illegible] the [illegible] of the [illegible] was [illegible]. The [illegible] was [illegible] and [illegible] the [illegible] of the [illegible] was [illegible].

4. The [illegible] was [illegible] and [illegible] the [illegible] of the [illegible] was [illegible]. The [illegible] was [illegible] and [illegible] the [illegible] of the [illegible] was [illegible].

5. The [illegible] was [illegible] and [illegible] the [illegible] of the [illegible] was [illegible]. The [illegible] was [illegible] and [illegible] the [illegible] of the [illegible] was [illegible].

2. Algemene gezichtspunten ten aanzien van modellen.

Een analogiemodel is een systeem waarvan het gedrag gehoorzaamt aan overeenkomstige wetten als geldig zijn voor het oorspronkelijke systeem, waarvan het model een nabootsing vormt. Scherper gesteld: de wiskundige formulering van het gedrag van het model moet identiek zijn aan die van het origineel.

Om van een systeem een praktisch bereikbaar analogiemodel te verkrijgen, is het dus allereerst noodzakelijk een systeem te zoeken dat aan overeenkomstige wetten gehoorzaamt. Dit is echter nog niet voldoende. Men zal bovendien over methoden moeten kunnen beschikken om het gedrag van het als model dienende systeem te beheersen, en vooral ook dit gedrag voldoende nauwkeurig te meten. Immers, al beschikt men over een op zichzelf beschouwd goede nabootsing, dit heeft geen praktische waarde indien men het gedrag van het model, bij gebrek aan goede meetmethoden, niet of niet voldoende kan leren kennen.

Het is vanouds bekend dat er analogie bestaat tussen de stroming van elektriciteit onder invloed van spanningsverschillen en de stroming van een vloeistof onder invloed van drukverschillen. Het is dus niet verwonderlijk dat ook de stromen in een getijgeul een zekere analogie vertonen met bepaalde elektrische verschijnselen. In principe lijkt hiermee de mogelijkheid van een elektrisch model van een getijstelsysteem gegeven.

Inmiddels doen zich bij een nadere beschouwing nog vele complicaties voor. Deze zijn deels van meer principiële, deels van meer praktische aard.

De principiële moeilijkheden schuilen voornamelijk daarin, dat de analogie in verschillende opzichten anders van aard is dan zij op het eerste gezicht wellicht moge schijnen. Van de ontwikkeling van de gedachtengang op dit punt leggen de literatuuropgaven 2, 4, 5, 6 en 7 getuigenis af.

De praktische moeilijkheden komen eensdeels daaruit voort, dat er slechts een gedeeltelijke analogie tussen hydraulische en elektrische systemen bestaat, en anderdeels uit de preliminaire eis dat de in het model opgewekte verschijnselen nauwkeurig gemeten en geregistreerd moeten kunnen worden.

3. Analogie van een geul en een telegraafkabel.

Uitgangspunt van de gedachtengang die tot de elektrische modeltechniek geleid heeft, is het werk van de Staatscommissie Lorentz

geweest (Lit. 1). De mathematische behandeling door Lorentz van de normale getijbeweging in een geul is analoog aan de behandeling van verschijnselen in telegraafkabels, en het lijkt niet gewaagd te veronderstellen dat Lorentz' bekendheid met dit laatste hem mede geïnspireerd zal hebben tot de nu wel haast klassieke theorie van de getijvoortplanting.

Na een aantal vereenvoudigingen te hebben aangebracht, beschrijft Lorentz de getijbeweging door een tweetal vergelijkingen (96) (p. 220) en (107) (p. 223), die in de tegenwoordig meer gangbare notatie luiden:

$$(1) \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

$$(2) \quad \frac{\partial h}{\partial x} + m \frac{\partial Q}{\partial t} + r Q = 0 .$$

Hierin stelt h de waterstand in, en Q de afvoer door een dwarsprofiel voor; b is de bergende breedte en $m = 1/gA$, waarbij A het opp. voorstelt van het stroomvoerend profiel. Voorts is r een constante die volgt uit de linearisatiemethode van Lorentz voor de wrijvingsweerstand. De grootheid m is de hydraulische traagheid per eenheid van lengte. Deze is afgeleid van de massa van het water, en geeft aan in welke mate deze massa zich verzet tegen aangroeien of afnemen van de afvoer.

We beschouwen nu een tweetal elektrische geleiders naast elkaar, b.v. een ader in een telegraafkabel en de mantel van de kabel. De beide geleiders bezitten tezamen een zelfinductie, die per eenheid van lengte l moge bedragen. Laten zij voorts tezamen een weerstand r^1 per eenheid van lengte hebben. Tenslotte zij c de capaciteit per eenheid van lengte van de ader t.o.v. de mantel en omgekeerd.

Laat i de door de ader gevoerde stroom zijn en u de spanning van de ader t.o.v. de mantel. Zowel i als u kunnen van plaats tot plaats en van ogenblik tot ogenblik variëren. Deze variaties worden beheerst door de vergelijkingen

$$(3) \quad \frac{\partial i}{\partial x} + c \frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

$$(4) \quad \frac{\partial u}{\partial x} + l \frac{\partial i}{\partial t} + r^1 i = 0 .$$

De vereenvoudigde vergelijkingen van een getijgeul, (1) en (2), zijn in wezen identiek met de vergelijkingen (3) en (4) van de kabel. Deze laatste kan dus als model van de geul dienst doen.

Aan een dergelijk model bestaat evenwel weinig behoefte, omdat de vereenvoudigde vergelijkingen (1) en (2) gemakkelijk genoeg opgelost kunnen worden. Dit wordt evenwel anders indien de aan (1) en (2) ten grondslag liggende vereenvoudigende aannamen niet meer toelaatbaar zijn.

4. Mogelijkheden van een kettingmodel.

De gelineariseerde vergelijkingen (1) en (2) zijn slechts benaderingen, waarmee alleen de M2-component van de normale getijbeweging min of meer bevredigend kan worden bepaald. In vele gevallen is dit evenwel voor de praktijk onvoldoende en worden meer exacte oplossingen geëist. Deze zijn weliswaar mathematisch heel goed op te stellen, doch de daarmee gemoeide hoeveelheid rekenwerk is steeds zo groot dat het van grote waarde zou kunnen zijn, indien men over een elektrisch model zou beschikken dat zich beter dan een eenvoudige telegraafkabel in overeenstemming met een getijgeul zou gedragen.

Het moet praktisch onmogelijk geacht worden een doorgaande kabel te construeren met de vereiste eigenschappen. Gelukkig doet zich evenwel de mogelijkheid voor, het probleem in een beter realiseerbare vorm te stellen door gebruik te maken van een kettingmodel.

Een kettingmodel wordt gevormd door een aantal schakels, elk uitgevoerd als een zgn. vierpoolsectie die opgebouwd is uit weerstanden, zelfinducties en capaciteiten.

Teneinde een geul door een dergelijk kettingmodel na te bootsen, wordt de geul verdeeld in een aantal tamelijk korte vakken. Elk vak wordt nagebootst door een sectie van het kettingmodel. Bij deze nabootsing wordt er dan van af gezien de voortplanting van het getij in het inwendige van het vak getrouw weer te geven. Men volstaat er mee de afvoer en de waterstand in de ingang en de overeenkomstige grootheden in de uitgang van het vak, in hun juiste onderlinge betrekkingen weer te geven. Een dergelijke wijze van behandeling is toelaatbaar, mits de vaklengte voldoende klein is vergeleken met de golflengte van het getij.

Door aldus te streven naar een vaksgewijze weergave van de getijgeul, krijgt men de mogelijkheid elk van de complicaties in de voortplanting van het getij, afzonderlijk in één der elementen van de sectie technisch tot een oplossing te brengen.

Alle tot dusver geconstrueerde modellen zijn dan ook van het kettingtype.

5. Eisen, te stellen aan het model.

Praktisch exact zijn de vergelijkingen voor de getijbeweging in een geul als volgt te formuleren:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial h}{\partial t} = 0 ,$$

of

$$(5) \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + b \frac{\partial H}{\partial t} - b \frac{\partial (U Q^2)}{\partial t} = 0$$

$$(6) \quad \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial (m Q)}{\partial t} \pm w Q^2 = 0 .$$

Hierin stelt $H = h + v^2/2g = h + U Q^2$ (waarin $U = 1/2g.A^2$) de energiehoogte voor. Voorts is $w = 1/C^2 A^2 a_s$ (waarin C de coëfficiënt van Chézy en a_s de stroomvoerende diepte). Tenslotte valt te bedenken dat b , m en w als functies van de waterstand h met het op en neer gaan van het getij variëren.

Vergelijken we (5) en (6) met de vergelijkingen (3) en (4) van de telegraafkabel, en vatten we de afvoer Q als analogon van de stroom i en de energiehoogte H als analogon van de spanning u op, dan blijken de volgende complicaties te bestaan:

1. De weerstand variëert niet lineair doch quadratisch met de afvoer.
2. De coëfficiënt w van de quadratische weerstand variëert met de waterstand h .
3. De bergende breedte b variëert met de waterstand h .
4. De traagheid m per eenheid van lengte variëert met de waterstand h .
5. De snelheidshoogte $v^2/2g = U Q^2$. De voornaamste complicatie als gevolg hiervan, komt tot uitdrukking in de laatste term in de continuïteitsvergelijking (5).

Voor de weergave van stormvloed en komen hier nog als verdere complicaties bij:

6. De kracht door de wind uitgeoefend.
7. Zijdelingse afvoeren naar invloeiende polders.

In gebieden als de Waddenzee, waar vereffeningsstromen over de platen tussen de geulen mogelijk zijn, komt dan nog als complicatie:

8. De kracht van Coriolis.

De genoemde factoren zijn uiteraard niet alle even gewichtig. Bovendien varieert het gewicht van geval tot geval. Geppogd is in de volgorde waarin zij zijn opgesomd, de onderlinge gewichtigheid enigszins tot uitdrukking te brengen. Zo zal in zeearmen en benedenrivieren het quadratische karakter van de weerstand steeds als een factor van groot gewicht beschouwd moeten worden.

Dat er evenwel van geval tot geval verschil bestaat, moge blijken uit het voorbeeld van de kracht van Coriolis. In de benedenrivieren en zeearmen is dit steeds een factor van ondergeschikte betekenis. Doch in een bekken als de Noordzee wordt de kracht van Coriolis een der alles beheersende factoren.

We zullen nu overgaan tot een bespreking van de verschillende ontwikkelde of in ontwikkeling genomen elektrische modellen.

6. Het enkelfrequente model.

In Lit. 4 is een model beschreven van de rivier de Lek, dat gebaseerd is op de vergelijkingen van Mazure (Lit. 3).

Bij de methode van Mazure, die als een uitbreiding van de methode van Lorentz voor zeearmen kan gelden, wordt het M2-getij op een benedenrivier met gelineariseerde vergelijkingen behandeld, en ook wordt het middenstandsverhang berekend. De methode van Mazure gaat er van uit, dat men voor het lineariseren gebruik maakt van voorafgaande schattingen van middenstanden, verticale getijden en getijstromen. Door oplossen van de vergelijkingen worden dan betere benaderingen van verticale getijden, getijstromen en middenstanden verkregen.

Het M2-getij en het middenstandsverhang worden dus door succesieve benadering op elkaar afgestemd. Van dit proces vormt het oplossen van het M2-getij uit de gelineariseerde vergelijkingen één bepaalde stap.

Het bovenbedoelde model dient om deze stap experimenteel in plaats van langs de weg van berekening uit te voeren. Het model wordt dus afgesteld voor een bepaald middenstandsbeloop, en geeft dan alleen het M2-getij weer. De middenstanden zelf worden niet weergegeven (evenmin als hogere harmonische componenten) doch moeten door berekening bepaald worden.

De besparing aan rekenwerk die aldus wordt verkregen is niet van praktische betekenis en het model moet dan ook voornamelijk gezien worden als aanloop tot de verdere ontwikkeling.

7. Het duale model met metaalgelijkrichters.

In het duale model is een poging gedaan de middenstanden en bovenafvoer tegelijk met de getijbeweging weer te geven. Het was daarbij op zijn minst noodzakelijk de quadratische weerstand correct na te bootsen. Men heeft hiertoe gebruik gemaakt van metaalgelijkrichters die een ongeveer quadratische weerstandskarakteristiek bezitten. Evenwel, in deze elementen is niet het spanningsverval evenredig met het kwadraat van de stroom, doch omgekeerd de stroom evenredig met het kwadraat van het spanningsverval.

Het was niettemin mogelijk deze gelijkrichters te benutten, door over te gaan tot een zogenaamd duaal model, d.w.z. een model waarin de elektrische spanningen een afbeelding van de waterafvoeren, en de elektrische stromen een afbeelding van de waterstanden vormen.

Voor een enkelvoudige rivier is inderdaad een dergelijk duaal model principiëel mogelijk. Langs deze weg is dan ook de rivier de Lek nagebootst (Lit. 6).

Van meer samengestelde geulennetwerken is echter in het algemeen een duaal model niet mogelijk. Ook het duale model moet dus meer in het stadium van de voorbereiding geplaatst worden.

8. Het elektronische model.

Het was dus duidelijk dat men voor het nabootsen van een geheel netwerk van getijgeulen als b.v. dat der benedenrivieren, moest beschikken over een elektrisch element met een zodanige karakteristiek, dat het spanningsverval over het element evenredig zou zijn met het kwadraat van de stroom door het element.

Na het nodige spuurwerk bleek een als zodanig bruikbaar element gevonden te kunnen worden in sommige typen van elektronenbuizen. Dit is het uitgangspunt geworden voor de constructie van een elektronisch model.

Aangezien met deze ontwikkeling gepoogd is tot een meer volledige nabootsing van een getijsysteem te komen, in het bijzonder van het netwerk der benedenrivieren, zullen we iets uitvoeriger hierop ingaan, gebruik makende van de resultaten van het door de Technisch Physische Dienst verrichte onderzoek (Lit. 9). Daarbij zullen we achtereenvolgens aandacht schenken aan elk der beide in de inleiding gestelde desiderata, namelijk de nabootsing zelf, en het opwekken en meten van getijden in het model. Tenslotte zullen we tot conclusies over de toepassingsmogelijkheid van het model trachten te komen.

8.1. Nabootsing van een getijstelsel met het elektronische model.

Het elektronische model is, evenals zijn voorgangers, een uit secties opgebouwd kettingmodel. Iedere sectie moet één bepaald vak van het getijsysteem nabootsen.

De ná te bootsen vakken zijn onderling min of meer verschillend. De secties zijn echter alle volgens eenzelfde bouwplan vervaardigd. Iedere sectie moet dus kunnen worden aangepast aan de zeer uiteenlopende eisen zowel van wijde en diepe, als van nauwe en ondiepe vakken.

Elke sectie is opgebouwd uit een weerstandselement, een zelfinductieelement en twee onderling gelijke capaciteitselementen, een en ander gecombineerd volgens een zgn. pi-schema. Het weerstandselement vertegenwoordigt de weerstand van het vak, het zelfinductieelement de traagheid, en de capaciteitselementen vertegenwoordigen tezamen de berging.

De drie elementen kunnen binnen zekere grenzen worden ingesteld teneinde vakken van uiteenlopende afmetingen weer te geven. Bovendien is een poging gedaan elk der elementen dynamisch regelbaar te maken, teneinde met de variaties van weerstand, traagheid en berging als functies van de waterstand, rekening te houden (zie par. 5, punten 2, 3 en 4). Tot dit doel wordt uit de sectie een spanning afgetakt die evenredig is met de gemiddelde waterstand in het vak, en deze variërende spanning wordt via een versterker als stuurspanning toegevoerd aan elk der elementen.

Er is van afgezien de snelheidshoogte (zie par. 5, punt 5) in rekening te brengen. Er zijn evenmin voorzieningen getroffen voor het weergeven van andere factoren (zie par. 5, de punten 6 e.v.).

Voor het realiseren van het weerstandselement is, zoals hiervoor gezegd, gebruik gemaakt van elektronenbuizen (pentodes). De quadratische karakteristiek dezer buizen voldoet binnen zekere grenzen wat de instelling betreft, aan redelijke eisen. De coëfficiënt van de quadratische weerstand kan worden ingesteld door de spanning op een rooster. Langs deze weg kan ook de invloed van de waterstand geïntroduceerd worden.

Een bezwaar dat inhaerent is aan het toepassen van een elektronenbuis op de boven beschreven wijze, is daarin gelegen, dat de karakteristiek van buis tot buis verschillend is, en bovendien met de bedrijfsomstandigheden en als gevolg van veroudering, verloopt. Dit geldt temeer omdat de hier benutte eigenschap van de buis bij normale toepassingen geen rol speelt, zodat bij de fabricage geen aandacht

aan die eigenschap wordt besteed.

De wijze waarop men zich, door zgn. tegenkoppeling, in vele andere toepassingen min of meer vrij maakt van de ^{nietlineaire} / vorm van een buiskarakteristiek en daarmee van het verlopen van die karakteristiek, komt hier niet in aanmerking, omdat men juist de typische vorm van de karakteristiek nodig heeft.

Voor een meer nauwkeurig inzicht in de gevolgen die dit heeft voor de getrouwheid van het model, zou men een dieper gaand onderzoek kunnen instellen naar het gedrag van de buizen in het bedrijf van het model; hetgeen vrij tijdrovend zou zijn. Anderzijds zou men opheldering op dit punt kunnen verkrijgen door de secties te toetsen aan een reeks standaardvereisten. Deze standaardvereisten zouden door berekening verkregen kunnen worden, hetgeen een niet onaanzienlijke hoeveelheid werk zou meebrengen, ofwel door middel van een volgens andere principes werkend model waarvan de kwaliteit duidelijk vast zou staan.

Gezien de omvang van een dergelijk onderzoek, op welke wijze dan ook uitgevoerd, moet voorlopig het punt van de nauwkeurigheid nog enigszins in het midden worden gelaten.

Een tweede bezwaar betreft het bereik waarover ingesteld kan worden met behoud van een bevredigend quadratisch gedrag, welk bereik betrekkelijk klein is. Uitbreiding van het model, dat momenteel het noordelijke deltagebied omvat, naar de veel wijdere zuidelijke wateren, moet daarom praktisch onuitvoerbaar worden geacht, tenzij men veel lagere eisen aan de getrouwheid zou stellen.

Voor de capaciteitselementen is eveneens de keuze gevallen op een schakeling met elektronenbuizen. Het gekozen principe is juist te achten, doch de uitwerking is niet steeds oordeelkundig geschied.

De inductieve elementen zijn gerealiseerd als smoorspoelen met voormagnetisatie. De instelling van de juiste waarde van de zelfinductie wordt voornamelijk verkregen door de voormagnetisatie te wijzigen. De dynamische regeling langs deze zelfde weg is slechts in beperkte mate toe te passen.

8.2. Opwekken en meten van getijden in het elektronische model.

In het model zijn geen middelen aanwezig om windkrachten of zijdelingse afvoeren na te bootsen. Zulke middelen zouden vermoedelijk wel te realiseren zijn, doch om redenen samenhangend met het meten, moet het model toch minder geschikt voor het weergeven van stormvloedden geacht worden.

Het meten van de in het model opgewekte verschijnselen is in meer dan een opzicht van beslissend belang. Ten eerste omdat zonder een goede meetmethode geen nauwkeurige uitkomsten verkregen kunnen worden, en ten tweede omdat ook het beheersen van de in het model op te wekken verschijnselen zonder zulk een methode gebrekkig moet blijven.

Het elektronische model bootst het getij met een frequentie van 1000 Herz na. Dit betekent dat één halfdag getij dat in de natuur een periode van 12,4 uur heeft, zich in het model afspeelt in 0,001 sec. Deze frequentie is gekozen met het oog op de dimensionering in verband met de elektronenbuizen.

Voor het meten bij een dergelijke frequentie zijn evenwel slechts beperkte mogelijkheden aanwezig. Voor het registreren van een gehele getijkromme is men aangewezen op kathodestraal-oscillografen, die het getij zichtbaar maken. De nauwkeurigheid is echter voor getijproblemen in het algemeen onvoldoende.

Voor een meer nauwkeurige meting van de stromen en spanningen in het model, worden deze door middel van frequentiefilters in hun harmonische componenten ontbonden, en van elke component worden amplitude en fase gemeten. Door harmonische synthese langs de weg van berekening, is hieruit de getijkromme weer te reconstrueren. Het gehele procédé is zeer omslachtig vergeleken met een directe registratie.

Deze methode van ontleding in harmonische componenten is toe te passen op periodieke verschijnselen. Stormvloeden zijn praktisch alleen langs die weg te behandelen, indien men er toe overgaat de stormvloed periodiek te doen terugkeren, b.v. om de 25, 37 of 50 uur, naargelang de tijd die nodig is voor het uitsterven van de gevolgen van een voorafgaande stormvloed. De basisperiode van de meetmethode is dan niet langer de periode van het getij, doch de periode van de herhaling van de stormvloeden. Het aantal harmonische componenten dat gemeten moet worden, neemt daarmee aanzienlijk toe, en dus ook de omslachtigheid van de meetmethode.

Het is vooral op deze grond dat het elektronische model voor het weergeven van stormvloeden ongeschikt moet worden geacht.

8.3. Praktische betekenis van het elektronische model.

Ten opzichte van zijn beide voorgangers (zie par. 6 en 7) vormt het elektronische model een duidelijke vooruitgang, omdat verschillende verbeteringen in de nabootsing zijn aangebracht. Bovendien hebben de ervaringen ook nu weer verder bijgedragen tot een beter

inzicht in de problematiek van de elektrische modeltechniek.

Inmiddels is ook dit model in zijn toepassingsmogelijkheden nog aan belangrijke beperkingen onderhevig.

Ten eerste moet het uitbouwen van het model tot de zuidelijke delta onuitvoerbaar worden geacht in verband met de grenzen van de instelbaarheid van de secties.

Ten tweede zijn met dit model alleen de periodieke getijden te onderzoeken, en moet het voor de bestudering van stormvloed en ongeschikt worden geacht, op grond van de meetmethodiek.

Ten derde zijn uitkomsten die, althans binnen zekere grenzen, betrouwbaar zijn, alleen te verkrijgen ten koste van omvangrijke meetprogramma's. Dit is allereerst een gevolg daarvan dat de karakteristieken van de elementen in de secties regelmatige controle vergen, en voorts daarvan dat de meetmethoden vrij omslachtig zijn.

De grenzen waarbinnen, bij een doelmatige meetmethodiek, het model als betrouwbaar mag gelden, zijn evenwel nog niet scherp vast te stellen, om redenen uiteengezet in par. 8.1.

Ten vierde voldoet de nabootsing van de werkelijkheid door het model nog niet aan alle eisen die daaraan te stellen zijn, omdat de complicerende factoren (par. 5, de punten 1 t/m 5) slechts gedeeltelijk in rekening gebracht kunnen worden.

Voor een deel zijn de beperkingen van het bestaande model toe te schrijven aan een minder oordeelkundige constructie, doch in hoofdzaak zijn zij inhaerent aan de gebruikte elektronische middelen.

Men moet dan ook tot de conclusie komen dat een elektronisch model meer moet worden gezien als een tussenstap, dan als een, zelfs maar voorlopige, eindstap in de ontwikkeling van de elektrische modeltechniek.

Inmiddels zal het model voor een beperkt aantal problemen gebruikt kunnen worden, mits daarbij de verkregen resultaten kunnen worden getoetst op hun betrouwbaarheid, b.v. door vergelijking met berekeningen. Als zelfstandig middel van onderzoek moet het echter minder geschikt geacht worden.

9. Voortzetting van het onderzoek.

Wij willen ons nu bezinnen op wat in de toekomst te doen staat.

Allereerst moet dan worden vastgesteld, dat met het elektronische model nog geen volledig bevredigende oplossing is verkregen.

We zullen aanstonds nagaan tot welke conclusies dit ons noopt.

Voorts moet in het oog worden gevat dat de eisen die nu gesteld

worden, niet meer dezelfde zijn als in de tijd dat de ontwikkeling een aanvang nam. Toentertijd was in feite alleen de vraag naar een model van zeearmen en benedenrivieren aan de orde. Sindsdien is het belang van een onderzoek van de stormvloed in de Noordzee duidelijk in het licht getreden, en dit heeft ten aanzien van het elektrische model bepaalde consequenties:

De problemen van getijden en stormvloed in zeearmen en benedenrivieren zijn geheel door berekeningen tot oplossing te brengen. Bovendien kan men hiervoor ook van een hydraulisch model gebruik maken. Een elektrisch model ontleent in dit verband zijn betekenis enerzijds aan de mate waarin men sneller tot uitkomsten kan komen dan door berekening, en anderzijds aan de mate waarin dit nauwkeuriger of vollediger kan geschieden dan in een hydraulisch model.

De problematiek van de Noordzee is belangrijk meer gecompliceerd, en hierbij beschikt men voorshands nòch over praktisch toereikende berekeningsmethoden, nòch over een gevestigde hydraulische modeltechniek. Het is duidelijk dat in die omstandigheden de waardering van een elektrisch model anders moet uitvallen dan in het geval van zeearmen en benedenrivieren.

Gaan we nu na tot welke conclusies de ervaringen die tot nu toe zijn opgedaan, leiden:

1. Alle tot nu toe geconstrueerde modellen werkten bij een frequentie van 1000 Hz. Deze valt in het bereik der z.g.n. elektronische laagfrequent techniek. Zij biedt het nadeel dat een directe registratie van de opgewekte trillingen alleen met een kathodestraal-oscillograaf mogelijk is. De nauwkeurigheid hiervan is echter voor getijonderzoek onvoldoende. Aangezien het nauwkeurig direct registreren voor de praktische bruikbaarheid van groot belang moet worden geacht, moet tot de wenselijkheid van een veel lagere frequentie worden besloten, teneinde een nauwkeurige registratie, b.v. met lus-oscillografen, mogelijk te maken.

2. Het gebruik maken van de karakteristieken van elektronenbuizen, b.v. om een quadratische weerstand te realiseren, biedt nadelen zowel ten aanzien van de reproduceerbaarheid en nauwkeurigheid, als ten aanzien van de realisering van uiteenlopende vakken. Men komt er dus toe naar andere middelen om te zien. Aangezien de mogelijkheden in het algemeen ruimer worden naarmate de frequentie lager wordt, ligt het dus ook met het oog hierop voor de hand bij lagere frequenties te gaan werken.

3. In het elektronische model zijn verschillende van de meer secundaire factoren, die van invloed zijn op de getijbeweging in een

geul, niet nagebootst. Door dit wel te doen, zou een waardevolle verfijning bereikt worden. Van meer praktisch belang zou het bovendien zijn, indien ook de verdere factoren die hetzij bij stormvloeden, hetzij in grotere bekken als de Noordzee een rol spelen, zouden worden nagebootst. Vooral de windkracht en de kracht van Coriolis zijn hierbij van grote betekenis. Ook wat dit betreft biedt het werken bij lagere frequenties grotere mogelijkheden, voornamelijk omdat men gebruik kan maken van allerlei elektro-mechanische oplossingen.

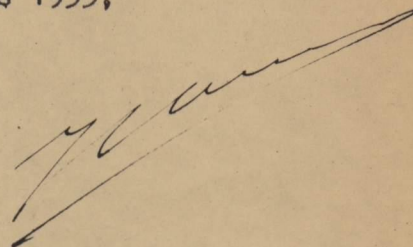
De richting waarin het onderzoek van de Technisch Physische Dienst in overleg met de Centrale Studiedienst zich beweegt, is geheel in overeenstemming met deze conclusies.

In dit kader is reeds een nader onderzoek verricht naar de eigenschappen van gloeilampjes, die voor het realiseren van een quadratische weerstand in aanmerking komen (Lit. 8).

Voorts zijn proeven in voorbereiding met verschillende elektro-mechanische instrumenten.

Uiteraard kan van een dergelijk onderzoek niet bij voorbaat een zeker resultaat in uitzicht worden gesteld, doch de verwachtingen zijn gunstig. Er wordt naar gestreefd, in de loop van 1956 met een prototype van een sectie gereed te komen. Zijn de resultaten die daarmee bereikt kunnen worden in overeenstemming met de verwachtingen, dan lijkt het realiseren van een betrouwbaar en zeer algemeen bruikbaar model, zowel ten behoeve van het Deltaonderzoek als van het Noordzeeonderzoek, binnen het bereik van de mogelijkheden te liggen. Het wordt daarom van groot belang geacht dat het nieuwe onderzoek met kracht wordt voortgezet.

Augustus 1955,



(Dr ir J.C.Schönfeld)
Hoofdingenieur bij de
Centrale Studiedienst.

LITERATUUR.

1. Rapport Staatscommissie Zuiderzee.
Den Haag, Alg. Landsdrukkerij, 1926.
2. Veen, J. van, Getijstroomberekening met wetten analoog aan die van Ohm en Kirchhoff.
De Ingenieur, 1937, V. 52, B, p. 73-81 (112-113).
3. Mazure, J.P., Getijden en stormvloed en op benedenrivieren.
Proefschrift Delft, 1937.
4. Veen, J. van, Electriche nabootsing van getijden.
De Ingenieur, 1946, V. 58, B, p. 17-20 (70-73).
5. Veen, J. van, Electriche nabootsing van getijden.
T. Kon. Ned. Aardr. Gen. 1946, V. 63, p. 485-493.
6. Stroband, H.J., De voortplanting van het getij.
Pol. T. 1948, V. 3, B, p. 661-667, 691-698.
7. Schönfeld, J.C., Analogy of hydraulic, mechanical, acoustic and electric systems.
Appl. sci. Res., 1953, V. 3, B, p. 417-450.
8. Verhagen, C.M., Onderzoek aan gloeilampjes.
Rapport T.P.D. 550451, 1955.
9. Verhagen, C.M., Metingen verricht aan een elektrisch model van waterlopen.
Rapport T.P.D. 550452, 1955.