

rijkswaterstaat

inst getijdewateren

09

liotheek

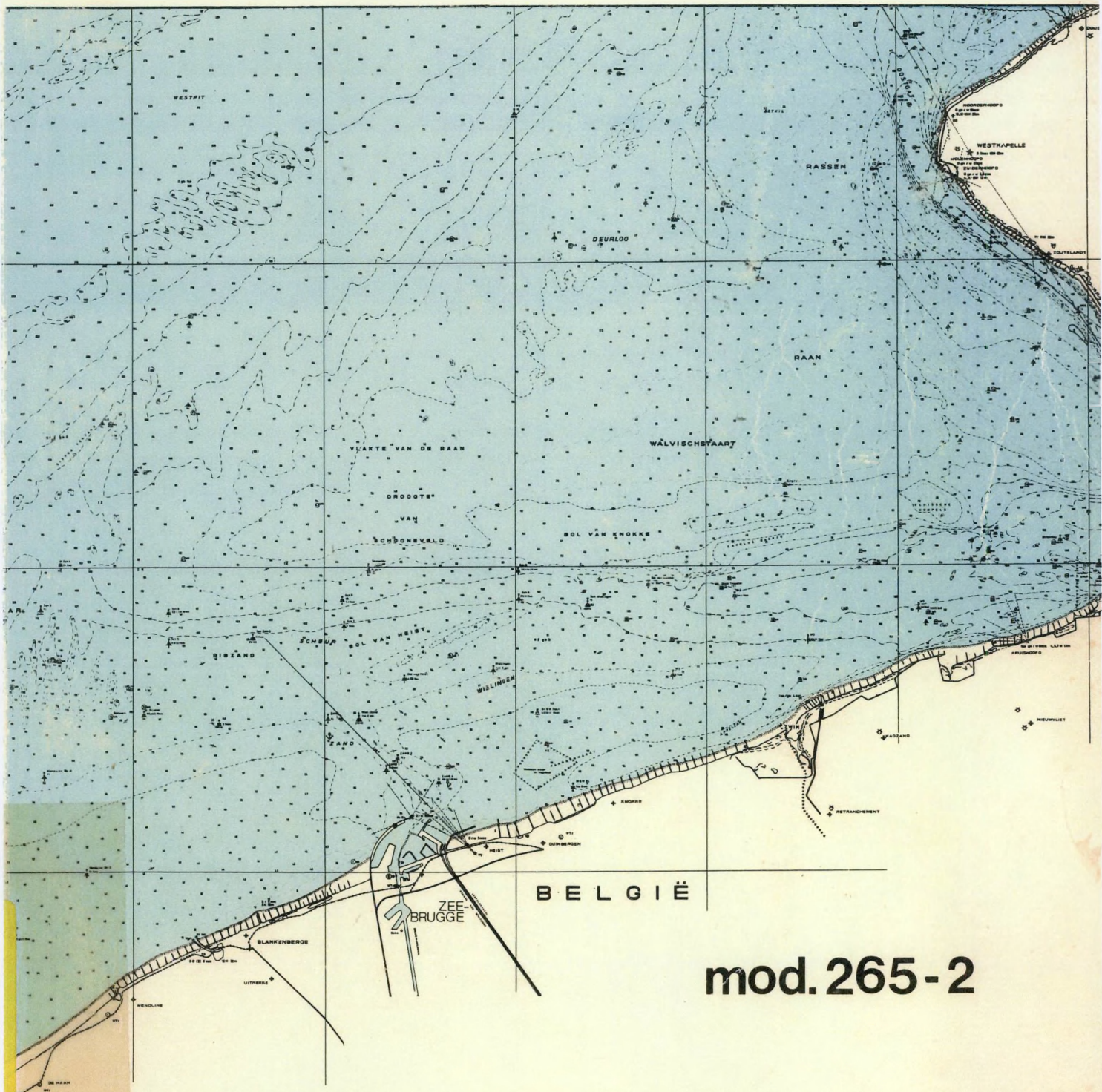
C-9207
910

W KUNDIG
IUM 1974

265/265/1974
627.13

MODEL VAN DE KUST EN HET SCHELDEESTUARIUM

BESCHRIJVING EN IJ KING VAN HET MODEL



rijkswaterstaat

dienst getijdewateren

bibliotheek

grenadiersweg 31 -

4338 PG middelburg

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

borgerhout - antwerpen

69421

MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN
BRUGGEN EN WEGEN
BESTUUR DER WATERWEGEN



rijkswaterstaat
dienst getijdewateren
bibliotheek
grenadiersweg 31 -
4338 PG Middelburg

VLIZ (vzw)
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE
FLANDERS MARINE INSTITUTE
Oostende - Belgium

MODEL VAN DE KUST EN HET
SCHELDEESTUARIUM.

BESCHRIJVING EN IJ KING VAN HET MODEL.

MOD. 265-2.

INHOUDSTAFEL.

1. OPDRACHTOMSCHRIJVING.	1
2. BESCHRIJVING VAN HET MODEL.	2
2.1. Algemeenheden.	2
2.2. De grenzen van het model.	2
2.3. De modelschalen.	3
2.4. De bodemconfiguratie.	3
2.5. De uitrusting van het model.	5
2.6. De sturing van het model.	9
2.6.1. Theoretische beschouwing over de simulatie van overdrachtselementen op digitale rekenmachines.	9
2.6.2. Gebruikte regelsysteem.	11
Theoretische uiteenzetting over de P.I.D. regelaar.	13
2.6.3. Rekenvoorbeeld.	18
2.6.4. Regelprogramma.	20
2.6.5. Toepassing op het model.	24
2.7. De metingen.	26
2.8. Verwerking van de meetdata.	27
3. IJKING VAN HET MODEL.	29
3.1. Natuurgegevens.	29
3.1.1. Horizontaal getij.	29
3.1.2. Vertikaal getij.	31
3.2. Verwerking van de natuurgegevens.	32
3.2.1. Horizontaal getij.	32
3.2.2. Bepaling van het ogenblik van maximum eb en maximum vloed.	33
3.3. Beschouwingen model-prototype.	36
3.3.1. Bepaling van de parameters van het model.	36
3.3.2. Overeenkomst model-prototype.	36
3.3.3. Interpretatie van de ijkingsresultaten.	41
3.4. Besluit.	45

LIJST DER FOTO'S.

1. Algemeen zicht op het model.
2. De huidige voorhaven van Zeebrugge.
3. De computer en de bedieningsorganen.
4. De digitale tekentafel en de systeemconsole.
5. Algemeen zicht op de afwaartse regelbare modelbegrenzing.
6. Hydraulische regelklep.
7. Meting met oppervlaktedrijvers.

LIJST DER BIJLAGEN.

1	Situatieplan van het model.	W.L. 74.467
2	Uitrusting van het model.	74.468
3	Struktuurschema van de besturingsorganen.	74.469
4	Schema van de elektro-hydraulische regelkring van de regelkleppen.	74.470
5	Vloeddiagramma van het regelprogramma.	74.471
6	Toepassing van het P.I.D. regelsysteem : Intredend debiet door een toevoerleiding.	74.472
7	Toepassing van het P.I.D. regelsysteem : Waterstand in het model.	74.473
8	Toepassing van het P.I.D. regelsysteem : Uttredend debiet langs de meetoverlaat.	74.474
9	Voorbeeld van uitwerking van puntsnelheidsmetingen.	74.475
10	Situatieplan met aanduiding der meetpunten.	74.476
11	Stroommetingen natuur ('71, '72, '73). Gemiddelde snelheden. Eb - Gemiddeld springtij.	74.477
12	Stroommetingen natuur ('71, '72, '73). Gemiddelde snelheden. Vloed - Gemiddeld springtij.	74.478
13	IJktoestand model (To). Gemiddelde snelheden (met micromolens). Eb : 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.479
14	IJktoestand model (To). Gemiddelde snelheden (met micromolens). Vloed : 0h40 vbb H.W. Zeebrugge.	74.480
15	IJktoestand model (To). Oppervlaktesnelheden (met drijvers). Eb : 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.481
16	IJktoestand model (To). Oppervlaktesnelheden (met drijvers). Vloed : 0h40 vbb H.W. Zeebrugge.	74.482

1. OPDRACHTOMSCHRIJVING.

In september 1968 werd door de Heer J. DE SAEGER, toenmalig Minister van Openbare Werken, een studiec commissie opgericht, voorgezeten door de Heer ir. J. VERSCHAVE, Secretaris Generaal van Openbare Werken, met als opdracht advies uit te brengen over de mogelijkheden een nieuwe haven te bouwen in volle zee of aan de Belgische Kust om schepen met een grote tonnenmaat te ontvangen. In het besluit van de commissie (9 juni 1969) werd de uitbouw van een polyvalente diepzeehaven te Zeebrugge aanbevolen.

In 1970 nam de Regering de principiële beslissing de haven van Zeebrugge uit te bouwen zoals voorzien in de eerste faze van het voorstel van de Commissie. Het aanbestedingsprogramma ten belope van 16 miljard BF. is geprogrammeerd tussen 1972 à 1979 à rato van 2 miljard BF. per jaar. Dit programma voorziet een uitbouw met gedeeltelijk overstroombare havendammen tot op de zuidrand van de Wielingenpas, het verdiepen en verbreden van de toegangspassen (Pas van het Zand en Scheurpas), strandverdedigingswerken langs de Oostkust, de bouw van een nieuwe zeesluis toegankelijk voor afgeladen schepen met een tonnenmaat van 125.000 DWT., het verleggen en inkokeren van de afleidingskanalen, en het ontsluiten van ca. 1300 ha. industriegrond in de achterhaven door het aanleggen van verschillende dokken.

De verdediging van de stranden van de Oostkust wordt door de uitbouw van de haven van Zeebrugge nog scherper gesteld dan nu. Het natuurlijk zandtransport zal na de uitvoering van de werken te klein zijn om een snelle natuurlijke opvulling van de stranden te verwachten, zodat de stranden kunstmatig zullen moeten gevoed en opgehoogd worden.

Het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout werd opgedragen op een fysisch model proefondervindelijk de weerslag van de uitbouw met overstroombare dammen op hydraulisch en sedimentologisch gebied te onderzoeken, en tevens de nautische aspecten te belichten die bij het ontwerp betrokken zijn.

2. BESCHRIJVING VAN HET MODEL.

2.1. Algemeenheden.

Ten behoeve van hogervermelde studie werd het "Model van de kust en het Scheldeëstuarium" (mod. 265) gebouwd. De ruwbouw van het model werd aangevat op 1.10.1972 en was beëindigd op 1.3.1973. Het afwerken en het op gang brengen van de verschillende stuureenheden duurde tevens 4 maanden, zodat op 1.7.1973 met de ijking werd begonnen die besloten werd op 31.1.1974.

In het model wordt uitsluitend een permanente vloed- en ebstroming weergegeven bij een welbepaalde konstante waterstand bij vloed en bij eb. Die waterstand is deze die zich voordoet op het ogenblik dat de stroming maximaal is in de omgeving van Zeebrugge, dit is omstreeks hoogwater bij vloed en laagwater bij eb.

Vermits de maximale stroomsterkte determinerend is op hydraulisch en sedimentologisch gebied, mag verwacht worden dat de resultaten van de proeven op dit model representatief zijn.

De inplanting van het model in de hall is echter zo gekozen dat de mogelijkheid bestaat, mits aanpassing van de modeluitrusting en toevoeging van het Westerscheldebekken, het als een tijmodel te laten werken.

2.2. De grenzen van het model.

De modelgrenzen zijn weergegeven op bijlage 1.

De westelijke modelgrens is ca. 17 km van Zeebrugge gelegen loodrecht op de kust tussen De Haan en Bredene. Ten oosten wordt de Scheldemonding begrensd ter hoogte van Breskens-Vlissingen op ca. 26 km van Zeebrugge. De oostelijke begrenzing loodrecht op de kust van het Nederlandse eiland Walcheren is ter hoogte van Domburg gelegen. Deze drie modelbegrenzingsen zijn regelbaar door hydraulisch gestuurde kleppen.

De noordelijke modelgrens aan de zeezijde volgt ongeveer de 20 m dieptelijn en ligt ca. 19 km uit de huidige voorhaven van Zeebrugge. Deze vaste modelbegrenzing is ongeveer evenwijdig aan de richting der maximale eb- en vloedstroming, zodat in dit permanentiemodel mag verondersteld worden dat het uitsluiten van waterwisseling langs de noordelijke grens een geringe invloed zal hebben op de zone in de omgeving van Zeebrugge.

Foto's 1 en 2 geven een paar zichten van het model.

2.3. De modelschalen.

De schalen van het model bedragen 1/1000 horizontaal en 1/125 vertikaal zodat het model 8 maal vertrokken is. Door toepassing van de wetten van Froude bedraagt de snelheidsschaal 1/11,18 en de debietschaal 1/1397500.

2.4. De bodemconfiguratie.

De modelbodem is vast en is aan de hand van de meest recente hydrografische gegevens gebouwd. De volgende kaarten werden gebruikt :

a) BELGISCHE KAARTEN :

Geografische Europese coördinaten - Ruitennet Lambert.

Schaal : 1/20.000.

DIENST	PLAATS DER METING	OPNAMEN
Hydrografie Kust	Noordzee Westende - De Haan	1969 mei - sept.
"	Noordzee Wielingen - Scheur	1970 mei - sept.
"	Noordzee Sierra Ventana	1966 mei - oct.
"	Noordzee Akkaert - en Gootebank	1967 juni - sept.

b) NEDERLANDSE KAARTEN :

Nederl. rechth. coördinaten in m t.o.v. Amersfoort.

Schaal : 1/10.000.

DIENST	PLAATS DER METING	OPNAMEN	PLAN NR.
Rijkswaterstaat : Deltadienst	Domburger Rassen Blad 9	juli 70-jan.71	C7/70.90751
Rijkswaterstaat : Zeeland	Westerschelde Vak 6	1970	C5/71.255
"	Mond Westerschelde Vak 11	1970	C7/71.424
"	Mond Westerschelde Vak 12	1970	C7/71.485

Rijkswaterstaat : Zeeland	Mond Westerschelde Vak 13	1969	C7/70.243
"	Mond Westerschelde Vak 14	1971	C7/72.133
"	Mond Westerschelde Vak 15	1971	C7/72.124
"	Mond Westerschelde Vak 16	1971	C7/72.124
"	Mond Westerschelde Vak 17	1970	C7/71.355
"	Mond Westerschelde Vak 18	1970	C7/71.350

De dieptelijnen zijn uitgezet in m ten opzichte van Z (Nulpunt van de Bruggen en Wegen Waterpassing 1840 - 1848).

Het reductievlak H is het peil van lokaal gemiddeld laag - laagwaterspringtij.

Dit peil is te OOSTENDE	$H = Z - 0,28 \text{ m}$
te ZEEBRUGGE	$H = Z - 0,08 \text{ m}$
te VLISSINGEN	$H = Z - 0,05 \text{ m}$

Ter vereenvoudiging is voor het model één enkel , zij het dan fiktief reductievlak aangenomen, dat het rekenkundig gemiddelde is van de drie voorkomende reductievlakken of $H = Z - 0,14 \text{ m}$.

Het verband tussen het Belgische nulpunt Z en het Nederlandse nulpunt N.A.P. wordt bepaald door de betrekking $N.A.P. = Z + 2,421 \text{ m}$. Deze betrekking is tevens om vereenvoudigingsredenen vervangen door $N.A.P. = Z + 2,50 \text{ m}$.

De orde van grootte van deze vereenvoudigingen is kleiner dan de nauwkeurigheid van de uitvoeringsmethode die bij de bouw van het model wordt gebruikt.

2.5. De uitrusting van het model. (bijlage 2)

Het model is gebouwd in een waterdichte kuip met een hoogte van ongeveer 50 cm.

De voeding van het model geschiedt met 3 leidingen (TVB), twee aan de opwaartse begrenzing en één aan het afwaartse uiteinde, die vertrekken van het hoge drukreservoir (HDR), waarvan de kruinhoogte 9.20 m bedraagt. In iedere toevoerleiding bevindt zich een elektromagnetische debietmeter D en een vlinderklep V aangedreven door een elektro-hydraulische motor, die via de computer het totale intredende debiet regelen; de toevoerleiding kan boven de voedingsbakken VB afgesloten worden door een reeks schuifafsluiters S. Bij vloed zijn de aflaatschuiven A3 en A4 gesloten, terwijl A1 en A2 geopend zijn. Het intredende debiet stroomt langs de leiding TVB3 in de kanalen AK3 en AK4. De schuifafsluiters (S6 t/m S9) bewerken reeds een eerste debietsverdeling over de breedte van het model, achter de regelkleppen R8 t/m R15 die op hun beurt voor een nauwkeurige debietsverdeling zullen instaan. Het uittredend debiet wordt verdeeld door de regelkleppen R1 t/m R2 en R3 t/m R7 en stroomt via de kanalen AK1 en AK2 terug naar het ondergrondse kanalenstelsel OKS en de pompengroep P. Het debiet door de Scheldemonding wordt bepaald in de meetbak met overlaat MB. Bij eb gebeurt de cyclus omgekeerd, met dit verschil dat de toevoer nu dubbel is, terwijl de afvoer enkel is.

Het model wordt volledig automatisch gestuurd door een computer met centraal ferriet-geheugen van 32 K woorden, die wordt bijgestaan door een complementair schijfgeheugen en langs een uitgebreide randapparatuur in verbinding staat met de apparatuur die rond en in het model is aangebracht. Dit wordt schematisch voorgesteld op bijlage 3. De foto's 3 en 4 illustreren respectievelijk de computer met de bedieningsapparatuur, en de digitale tekentafel of plotter.

De hardware van het gebruikte systeem wordt beheerst door een zeer soepele software die gekend is onder de naam "Real Time Multiprogramming system".

De hoofdeigenschap van dit systeem is dat de programma's in een

tijdstijl worden gestoken door tussenkomst van de operator, door andere programma's of door een uitwendige onderbreking. Deze operatie geschiedt op basis van de ware tijd van de dag en in orde van toegekende prioriteit, waarbij de niveaus van prioriteit gaan van 1 tot 99 met 99 als laagste en 1 als hoogste prioriteit.

Een tweede eigenschap betreft de input/output operaties.

Een programma dat met "output" bezig is, t.t.z. informatie doorgeeft aan een randapparaat zoals lijndrukker, ponsbanddrukker, tekentafel, ... maakt het geheugendeel dat bestemd is voor "uitvoering van berekeningen" beschikbaar ten voordele van een ander programma, waarbij tevens rekening wordt gehouden met de prioriteiten.

Dit systeem werkt een optimaal gebruik van de centrale rekeneenheid in de hand. De eenheid die de tijdstijl beheert regelt het verkeer in het geheugen van de verschillende programma's op basis van de tijd en de prioriteit.

In concreto kan dus enerzijds aan procescontrole van het model gedaan worden, waarbij om de 5 seconden wordt geregeld en om de sekonde wordt gemeten met behulp van programma's met uitvoeringstijden van de orde van 10^{-6} sekonde en input/output tijden van dezelfde grootte-orde, en anderzijds tegelijkertijd worden gerekend en getekend aan resultaten van uitgevoerde proeven die op het complementair schijfgeheugen zijn gestockeerd.

Onderstaande tabel geeft schematisch de karakteristieken van de vier hoofd-programma's die worden gebezigd :

Naam Programma	Prioriteit	Aard van de bewerking	Tijdsduur orde van grootte	Herhalings- faktor
REGEL	10	signaal inlezen langs ADC korte berekening signaal uitsturen langs DAC	millisekonden	5 sek.
MEET	20	signaal inlezen langs ADC korte berekening stockeren op schijf	millisekonden	1 sek.
TEKEN	30	data inlezen van schijf korte berekening lange tekenoperatie	minuten	/
REKEN	40	data inlezen langs ponsband- lezer lange berekening korte drukoperatie	minuten	/

Naam Programma	Output apparaat	Duur output	Verhouding output /berekening
REGEL	D.A.C.	microsekonden ZEER SNEL	≈ 1
MEET	Schijf	microsekonden ZEER SNEL	≈ 1
TEKEN	Plotter	20 punten/sek. TRAAG	$\gg 1$
REKEN	Lineprinter	10 lijnen/sek. SNEL	$\ll 1$

() A.D.C. Analooq - Digitaal omvormer
D.A.C. Digitaal - Analooq omvormer

Het instellen van de regelkleppen en de aflaatschuiven berust op een elektrohydraulisch principe dat schematisch kan voorgesteld worden zoals op bijlage 4.

Het probleem dat hier gesteld wordt is het volgende :

Een analoog elektrisch signaal met klein vermogen, moet proportioneel en in vermogen versterkt, omgevormd worden in een bepaalde stand van een regelfunctie die in dit geval een hydraulische cilinderzuiger is (foto's 5 en 6).

De vereiste regelkring hiervoor bestaat konstruktief uit volgende eenheden (bijlage 4) : een elektronische regeleenheid, een servovoentiel, een hydraulische zuiger en een koersvolger.

Uit de computer komt de "gewenste waarde" die als spanning de regelkring binnenkomt, over de "vergelijker" gaat en versterkt wordt. Na omvorming van dit elektrisch regelsignaal in een hydraulisch signaal langs het servovoentiel, belandt dit zuiver hydraulisch signaal in de in te stellen functie, namelijk de hydraulische cilinderzuiger, waarin een oliestroom hydromechanisch een bepaalde koersstand instelt. Een koersvolger meet de waarde van de koersstand en vormt die mechanische waarde onmiddellijk om in een elektrische. Deze gemeten waarde wordt op haar beurt naar de vergelijker gestuurd waardoor de regelkring gesloten is.

De olie in het ventiel en de zuiger wordt onder constante druk (70 bar) gehouden door een olie-hydraulische krachteenheid (bijlage 2 : HG).

Het hydraulisch signaal is een drukverschil dat ontstaat tussen de twee kamers van het servovoentiel waardoor de olie in de ene of de andere richting begint te stromen en de zuiger naar boven of naar beneden drukt.

De koers van de zuigers van de regelkleppen is 20 cm, de stapgrootte is 1/10 mm. De zuigers van de aflaatschuiven kunnen maar twee extreme standen innemen; de aflaatschuiven zijn volledig open of volledig gesloten.

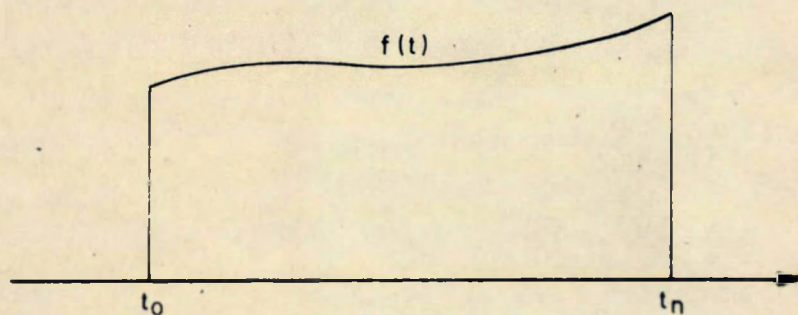
2.6. De sturing van het model.

2.6.1. Theoretische beschouwing over de simulatie van overdrachts- elementen op digitale rekenmachines.

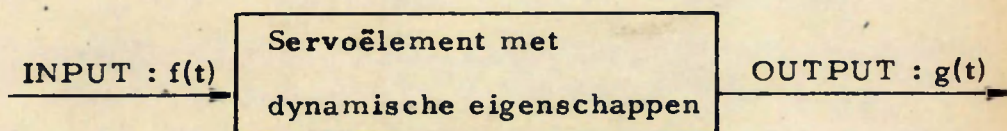
Men kan aantonen dat de dynamische gedragingen van lineaire elementen met constante parameters door de integraaloperator I kunnen bepaald worden, alsook door hun meervoudige toepassing I^k .

De bepaalde integraal van $f(t)$ (= integrand) van t_0 tot t_n wordt gedefiniëerd door volgende betrekking :

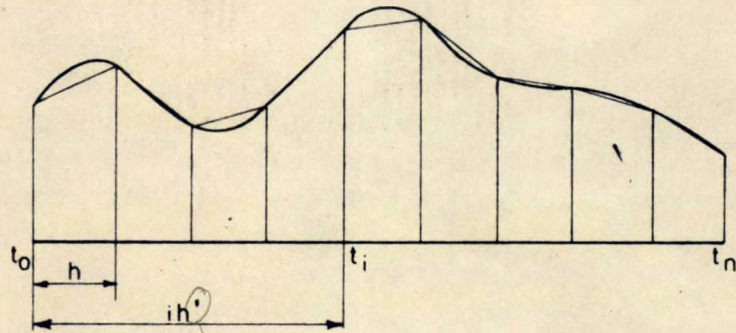
$$g(t) = \int_{t_0}^{t_n} f(t) dt = I. f(t)$$



Schematisch wordt de operatie voorgesteld als volgt :



Men kiest nu een stapgrootte h in het integratie-interval (t_0, t_n) en vervangt de integrand $f(t)$ door een secanten-
veelhoeksomtrek dat het verloop van $f(t)$ benadert.



Voor deze benadering van de integraal kan een recursieformule of differentievergelijking bepaald worden waaruit, bij opgave van $g(0)$, eenduidig de waarden $g(ih)$ kunnen worden bepaald :

$$g(ih) - g[(i-1)h] = \frac{h}{2} [f(ih) + f((i-1)h)]$$

Na invoering van de argumentverschuivingsoperator d

$$d.f(t) = f(t - h)$$

en met $t = ih$ wordt de differentievergelijking :

$$(1 - d).g(t) = \frac{h}{2} . (1 + d).f(t)$$

De oplossing van deze differentievergelijking naar $g(t)$ op de plaatsen $t = ih$ is eenduidig mogelijk indien $g(t)$ en $f(t)$ voor $t < t_0$ identiek verdwijnen. Deze oplossing kan in expliciete vorm als volgt worden doorgevoerd :

$$g(ih) = \frac{h}{2} \frac{(1 + d)}{(1 - d)} . f(ih) \quad (1)$$

De operatoren $\frac{1}{1+d}$ en $\frac{1}{1-d}$ kunnen opgevat worden in de zin van een meetkundige reeks :

$$\begin{aligned} \frac{1}{1+d} &= 1 - d + d^2 - d^3 + d^4 - d^5 + \dots \\ &= \sum_{r=0}^{\infty} (-1)^r d^r \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{1-d} &= 1 + d + d^2 + d^3 + d^4 + d^5 + \dots \\ &= \sum_{r=0}^{\infty} d^r\end{aligned}$$

Hier betekent d^r de r -voudige toepassing van de operator d .
Met deze symboliek heeft de integraaloperator de volgende voorstelling.

$$I = G(d) = \frac{h(1+d)}{2(1-d)} = \frac{h}{2}(1+d)(1+d+d^2+d^3+d^4+\dots) \quad (2)$$

Deze uitdrukking is de diskrete overdrachtsfunctie van het cijferelement $f(ih)$.

Met deze uitdrukking (2) vergt de uitwerking van hogere oplossingsformule (1) enkel operaties die op een digitale rekenmachine onmiddellijk uit te voeren zijn, namelijk de vier fundamentele bewerkingen van de rekenkunde en het gebruik van de argumentverschuiving. De argumentverschuiving is een organisatorische bewerking die men als een adressenverandering kan uitvoeren, van de getallenrij $f(ih)$ die zich in het geheugen van de digitale rekenmachine bevindt.

2.6.2. Gebruikte regelsysteem.

Het model wordt gestuurd door een P.I.D.-regelsysteem (proportioneel, integrerend, differentiërend).

De P.I.D.-vergelijking heeft de volgende basisvoorstelling :

$$Y - Y_0 = -K_p (X - X_0) - K_i \int_0^t (X - X_0) dt - K_d \frac{d(X - X_0)}{dt}$$

Wanneer men rekening houdt met de praktische waarden van de koëfficiënten

$$K_p = \frac{1}{s}$$

$$K_i = r \cdot K_p = \frac{r}{s}$$

$$K_d = q \cdot K_p = \frac{q}{s}$$

wordt de P.I.D.-vergelijking :

$$Y - Y_o = -\frac{1}{s} \left[(X - X_o) + r \int_0^t (X - X_o) dt + q \frac{d(X - X_o)}{dt} \right]$$

$$y(t) = -\frac{1}{s} \left[x(t) + r \int_0^t x(t) dt + q \frac{dx(t)}{dt} \right]$$

De dimensies van de instellingsparameters zijn :

s : % van de meetschaal van de regelaar

r : herhalingen per seconde

q : seconde

Hierna volgt een theoretische uiteenzetting over de P.I.D.-regelaar.

P.I.D. REGELAAR.

1° De proportionele regeling.

Men spreekt van een regulator met proportionele werking wanneer de korrigerende aktie evenredig is met de afwijking van de te regelen grootte.

De betrekking $Y - Y_0 = - K_p (X - X_0)$ geeft de evenredige aktie weer waarin : $Y - Y_0$ = de korrigerende aktie van de regulator,

$X - X_0$ = de afwijking van de te regelen grootte op de meetschaal aangegeven,

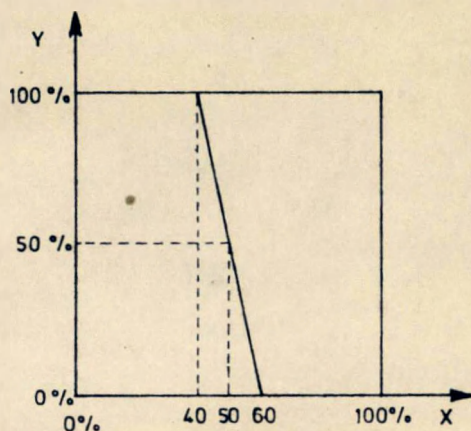
K_p = de proportionaliteitscoëfficiënt.

Het minteken betekent dat de korrigerende aktie de afwijking tegengaat.

Het proportionaliteitsgebied $s = \frac{1}{K_p}$ is het interval op de meetschaal van de grootte die door de regulator te regelen is ; interval dat overeenstemt met de volledige loop van de regulator. s wordt in % van de totale meetschaal uitgedrukt.

Voorbeeld.

Veronderstellen we een regulator die in de helft van zijn bereik is ($Y = 50\%$), wanneer voor de te regelen grootte X op de meetschaal de waarde $X = 50\%$ wordt aangegeven. Zij dit het werkingspunt. Door een proportionaliteitsgebied van 20% verstaat men dat wanneer voor X op de meetschaal 40% wordt aangegeven, de regulator zich volledig gaat openen of $Y = 100\%$; terwijl voor $X = 60\%$ de regulator zich volledig zal sluiten $Y = 0\%$.



Hieruit volgt dat hoe enger het proportionaliteitsgebied is, hoe krachtiger de regeling is.

2° De integrerende regeling.

De proportionele regeling heeft het grote nadeel altijd een blijvende afwijking te veroorzaken. De korrigerende aktie is immers evenredig met de grootte van de afwijking op een bepaald ogenblik maar houdt geen rekening met het gedrag van de afwijking in functie van de tijd.

Dit kan verholpen worden door een regelaktie voort te brengen die zolang duurt als de fout zelf en zo de volledige verdwijning van de fout verzekert. De verplaatsingen van de regulator geschieden met een snelheid die evenredig is met de waarde van de afwijking.

$$\begin{aligned}\frac{dY}{dt} &= -K_i (X - X_o) \\ \int_{Y_o}^Y dY &= -K_i \int_{t_o}^t (X - X_o) dt \\ Y - Y_o &= -K_i \int_{t_o}^t (X - X_o) dt\end{aligned}$$

De faktor K_i is de evenredigheidskonstante van de integrerende werking. Een grote waarde van K_i veroorzaakt een krachtige werking.

De regelaktie is nu rechtstreeks beïnvloedbaar door de grootte van de afwijking en door de duur ervan.

Om de stabiliteit van het systeem niet in gevaar te brengen, moet de integrerende aktie gepaard gaan met een kleine faktor K_i . Daarom koppelt men dikwijls de proportionele met de integrerende werking. De proportionele komponent verzekert een korrektie waarvan de waarde evenredig is met de fout doch laat een blijvende afwijking bestaan die door de integrerende werking tot nul zal herleid worden.

De vergelijking van de regeling is :

$$Y - Y_o = - K_p (X - X_o) - K_i \int_{t_o}^t (X - X_o) dt$$

Doorgaans worden K_i en K_p niet onafhankelijk van elkaar gekozen

$$K_i = r K_p$$

- . r heeft de dimensie T^{-1} en wordt uitgedrukt in herhalingen per seconde. De fysische betekenis van r is het omgekeerde van de tijd vereist door de integrerende aktie om afzonderlijk werkend dezelfde korrektie teweeg te brengen als deze voortkomende van de proportionele aktie, in de veronderstelling dat de fout $X - X_o$ konstant wordt gehouden; dit wordt uitgedrukt door onderstaande betrekking :

$$\int_{t_o}^{t_1} (X - X_o) dt = (X - X_o) (t_1 - t_o)$$

3° De differentiërende regeling.

De combinatie van de proportionele met de integrerende regeling geeft nog geen volledig doelmatige regeling, vooral in het geval er belangrijke vertragingen aan het proces verbonden zijn.

Door toevoeging van een differentiërende aktie aan de regulator wordt het mogelijk een kortstondige en zeer krachtige aktie te bekomen zonder de stabiliteit in gevaar te brengen.

Deze regeling is zodanig dat de korrigerende werking evenredig is met de snelheid waarmee de afwijking varieert. Ze zal enerzijds krachtig zijn wanneer de storing snel variërend is, doch anderzijds zonder uitwerking wanneer de afwijking op een bepaalde waarde gestabiliseerd is.

De vergelijking is :

$$Y - Y_o = - K_d \frac{d(X - X_o)}{dt}$$

waarin K_d de konstante van de differentiërende aktie is.

Bij kombinatie van proportionele en differentiërende aktie heeft men :

$$Y - Y_o = - K_p (X - X_o) - K_d \frac{d(X - X_o)}{dt}$$

In dit geval is ook K_d een functie van K_p

$$K_d = qK_p$$

q heeft de dimensie T en wordt uitgedrukt in sekonden. De fysische betekenis van q is de tijd vereist door de proportionele aktie om afzonderlijk werkend dezelfde korrektie te bewerken, als deze die de differentiërende aktie ogenblikkelijk bewerkt, in de veronderstelling dat de te regelen grootheid met een konstante snelheid blijft veranderen.

4° De P.I.D. regeling.

Deze regeling is een kombinatie van de drie vorige en waarvan de korrigerende aktie bestaat uit de drie hoger uiteengezette komponenten.

1. proportioneel met de afwijking,
2. " " " integraal van de afwijking,
3. " " " snelheid van de verandering van de afwijking.

De proportionele regeling verzekert de gevoeligheid van de hele regelingsaktie, de integrerende regeling neemt de statische afwijking weg, en de differentiërende regeling brengt een zeer krachtige regelaktie voort die van korte duur is.

Het P.I.D. regelsysteem kan op basis van hogere beschouwingen en bijkomende definities uit de operatorenrekening beschreven worden door een diskreet model.

definitie 1 : voor de identiteitsoperator 1 geldt :

$$\underline{1}.f(t) = f(t)$$

definitie 2 : de operatoren I en D zijn invers ten opzichte van elkaar

$$I.D = D.I = 1$$

De diskrete overdrachtsfunctie van het P.I.D.-cijferelement

x(t) is :

$$G(d) = - K_p \left[\frac{1}{s} + \frac{1}{T_I} \frac{h(1+d)}{2(1-d)} + T_D \frac{2(1-d)}{h(1+d)} \right]$$

$$\text{of } G(d) = - K_p \left[\frac{1}{s} + \frac{1}{T_I} \frac{h}{2} (1+d) \sum_{r=0}^{\infty} d^r + T_D \frac{2}{h} (1-d) \sum_{r=0}^{\infty} (-1)^r d^r \right]$$

waarbij :

$$K_p = - \frac{1}{s} \quad \text{proportionele overdrachtsfaktor}$$

$$T_I = \frac{1}{r} \quad \text{integreertijd}$$

$$T_D = q \quad \text{differentieertijd}$$

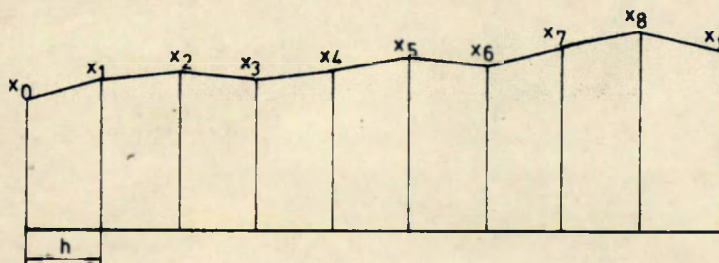
$$h = \Delta t \quad \text{tijdsinterval tussen twee diskrete punten}$$

$$d \quad \text{argumentverschuivingsoperator}$$

$$\underline{1} \quad \text{identiteitsoperator}$$

2.6.3. Rekenvoorbeeld.

In dit voorbeeld worden de integraal- en differentiaal operator uitgewerkt op een rij equidistante punten :



1° Integraaloperator.

$$I = \frac{h(1+d)}{2(1-d)} = \frac{h}{2}(1+d)(1+d+d^2+d^3+d^4+\dots)$$

$$I.x_0 = \frac{h}{2}(1+d)x_0 = \frac{h}{2}x_0$$

$$\begin{aligned} I.x_1 &= \frac{h}{2}(1+d)(x_1+x_0) - \frac{h}{2}x_0 \\ &= \frac{h}{2}(x_1+x_0+x_0) - \frac{h}{2}x_0 \\ &= \frac{h}{2}(x_1+x_0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I.x_2 &= \frac{h}{2}(1+d)(x_2+x_1+x_0) - \frac{h}{2}x_0 \\ &= \frac{h}{2}(x_2+x_1+x_0+x_1+x_0) - \frac{h}{2}x_0 \\ &= \frac{h}{2}(x_2+2x_1+x_0) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I.x_3 &= \frac{h}{2}(1+d)(x_3+x_2+x_1+x_0) - \frac{h}{2}x_0 \\ &= \frac{h}{2}(x_3+x_2+x_1+x_0+x_2+x_1+x_0) - \frac{h}{2}x_0 \\ &= \frac{h}{2}(x_3+2x_2+2x_1+x_0) \end{aligned}$$

⋮

$$I.x_9 = \frac{h}{2}(x_9+2x_8+2x_7+2x_6+2x_5+2x_4+2x_3+2x_2+2x_1+x_0)$$

2° Differentiaaloperator.

=====

$$D = \frac{2(1-d)}{h(1+d)} = \frac{2}{h}(1-d)(1-d+d^2-d^3+d^4-\dots)$$

$$D \cdot x_0 = \frac{2}{h}(1-d)x_0 = \frac{2}{h}x_0$$

$$D \cdot x_1 = \frac{2}{h}(1-d)(x_1 - x_0)$$

$$= \frac{2}{h}(x_1 - x_0 - x_0)$$

$$= \frac{2}{h}(x_1 - 2x_0)$$

$$D \cdot x_2 = \frac{2}{h}(1-d)(x_2 - x_1 + x_0)$$

$$= \frac{2}{h}(x_2 - x_1 + x_0 - x_1 + x_0)$$

$$= \frac{2}{h}(x_2 - 2x_1 + 2x_0)$$

$$D \cdot x_3 = \frac{2}{h}(1-d)(x_3 - x_2 + x_1 - x_0)$$

$$= \frac{2}{h}(x_3 - x_2 + x_1 - x_0 - x_2 + x_1 - x_0)$$

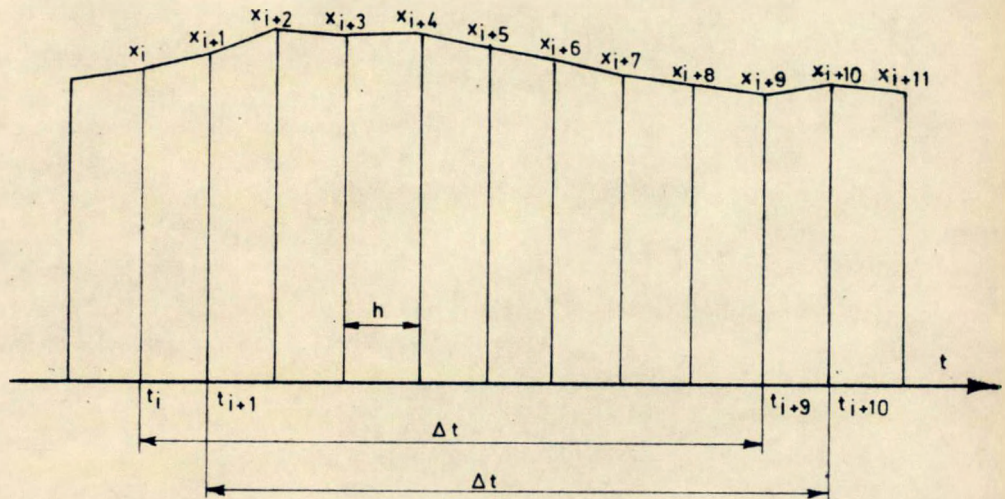
$$= \frac{2}{h}(x_3 - 2x_2 + 2x_1 - 2x_0)$$

•
•
•

$$D \cdot x_9 = \frac{2}{h}(x_9 - 2x_8 + 2x_7 + 2x_6 + 2x_5 + 2x_4 + 2x_3 + 2x_2 + 2x_1 - 2x_0)$$

2.6.4. Regelprogramma.

Het P.I.D. regelsysteem wordt uitgewerkt op een getallenrij bestaande uit 10 equidistante punten, die aldus begrepen zijn in een tijdsinterval $\Delta t = 9h$

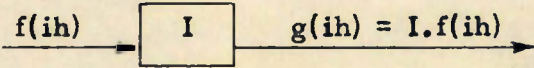
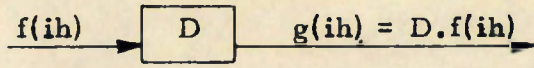


- De output (correctie) die wordt uitgestuurd op het ogenblik $t_i + 9 + \epsilon$ bekomt men door de P.I.D. overdrachtsfunctie uit te werken op de cijferelementen x_i t/m x_{i+9} .
- De output op het ogenblik $t_i + 10 + \epsilon$ bekomt men na uitwerking van de overdrachtsfunctie op de cijferelementen x_{i+1} t/m x_{i+10} enz...

De geheugenplaatsen die worden voorbehouden voor dit programma zijn bestemd voor :

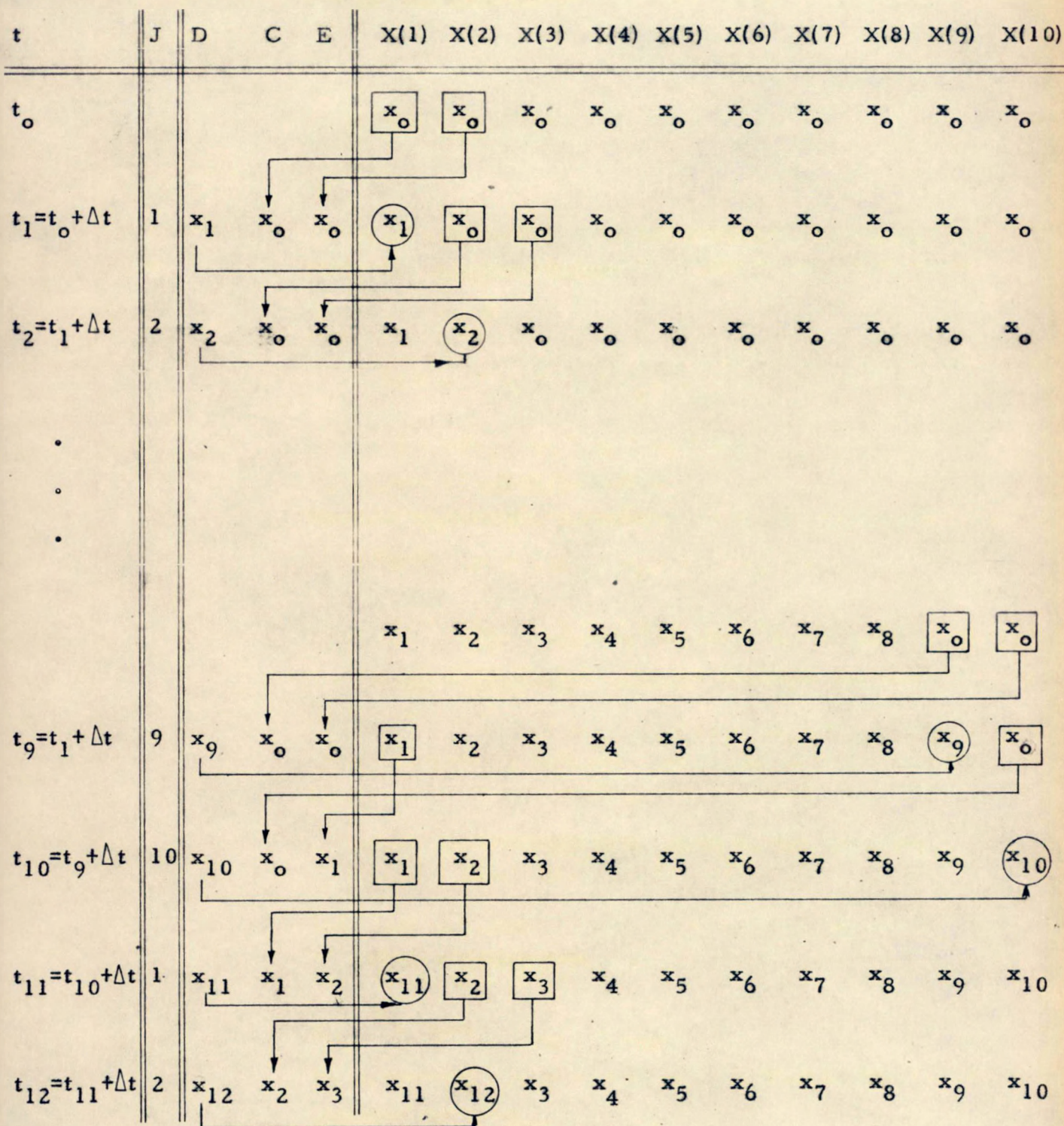
- stockeren van de getallenrij $f(ih)$
- doorschuiven van bepaalde cijferelementen $f(ih)$
- stockeren van resultaten $g(ih)$ na bewerking met de operatoren.

Hieronder volgt in tabel de naam en de inhoud van de geheugenplaatsen die ge-
bezigd worden.

NAAM GEHEUGEN- PLAATS	INHOUD
GWV	Gewenste waarde die door de regeling benaderd wordt.
GMW	Gemeten waarde
D	$D = GMW - GWV$ dit is het cijferelement x_i op het ogenblik t_i
$\left. \begin{array}{l} X(1) \\ X(2) \\ ' \\ ' \\ ' \\ X(10) \end{array} \right\}$	De laatste 10 cijferelementen. Op deze reeks cijferelementen wordt de overdrachtsfunctie uitgewerkt.
J	Parameter (teller) waarbij telkens 1 wordt opgeteld tot de waarde 10 wordt bereikt. Hierna krijgt de parameter terug de waarde 1, enz...
C	Bepaald cijferelement dat moet doorgeschoven worden.
E	Idem.
Z1	Resultaat van onderstaande rekenkundige operatie $- [X(1) + X(3) + X(5) + X(7) + X(9)]$
Z2	Resultaat van onderstaande rekenkundige operatie $[X(2) + X(4) + X(6) + X(8) + X(10)]$
OINT	
ODIF	
H	Grootte van het tijdsinterval tussen 2 punten (Δt).

Op bijlage 5 wordt de "flowchart" of "vloeiagram" van het regelprogramma weergegeven.

Evolutie van de getallenrij in het geheugen.



Uitwerking operatoren.

1° Integraaloperator.

=====

$$f(t) \xrightarrow{I} I.f(t)$$

De uitwerking van deze diskrete overdrachtsfunctie voor $t = t_{11}$ verloopt als volgt :

voor $t = t_{10}$ is

$$Z1 = x_2 + x_4 + x_6 + x_8 + x_{10}$$

$$Z2 = - (x_1 + x_3 + x_5 + x_7 + x_9)$$

voor $t = t_{11}$ is $J = 1$ zodat

$$Z1 = - Z1 = - (x_2 + x_4 + x_6 + x_8 + x_{10})$$

$$Z2 = - Z2 + D - C = \cancel{x_1} + x_3 + x_5 + x_7 + x_9 + x_{11} - \cancel{x_1}$$

$$I.f(t) = OINT = (2 \cdot Z2 - 2 \cdot Z1 - D - E) \cdot H/2$$

$$= (2x_3 + 2x_5 + 2x_7 + 2x_9 + 2x_{11} + 2x_2 + 2x_4 + 2x_6 + 2x_8$$

$$+ 2x_{10} - x_{11} - x_2) \cdot \frac{h}{2}$$

$$= (x_2 + 2x_3 + 2x_4 + 2x_5 + \dots + 2x_{10} + x_{11}) \cdot \frac{h}{2}$$

2° Differentiaaloperator.

=====

$$f(t) \xrightarrow{D} D.f(t)$$

De uitwerking van deze diskrete overdrachtsfunctie voor $t = t_{11}$ verloopt als volgt :

voor $t = t_{11}$ is $J = 1$ en hebben $Z1$ en $Z2$ dezelfde waarden als onder 1°.

Nu is :

$$D.f(t) = ODIF = (2 \cdot Z2 + 2 \cdot Z1 - D) \cdot 2/H$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2}{H} (2x_3 + 2x_5 + 2x_7 + 2x_9 + 2x_{11} - 2x_2 - 2x_4 - 2x_6 - 2x_8 - 2x_{10} - x_{11}) \\ &= \frac{2}{H} (x_{11} - 2x_{10} + 2x_9 - 2x_8 + 2x_7 - 2x_6 + 2x_5 - 2x_4 + 2x_3 - 2x_2) \end{aligned}$$

2.6.5. Toepassing op het model.

Het hoger uiteengezet P.I.D. regelsysteem wordt op het model gebruikt voor de juiste instelling van debieten en waterstanden. Uit de aard van het permanent stromingsregime bestaat de regeling erin, de waterstanden en debieten constant te houden.

Er worden drie toepassingen onderscheiden die mathematisch analoog zijn; het zijn enkel de instellings-parameters K_p , K_i en K_d , het input-toestel en het output-toestel die verschillen naargelang de toepassing.

De regelkring sluit zich als volgt :

Een analoog elektrisch signaal afkomstig van een input-toestel wordt door de analoog-digitaal omvormer vertaald in een digitale waarde. Deze wordt aanzien als zijnde de "gemeten waarde" die in de rekeneenheid met de "gewenste waarde" wordt vergeleken. Op het verschil tussen deze 2 waarden wordt de overdrachtsfunctie toegepast waaruit een correctie volgt. Deze digitale correctiewaarde wordt door de digitaal-analoog omvormer omgewerkt tot analoge elektrische spanning die naar het output toestel wordt gestuurd.

eerste toepassing : de regeling van een debiet door een toevoerleiding (bijlagen 2 en 6)

- INPUT : debietmeter (D1, D2, D3)
- OUTPUT : vlinderklep (V1, V2, V3)

tweede toepassing : de regeling van de waterstand in het
model (bijlagen 2 en 7)

- INPUT : waterstandvolger in de nabijheid van een hydraulische regelklep (WV3 bij eb, WV2 bij vloed) (*)
- OUTPUT : hydraulische regelklep (R9 bij eb, R3 bij vloed)

derde toepassing : de regeling van het uittredend debiet dat
bij vloed langs de Schelde moet worden
afgevoerd (bijlagen 2 en 8)

- INPUT : waterstandvolger boven een vat dat communiceert met een meetbak met een geijkte overlaat (WV1)
- OUTPUT : hydraulische regelklep (R1)

(*) De constante waterstand heeft te Zeebrugge zowel bij eb als bij vloed een welbepaalde waarde die door waterstandvolger WV4 geregistreerd wordt. Door de traagheid en grote eigenperiode van de watermassa in het model kan deze meetwaarde (WV4) moeilijk als input voor deze toepassing gebruikt worden. Daarom worden de waterstandvolgers WV2 en WV3 gebruikt die een empirisch verband hebben met de waterstandvolger WV4.

2.7. De metingen.

Het opnemen van de waterstanden geschiedt met behulp van waterstandvolgers, die met peilnaalden worden geijkt en gecontroleerd.

Puntsnelheidsmetingen worden met behulp van snelheid-richting micro-molentjes uitgevoerd, die aldus de snelheidsvector volledig bepalen.

De waterstanden en de 2 componenten van de snelheden worden door de computer via de A/D omvormer elke sekonde ingemeten en op schijf gestockeerd; de resultaten van de metingen kunnen voor de verwerking teruggevonden worden op de schijf, doordat zij gestockeerd staan samen met de ware tijd van de dag waarop de meting werd uitgevoerd. De bestaande uitrusting maakt het mogelijk 40 signalen tegelijkertijd in te lezen. Ter controle worden deze signalen tevens op schrijvers geregistreerd.

Stroombanen worden vastgelegd door reflecterende oppervlaktevlotters te fotograferen. De relais die de camera openen en sluiten, en de lampen aan- en uitdoen worden door de computer gestuurd. De sluiters van de camera blijft 5 sec. open, terwijl de lampen 1 sec. branden, 1 sec. gedoofd zijn en weer 3 sec. branden, teneinde de richting van de snelheidsvector aan te geven (foto 7).

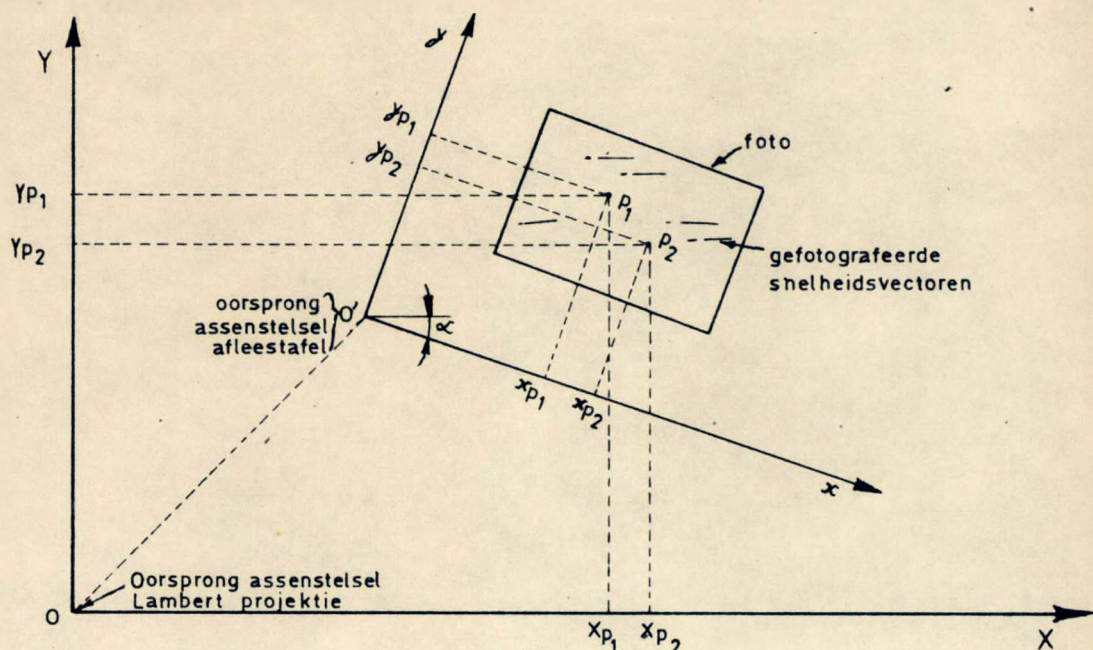
2.8. Verwerking van de meetdata.

1° Puntsnelheidsmetingen, waterstanden en debieten.

Aangezien het model in permanent regime stroomt, is het voldoende het gemiddelde te bepalen van elke ingemeten component (snelheids grootte, snelheidsrichting, debiet, waterstand). Hiervoor wordt het tijdsinterval opgegeven waarbinnen een proef geldig is. Van elke component worden dan de meetgegevens die gelegen zijn binnen dit tijdsinterval van de schijf gelezen, opgeteld en gedeeld door hun aantal om aldus het gemiddelde te bepalen. De gemiddelde snelheids grootte en snelheidsrichting bepalen een gemiddelde modelsnelheidsvector. Op het schijfgeheugen zijn de coördinaten van het overeenkomstige meetpunt en de natuursnelheidsvector gestockeerd. Door gebruik te maken van een tekenprogramma en de digitale tekentafel worden van ieder meetpunt modelvector en natuurvector grafisch uitgezet, hetgeen snelle visuele interpretatie van de proef mogelijk maakt. (bijlage 9)

2° Stroombanen, oppervlakesnelheden.

De foto's worden met een coördinaten-afleestafel uitgewerkt. Dit is een tafel waarmee de coördinaten van punten bepaald worden in het x-y assenstelsel van de tafel met een nauwkeurigheid van 1/100 mm en worden vastgelegd op een ponsband die door de computer kan ingelezen worden.



Het $x-y$ assenstelsel van de tafel vormt als het ware een relatief assenstelsel in het absoluut $X-Y$ coördinatenstelsel dat het stelsel van de Lambert-projectie is. De transformatie van $x-y$ naar $X-Y$ wordt mogelijk gemaakt door twee punten P_1 en P_2 die op iedere foto staan afgebeeld, in Lambert coördinaten ($X-Y$) gekend zijn en in afleestafel-coördinaten ($x-y$) ingelezen worden. De punten P_1 en P_2 maken het mogelijk de transformatie $x-y \rightarrow X-Y$ door te voeren voor de coördinaten van de snelheidsvectoren die zijn ingelezen met de afleestafel. De punten P_1 en P_2 en de afstand tussen die twee punten bepalen immers de Lambert-coördinaten ($X-Y$) van het willekeurig nulpunt O' van de afleestafel, en tevens de hoekverdraaiing en de schaalfactor tussen de twee assenstelsels, hetgeen de transformatie definieert.

Begin- en eindpunt van de snelheidsvector worden bij het inlezen op de foto onderscheiden door de onderbreking in de belichting (zie 2.7.). De coördinaten van het beginpunt bepalen het aangrijpingspunt van de vector in het vlak ($X-Y$) van het model, terwijl de coördinaten van het eindpunt de grootte en de richting bepalen van de vector. Wat de grootte betreft dient men wel rekening te houden met de snelheidsschaal; de ingelezen vector heeft immers de dimensie van een afstand die beantwoordt aan een belichtingstijd van 5 seconden, en die vastgelegd in het Lambert-stelsel ($X-Y$) moet omgerekend worden naar een grootte met de dimensie van een snelheid.

3. IJ KING VAN HET MODEL.

3.1. Natuurgegevens.

3.1.1. Horizontaal getij.

Men beschikte voor de ijking van het model over Belgische en Nederlandse gegevens die naargelang de bron op verschillende wijzen en tijdstippen werden ingemeten.

a) Stroommetingen (snelheid en richting) in één punt van de vertikale tijdens springtij.

- Periode 1967 - 1971.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van 25 mei 1972 -
Dienst der Kust - Oostende.

- Periode 1960 - 1969.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van 27 juni 1972 -
Dienst der Kust - Oostende.

- Periode 1972.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van 25 april 1973 -
Dienst der Kust - Oostende.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van 14 juni 1973 -
Dienst der Kust - Oostende.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van 24 augustus 1973 -
Dienst der Kust - Oostende.

- Periode 1973.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van 29 november 1973 -
Dienst der Kust - Oostende.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van 17 december 1973 -
Dienst der Kust - Oostende.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van 9 januari 1974 -
Dienst der Kust - Oostende.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van februari 1974 -
Dienst der Kust - Oostende.

Brief ref. 80.198/120-ZBR van 8 april 1974 -

Dienst der Kust - Oostende.

Brief ref. 80.198/120 ZBR van 20 juni 1974 -

Dienst der Kust - Oostende.

Op bijlage 10 zijn deze meetpunten weergegeven met begincode B66 t/m B73. De metingen daterend vbbv 1966 werden echter niet bij de ijking betrokken.

Deze snelheidsmetingen werden uitgevoerd rond springtij, meer bepaald gedurende de eerste zeven getijden na het ogenblik van nieuwe maan of volle maan.

Er werd in situ gemeten op 3 m boven de bodem. Over de meetperiode werd voor zeven getijden rond springtij voor elk uur vbbv en na H.W. Zeebrugge het gemiddelde gemaakt van de stroomsnelheid en -richting in situ. Ook is de maximum snelheid in situ aangegeven bij eb en vloed.

Het referentiemeetpunt van al de Belgische metingen uitgevoerd in 1972 en 1973 was een punt gelegen nabij de boei Scheur 2 (bijlage 10 : punt B 72.00).

- b) Snelheidsmetingen (debietmeting) Bol van Heist - Wielingen op 28 en 29 mei 1969.

(brief ref. 1281 van 16 mei 1973 - Studiedienst Vlissingen code 69 G 6).

Het betreft hier meetpunten die op bijlage 10 terug te vinden zijn onder de naam die begint met code N 69.

In deze punten werden snelheden gemeten gedurende twee opeenvolgende dagen, telkens over een volledige getij-cyclus. Per meetpunt en voor elk van deze twee dagen afzonderlijk werden drie stroomsnelheden in de vertikaal in functie van de tijd grafisch uitgezet, namelijk de gemiddelde snelheid, de snelheid op 0,5 m boven de bodem en de maximum snelheid. Tevens werd voor de gemiddelde stroomsnelheid en -richting voor elk van de twee dagen een stroomroos uitgezet, met gemiddelden over een tijdsinterval van één uur.

c) Stroommetingen tijdens springtij 1970 - 1971.

(Studiedienst Vlissingen code 00.54 S.70/71).

Het betreft de meetpunten waarvan de naam begint met code N70. en N71. (bijlage 10).

Deze gegevens zijn snelheidsmetingen over tijdvakken waarin een volledige springtijcyclus begrepen is. Over die tijdvakken werd voor elk uur vbb en na H.W. Vlissingen het gemiddelde gemaakt van de stroomsnelheid en -richting gemeten op ca. 0,4 d, waarbij d de bodemdiepte is ten opzichte van N.A.P.

3.1.2. Vertikaal getij.

Het prototype getij dat bij de ijking gebruikt wordt is het gemiddeld springtij, dat waargenomen is te Zeebrugge gedurende het jaar 1972. (Hydrografische Dienst der Kust - Getijtafels voor Oostende 1972.)

De ogenblikken en waterstanden van Hoogwater en Laagwater zijn weergegeven in onderstaande tabel, waarbij H het vlak is van gemiddeld laag laagwater springtij te Zeebrugge (G.L.L.W.S.).

	L.W.	H.W.	L.W.
waterhoogte t.o.v. H	0,40 m	4,82 m	0,38 m
uur t.o.v. H.W.	-5h43	0h00	+6h34

De waargenomen tijverschillen zijn bij vloed en eb respectievelijk 4,42 m en 4,44 m.

3.2. Verwerking van de natuurgegevens.

3.2.1. Horizontaal getij.

De snelheden in het model kunnen hetzij met micromolens, hetzij met oppervlaktedrijvers gemeten worden.

Door de geringe diepte in het model van het beschouwde gebied was het aangewezen de gemiddelde snelheid t.t.z. de snelheid op $0,4 \times$ totale waterdiepte t.o.v. de bodem, te meten met de micromolens. Meestal boden de natuurgegevens ons die snelheidsvector niet. Naargelang de bron moesten de gegevens dus op verschillende manieren behandeld worden. Gewoonlijk moest geëxtrapoleerd worden volgens een bepaalde hypothetische wet die nog niet juist gedefiniëerd is.

Door ir. Joh. VAN VEEN werd in 1936 een studie gepubliceerd over zijn onderzoekingen in de Hoofden die hij in 1934-35 uitvoerde. ("Onderzoekingen in de Hoofden in verband met de gesteldheid der Nederlandse Kust door ir. Joh. VAN VEEN - 's-Gravenhage - Algemene Landsdrukkerij 1936").

Volgens deze studie wijzen de stroomvertikalen steeds uit dat de snelheden van boven naar beneden gemiddeld volgens een parabool van de 5e orde afnemen en de snelheidsgradiënt nabij de bodem zeer sterk is. De metingen waarop deze vaststelling berust, werden meestal uitgevoerd op grote diepten.

Met een beperkt aantal meetgegevens werd voor het gebied langs de Belgische Kust berekend dat de snelheidsverdeling beter door een parabool van de 4e orde benaderd wordt.

("Mod. 265-1 - Stroommetingen over de vertikaal voor de Belgische Kust - Waterbouwkundig Laboratorium - Borgerhout 1973"). Dit verschil dat gevonden wordt in de orde van de parabool zou te wijten zijn aan het feit dat op kleinere diepte werd gemeten, namelijk tussen 10 en 20 m. Deze hypothese kan voorlopig niet bevestigd worden gezien het geringe aantal gegevens.

Omdat men over geen van beide vaststellingen zekerheid heeft, is voor de verwerking van de snelheden die in het prototype werden ingemeten, als volgt te werk gegaan.

Met de gemeten snelheid als bekende waarde, wordt eerst naar de gewenste diepte ($0,4 \times$ totale waterdiepte of oppervlakte) geëxtrapoleerd volgens een parabolisch verloop van de 4e orde en vervolgens volgens een parabolisch verloop van de 5e orde. Van deze twee snelheidswaarden wordt het rekenkundig gemiddelde gemaakt, dat als snelheidsvector voor het bepaalde meetpunt beschouwd wordt. Deze werkwijze werd toegepast voor alle meetgegevens die zijn ondergebracht onder 3.1.1. a en c.

De meetgegevens onder 3.1.1. b vermelden wel de gemiddelde snelheid, deze snelheid is echter voor elk van de twee meetdagen met een getijfactor vermenigvuldigd om overeenkomst met het gemiddeld springtij te verkrijgen.

Van deze twee waarden is het rekenkundig gemiddelde gemaakt. De gebruikte getijfactor is de verhouding van het tijverschil van het gemiddeld springtij tot het tijverschil van de beschouwde dag. De oppervlaktesnelheid is dan berekend door deze gemiddelde snelheid te vermenigvuldigen met de factor 1,2.

3.2.2. Bepaling van het ogenblik van maximum eb en maximum vloed.

Zoals hoger vermeld wordt in het model uitsluitend een permanente vloed- en ebstroming weergegeven bij een welbepaalde konstant gehouden waterstand bij vloed en bij eb. Die waterstand is diegene die zich voordoet op het ogenblik dat de stroming het sterkst is in de omgeving van Zeebrugge.

Dit ogenblik is als volgt bepaald.

Men beschouwt alle Belgische prototype snelheidsmetingen uitgevoerd tussen '61 - '72 die in zone 2 (bijlage 10) gelegen zijn. Dit omvat alle meetpunten ten Oosten van Blankenberge, ten Westen van Het Zoute, en ten Zuiden van de Noordelijke grens van het Scheur. Deze bron vermeldt voor ieder meetpunt de maximaal optredende snelheid bij eb en bij vloed en het overeenkomstige uur ten opzichte van het hoogwater van

Zeebrugge. Het ogenblik waarop in die zone gemiddeld de maximale snelheid zal optreden is het rekenkundig gemiddelde van de ogenblikken waarop voor ieder meetpunt afzonderlijk, de snelheid maximaal is.

Dit ogenblik is bij VLOED : 0h40 vbb H.W. Zeebrugge

EB : 5h30 na H.W. Zeebrugge.

De waterstand die hiermee te Zeebrugge overeenkomt is volgens de Getijtafels voor Oostende van het jaar 1972,

bij VLOED : 4m50 boven H

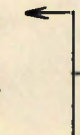
EB : 0m80 boven H

Deze berekende tijdstippen van maximale stroomsnelheid zijn in overeenstemming met de resultaten van de Belgische prototypen - snelheidsmetingen uitgevoerd in 1973.

Uitgaande van bovenvermelde tijdstippen en waterstanden is dan voor alle meetpunten de overeenkomstige snelheidsvector bepaald door interpolatie hetzij tussen twee metingen om het uur (vbb en na het gemiddeld tijdstip) hetzij tussen een meting op het uur en de meting van het maximum. Onderstaand voorbeeld illustreert de werkwijze :

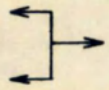
1° EB

a) +5h00 : V_{+5}  Interpolatie $V_{+5.30}$
+6h00 : V_{+6}
+4h50 : $V_{\max}$

b) +5h00 : V_{+5}  Interpolatie $V_{+5.30}$
+6h00 : V_{+6}
+5h35 : $V_{\max}$

c) +5h00 : V_{+5}
+6h00 : V_{+6}
+5h30 : $V_{\max}$ → Geen interpolatie $V_{+5.30} = V_{\max}$.

2° VLOED

a) -1h00 : V_{-1}
 0h00 : V_0  Interpolatie $V_{-0.40}$

 -1h30 : $V_{\max}$

b) -1h00 : V_{-1}
 0h00 : V_0
 -0h50 : $V_{\max}$  Interpolatie $V_{-0.40}$

c) -1h00 : V_{-1}

 0h00 : V_0

 -0h40 : $V_{\max}$ $\rightarrow$ Geen interpolatie $V_{-0.40} = V_{\max}$.

Op bijlagen 11 en 12 wordt respectievelijk voor eb en vloed een deel van de stroomroos weergegeven. De snelheidsvectoren opgenomen voor eb zijn V_{+5} , $V_{+5.30}$ en V_{+6} en voor vloed V_{-1} , $V_{-0.40}$ en V_0 .

Algemeen kan worden opgemerkt dat in de zone in de omgeving van Zeebrugge (Scheur, Wielingen en de Kust) de stroomrozen een plat elliptisch verloop vertonen waarvan de grote symmetrie-as evenwijdig is met de Kust. De richtingen van de maximale stromingen zijn bijgevolg dominerende richtingen die gedurende een lange periode van het getij worden aangehouden.

3.3. Beschouwingen model - prototype.

3.3.1. Bepaling van de onbekende parameters van het model.

De gelijkvormigheid tussen prototype en model inzake snelheden is bekomen door het bepalen van de in- en uittredende debieten, de debietsverdeling over iedere regelbare modelbegrenzing en het aanbrengen van de gepaste ruwheid.

Voor de in- en uittredende debieten langs de regelbare begrenzing zijn de volgende waarden aangenomen :

EB (bijlage 13)

raai Domburg $Q_{i1} = 20 \text{ l/s}$ of $27.950 \text{ m}^3/\text{s}$ prototype

raai Breskens-Vlissingen $Q_{i2} = 60 \text{ l/s}$ of $83.850 \text{ m}^3/\text{s}$ prototype

raai Bredene $Q_u = 80 \text{ l/s}$ of $111.800 \text{ m}^3/\text{s}$ prototype

VLOED (bijlage 14)

raai Bredene $Q_i = 180 \text{ l/s}$ of $251.550 \text{ m}^3/\text{s}$ prototype

raai Domburg $Q_{u1} = 60 \text{ l/s}$ of $83.850 \text{ m}^3/\text{s}$ prototype

raai Breskens-Vlissingen $Q_{u2} = 120 \text{ l/s}$ of $167.700 \text{ m}^3/\text{s}$ prototype.

De debietsverdeling over iedere begrenzing wordt bewerkt door de verticale regelkleppen op een bepaalde hoogte in te stellen.

De ruwheid die op de glad afgestreken cementbodem is aangebracht is samengesteld uit kift, steenslag of vertikaal geplaatste ceramiektégels 10×10 naargelang de diepten.

3.3.2. Overeenkomst model - prototype.

De resultaten van de snelheidsmetingen met micromolens uitgevoerd over gans het model zijn voor eb en vloed respectievelijk op bijlagen 13 en 14 samengebracht, en vergeleken met de prototype snelheidsmetingen.

De resultaten van de metingen met oppervlakedrijvers uitgevoerd tussen De Haan en Kadzand tot 10 km in zee zijn voor eb en vloed op bijlagen 15 en 16 weergegeven. De gekleurde snelheidsvectoren zijn de prototype-oppervlaktesnelheden. Deze resultaten zijn per zone geïnterpreteerd, volgens de zone-indeling weergegeven op bijlage 10.

Enkel de zones 1, 2 en 3 in de omgeving van Zeebrugge zijn in de beschouwing opgenomen omwille van het feit dat de snelheden in de andere zones door bepaalde randeffekten zouden kunnen verstoord zijn. In elke zone afzonderlijk is een onderscheid gemaakt tussen de waarnemingspunten gelegen tussen de 0 m en -7,5 m dieptelijn, tussen de -7,5 m en -12,0 m dieptelijn, en de punten dieper dan -12,0 m gelegen. In zone 2 zijn de Belgische en Nederlandse waarnemingen afzonderlijk behandeld.

In de tabellen 1 en 2 wordt de overeenkomst model - prototype weergegeven respektievelijk voor de gemiddelde snelheden en -richtingen en de oppervlaktesnelheden en -richtingen.

De oppervlaktesnelheidsvector (model) is in ieder waarnemingspunt bepaald door het rekenkundig gemiddelde te maken van een reeks oppervlaktesnelheidsvectoren waarvan het beginpunt in de nabijheid van het waarnemingspunt gelegen is.

Er dient hier verder opgemerkt dat de richtingen, in het prototype, voor de gemiddelde snelheid en de oppervlaktesnelheid gelijk verondersteld worden.

o/o van wat? natuur?

TABEL 1. - GEMIDDELDE SNELHEDEN.
(model - natuur)

	SNELHEDEN ($V_{\text{model}} - V_{\text{natuur}}$)		RICHTINGEN ($R_{\text{model}} - R_{\text{natuur}}$)	
	EB	VLOED	EB	VLOED
<u>ZONE 1.</u>				
alle punten	<u>+4%</u>	<u>+5%</u>	<u>-18°</u>	<u>-5°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	+3%	+3%	-19°	-5°
ptn ts -7,5m en -12,0m	+4%	+9%	-15°	-6°
<u>ZONE 2.</u>				
alle Belg. punten	<u>-16%</u>	<u>- 9%</u>	<u>-3°</u>	<u>-11°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	-22%	- 8%	-3°	- 9°
ptn ts -7,5m en -12,0m	-11%	-10%	-3°	-13°
alle Ndl. punten	<u>-10%</u>	<u>+15%</u>	<u>- 7°</u>	<u>-16°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	-14%	+12%	-10°	-16°
ptn ts -7,5m en -12,0m	- 3%	+20%	- 2°	-15°
<u>ZONE 3.</u>				
alle punten	<u>-14%</u>	<u>-10%</u>	<u>+ 2°</u>	<u>0°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	-31%	-26%	- 4°	+4°
ptn ts -7,5m en -12,0m	-20%	-10%	+11°	0°
ptn dieper dan -12,0m	+14%	+ 7%	- 5°	-6°

TABEL 2. - OPPERVLAKTESNELHEDEN.
(model - natuur)

	SNELHEDEN ($V_{\text{model}} - V_{\text{natuur}}$)		RICHTINGEN ($R_{\text{model}} - R_{\text{natuur}}$)	
	EB	VLOED	EB	VLOED
<u>ZONE 1.</u>				
alle punten	<u>+ 9%</u>	<u>+12%</u>	<u>-18°</u>	<u>- 5°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	+10%	+12%	-16°	- 2°
ptn ts -7,5m en -12,5m	+ 7%		-20°	- 9°
<u>ZONE 2.</u>				
alle Belg. punten	<u>-13%</u>	<u>- 1%</u>	<u>- 3°</u>	<u>- 5°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	-20%	- 1%	- 2°	- 4°
ptn ts -7,5m en -12,0m	- 7%	0%	- 5°	- 7°
alle Ndl. punten	<u>- 6%</u>	<u>+25%</u>	<u>- 9°</u>	<u>-13°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	-11%	+19%	-12°	-13°
ptn ts -7,5m en -12,0m	+ 4%	+36%	- 4°	-12°
<u>ZONE 3.</u>				
alle punten	<u>- 5%</u>	<u>- 5%</u>	<u>+ 1°</u>	<u>+ 4°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	-22%	-22%	- 6°	+ 5°
ptn ts -7,5m en -12,0m	-14%	- 5%	+ 9°	+ 5°
ptn dieper dan -12,0m	+24%	+11%	- 5°	+ 1°

In tabel 3 wordt de overeenkomst model - prototype betreffende de gemiddelde snelheden vergeleken met de overeenkomst model - prototype betreffende de oppervlaktesnelheden.

De werkwijze wordt geïllustreerd in onderstaand cijfervoorbeeld :

zij OSM oppervlaktesnelheid model
 OSP " " prototype
 GSM gemiddelde snelheid model
 GSP " " prototype

dan is de waarde X die de vergelijkingsfactor is tussen hogere twee overeenkomsten model -prototype

$$X = (OSM - OSP) - (GSM - GSP)$$

voor zone 2 - alle Belgische meetpunten - snelheden bij eb is

$$OSM - OSP = -13\%$$

$$GSM - GSP = -16\%$$

$$X = -13\% - (-16\%) = +3\%$$

TABEL 3. - VERGELIJKING OPPERVLAKTESNELHEDEN - GEMIDDELDE SNELHEDEN.

	SNELHEDEN		RICHTINGEN	
	EB	VLOED	EB	VLOED
<u>ZONE 2.</u>				
alle Belg. punten	<u>+3%</u>	<u>+ 8%</u>	<u>0°</u>	<u>+6°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	+3%	+ 7%	+1°	+5°
ptn ts -7,5m en -12,0m	+3%	+10%	-2°	+6°
alle Ndl. punten	<u>+4%</u>	<u>+10%</u>	<u>-2°</u>	<u>+3°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	+3%	+ 7%	-2°	+3°
ptn ts -7,5m en -12,0m	+7%	+16%	-2°	+3°
<u>ZONE 3.</u>				
alle punten	<u>+8%</u>	<u>+ 5%</u>	<u>-1°</u>	<u>+5°</u>
ptn ts 0m en - 7,5m	+9%	+ 4%	-2°	+1°
ptn ts -7,5m en -12,0m	+6%	+ 5%	-2°	+5°
ptn dieper dan -12,0m	+9%	+ 4%	0°	+7°

3.3.3. Interpretatie van de ijkingsresultaten.

Om tot objectieve interpretatie van de overeenkomst model-prototype te kunnen overgaan dient rekening gehouden te worden met volgende factoren.

Een eerste factor behelst de natuurmetingen.

- Vrij uiteenlopende resultaten van verschillende metingen, die in een referentiepunt "Boei Scheur 2" zijn uitgevoerd, werden vastgesteld. In dit punt werd gedurende 14 perioden gemeten ; 9 maal in 1972 (ref. B72.00) en 5 maal in 1973 (ref. B73.00).

In onderstaande tabel zijn de extrema van de geregistreerde waarden en tevens de gemiddelden voor de tijdstippen 5h30 na H.W. en 0h40 vóór H.W. Zeebrugge weergegeven, dit voor wat de gemiddelde snelheid over de verticale betreft.

	Extrema	Gemiddelde	Afwijking van de extrema t.o.v. de gemiddelde	
			Snelheden (%)	Richtingen (°)
B72.00				
snelheid-eb	0.48m/s-0.62m/s	0.52m/s	- 8% +18%	
richting-eb	247° - 268°	256°		- 9° +12°
snelheid-vloed	0.71m/s-0.90m/s	0.79m/s	- 8% +13%	
richting-vloed	59° - 83°	69°		-10° +14°
B73.00				
snelheid-eb	0.43m/s-0.52m/s	0.46m/s	- 7% +13%	
richting-eb	256° - 275°	264°		- 8° +11°
snelheid-vloed	0.65m/s-0.79m/s	0.76m/s	-14% + 4%	
richting-vloed	76° - 81°	79°		- 3° + 2°

Zowel bij eb als bij vloed liggen de extrema wat de richtingen betreft ongeveer 10° uit het gemiddelde en wat de gemiddelde snelheden betreft 10 à 15%.

Bij vergelijking van de gemiddelden voor B72.00 en B73.00 kan worden vastgesteld dat de gemiddelde waarden voor de richtingen 10° verschillen en voor de snelheden 5 à 10%.

- Gemiddelde snelheden en oppervlaktesnelheden zijn door extrapolatie bepaald, voor wat de Belgische meetpunten betreft uit metingen uitgevoerd op 3m boven de bodem, volgens een bepaalde wet welke echter tot nog toe niet volledig juist gedefiniëerd is (zie 3.2.1.).

Ten tweede moet rekening gehouden worden met een reeks modeltechnische factoren.

- In het model is de invloed van de coriolisversnelling verwaarloosd. Algemeen kan worden aangenomen dat de corioliskomponent in de omgeving van Zeebrugge een kloksgewijze hoekverdraaiing van de snelheidsvectoren van circa 5° meebrengt.
- In het model wordt uitsluitend met permanente stroming gewerkt ; er is dus geen komberging in het model weergegeven hetgeen eveneens een zekere anti-kloksgewijze verdraaiing van de snelheidsvector medebrengt en ook een invloed heeft op de grootte van de snelheidsvector.
- De zeewaartse modelbegrenzing evenwijdig met de kust is vast en laat geen wateruitwisseling toe.
Uit de bijlagen 11 - 12 of 13 - 14 blijkt dat de prototype-snelheidsvector die uiteindelijk is aangenomen zowel bij eb als bij vloed een hoek maakt van 45° met de modelmuur. Gezien de afstand tussen de modelmuur en de haven van Zeebrugge (20 km natuur of 20m model) is de invloed van die vaste begrenzing gering te achten.

Aan de hand van bijlagen 13-14-15-16 en de tabellen 1 - 2 - 3 kunnen volgende vaststelling worden gemaakt.

1° wat de richtingen betreft :

De snelheidsvectoren waargenomen in het model zouden een hoekverdraaiing in uurwijzerszin van de orde van 5 à 10° (correctie van dezelfde orde van grootte als de afwijkingen waargenomen tijdens de prototypemetingen ter hoogte van de Scheur-2 boei) moeten ondergaan om overeenkomst te vinden met de snelheidsvector van het prototype. Deze afwijking is hoofdzakelijk te wijten aan de corioliskomponent en de komberging die beiden in het model niet zijn weergegeven.

Uitzondering moet gemaakt worden voor de snelheden in de Appelzak en het opwaartse gedeelte van de Wielingen, waar de snelheidsvectoren in het model even tegen uurwijzerszin zouden moeten verdraaid worden om tot overeenstemming te komen ; de nabijheid van de modelgrens gelegen ter hoogte van Breskens-Vlissingen is hier zeker niet vreemd aan.

Uit tabel 3 blijkt dat de afwijkingen die optreden voor de richtingen van dezelfde grootte-orde zijn op gemiddelde diepte als aan de oppervlakte. Bij eb is de gemeten richting op de twee diepte dezelfde, bij vloed is er een gemiddeld verschil van 5° hetgeen zeker beneden de meetnauwkeurigheid valt.

2° wat de snelheden betreft :

Globaal bedragen de afwijkingen op de grootte van de snelheden 10 tot 15%, afwijking van dezelfde orde van grootte als deze welke werd vastgesteld bij vergelijking van de extreme snelheden t.o.v. de gemiddelde waargenomen waarden (Scheur-2 boei).

In de zones 2 en 3 zijn de snelheden die, in model zijn waargenomen te klein t.o.v. de natuurgegevens ; echter naargelang men zich van de kust verwijdert nemen de verschillen af, **niettemin blijven de snelheden enigszins te klein in vergelijking met het prototype**. In diezelfde zones wijken de gemiddelde snelheden meer af van het prototype dan de oppervlaktesnelheden. Men mag aannemen dat dit te verklaren is door de bodemruwheid die in het model is aangebracht en uiteraard een grotere invloed heeft op de gemiddelde snelheid dan wel op de oppervlaktesnelheid.

Uit een berekening is gebleken dat de verhouding die in het model bestaat tussen de oppervlaktesnelheid en de gemiddelde snelheid de waarde 1,35 bedraagt, terwijl die verhouding in de natuur 1,20 is, hetgeen eveneens wijst op een te kleine gemiddelde snelheid in model.

Een uitzondering op deze algemene tendens wordt gemaakt door de snelheidsvectoren die in de Nederlandse meetpunten zijn waargenomen en bij vloed te groot zijn. Zoals reeds hoger vermeld is voor de bepaling van deze prototypegegevens slechts over een meetperiode van twee dagen gerekend, en is tevens de verwerkingsmethode anders dan diegene die werd gebruikt voor alle andere meetpunten.

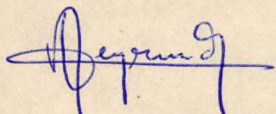
3.4. Besluit.

Rekening houdend met al de factoren vermeld onder 3.3.3. kan de overeenkomst tussen model en prototype als optimaal beschouwd worden.

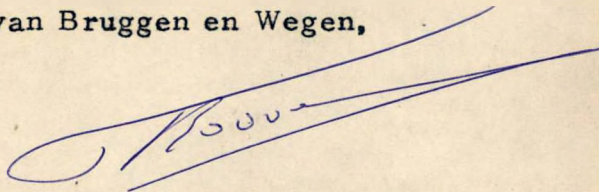
Wel zal men bij de interpretatie van de modelproeven die zullen uitgevoerd worden rekening dienen te houden met te kleine stroomsnelheden in het model langsheen de kust ; alsmede met het feit dat stroomrichtingen in het model een hoekverdraaiing tegen uurwijzerszin vertonen. Hierdoor mag verwacht worden dat de invloed van een zeewaartse uitbouw van de voorhaven van Zeebrugge in model iet of wat onderschat kan zijn.

Borgerhout, oktober 1974.

De tijdelijke ingenieur De Hoofdingenieur-Directeur
belast met de studie, van Bruggen en Wegen,

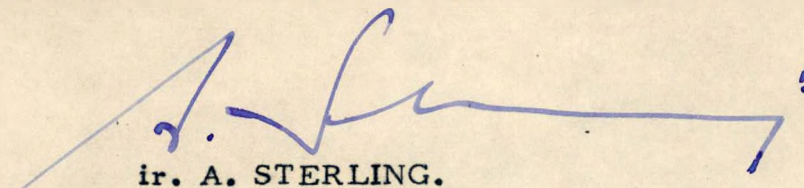


ir. L. NEYRINCK



ir. P. ROOVERS

De Hoofdingenieur-Directeur van Bruggen en Wegen,
Directeur van het Waterbouwkundig Laboratorium,



ir. A. STERLING.



Foto 1

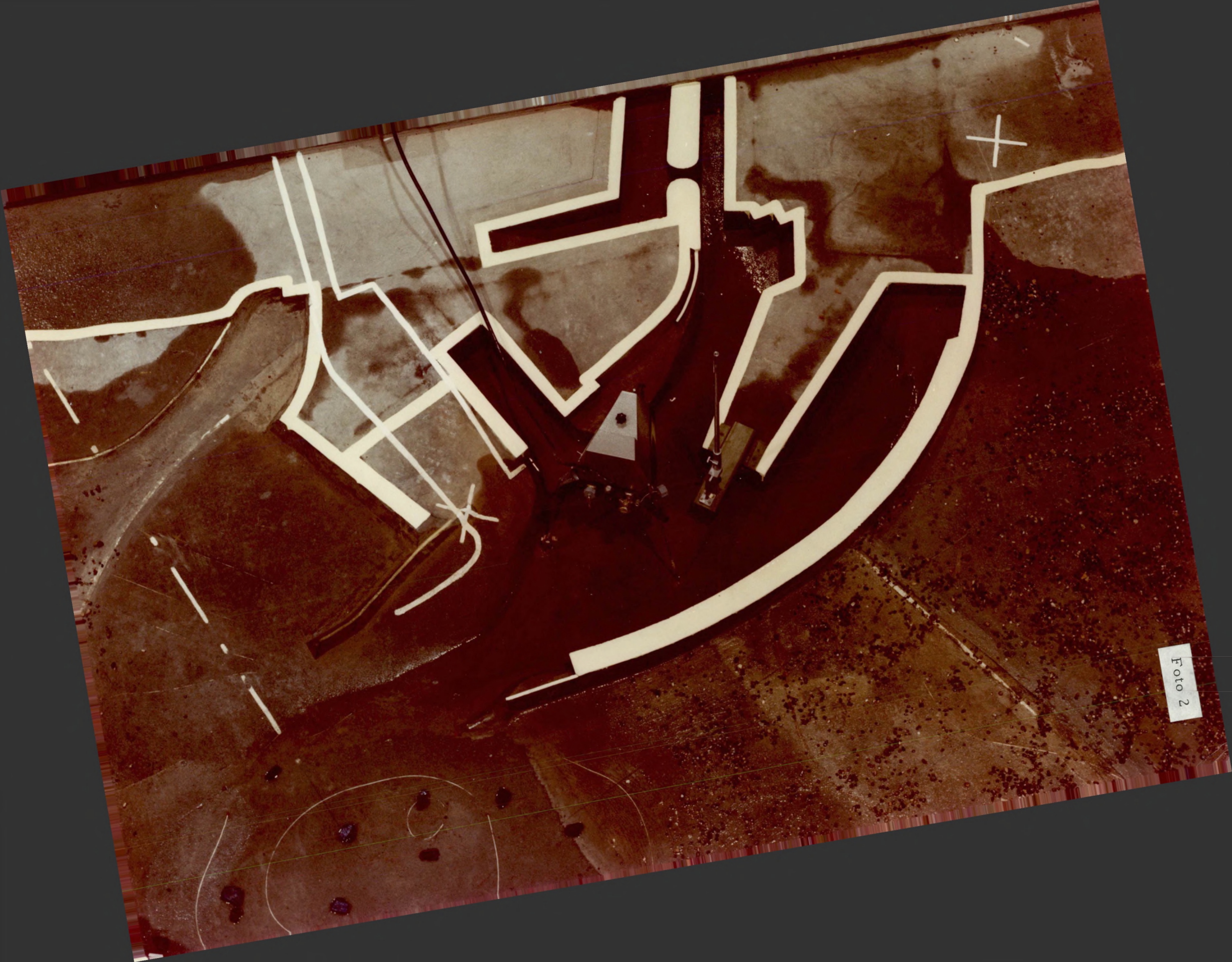


Foto 2

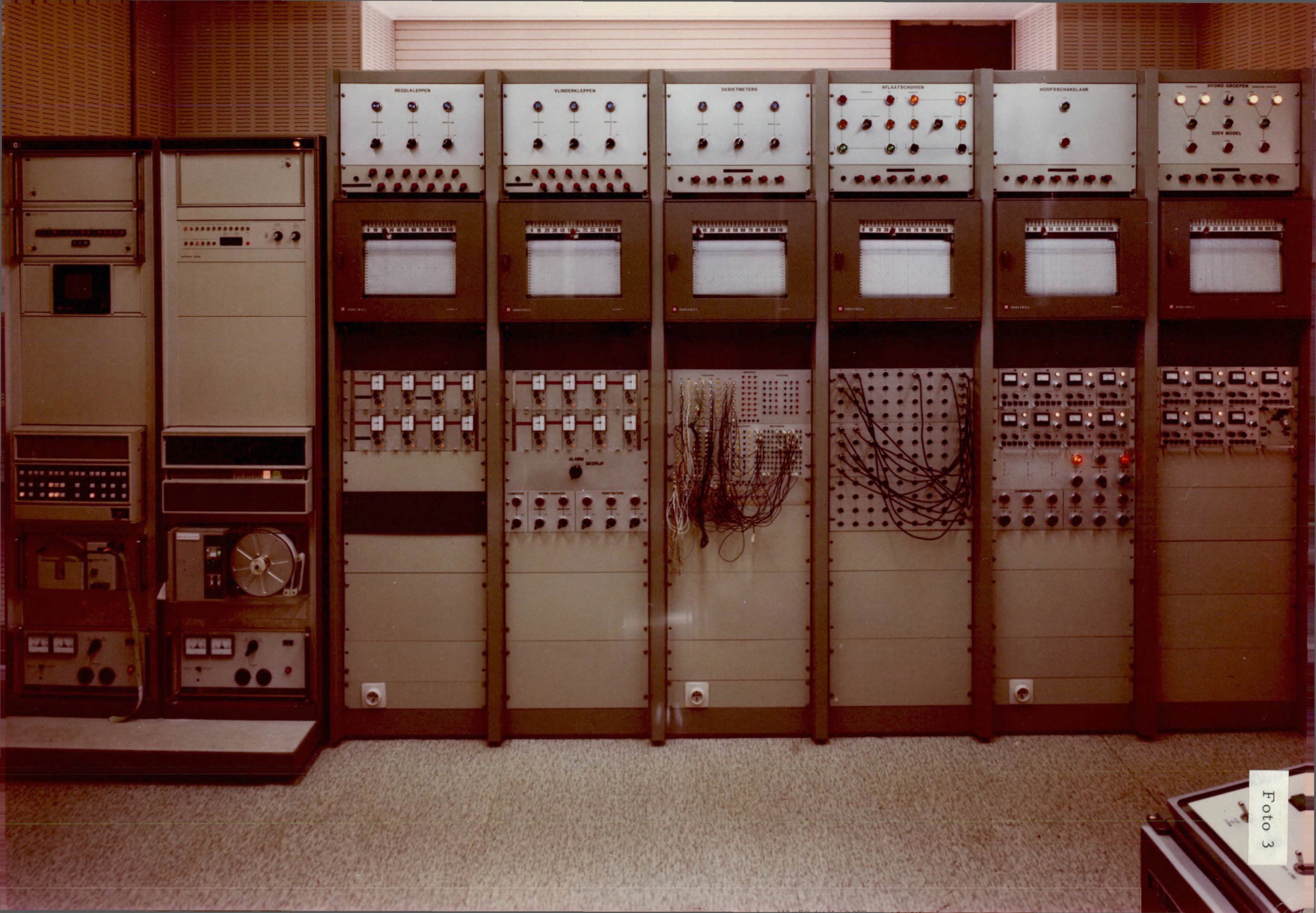


Foto 3



Foto 4



Foto 5

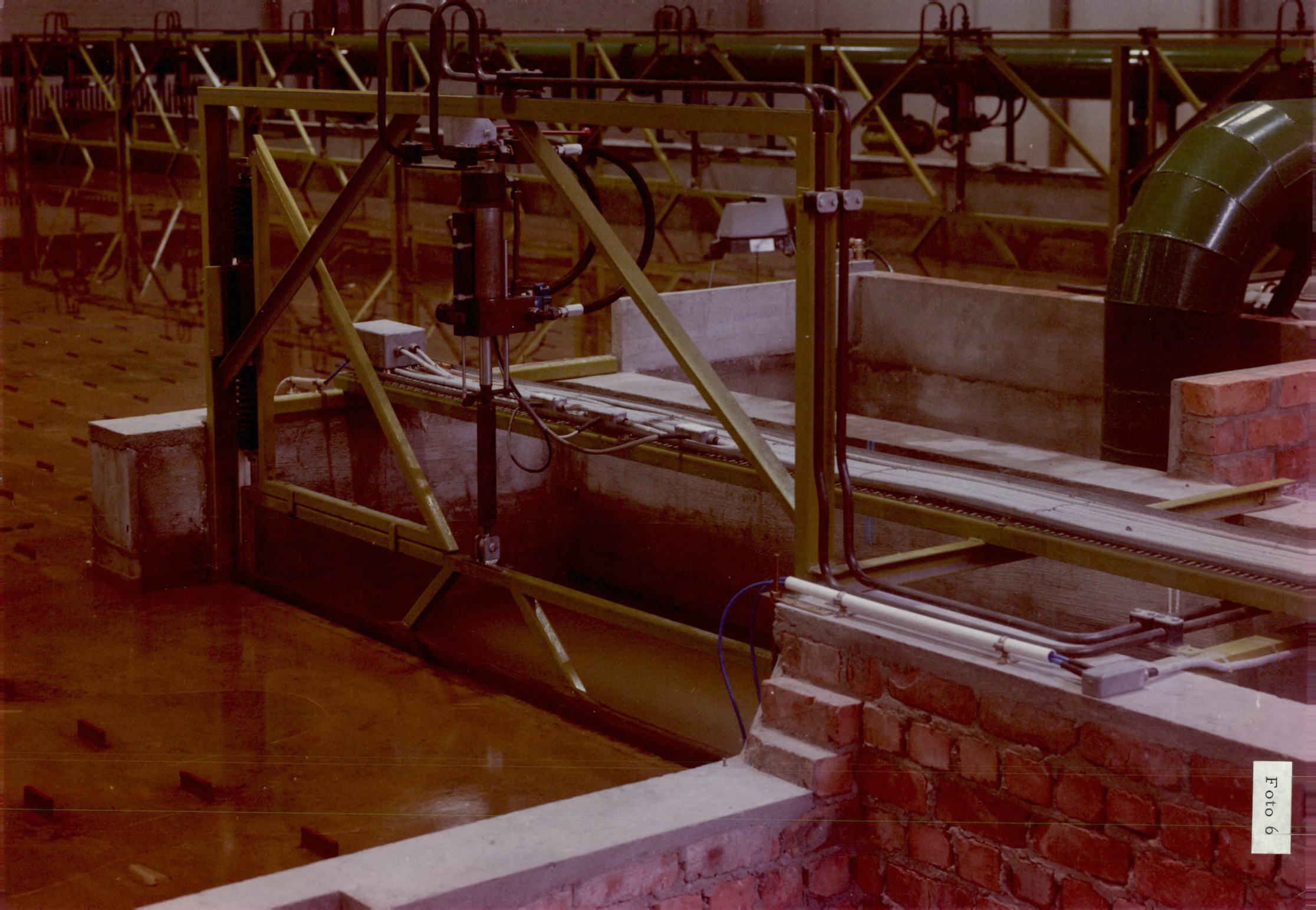


Foto 6

SOL VAN NEST

PS
24

11 75.14

HA

21

22

MOD 265
VAK 3 VL
FOTO 2 T O
DAT 3-1-74



WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM
borgerhout antwerpen

MOD 265_2

MODEL VAN DE KUST
EN HET SCHELDEESTUARIUM

Bijlage 1

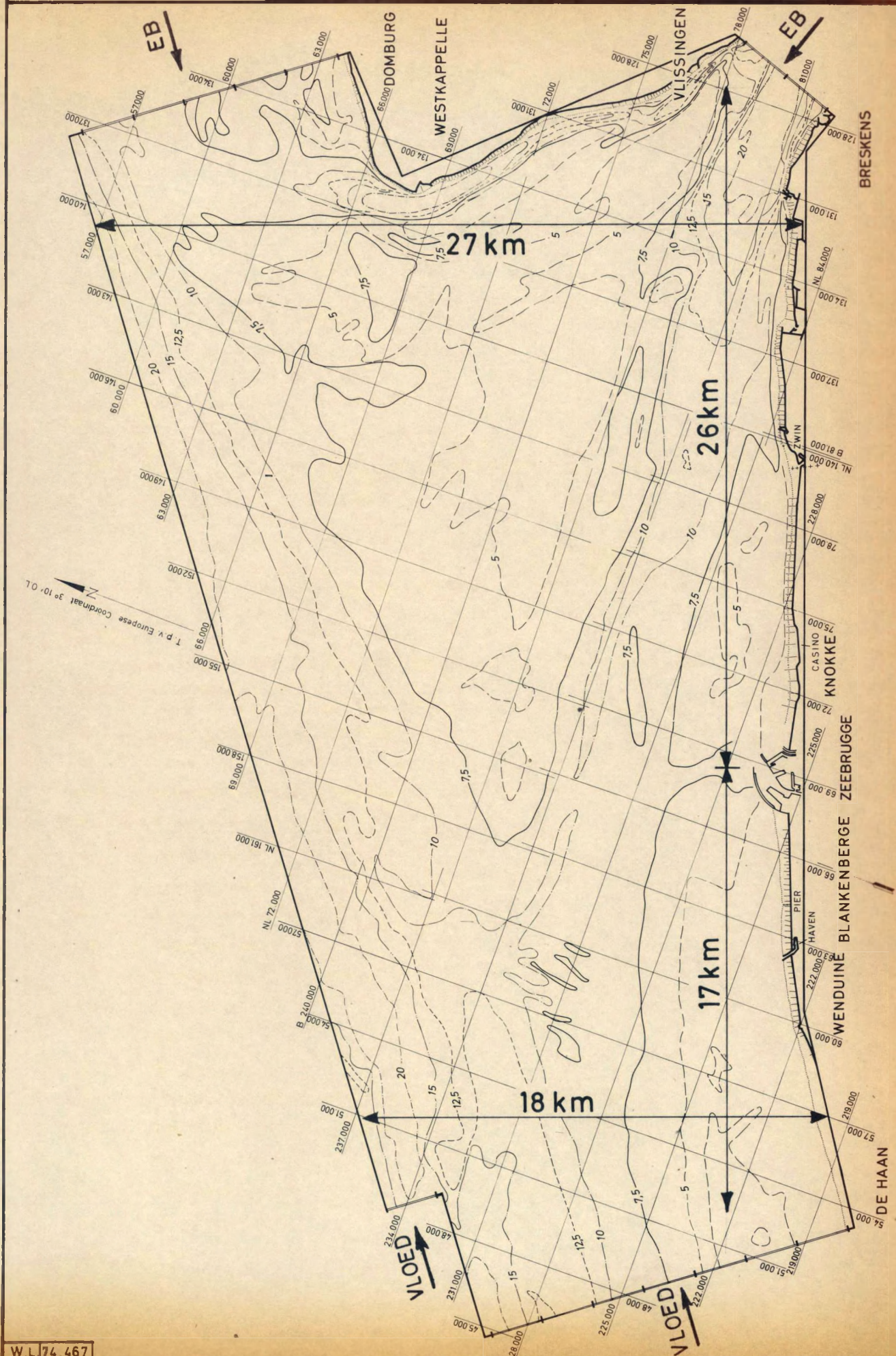
SCHALEN: Plan: 1/200.000

Model Horizontaal 1/1000

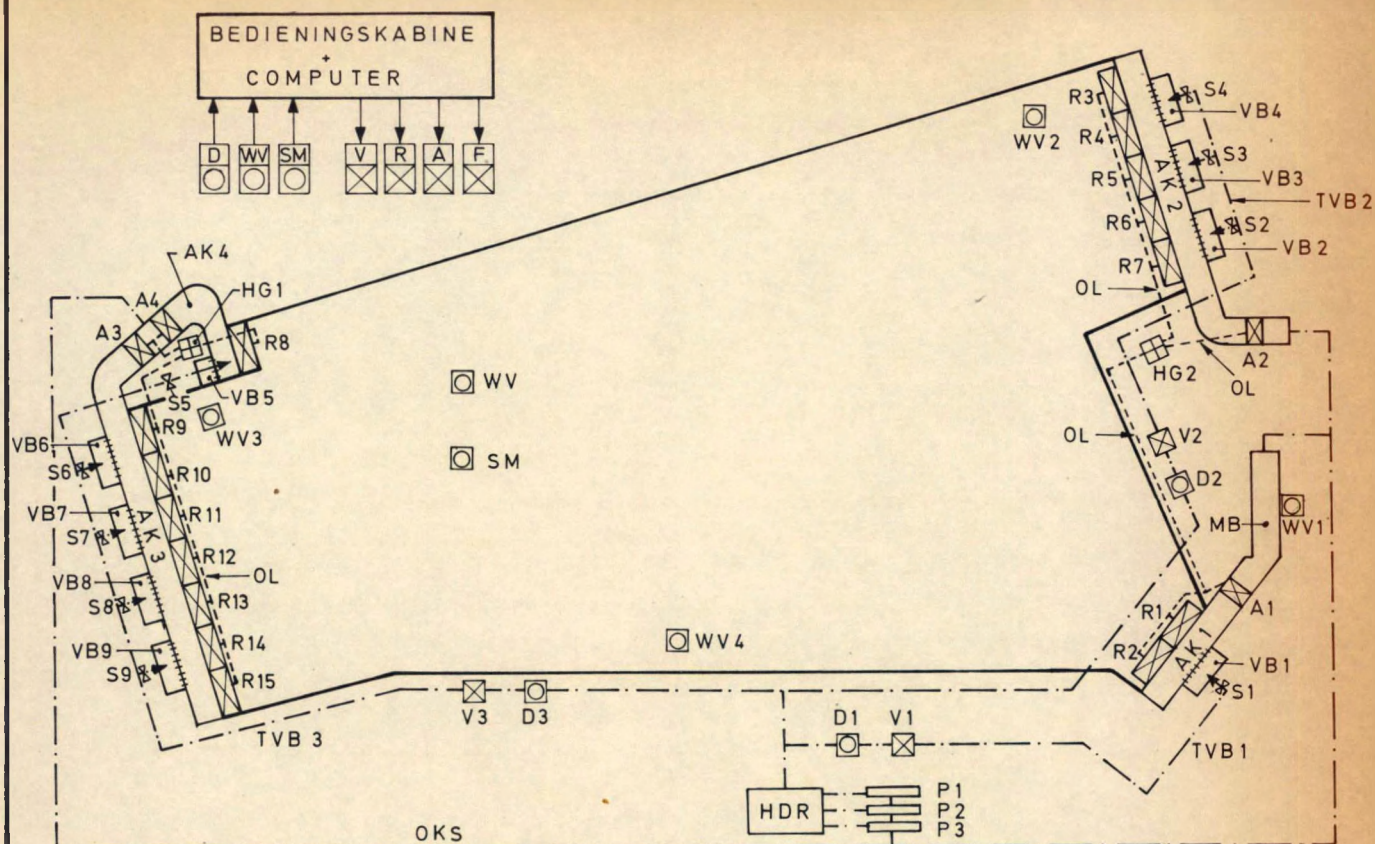
Vertikaal 1/125

SITUATIEPLAN VAN HET MODEL

Dieptelijnen in m
t.o.v. Z vlak
Lambert projectie



UITRUSTING VAN HET MODEL

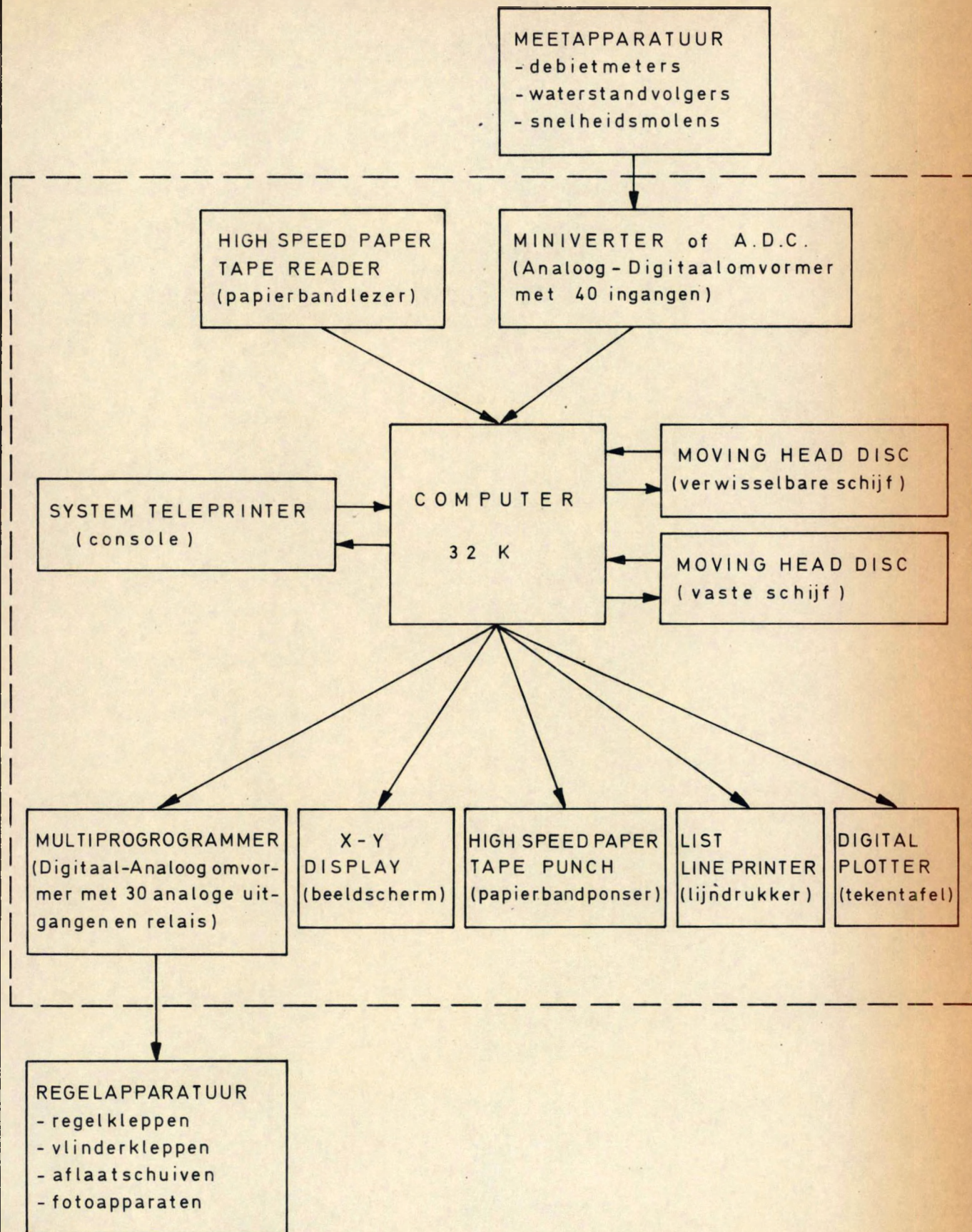


LEGENDE

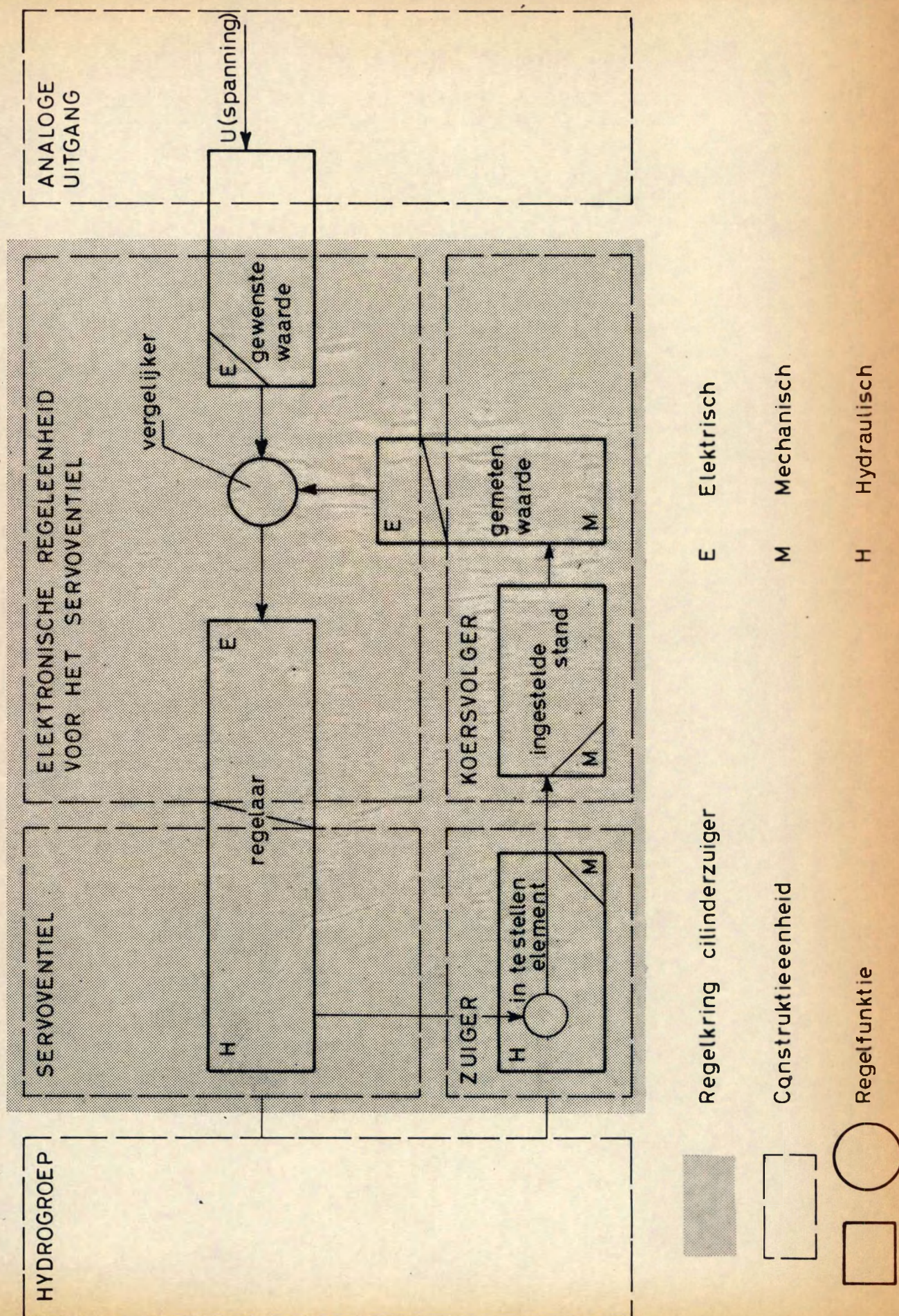
SYMBOOL	COMMENTAAR	AANTAL
OKS	Ondergrondskanalenstelsel	
P	Pomp	3
HDR	Hogedrukreservoir (9,20 m)	1
TVB(---)	Watertoevoerleiding	3
D	Debietmeter	3
V	Vlinderklep	3
⊗ S	Schuif afsluiter	9
VB	Voedingsbak	9
HG	Olie hydraulische groep	2
OL(---)	Olieleiding	
R	Regelklep	15
A	Aflaatschuif	4
AK	Afvoer- of debietverdelingskanaal langs het model	4
MB	Meetbak met geijkte overlaat	1
WV	Waterstandvolger	x
SM	Snelheidsmolen	x
F	Fotoapparaat	4
⊙	Input computer	
⊗	Output computer	



STRUKTUURSCHEMA VAN DE BESTURINGSORGANEN

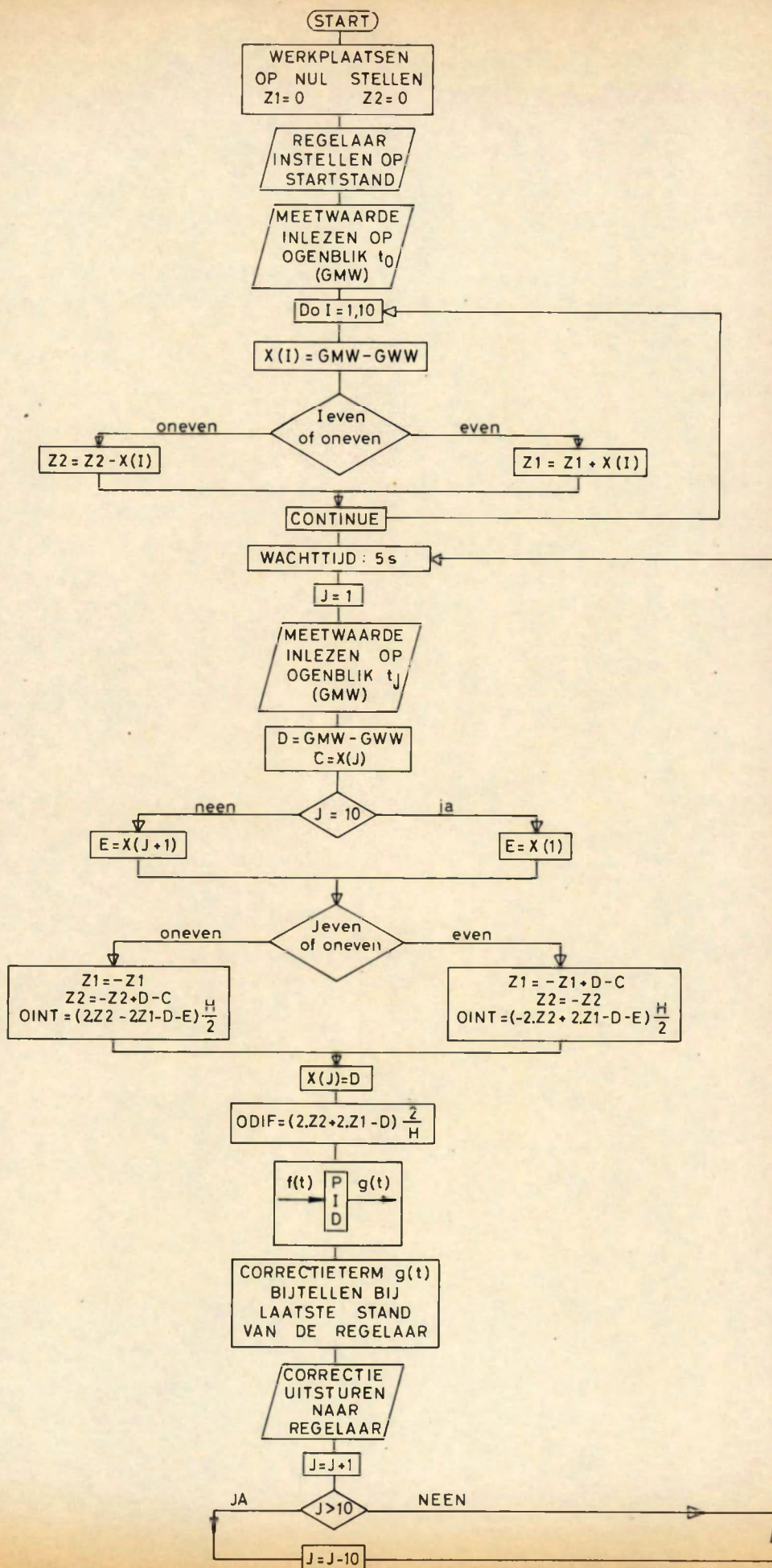


SCHEMA VAN DE ELEKTRO-HYDRAULISCHE
REGELEKING VAN DE REGELEKLEPPEN

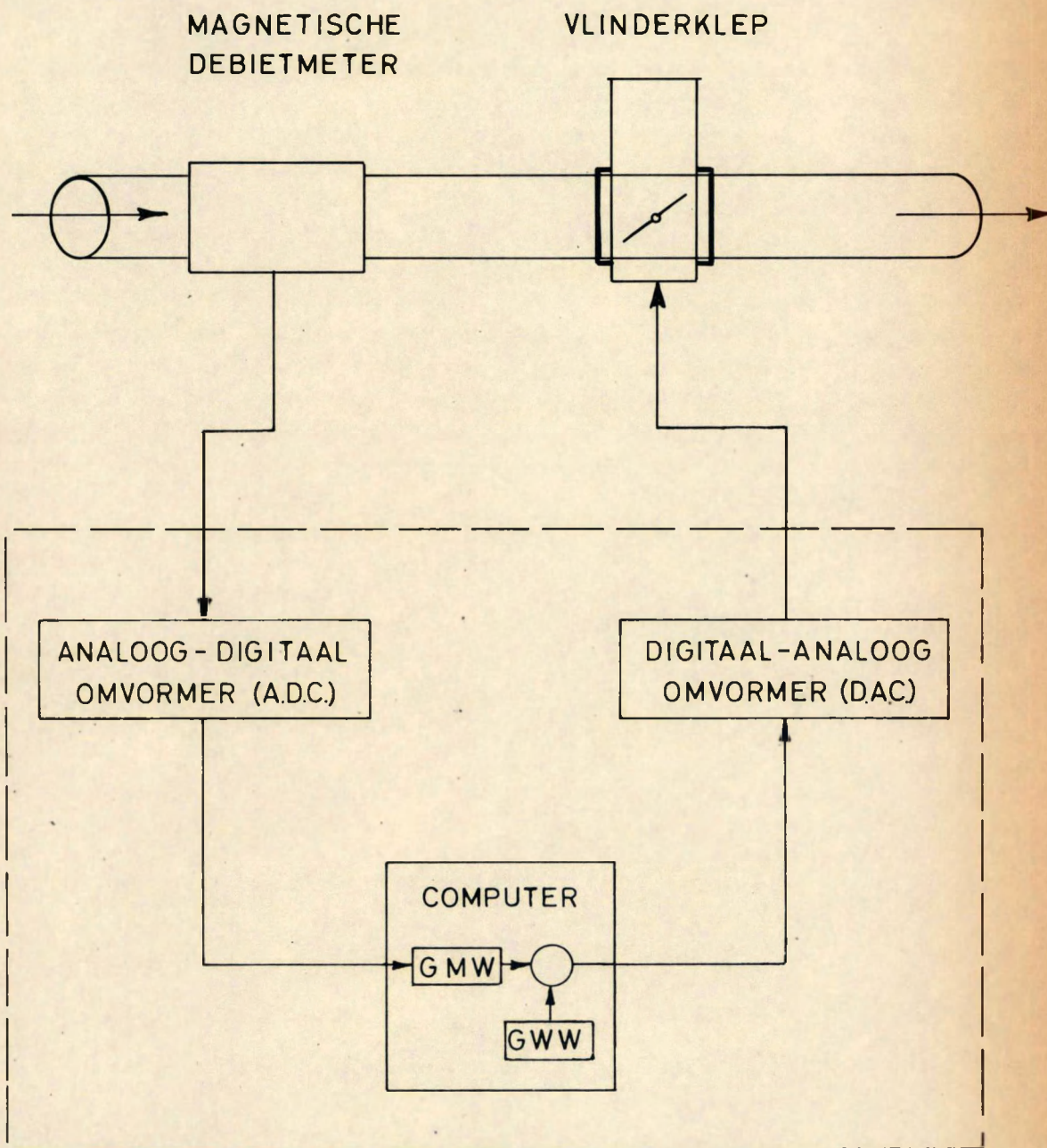




VLOEIDIAGRAMMA VAN HET REGELPROGRAMMA

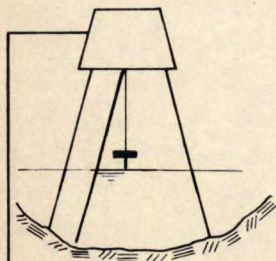


TOEPASSING VAN HET P.I.D. REGELSYSTEEM
INTREDEND DEBIET DOOR TOEVOERLEIDING

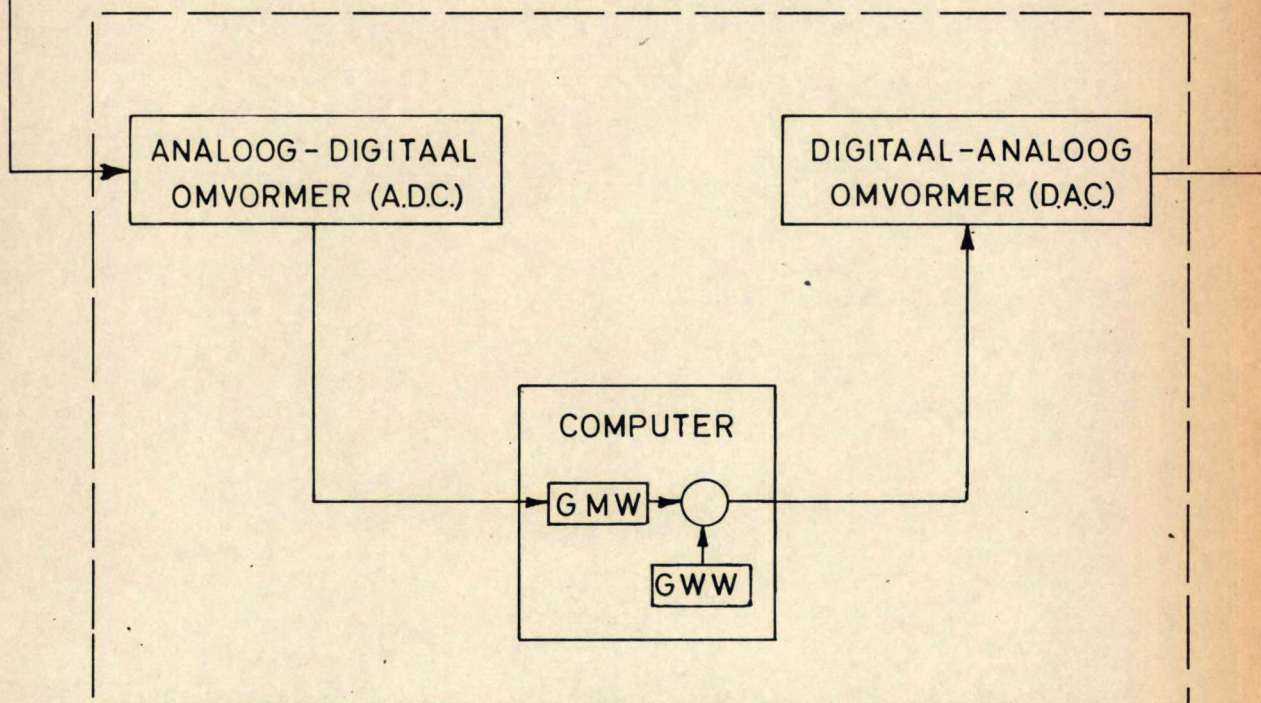
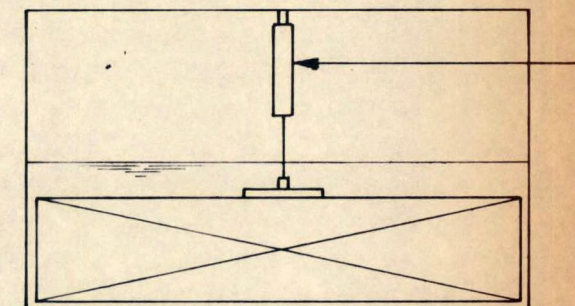


TOEPASSING VAN HET P.I.D. REGELSYSTEEM
WATERSTAND IN HET MODEL

WATERSTANDVOLGER



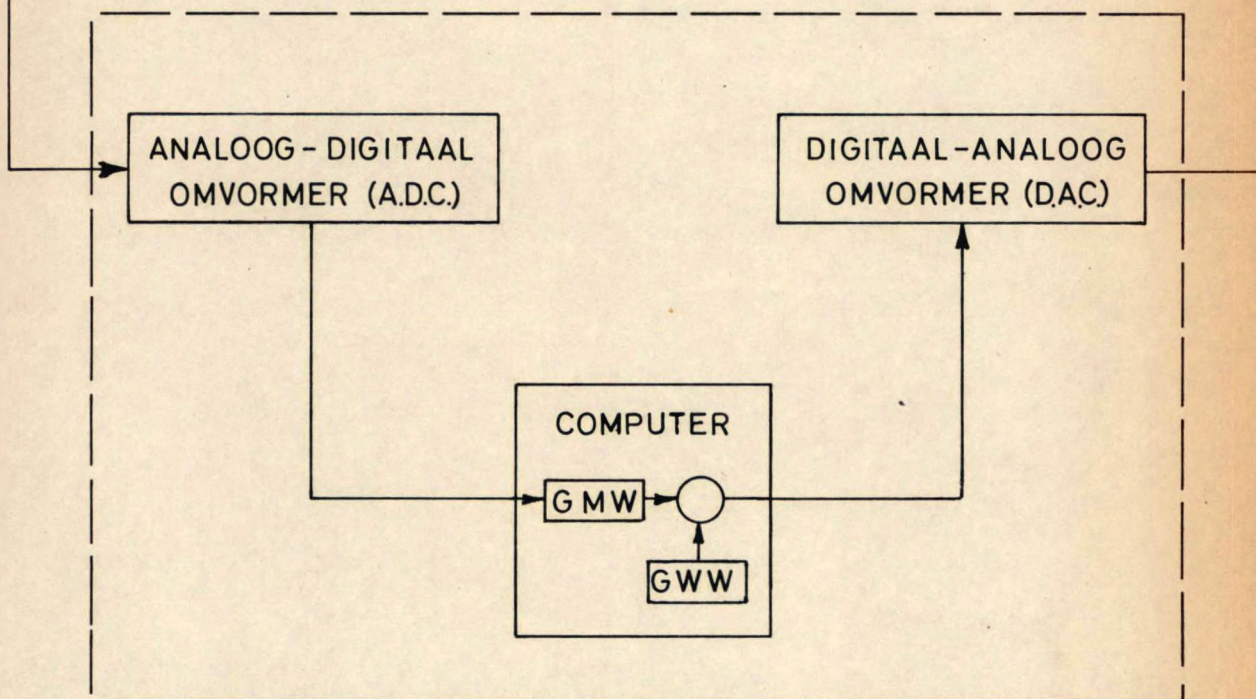
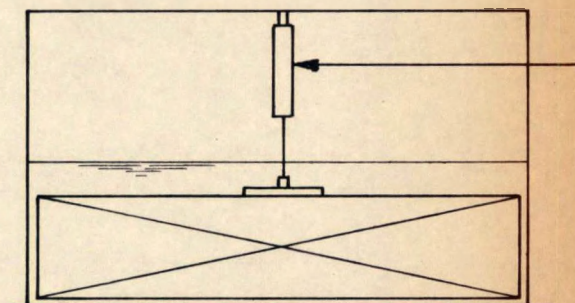
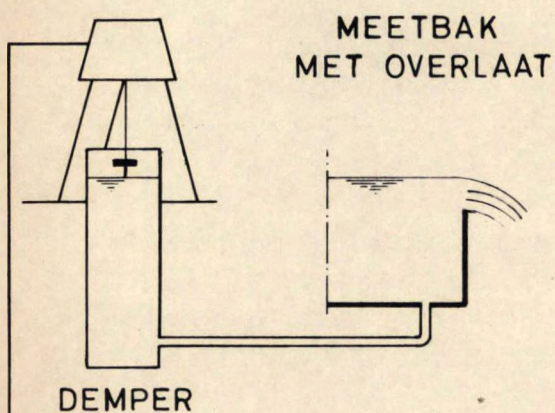
REGELEKLEP



TOEPASSING VAN HET P.I.D. REGELSYSTEEM
UITTREDEND DEBIET LANGS MEETOVERLAAT

WATERSTANDVOLGER

REGELKLEP



SCHALEN: Plan 1/200 000

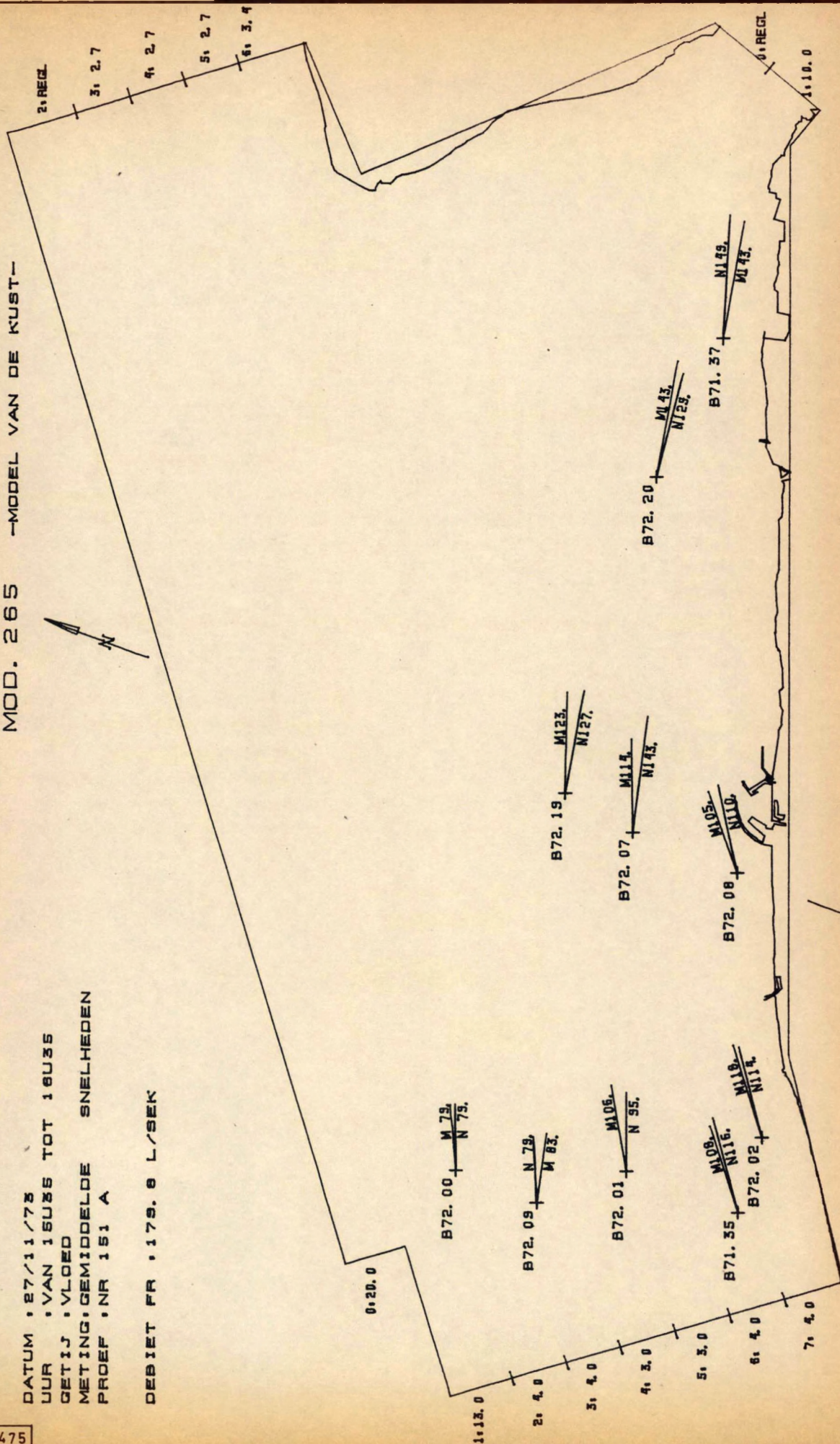
Snelheden 0 50 100 150 cm/s

VOORBEELD VAN UITWERKING VAN PUNT-
SNELHEIDSMETINGEN

MOD. 265 -MODEL VAN DE KUST-

DATUM : 27/11/73
UUR : VAN 16U35 TOT 16U35
GETIJ : VLOED
METING: GEMIDDELTE SNELHEDEN
PROEF : NR 151 A

DEBIET FR : 179.8 L/SEK





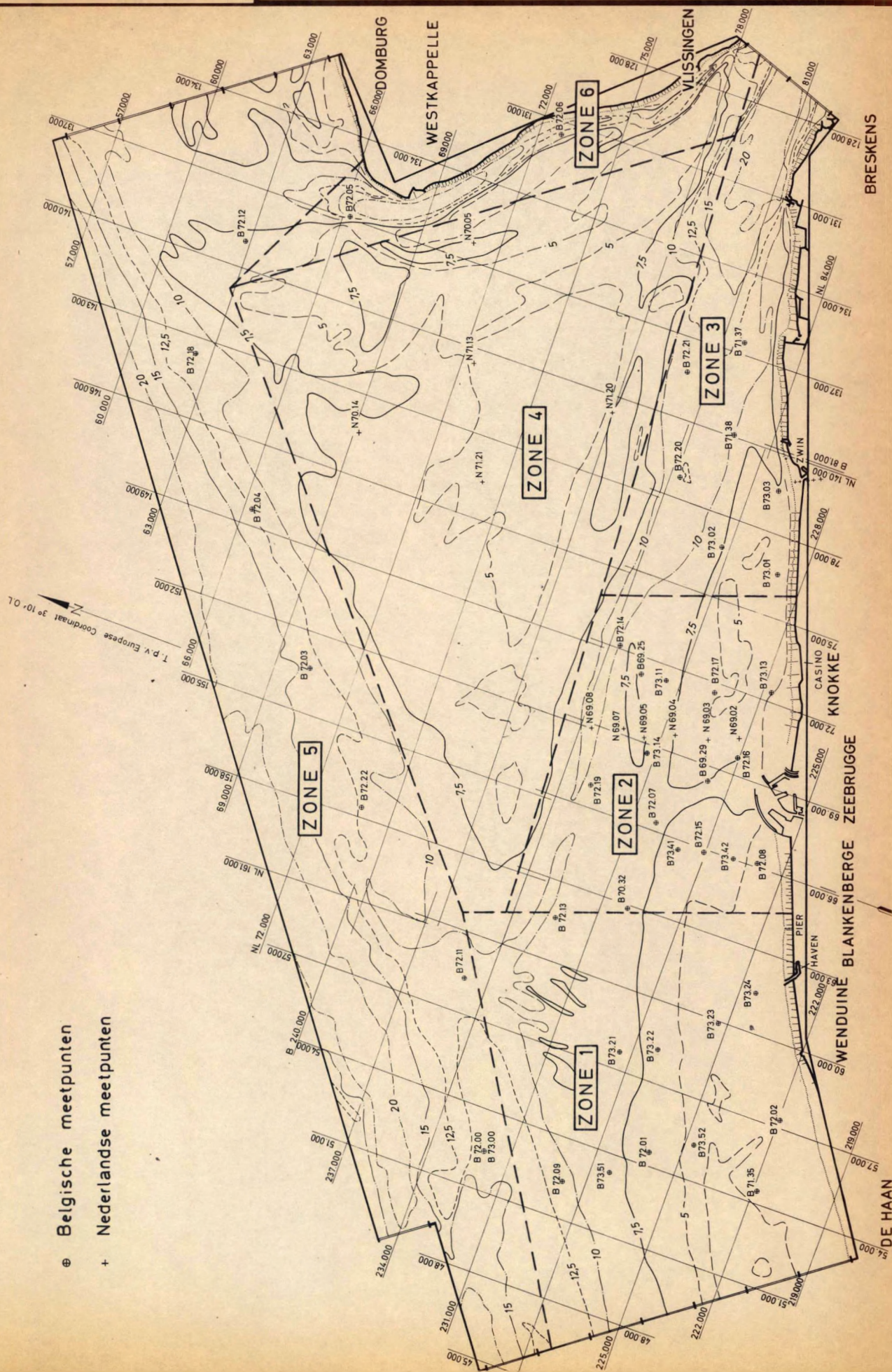
SCHALEN: Plan : 1/200.000

Model Horizontaal 1/1000

Vertikaal 1/125

SITUATIEPLAN MET AANDUIDING
DER MEETPUNTEN

Dieptelijnen in m
t.o.v Z vlak
Lambert projectie



⊙ Belgische meetpunten
+ Nederlandse meetpunten



WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM
borgerhout antwerpen

MOD. 265_2 MODEL VAN DE KUST EN HET SCHELDEESTUARIUM

Bijlage 11

SCHALEN: Plan 1/200.000

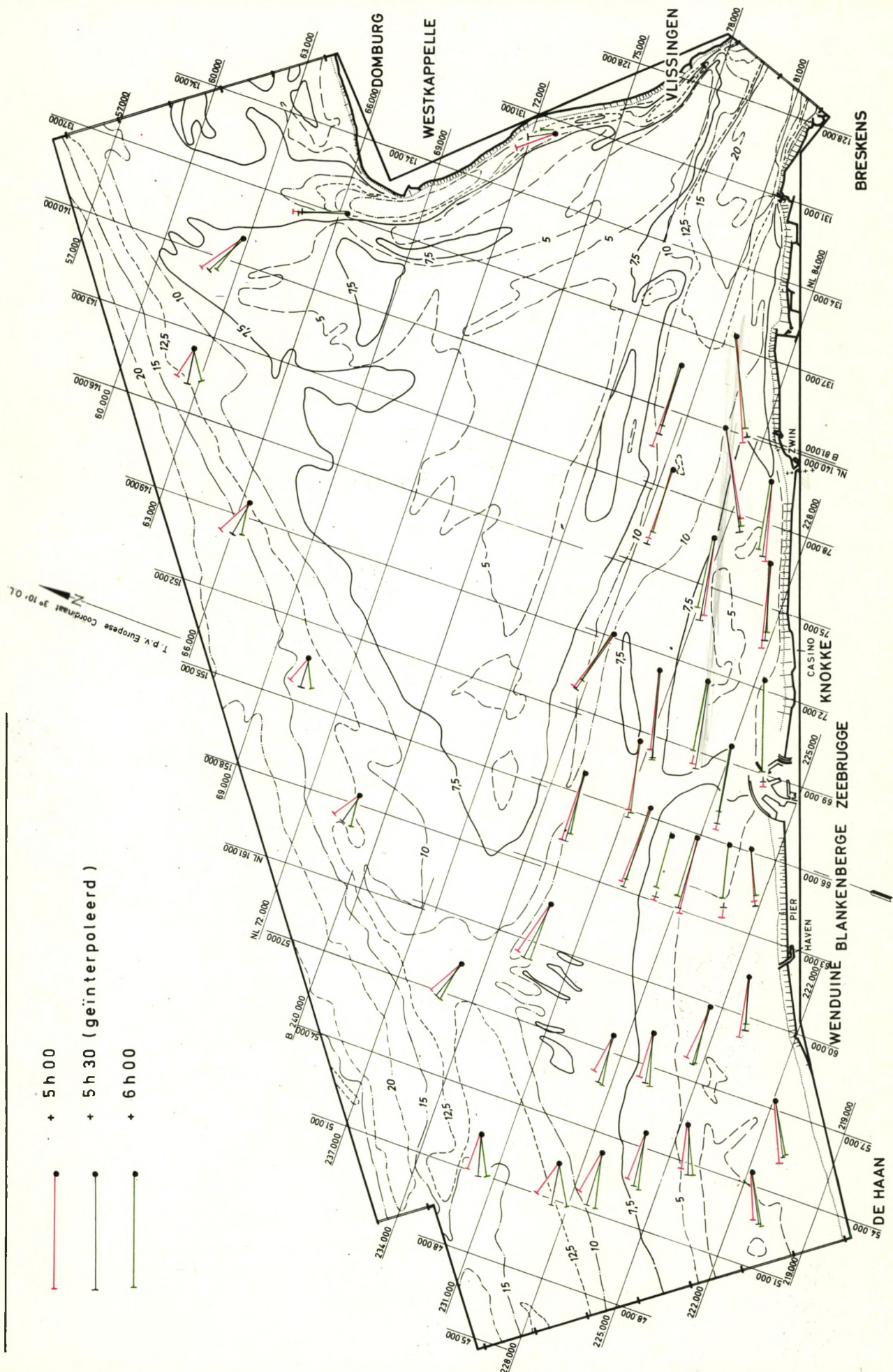
Snelheden 0 50 100 150 cm/s

STROOMMETINGEN NATUUR ('71; '72; '73)
GEMIDDELTE SNELHEDEN
EB - GEMIDDELD SPRINGTIJ

Dieptelijnen in m
t.o.v. Z vlak
Lambert projectie

W.L. 74.477

EB SNELHEIDSVECTOR OP X UUR T.O.V. H.W. ZEEBRUGGE





WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM
borgerhout antwerpen

MOD. 265_2 MODEL VAN DE KUST
EN HET SCHELDEESTUARIUM

Bijlage 12

SCHALEN : Plan 1/200.000

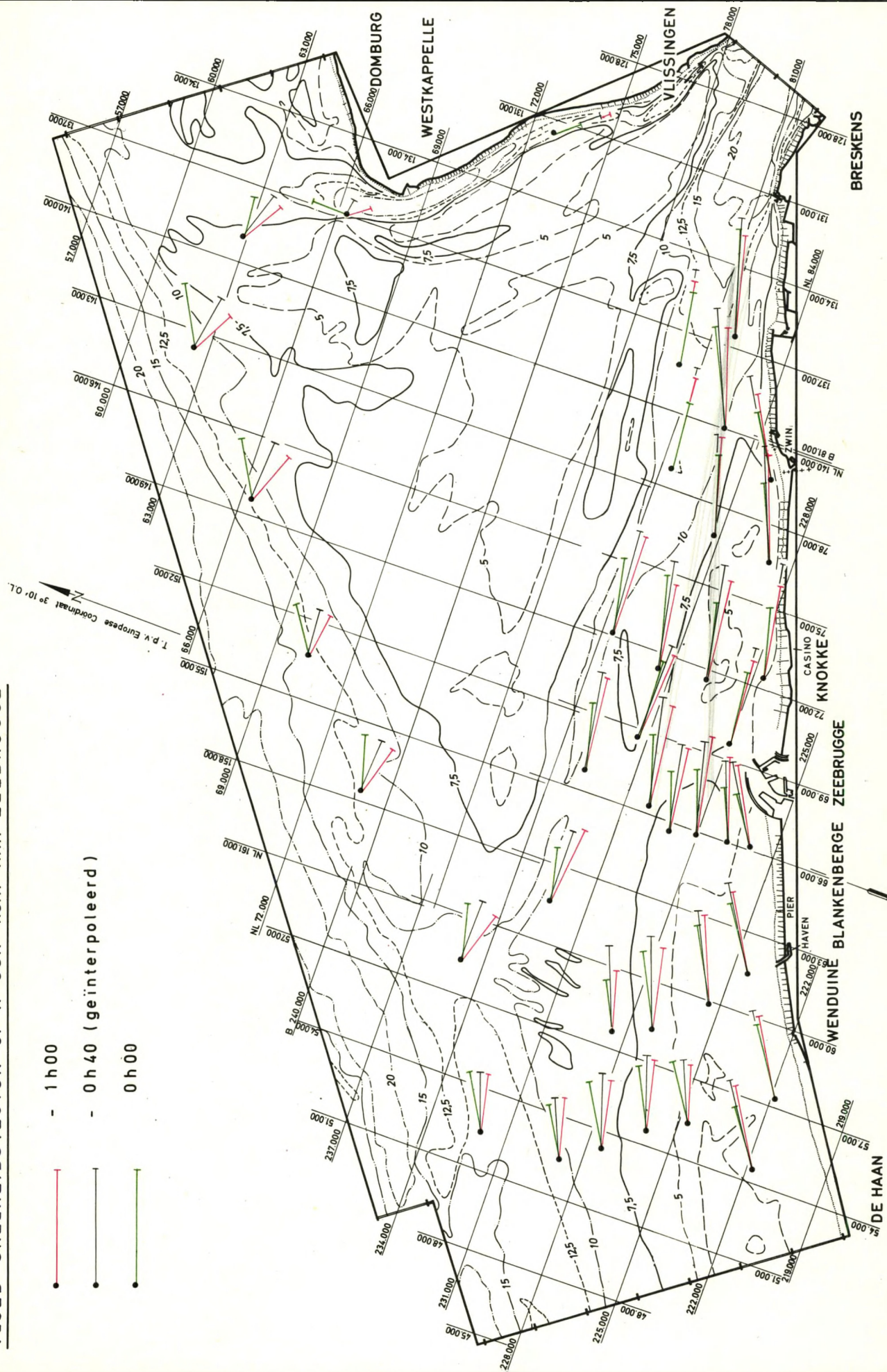
Snelheden 0 50 100 150 cm/s

STROOMMETINGEN NATUUR ('71;'72;'73)
GEMIDDELTE SNELHEDEN
VLOED - GEMIDDELD SPRINGTIJ

Dieptelijnen in m
t.o.v. Z vlak
Lambert projectie

VLOED SNELHEIDSVECTOR OP X UUR T.O.V. H.W. ZEEBRUGGE

- 1h00
- 0h40 (geïnterpoleerd)
- 0h00





WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM
borgerhout antwerpen

MOD. 265_2 MODEL VAN DE KUST
EN HET SCHELDEESTUARIUM

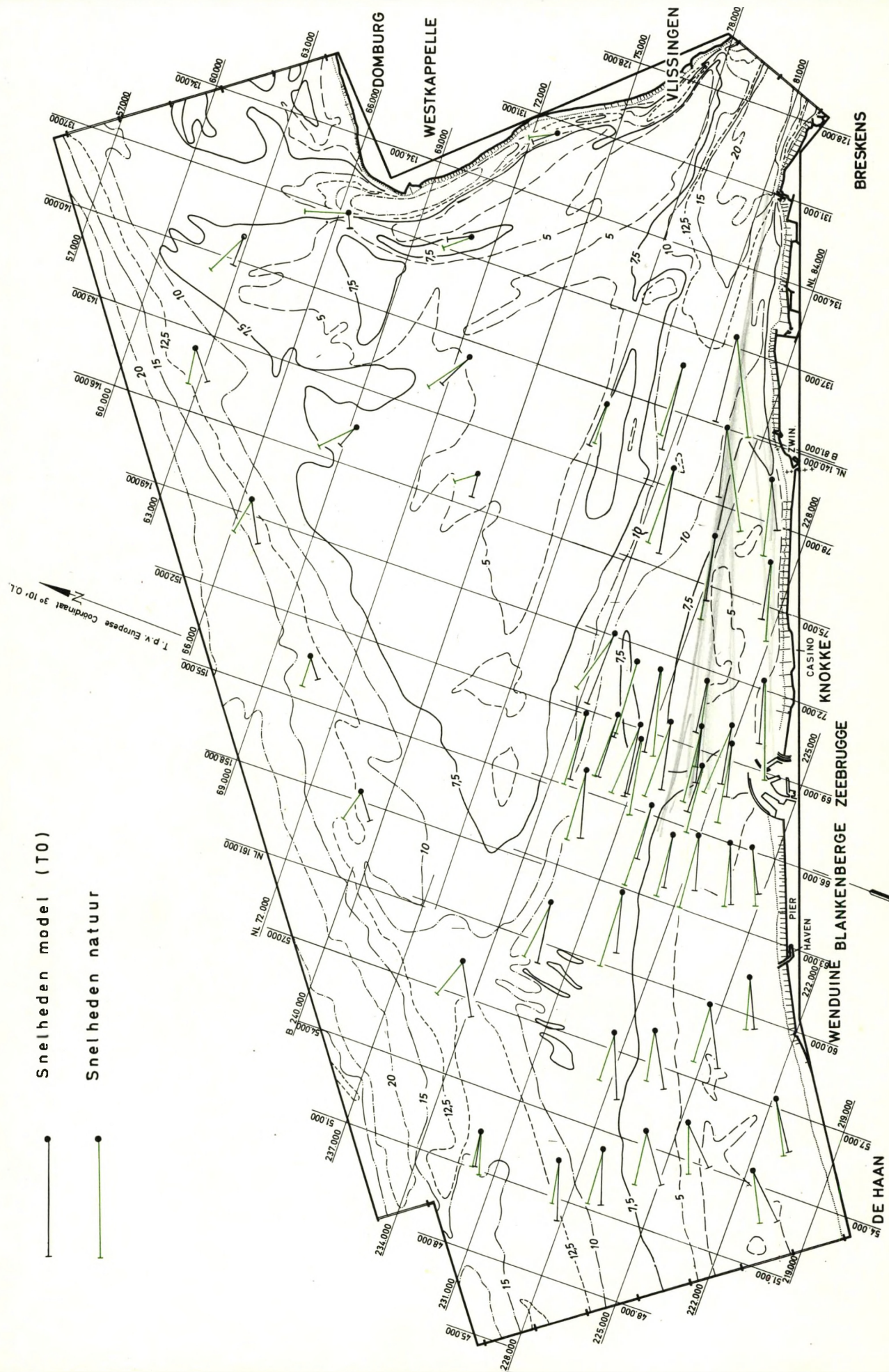
Bijlage 13

SCHALEN: Plan 1 / 200.000

Snelheden 0 50 100 150 cm/s

IJKTOESTAND MODEL (T0)
GEMIDDELDE SNELHEDEN (met micromolen)
EB 5h30 NA H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m
t.o.v. Z vlak
Lambert projectie





WATERBOUWKUNDIG
LABORATORIUM
borgerhout antwerpen

MOD. 265_2

MODEL VAN DE KUST
EN HET SCHELDEESTUARIUM

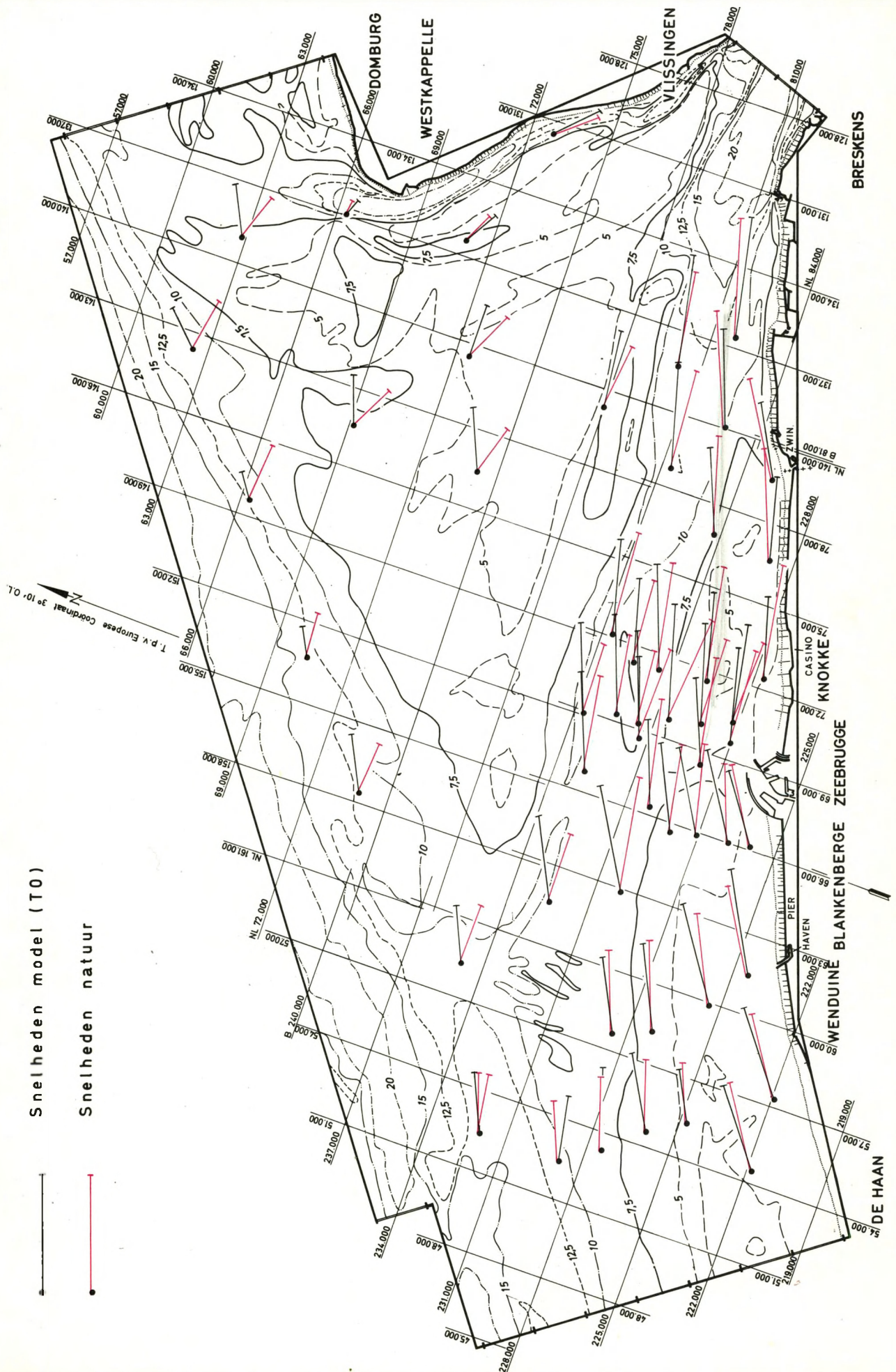
Bijlage 14

SCHALEN: Plan 1/200.000

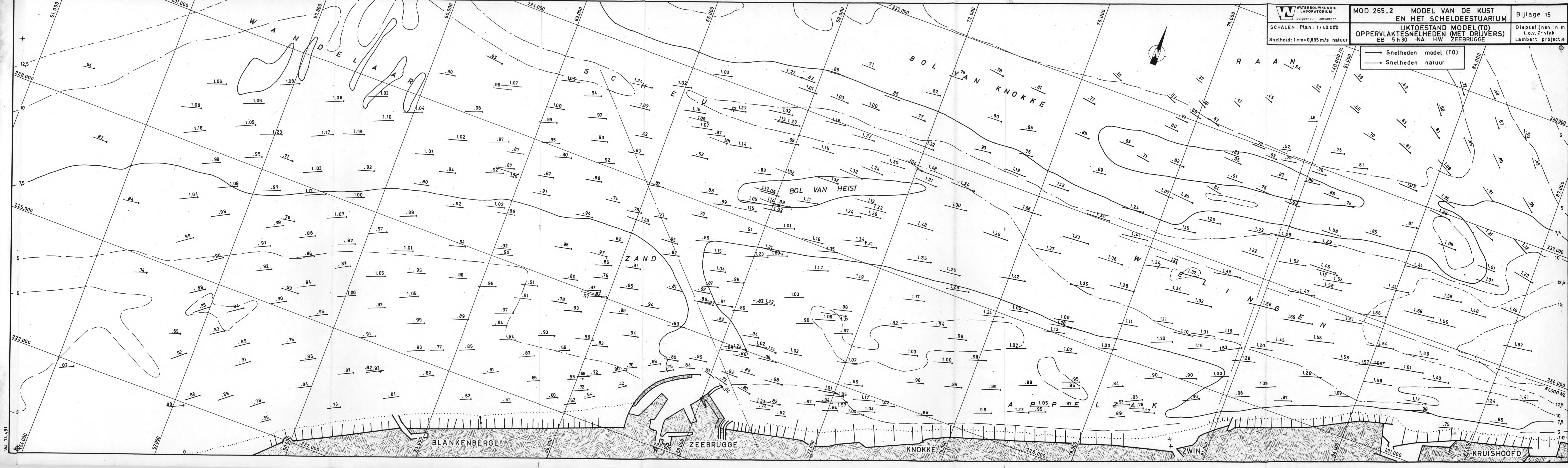
Snelheden 0 50 100 150cm/s

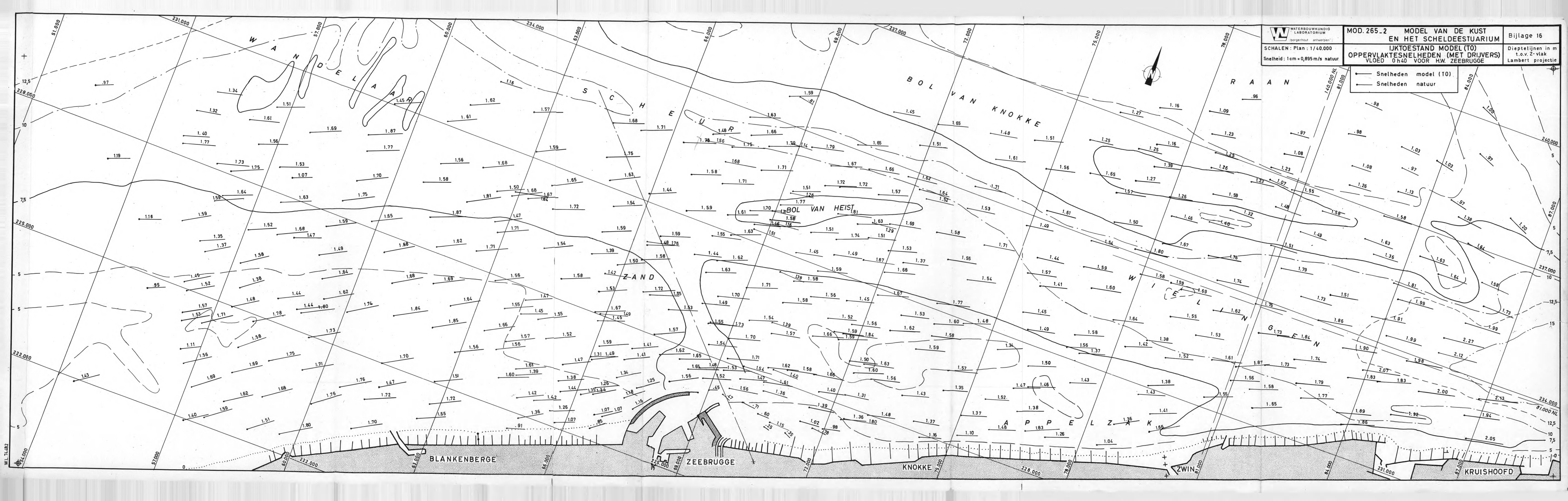
IJKTOESTAND MODEL (T0)
GEMIDDELDE SNELHEDEN (met micromolen)
VLOED 0h40 VOOR H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m
t.o.v. Zvlak
Lambert projectie



— Snelheden model (T0)
— Snelheden natuur





EDITIE:

WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM

BERCHEMLEI 115
2200 BORGERHOUT
BELGIE
TELEFOON 03/36.18.50