

ONTWERP EN UITVOERING VAN
OVERSTROOMBARE DIJKEN

ir. E. TAVERNIERS

september 1988

STICHTING POSTAKADEMISCH ONDERWIJS
CIVIELE TECHNIEK EN BOUWTECHNIEK

SEKRETARIAAT: POSTBUS 5048, 2600 GA DELFT, TELEFOON 015-784618 - GIRONR. 42 68.02, DELFT

POSTAKADEMISCHE KURSUS :

MODERNE TECHNOLOGIE
VOOR DIJKEN

KURSUS D.24

ONTWERP EN UITVOERING VAN
OVERSTROOMBARE DIJKEN

DOOR:

ir. E. TAVERNIERS

IR MILLY GRAPE

OVERDRUK VAN DE KURSUSTEKST VAN DE OP WOENSDAG 22.09.1988
IN HET KADER VAN GENOEMDE POSTAKADEMISCHE KURSUS AAN DE
TECHNISCHE UNIVERSITEIT DELFT (NEDERLAND) GEHOUDEN LES .

STICHTING POSTAKADEMISCH ONDERWIJS CIVIELE TECHNIEK EN BOUWTECHNIEK

SEKRETARIAAT, POSTBUS 5048, 2600 GA DELFT, TELEFOON 015-784618 - GIRONR. 42.68.02, DELFT

Kursus: "Moderne Technologie voor Dijken"

1988

D 24 Ontwerp en uitvoering van overstroombare dijken.
Ir. E. Taverniers

ONTWERP EN UITVOERING VAN
OVERSTROOMBARE DIJKEN

=====

ir. E. Taverniers

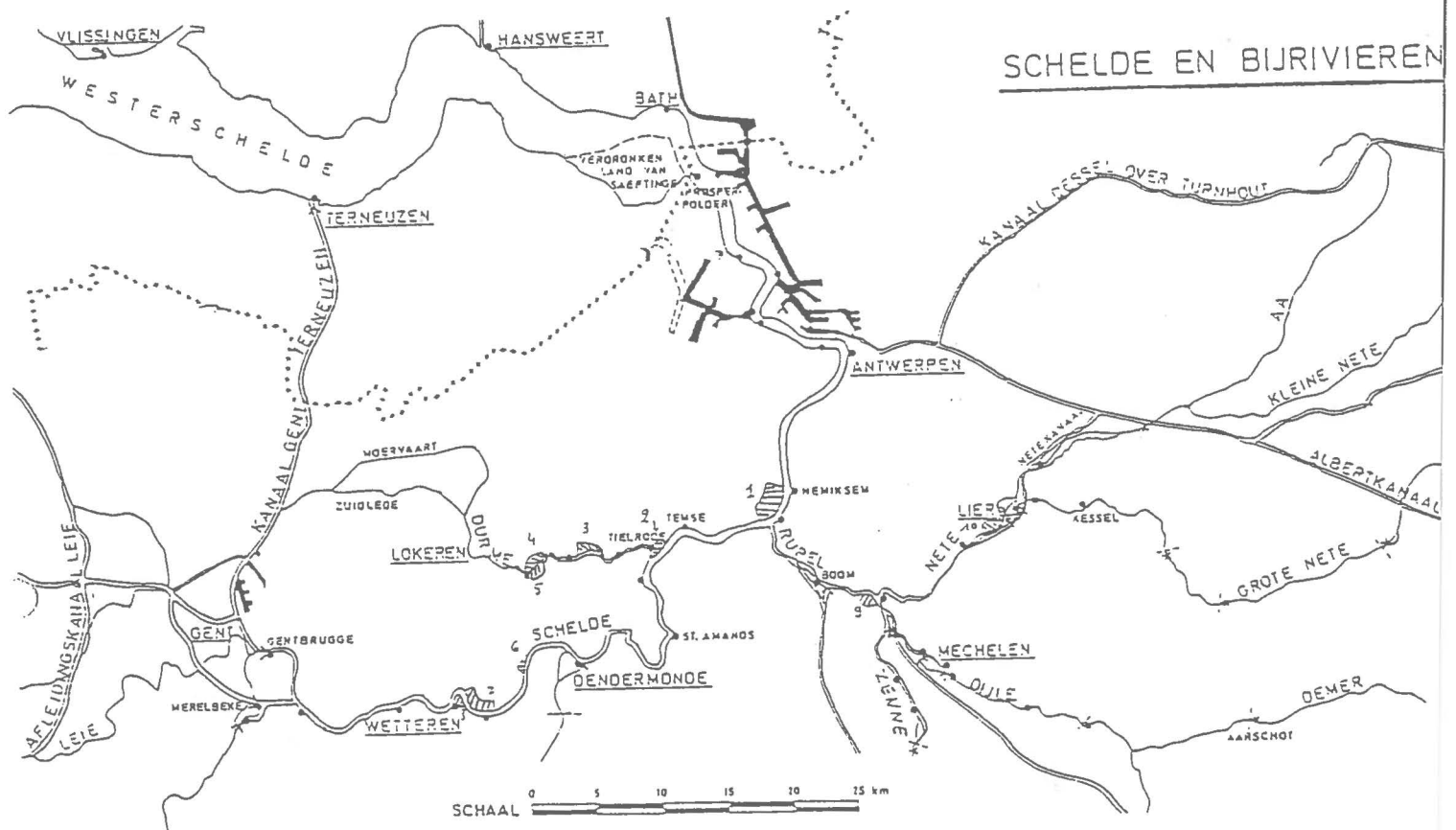
Dienst der Zeeschelde
Ministerie van Openbare Werken
Antwerpen - België

1. Inleiding

Na de buitengewone stormvloed van 3 januari 1976 (waarbij door bressen in dijken, grote landbouwgebieden en half-verstedelijkte streken zoals de dorpskom van Ruisbroek, dagenlang overstromden) werd in België bij Regeringsbesluit beslist om alle dijken van het Zeescheldebekken op een systematische en uniforme wijze te versterken, te verbreden en te verhogen. In het kader van dat Sigma-plan werd ook besloten om zogenaamd "gecontroleerde overstromingsgebieden" aan te leggen, en -later- tot de bouw van een stormvloedkering net afwaarts van het centrum van Antwerpen (meerbepaald te Oosterweel) over te gaan.

De bedoeling van dergelijke "gecontroleerde overstromingsgebieden" is om bij stormtij, en énkél bij stormtij, vloedwater uit de rivier naar naastgelegen gronden te brengen, om zo de hoogte van de storm-hoogwatergolf te kunnen verlagen. Er weze voor alle duidelijkheid aan herinnerd dat het Zeescheldebekken een tijgebied is, dat zich zeer ver in het land uitstrekt, en dat een groot tij-amplitude kent. De figuur 1 geeft dit Zeescheldebekken weer; het bestaat uit de stroom Zeeschelde (= de Belgische aan het getij onderhevige voortzetting van de Nederlandse Westerschelde), en de rivieren Durme, Rupel, Beneden-Nete, Kleine en Grote Nete, Dijle en Zenne. Ter illustratie van het grote tijverschil toont de figuur 2 de geometrische lijn van het tienjarig gemiddelde van hoog- en laagwater bij spring- en doodtij in de Wester- en de Zeeschelde, dus van de Noordzee tot aan Gentbrugge bij Gent, alwaar een stuw en een sluis het getij tegenhouden.

Een "gecontroleerd overstromingsgebied" bestaat uit een landbouw- of bos-gebied dat langsheen een tijrivier gelegen is, waarbij de rivierdijk een overloofdijk is, en waarbij het overstromingsgebied door een ringdijk omsloten wordt. Deze ringdijk houdt de wateroverstroming binnen het ertoe bedoelde gebied, waarui het adjectief "gecontroleerde" volgt. Op de figuur 1 zijn de reeds gebouwde, de in aanleg zijnde of de nog geplande "gecontroleerde overstromingsgebieden" in het Zeescheldebekken aangegeven (nl. de gearceerde gebieden; hun nummers verwijzen naar de tabel onderaan deze figuur, welke hun naam en hun grootte aangeeft). In praktijk zijn deze "gecontroleerde overstromingsgebieden" meestal landbouwgronden zoals wei- en hooilanden (dus weinig akkerlanden, tenzij maïsvelden) alsook boslanden (van populieren).



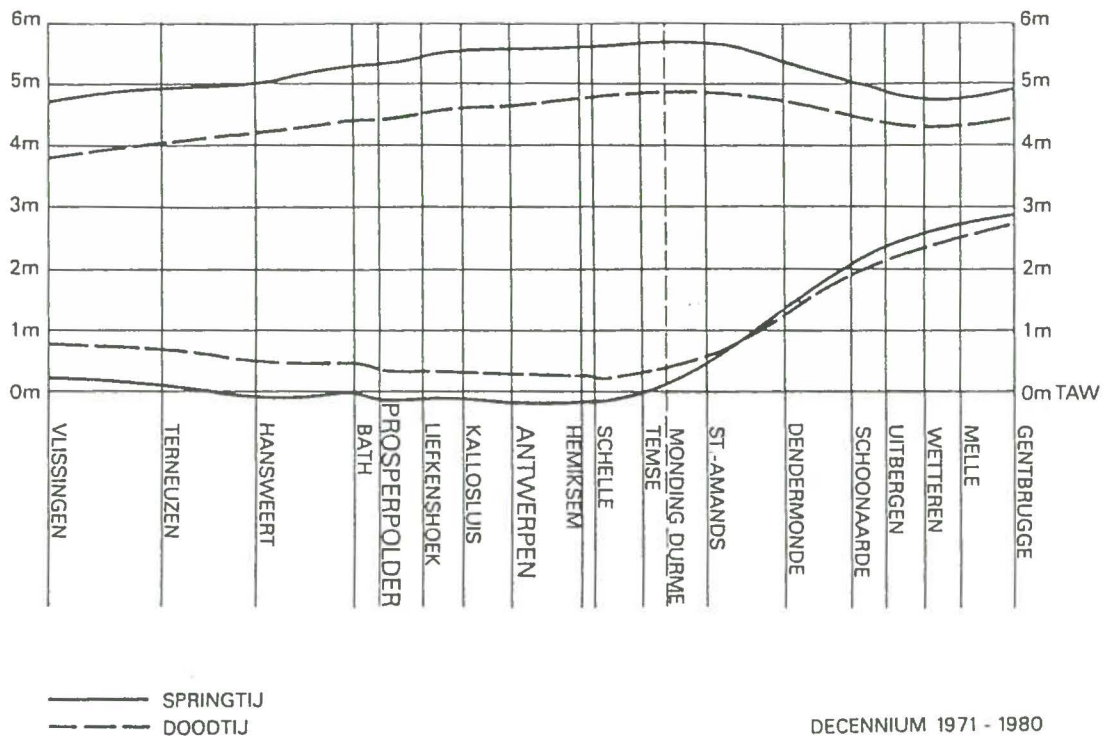
Figuur 1

OVERZICHT DER GECONTROLEERDE OVERSTROMINGSGEBIEDEN

Nr.	Naam	stand	grootte	lengte overlooptdijk	inhoud onder kruin ringdijk
1	Bazel-Kruibeke- Rupelmonde	in studie	500 ha	5600 m	30 Mm ³
2	Tielrodebroek	gebouwd	97 ha	950 m	5,2 Mm ³
3	Potpolder I	gebouwd (*)	84 ha	2200 m	2,6 Mm ³
4	Potpolder IV	gebouwd (*)	90 ha	2200 m	1,3 Mm ³
5	Potpolder V	gebouwd (*)	38 ha	1500 m	0,8 Mm ³
6	Scheldebroek	gebouwd	32 ha	850 m	1,1 Mm ³
7	Paardenweide	gebouwd	86 ha	2800 m	2,5 Mm ³
8	Bergenmeersen	in aanbouw	42 ha	2150 m	1,4 Mm ³
9	Bovenzanden	gebouwd	33 ha	1400 m	1,3 Mm ³
10	Polder van Lier	in herbouw	26 ha	1100 m	1,1 Mm ³

(*) = vroegere Potpolders nu als gecontroleerde overstromingsgebieden in gebruik, en welke in het kader van het Sigmaplan nog zullen herbouwd worden

GEMIDDELD HOOG- EN LAAGWATER BIJ SPRING- EN DOODTIJ OP DE ZEESCHELDE



Figuur 2

De dijk tussen een dergelijk "gecontroleerd overstromingsgebied" en de tijrivier, is een **overloopdijk**. Deze is als een ware **overstroombare dijk** ontworpen en gebouwd. Zij is allereerst en zoals de andere dijken, een hoge hoofdwaterkering langs de rivier, doch vervult die kerende rol niet tot de hoogst verwachte, de maatgevende of de voor de andere (niet overloopdijk zijnde) dijken aangehouden hoogte, maar tot een lagerliggend peil. Voor de onderhavige toepassing van overstroombare dijken in een tijgebied, keren de overloopdijken dus alle tijhoogten (ook deze bij een flink ontwikkeld springtij) doch niet bij stormtij. De bedoeling van de overloopdijken is om bij voorkomen van een stormtij, en slechts dan, tot een aftopping van de zeer hoge hoogwaterstanden te komen. Dergelijke **overloop** van rivierwater gebeurt dan **gedurende een beperkte tijdspanne** (tot bvb. een drietal uren) rond en om het tijdstip van plaatselijk hoogwater.

Omwille van het hoger geschetste landbouwbelang binnen de "gecontroleerde overstromingsgebieden", en terwille van het rendement van de overloop op de verlaging van het hoogwater bij stormtij, hebben de overstromingsdijken alleszins een vrij hoog kruinpeil. Pas bij een hoogwatergolf van stormtij overschrijdt het rivierwater dit kruinpeil, en treedt overloop op. Aldus komt deze overloop dan ook enkel in de winterperiode voor (november t/m maart), waardoor weinig landbouwschade gebeurt. Zo ook zijn de "gecontroleerde overstromingsgebieden" niet met de in tijgebieden veel voorkomende schorren te vergelijken (het hoogtepeil van de schorren is gewoonlijk dat van gemiddeld hoogwater bij springtij), en ook niet met de uiterwaarden langsheen wasrivieren.

Het verlagend effect dat de wateroverloop over een overstromingsdijk heeft op de hoogte van het stormhoogwater, hangt af van het hoogteverschil tussen het waterpeil van plaatselijk hoogwater in de rivier, en het kruinpeil van de overstromingsdijk, alsook van de lengte van deze dijk. Het hoogteverschil tussen waterstand en kruinpeil der overstromingsdijk leidt tot een bepaald debiet per strekkende meter dijk dat water uit de tijrivier onttrokken wordt. Bij dit alles is uiteraard ook de bergingscapaciteit van het overstromingsgebied, d.w.z. haar oppervlakte en de hoogteligging van haar maaiveld, van belang, doch de praktijk wijst uit dat de gekozen overstromingsgebieden omwille van hun capaciteit niet zo breed hoeven te zijn; hun lengte, dus de lengte van de overstromingsdijk, is van wezenlijk belang.

Hoe ernstig de invloed van de "gecontroleerde overstromingsgebieden" bij de uitwerking van het Sigmaplan genomen wordt, moge blijken uit het aantal en de grootte van de reeds gebouwde, de in aanleg zijnde en de geplande overstromingsgebieden. De tabel van figuur 1 geeft zo de oppervlakte van deze gebieden aan, alsmede de lengte van de overstromingsdijk.

Bij grote verlaging van de hoogwatergolf bij stormtijden door de aanleg van "gecontroleerde overstromingsgebieden", kan ook tot een daadwerkelijke verlaging van de waterkerende dijken opwaarts van de overstromingsgebieden besloten worden. Zo leidt de concentratie van de overstromingsgebieden Scheldebreek, Paardenweide en Bergenmeersen (zie de figuur 1), en mede door het verloop van de geometrische plaats van hoogwater (zie de figuur 2), tot het feit dat de opwaarts ervan gelegen dijken langsheen de Zeeschelde tot Gentbrugge, op een halve meter lager liggend peil kunnen aangelegd worden als zonder die drie overstromingsgebieden, en er toch eenzelfde veiligheid van bescherming tegen stormvloeden is. Daardoor kan de dijkverzwaring aldaar langs o.m. verstedelijkte gebieden en watergebonden industrieën, op eenvoudiger en minder versturende wijze gerealiseerd worden.

2. Opzet

Een overstromingsdijk dient, behalve aan de eisen van stabiliteit, sterkte en stijfheid zoals alle andere dijken, ook nog te weerstaan aan de zeer bijzondere belasting van het gedurende enkele uren overlopen van rivierwater. Daarbij kan het waterpeil in de rivier tot ruim 1 meter hoger komen dan het kruinpeil van de overstromingsdijk. Bij veel groter hoogteverschil zijn dergelijke dijken nog moeilijk als overstroombare dijken te beschouwen, en moeten zij eerder als dammen of als overlagen in steen of beton aanzien worden. In het huidig artikel handelt het om overstromingsdijken, d.w.z. grondlichamen welke door profiel en bekleding overstroombare dijken geworden zijn.

Allereerst rijst de vraag tot welk overloopvolume overstromingsdijken aanleiding geven. Zij q (in $m^3/s.m$) het debiet dat per meter kruin over de overstromingsdijk stort, en h (in m) de waterhoogte in de tijrivier. Over het riviervlud van een overstromingsdijk is de snelheidscomponente van de wet van Bernoulli: $(nl. \sqrt{v^2/2g})$ verwaarloosbaar, zodat de reële waterhoogte h kan gelijkgesteld worden aan de energiehoogte H .

Het maximum overloopdebiet over de overstromingsdijk wordt bereikt als de waterhoogte van het overlopend water over de dijkkruin t.h.v. de knik van dijkkruin naar landtalud, gelijk is aan de kritische hoogte, zoals gekend bij overlaten. Alsdan is dat debiet:

$$q = v \cdot h = v_{cr} \cdot h_{cr} = \sqrt{g \cdot h_{cr}} \cdot h_{cr} = \sqrt{g} \cdot h_{cr}^{3/2}$$

Overgang van h_{cr} naar de energiehoogte H bij kritische overlaat, leidt tot:

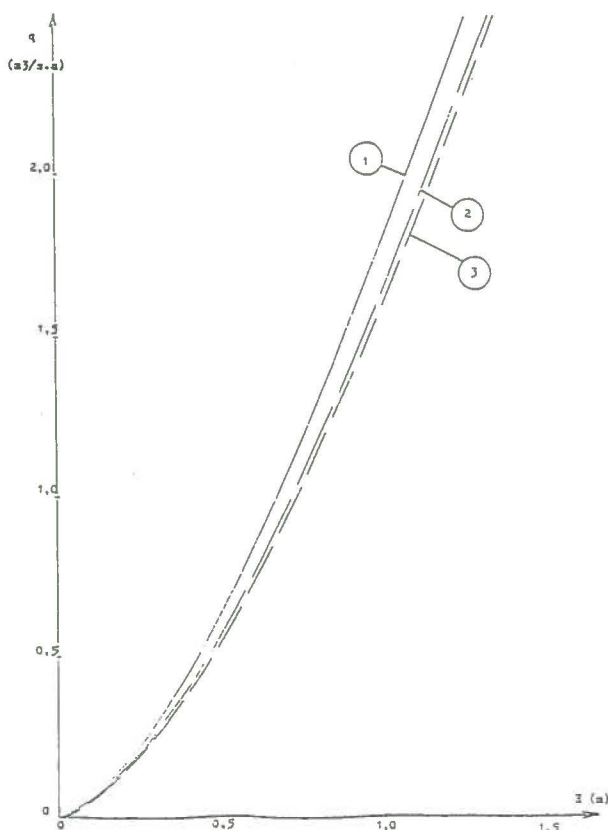
$$q = \sqrt{g} \cdot \left(\frac{2}{3} H\right)^{3/2} = 1,705 \cdot H^{3/2}$$

In werkelijkheid is de waterhoogte bij de knik van dijkkruin naar landtalud, kleiner dan de kritische hoogte. Het debiet is dan ook kleiner, maar kan niet theoretisch bepaald worden, dan mits inrekening van een uitproeven af te leiden weerstandscoefficiënt. Algemeen kan het debiet voorgesteld worden door:

$$q = m \cdot H^{3/2}$$

waarbij m een overloopfactor is, welke rekening houdt met beide zojuist vernoemde elementen (kritische hoogte, wrijving). Tevens wordt aangenomen dat de rivier een ten overstaan van dit debiet oneindig reservoir is, zodat het overlopend debiet ook niet kleiner wordt omdat de rivier boven het kruinpeil van de overstromingsdijk onvoldoende eigendebiet heeft. Hieromtrent kan uitsluitel verkregen worden door mathematische modellen (zie hierover blz. 8 en 9).

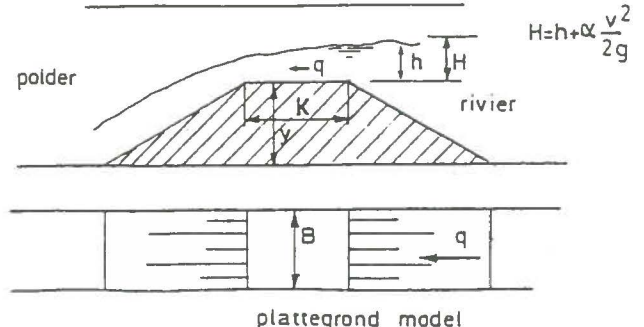
Figuur 3



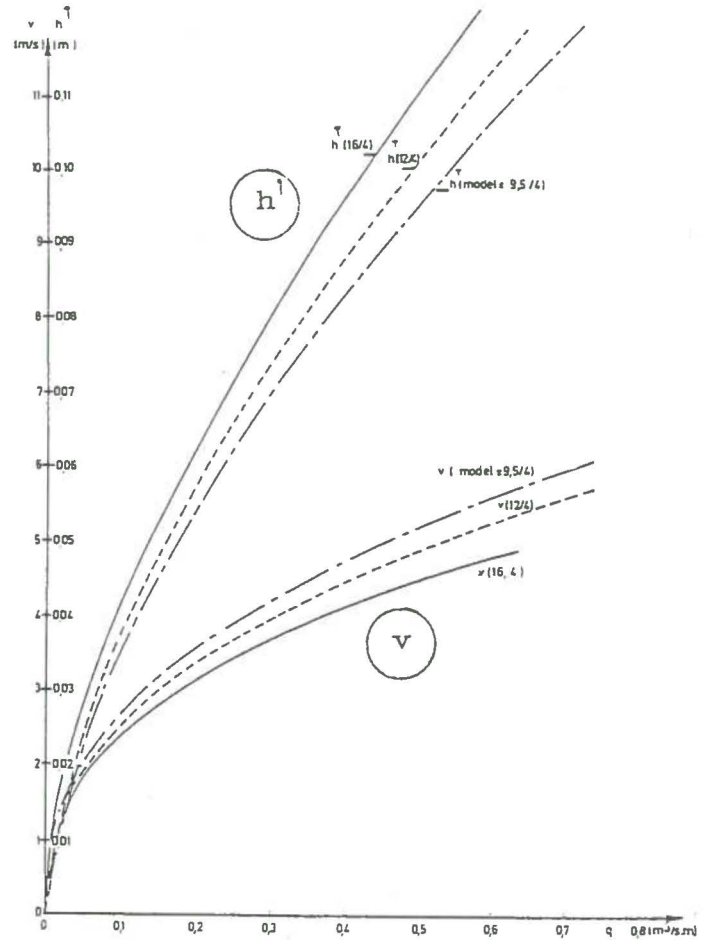
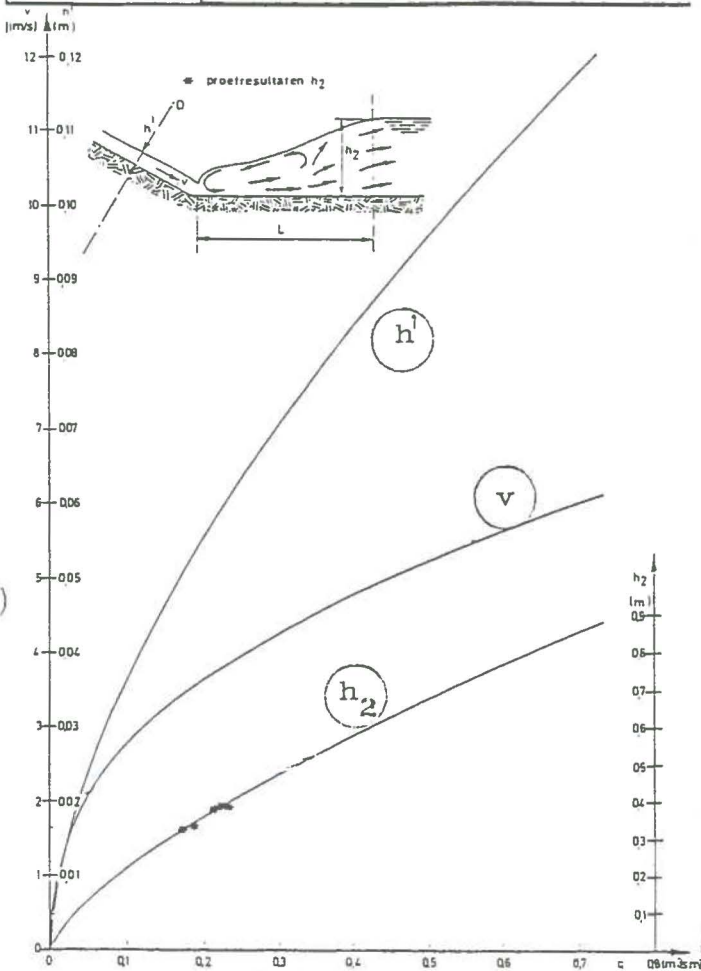
legende: $q = \text{functie } H$

- | | | |
|---|---------------------|---------------------------------------|
| ① | $q = 1,705 H^{3/2}$ | (theoretisch geen wrijvingsverliezen) |
| ② | $q = 1,576 H^{3/2}$ | (proefresultaat) |
| ③ | $q = 1,540 H^{3/2}$ | (proefresultaat) |

MODELPROEFOMSTANDIGHEDEN



	MOD.395-1 OVERSTROOMBARE DIJKEN PROEVEN OP MODEL LESSE
	TOESTAND T1 MODEL - BINNENBELOOP MET KUNSTGRASAPIJT STROMINGSKARAKTERISTIEKEN



Figuur 4

Bij uitgevoerde laboratoriumproeven, waarbij de bekleding op de overstromingsdijk uit kunstgras bestond, bleek dat deze overloopfactor m bij het merendeel der gevallen lag tussen 1,54 en 1,58.

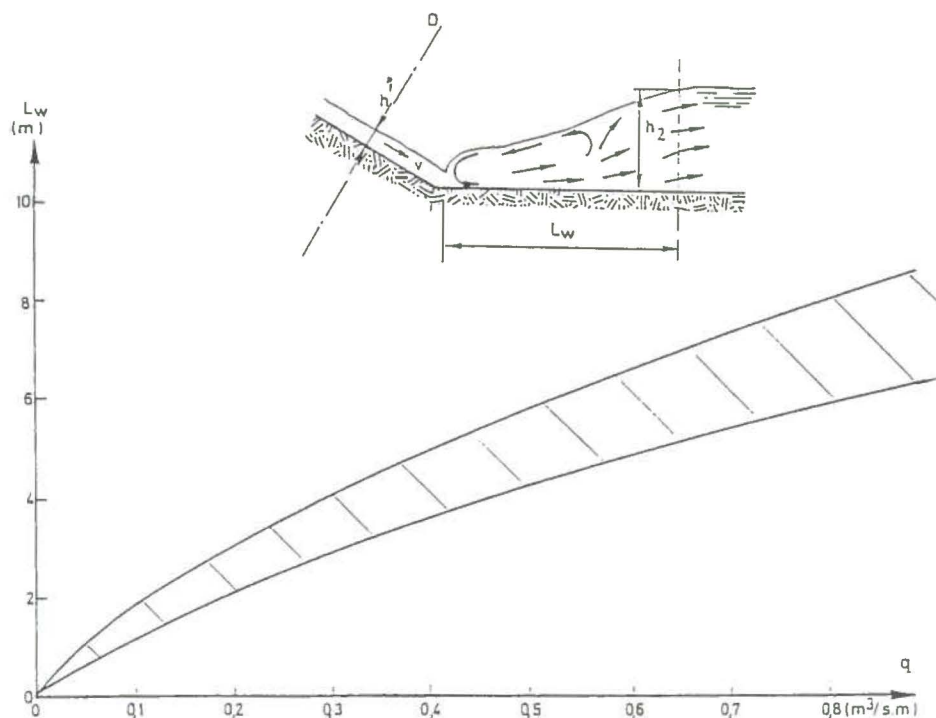
Zowel via berekeningen (doch waarbij steeds het nadeel van de aan te nemen ruwheidscoëfficiënten) als via modelproeven, werd nagegaan welke de watersnelheid en de dikte van de over het landtalud stromende waterlaag is. Tevens werd de watersprong bepaald, o.m. de minimum waterdiepte h_2 welke er aan de voet van de overstromingsdijk moet aanwezig zijn om de watersprong te stabiliseren. Het proefmodel was opgebouwd met een taludhelling van 9,5/4, zodat er omzettingen benodigd zijn naar de gebruikelijke hellingen van 12/4 en 16/4.

De figuur 4 toont aan de linkerzijde de voornaamste proefresultaten bij een model met helling landtalud 9,5/4. De rechterzijde toont de omzetting van de snelheids- en dikte-waarden bij een helling van 12/4 en 16/4. Het geheel van deze variabelen is er telkens als functie van het over de overstromingsdijk stromende debiet q gegeven, welke vooreerst aan de hand van figuur 3 kan bepaald worden vertrekkend van de energiehoogte H , welke dus aan de reële waterhoogte h wordt gelijkgesteld, gezien de verwaarlozing van de snelheids-componente. De rechterzijde van figuur 4 toont ook de watersnelheid over het landtalud toeneemt bij steilere helling, en de dikte van de waterlaag overeenkomstig afneemt.

Om de gedachten te vestigen kan aldus bepaald worden welke de watersnelheid en de dikte van de over het landtalud stromende waterlaag zijn bij een overlooppdijk met helling landtalud $16/4$ en bij een waterstand van de rivier op $0,5$ m hoger dan het kruinpeil van de overstromingsdijk. Het debiet bedraagt alsdan $0,53$ $m^3/s.m$, zodat de watersnelheid op het landtalud $4,5$ m/s is, en de dikte van de waterlaag op dat landtalud 11 à 12 cm. Bij een flinke toename van het overloopdebiet, zal de watersnelheid op het landtalud relatief matig toenemen, terwijl de dikte van de waterlaag relatief flink zal vergroten. Aldus bedragen de watersnelheid en de dikte der waterlaag op het landtalud bij een waterstand welke 1 meter hoger ligt dan het kruinpeil van de overstromingsdijk, en bij eenzelfde taludhelling $16/4$, wanneer er een overloopdebiet van $1,54$ $m^3/s.m$ is, resp. 7 m/s en 22 cm.

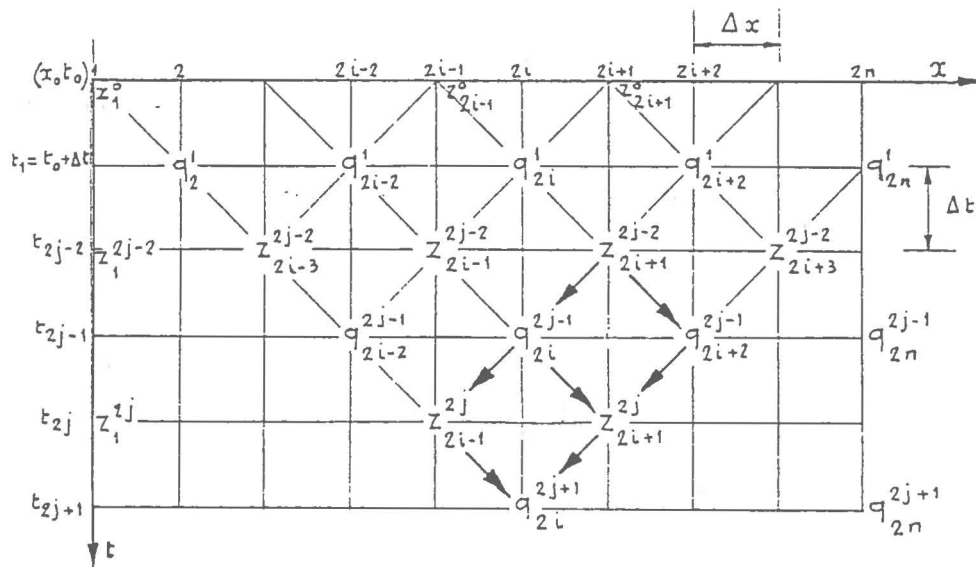
Zoals de figuur 5 toont, werd ook de aan de voet van de overstromingsdijk optredende watersprong bepaald. Bij het eerste bovenvermelde voorbeeld, als $H = 0,5$ m dus $q = 0,53$ $m^3/s.m$, bedraagt de lengte van de watersprong 4 à $5,50$ m. Bij het tweede voorbeeld, als $H = 1$ m dus $q = 1,54$ $m^3/s.m$, is de lengte der watersprong begrepen tussen 9 en 13 meter.

Figuur 5



Van al deze hydraulische gegevens van een in werking getreden overstromingsdijk, is alleen de relatie q/H (overloopdebiet in functie van de waterhoogte in de rivier boven het kruinpeil der overstromingsdijk (dus $h = H$)) benodigd om het effect van de overloop op het verloop van de hoogwatergolf bij stormtij te evalueren. De andere hydraulische gegevens zijn van nut bij het uitwerken van een ontwerp van overstroombare dijk, hetgeen nog later aan bod komt.

Algemeen baseren de normaliter ééndimensionale getijdeberekeningen zich nu op het iteratief met computer bepalen van q (gemiddeld debiet over de sectie) en z (waterpeil in de sectie) in functie van de tijd t en van de lengte-as x van de tijrivier. Daarbij wordt de methode der invloedslijnen aangewend om, uitgaande van de dynamische en van de continuïteitsvergelijking van de waterbeweging, met een berekeningscyclus met tijdstap Δt , om beurten $q(i,j)$ en $z(i,j)$ in de opeenvolgende tijdstippen $t(j)$ en voor de naastgelegen plaatsen $x(i)$ te berekenen. Het valt buiten het kader van deze verhandeling om nader op de wiskundige methode in te gaan, tenzij aan te duiden hoe de inbreng van "gecontroleerde overstromingsgebieden" geschiedt. Daartoe weze herinnerd dat de methode der invloedslijnen ertoe leidt dat het mathematisch model om beurten q en z bepaalt op resp. de onpare en pare tijdstippen, en bovendien z in de oneven stappen van de absis x der lengte-as, en q in de even stappen. Dit kan in het (x,t) -vlak als volgt voorgesteld worden:



figuur 6

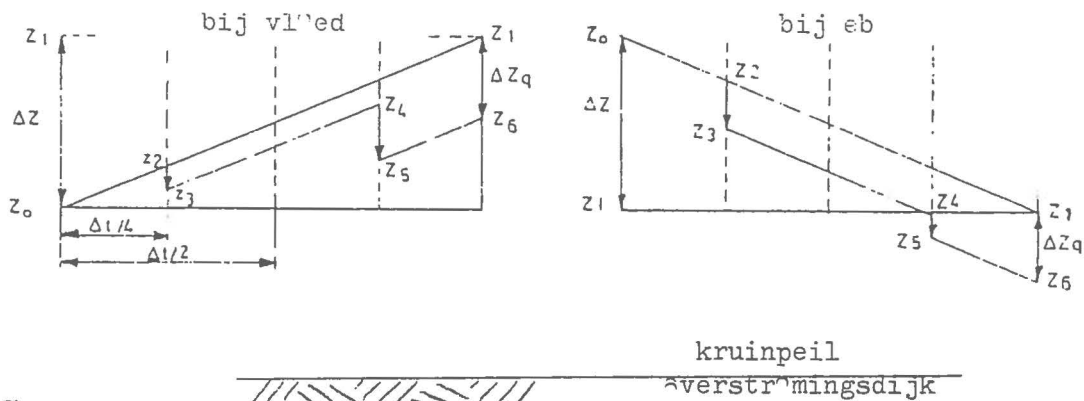
Vooreerst weze gesteld dat elk "gecontroleerd overstromingsgebied" in één enkel knooppunt $z(i,j)$ wordt geplaatst. Tussen twee opeenvolgende z -knooppunten is er een afstand $2 \cdot \Delta x$. Bij gebruikelijke tussenafstanden $\Delta x = 1$ à 2 km, is die afstand tussen twee opeenvolgende z -knooppunten dus 2 à 4 km. Alleen bij overstromingsgebieden met overlooptijd langer dan 2 à 4 km, zou het in één enkel knooppunt plaatsen van elk overstromingsgebied, een beperkte fout kunnen teweegbrengen.

Een overstromingsgebied toegepast in een bepaald knooppunt z veroorzaakt aldus een daling van het waterpeil $z(i,j)$ gelijk aan:

$$\Delta z = \frac{Q}{B} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

waarbij Q het overloopdebiet en B de kombergingsbreedte zijn.

Gedurende die tijdstap Δt tussen t en $t + \Delta t$, stijgt of daalt het waterpeil in de tijrivier (alnaargelang vloed of eb), zodat het zijdelings debiet Q naar het "gecontroleerd overstromingsgebied" dat met de eindwaarde $t + \Delta t$ berekend wordt, resp. over- en onderschat is. Om dit euvel te verhelpen wordt veronderstelt dat er in de beschouwde knooppunten gedurende de tijd tussen twee z -berekeningen, een lineair verloop is van de variatie van het waterpeil in de tijrivier. Elke tijdstap Δt wordt dan in twee delen gesplitst, waarbij de eerste halve tijdstap dient om na te gaan of het waterpeil nog hoger is dan het kruinpeil van de overstromingsdijk, en vervolgens het overeenkomstige zijdelings debiet Q gedurende een tijdstap $\Delta t/2$ berekent.



figuur 7

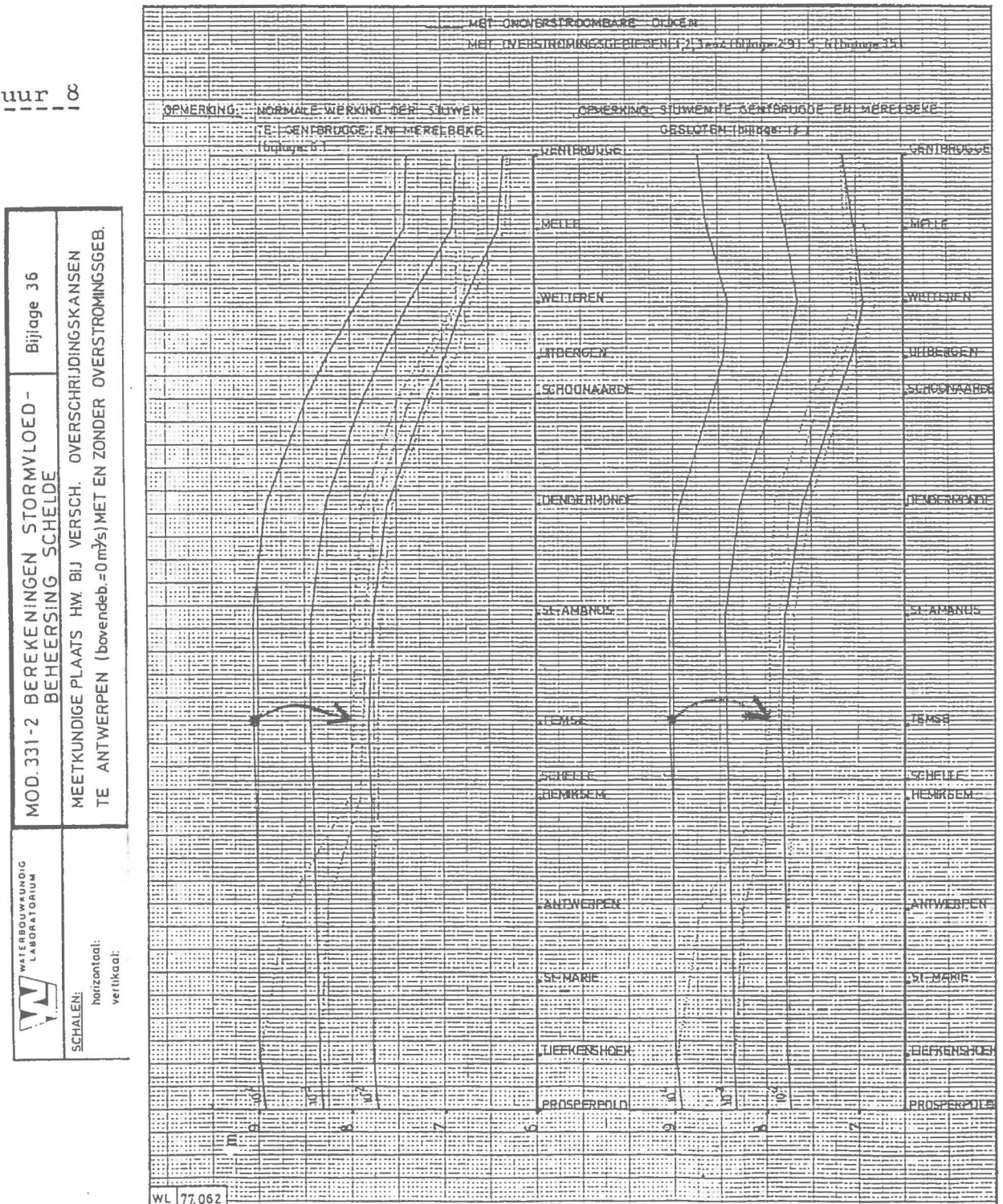
Het inbrengen van het zijdelings overloopdebiet in het mathematisch model gebeurt dan als volgt:

- z_2 wordt bepaald als $z_2 = z_0 + \Delta z/4$
(Δz is positief als waterpeil stijgt, en negatief als waterpeil daalt)
- het zijdelings debiet Q_{z_2} in knooppunt z_2 wordt berekend
(aan de hand van figuur 3)
- dit geeft de verandering van het waterpeil Δz aan, hetgeen leidt tot z_3
- vervolgens wordt $z_4 = z_3 + \Delta z/2$ bepaald en wordt weerom het zijdelings debiet Q_{z_4} (tenzij z_4 lager dan kruinpeil overstromingsdijk is) en de overeenkomstige Δz bepaald, wat leidt tot z_5 om te besluiten met $z_6 = z_5 + \Delta z/4$.

Het mathematisch model wordt verder nog aangevuld met nadere regels als het waterpeil in het overstromingsgebied het kruinpeil van de overlooptdijk, en eventueel later zelfs het rivierpeil bereikt, alsmede als bij dalende waterpeilen in de rivier na passage van de hoogwatergolf, via de uitwateringssluizen welke in de overlooptdijk zijn gelegen, het in het overstromingsgebied overgelopen water terug naar de rivier kan stromen.

De figuur 8 toont een voorbeeld van berekeningsresultaat voor de Zeeschelde, bij inrekening van een zestal gecontroleerde overstromingsgebieden (welke niet alle voor aanleg weerhouden werden) en bij een nul-bovendebiet te Gent. Aldaar zijn dan twee mogelijkheden aangegeven, nl. of de stuwen gaan omhoog zodat de tijgolf verder landinwaarts dringt, of de stuwen blijven gesloten en keren de tijgolf geheel. Indien een bovendebiet ingebracht wordt, leidt dit tot een verhoging der meetkundige plaats van hoogwater. De figuur toont telkens drie hoogwatergolven, bij kans van optreden resp. 10^{-2} , 10^{-3} en 10^{-4} keer per jaar te Antwerpen. De volle lijnen geven de meetkundige plaats van deze hoogwatergolven zonder invloed van overstromingsgebieden, terwijl de puntlijnen de meetkundige plaatsen aanduiden bij invloed van de zes in rekening gebrachte gecontroleerde overstromingsgebieden. Te vermelden is dat van deze zes er vier grote werden gesitueerd nabij Hemiksem, vandaar de zeer grote indeuking van de hoogwatergolf aldaar.

figuur 8



W WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM	Bijlage 36
MOD. 331-2 BEREKENINGEN STORMVLOED - BEHEERSING SCHELDE	
MEETKUNDIGE PLAATS HW BIJ VERSCH. OVERSCHRIJDINGSKANSEN TE ANTWERPEN (bovendeb. = 0 m ² /s) MET EN ZONDER OVERSTROMINGSgeb.	
SCHALEN: horizontaal: vertikaal:	

Teneinde het optimum aanwenden van de verschillende weerhoudbare "gecontroleerde overstromingsgebieden" in het Belgische Zeescheldebekken te kunnen bepalen, werden er velerlei berekeningen met het vrij uitgebreid en gedetailleerd ééndimensionaal mathematisch model uitgevoerd. Daarbij werden allerlei combinaties van stormtijden (in het model ingevoerd ter hoogte van de Belgisch/Nederlandse grens, dus Prosperpolder) en van bovendebieten (ingevoerd aan de zes uiteinden van het tijbekken: Zeeschelde, Durme, Kleine en Grote Nete, Dijle, Zenne) gebruikt. Tevens werden er deelstudies uitgevoerd, bvb. voor het Nete-bekken alleen, om aldaar het relatief belangrijk aandeel van langdurige grote bovendebieten beter te kunnen nagaan. Primordiaal bleef evenwel en uiteraard de hoogte van de in rekening gebrachte stormtijden. Het mathematisch model werd via eenvormige zgd "synthetische tijden" (ongeveer gelijk aan gemiddelde springtijden) tot leven gebracht, waarna via een drietrapsstij (drie opeenvolgende steeds hoger wordende stormtijden) tot het uiteindelijke bepalende stormtij werd gerekend. Tijdens elke aldus gedane berekening werd telkens het bovendebiet waarmede per geval weze haar invloed nagegaan, constant gehouden.

Voor een zo groot mogelijk effect van het indeuken van de stormhoogwatergolf door een gecontroleerd overstromingsgebied, weze het kruinpeil van de overlooptijd zo laag mogelijk. Hieraan zijn evenwel twee strenge beperkingen:

- de overlooptijd mag nooit functioneren dan in de daartoe geëigende periode (november t/m maart, eventueel nog met oktober en met de eerste helft van april uitgebreid), en dit omwille van het landbouwbelang van het overstromingsgebied. Daaruit volgt dat het kruinpeil van de overlooptijd alleszins hoger ligt dan de hoogste hoogwaterstand ooit in de andere jaarperiode werd waargenomen.
- omwille van het rendement dient voorkomen te worden dat het waterpeil in het overstromingsgebied bij overlopen vanuit de rivier, het peil van deze rivier gaat benaderen. Alsdan zal het overlopend debiet immers fel verkleinen, en zal er nog slechts weinig bijkomend indeukend effect uit resulteren.

Bovendien zijn er praktische schikkingen na te leven. Hoe groot en vertakt het Belgische Zeescheldebekken ook mag zijn, er blijft de primordiale stelregel dat alle dijken, ook de overstromingsdijken, er op uniforme wijze worden uitgevoerd. Dit heeft te maken met het basisopzet van het Regeringsbesluit over het Sigmoplan, met het bestaan van slechts één instantie die tegelijkertijd als toezichter, beheerder, betaler, ontwerper, uitvoerder (samen met de aannemer), onderhouder en vergunninggever optreedt, nl. het Ministerie van Openbare Werken, Bestuur der Waterwegen, Dienst der Zeeschelde te Antwerpen, onder het gezag van het Hoofdbestuur van dat Bestuur der Waterwegen.

Aldus kan begrepen worden dat de kruinpeilen van nochtens verschillende gecontroleerde overstromingsgebieden in eenzelfde (grote) regio van het Zeescheldebekken, alle dezelfde zijn: Tielrodebroek, Potpolders I, IV en V, en Bovenzanden op T.A.W. (+ 6,80 m); Scheldebekken, Paardenweide en Bergenmeersen op T.A.W. (+ 6,40 m). Ook de overige elementen van de desbetreffende dwarsprofielen zullen dezelfde zijn.

3. Uitwerking

Algemeen kan de geometrie van de in het Belgische Zeescheldebekken in het kader van het Sigmaplan aangelegde en geplande overstromingsdijken, als volgt worden aangeduid:

- riviertalud

onder een helling van $12/4$, zoals bij de niet-overstroombare dijken. Uit oogpunt van de overstroombaarheid van een dijk hoeft een voor de andere dijken goede helling van het riviertalud geenszins verflauwd te worden. Na stormtij treden er in het overstromingsgebied weliswaar hogere waterstanden op dan in de rivier, doch dit stelt geen bijkomende problemen. In het Belgische Zeescheldebekken worden er bij de overstromingsdijken inderdaad slechts kleine grondwaterstromingen doorheen die dijken vastgesteld. Uiteraard heeft dit met de gesteldheid van de grond en de ondergrond te maken, waarbij weze bedacht dat de overstromingsgebieden worden aangelegd in echte polder-situaties, dus: grond en ondergrond in klei, zonder ondiep liggende zand- of veenlagen. De bekleding van het riviertalud bestaat dan ook zoals elders uit een bovenbekleding van ruwe breukstenen (2 à 5 kg stukmassa; laagdikte 40 cm à 50 cm), op een onderbekleding van klei (laagdikte 60 cm) zo niet meteen op een kleikern van de oude dijk wordt bestort.

- kruinbreedte

van 5, 6 of 7 meter, waarop een rijweg in koolwaterstofverharding (tweelaags; totale dikte 9 cm) ligt met een breedte 3 of 3,50 m; deze rijweg ligt middenin de kruinbreedte, of iets meer naar rivierzijde uit dat midden verschoven. Door deze rijweg wordt bekomen dat de dijk kruin waterdicht bekleed is, dat er verkeer komt dat ontlichting bovenaan de dijk voorkomt, er beheer en onderhoud goed kunnen verzekerd worden, en het dijkprofiel zo weinig mogelijk wrijving voor overlopend water geeft.

- landtalud

onder een helling van $12/4$ of liefst $16/4$. Daarbij weze vermeld dat de stabiliteit van de dijken in het Belgische Zeescheldebekken aldus steeds met een grote veiligheid verzekerd is, behoudens locale uitzonderingen (nl. bij hoog achterliggend maaiveld met grote grondwaterstromingen, doch dan kunnen geen overstromingsgebieden worden aangelegd, daar deze uiteraard om lage maaiveldpeilen van de aangrenzende gebieden vragen), en mits een goede bekleding van het landtalud, ter beperking van bijkomende grondwaterstromen in de dijk zelf bij overloop. Hierover wordt later nog ingegaan.

- een dijkberm naast het landtalud, met breedte 1 à 4 meter, en dat maar iets hoger gelegen is dan het aangrenzende maaiveld. Kwel vormt in het Belgische Zeescheldebekken slechts bij enkele dijkvakken een probleem. De bij overloop optredende watersprong aan de hiel van de overstromingsdijk, veroorzaakt weinig erosie gelet op de klei-gesteldheid van de aangrenzende gronden binnen het overstromingsgebied.

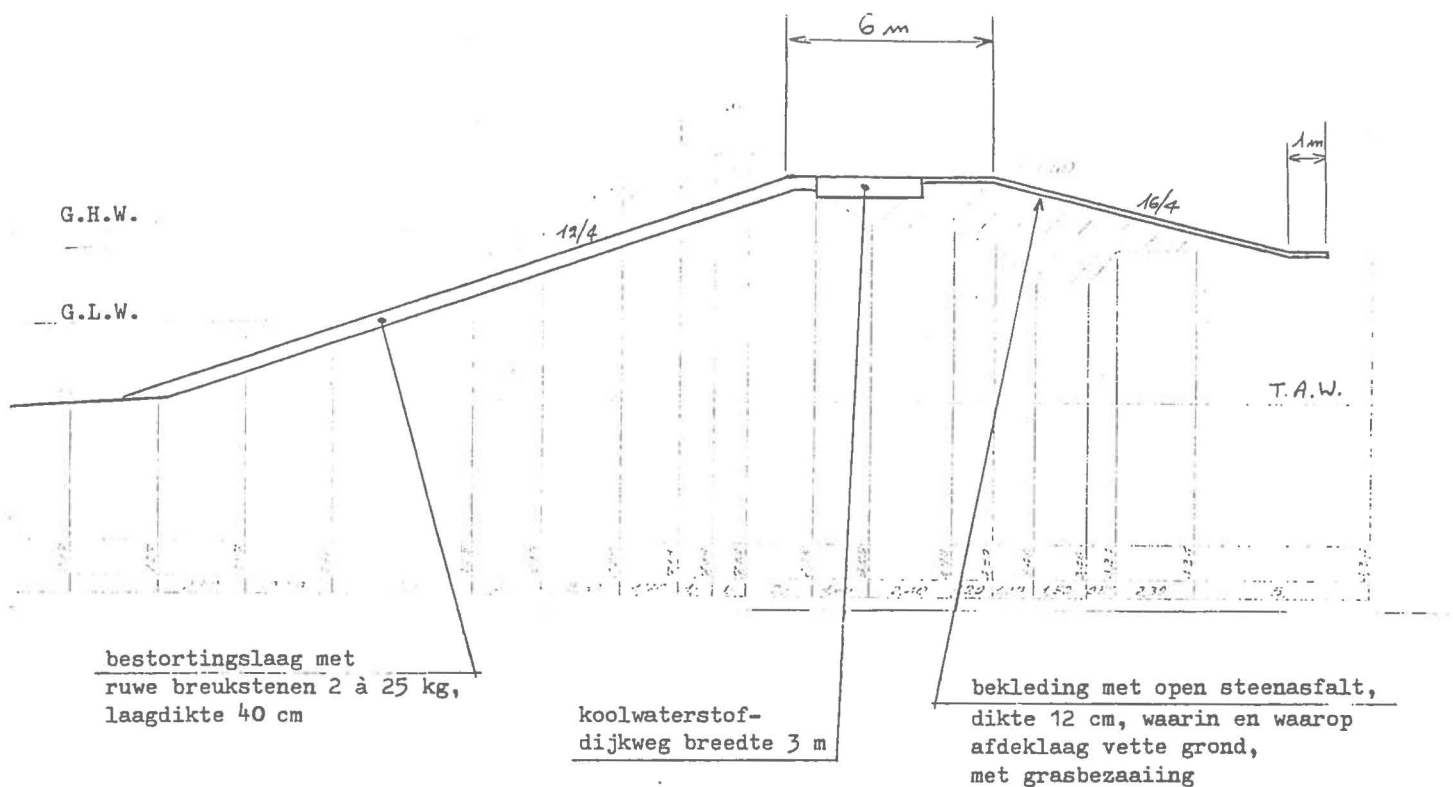
- geen langsgracht langsheen de overlooptdijk, dan mits doortrekken van de bekleding van het landtalud over de tussenberm en de grachtranden (oevers en bodem). De oevers van dergelijke langsgracht verzadigen bij overloop dermate, dat de stabiliteit van deze oevers in het gedrang zou komen, en bij calamiteit zelfs deze van de overlooptdijk zelf. Het met stijve elementen

(bvb. betonnen gracht-elementen) versterken van de gracht schaadt, gelet op ontgrondingen van de grondoever achter zulke elementen. Weliswaar werd er bij enkele overstromingsgebieden (bvb. Tielrodebroek) een langsgracht naast de hiel van de overlooptdijk aangelegd (en dit op 4 à 7 meter naast die hiel), doch dit leidt tot onderhoud en bijwerken na elke winterperiode met overloop. Bij elke overloop wordt tevens de dwingende voorzorg genomen om de langsgracht vóór aanvang van de overloop, reeds volledig onder water te zetten (inlaat via de in de hoofddijk aanwezige uitwateringssluizen bij vloed vóór overloop).

- een kruinpeil dat (maar slechts weinig) variëert alnaargelang de ligging van het overstromingsgebied in het Zeescheldebekken (meer bepaald alnaargelang de meetkundige plaats van de hoogwatergolf bij stormtij) en in functie van de frequentie van en de nood aan overstromen. Daarbij wordt een uniformisering van de kruinpeilen per regio in het Zeescheldebekken aangehouden, zie onderaan pagina 11. Zo zijn de kruinpeilen van overstromingsdijken op T.A.W. (+ 6,80 m) gelegen in regio's alwaar het gemiddeld hoogwater bij springtij het peil (+ 5,60) à (+ 5,80) bereikt, en de kruinen van de niet-overstromingsdijken op het peil (+ 8,00) à (+ 8,20) liggen.
- zowel in langs- als in dwarszin dienen alle onregelmatigheden in de omhullende van de overstromingsdijk strikt te worden geweerd, om discontinuïteiten van het overlopend water te vermijden. Aldus worden er geen bruske veranderingen in het kruinpeil uitgevoerd; de overgang tussen een lage overstromingsdijk en diens hoge geburige niet-overlooptdijk, verloopt flauw: met een langshelling tussen 2 en 4 %. Het dwarsprofiel van een overstromingsdijk wordt dus ook ongewijzigd over de ganse lengte van de dijk aangehouden. Wel moeten soms opritten vanuit het overstromingsgebied naar de op de overlooptdijk liggende dijkweg aangelegd worden; deze wordt dan ook in het landtalud verwerkt, en geheel in een dikke koolwaterstofverharding (dikte 9 cm) aangelegd, met voegvulling door middel van warme koolteer tussen de normale bekleding (in open steenasfalt, zie verder) op het landtalud van de overlooptdijk, en de asfalt van de opritten. Dat landtalud wordt dus ook in één continu vlak aangelegd, zonder bvb. een tussenberm of andere uitstulpingen (ook geen stromingsremmende elementen).
- in de overlooptdijk komen wel uitwateringssluizen voor. De terugstroming van het overgelopen water vanuit het overstromingsgebied naar de rivier, gebeurt inderdaad gravitair via klassieke sluizen. Deze worden als gewapend betonconstructies gebouwd, en welke rondom geheel in een metalen damwandscherm gevat zijn. Bij vroegere overstromingsdijken werden deze uitwateringssluizen op de uiteinden van de overstromingsdijk voorzien, derwijze dat de dijk aldaar op normaal hoog peil (dus niet overstroombaar) lag, of: ter plaatse van een uitwateringssluis werd de lage overstromingsdijk over de benodigde lengte (totaal 80 à 100 m) verhoogd zodat aan de sluis geen overloop kan plaatsvinden. Dit vermindert de beschikbare lengte van de overlooptdijk. Daarom worden de sluizen sinds enkele jaren ook gewoon over de lengte van de overstromingsdijk verdeeld, alnaargelang de ligging van de afvoerende waterlopen in het overstromingsgebied. Daarbij moet geen locale verhoging van de dijk meer voorzien worden. Aan de hiel van de overstromingsdijk wordt dan wel een zware en waterdichte aansluiting tussen de bekleding van het landtalud en

het bovenhoofd van de uitwateringssluis aangelegd. Rondom dit bovenhoofd wordt een massa-opvulling van de hiel van het landtalud over een drietal meter op- en afwaarts het bovenhoofd uitgevoerd met gestabiliseerd zand (300 kg cement per m³ zand), en de bekleding van het landtalud sluit volledig aan en om het bovenhoofd aan; tenslotte worden alle voegen met warme koolteer gedicht en overgoten.

Conform de reeds hoger aangegeven uniformiteitsstelregel wordt het dwarsprofiel van de overstromingsdijk in het kader van het Sigmaplan, op dat van de niet-overstroombare dijken geënt. De bekleding en de helling van het riviertalud, alsmede van de kruin (buiten de kruinberm tussen dijkweg en landtalud) worden er ongewijzigd van overgenomen. De dijk kern zelf wordt wel extra verdicht, hetgeen ook geschiedt met de dijkverbreding (welke in de regel aan landzijde wordt uitgevoerd, en die de oude smalle dijk tot een brede Sigma-dijk maakt): na elke laagsgewijze aanvulling met grondspecie voor de dijk kern, wordt bvb. een verdichting door walsing met een schapenwals, getrokken door een bull, uitgevoerd. T.o.v. een niet-overlooptdijk valt de wél-overstromingsdijk meteen op door een landtalud onder flauwere helling (12/4 doch liefst 16/4), en met een andere bekleding van dat landtalud, hetgeen tot tegen de dijkweg op de kruin wordt doorgetrokken en ook op de landberm komt. De figuur 9 toont een type-dwarsprofiel van de overstromingsdijk welke momenteel bij de aanleg van het "gecontroleerde overstromingsgebied" Bergenmeersen wordt uitgevoerd.



Het is uit lezing van de stromingskarakteristieken van het overlopend water duidelijk dat een gewone grasmat (grasbezaaiing op afdeklaag van vette grond) onvoldoende is om een overstromingsdijk geschikt te bekleden. Bij watersnelheden van 4 m/s kan een zeer goed aangelegde en zeer goed onderhouden grasmat geen twee uren weerstand bieden; bij een watersnelheid van 5 m/s is dit nog geen uur; bij een watersnelheid van 6 m/s geen tien minuten. Hierbij is dan nog ondersteld dat de onderliggende kleilaag dicht en cohesief is.

Bij dergelijke toch flink weerstandbiedende grasmatten moet de klemtoon dermate op goed aangelegd en goed onderhouden worden gelegd, en mag van de eis aan de kleigrond zo weinig afbreuk worden gedaan, dat er in de praktijk zelden aan deze voorwaarden kan voldaan worden, reeds niet vlak na de bouw van dergelijke bekleding, en zeker niet na verloop van tijd.

Vooreerst is er de beschikbaarheid van goede zware klei. Na ontgraven op de winplaats, vervoer naar de plaats der overstromingsdijk, en uitleggen der bekleding, vergaat de monolytische structuur, ondank verdichting na uitleggen, in een kluit- of laagstructuur. Klei is ook erg onderhevig aan de seizoenen, zowel rechtstreeks aan neerslag/droogte en aan warmte/koude, als onrechtstreeks aan het leven van de grasmat. Op termijn leidt dit ertoe dat de kleilaag niet meer gans dicht is, doch scheurtjes, scheuren, kluiten enz. kent. De erop aangelegde grasmat zal na aanvankelijk een pelouse-mat te zijn geweest (overal een uniform en dicht bestand aan identieke grassprietten) tot een graskluitenstructuur verworden: er treedt vorming van afzonderlijke grasplanten op, een een raster met tussenafstanden 10 à 20 cm, elke plant een oppervlak van 1 à 3 dm² benuttend, doch waarbij tussen die bedekkingsoppervlakken grondkringen aanwezig zijn, die dus niet door gras beschermd zijn. Het onderhoud van het grasbestand (door maaien of door beweiding met schapen) leidt tot voren en gangen. Het opschieten van kruid en onkruid leidt tot verstoringen (nl. turbulentie-vormers voor overlopend water; aanleiding tot erosie kleilaag door verkruimeling en ontlichting kleilaag). Tenslotte passeren ook mens en dier aan deze dijken, waarbij hun vandalisme schade aan de vlakheid, de dichtheid en in het algemeen de structuur van de kleilaag veroorzaakt, en de begroeiing van het grasbestand verstoort.

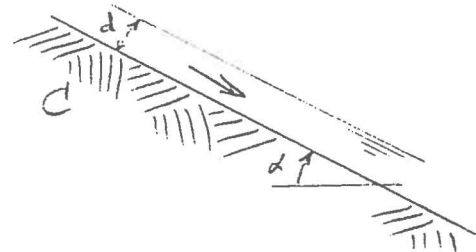
De bekleding van het landtalud van een overstromingsdijk (alsmede van de berm tussen de dijkweg op de kruin en dat landtalud, alsmede van de landberm aan de hiel van de dijk) moet aan verschillende vereisten voldoen:

- elasticiteit (wegens vormveranderingen dijkprofiel door zettingen)
- naadloosheid (tegen erosie en onderstroming)
- relatieve effenheid (beperking wrijving tegen overlopend water, voorkoming bijkomende turbulentie)
- relatieve waterdichtheid (tegen onderstroming en opheffing van lagergelegen bekledingsdelen) alhoewel grondwaterstroom in de dijk voldoende moet kunnen uitwateren
- sterkte (tegen erosiekracht) (tegen afschuiven bekleding)
- duurzaam (tegen invloeden van temperatuur, UV, vandalisme, enz.)

De vraag in hoeverre de bekleding van het landtalud van een overstromingsdijk waterdicht dan wel waterdoorlatend zou behoeven, bleek daarbij het moeilijkst te beantwoorden. Twee tegengestelde ideeën kunnen opkomen:

- zo het landtalud waterdicht bekleed wordt, en er dus van het overlopend water geen penetratie in de dijk kan optreden, zal het overlopend water geen afschuiving van dat talud (en van de voldoende sterk onderstelde bekleding) veroorzaken, ongeacht de dikte van de laag overlopend water;
- zo het landtalud niet waterdicht bekleed wordt, treedt geen afschuiving op zolang de waterloop geschiedt bij een laagdikte kleiner dan een kritieke dikte, doch schuift wel af bij grotere laagdiktes; deze kritieke dikte hangt af van de cohesie van de bekleding en van de helling van het landtalud; de bekleding weze daarbij voldoende dik te worden ondersteld, of zonder enige bedreiging van afschuiven op de onderliggende dijk kern. Die kritieke dikte is:

$$d_k = \frac{c}{\gamma_w \cdot \sin \alpha}$$



γ_w = s.g. grondwater dijk

De eerste idee steunt op een waterdichte bekleding. De waterbouwkundige techniek en materialen kunnen inderdaad waterdichte bekledingen doen aanleggen, doch zonder intensief toezicht en onderhoud, ja zelfs veelvuldig bijwerken, blijven dergelijke bekledingen geenszins waterdicht. De zettingen van het dijkmassief, de krimp en kruip van het bekledingsmateriaal, lokale stoornissen zoals vandalisme en allerlei later aanbrengbare discontinuïteiten zoals merktekens, afsluitingen, enz., en de kwaliteitsachteruitgang in de tijd (verwering, UV), maken dat dergelijke bekledingen scheuren en barsten zullen vertonen. Bovendien lijken waterdichte bekledingen, bvb. asfaltdekken, landschappelijk onaantrekkelijk, en kunnen ze moeilijk in die zin aantrekkelijk worden gemaakt.

Bij het waterdicht bekleden van het landtalud, is de dijk kern bij overlopen geheel door water omsloten. Dit leidt tot een verhoging van de waterspiegel in het vrij doorlatende deel van de dijk kern, en tot vergroten van de luchtdruk voor het overige deel, tot vlak onder de dichte bekledingslaag. Hierdoor reduceren zich de effectieve korrelspanningen, waardoor afschuiving van dit deel van de dijk kan optreden, of scheurvorming in de dichte bekleding voorkomt. Het komt er dus op aan om het water en de lucht die in de dijk aanwezig zijn, voldoende uit het dijklichaam te kunnen laten uittreden, zodat een filterconstructie, dus niet dicht, in de bekleding moet aanwezig zijn.

Er wordt dan teruggegrepen naar de niet-waterdichte bekledingen. Daarbij is het een euvel dat ook bovenaan het landtalud veel overlopend water in de dijk zou komen, gelet op de stabiliteit van de dijk (inwendige verweking). Onderaan het landtalud dient dan weer voldoende uitstromingsmogelijkheid te zijn voor het in de dijk aanwezige grondwater.

De aangehouden oplossing bestaat erin om het landtalud (alsmede de kruinberm tussen dijkweg op de kruin en het landtalud, alsmede de landberm aan de hiel van de dijk) als volgt te bekleden:

- een gronddicht doch waterdoorlatend kunstvezeldoek over de geprofileerde grondvlakken (bermen + talud); ter illustratie van de kenmerken van zulk kunstvezeldoek kunnen opgegeven worden:
 - treksterkte in droge toestand: 40 kN/m (langs en dwars)
 - conventionele zandkorrel dichtheid in mikron:
 - O_{50} minstens 200; O_{90} minstens 250; O_{98} minstens 300
 - waterdoorlatendheid: minstens 10 l/m².s bij 10 cm waterkolom

- een bekleding in open steenasfalt, met een laagdikte van 12 cm bij een taludhelling van 16/4. Deze laagdikte wordt vergroot tot 15 cm voor de kruin- en voor de landbermen. De steenmaat van het open steenasfalt is 20/40 mm. Deze steenmaat is trouwens het criterium dat uiteindelijk tot de minimum dikte van de laag open steenasfalt leidt, nl. deze dikte is driemaal de grootste steenmaat. Hierbij is deze laag dikker dan strikt voor de stabiliteit van de bekleding benodigd is, doch houdt rekening met toleranties bij uitvoering, en met de benodigde vasthouding van de grasbedekking op de laag open steenasfalt.

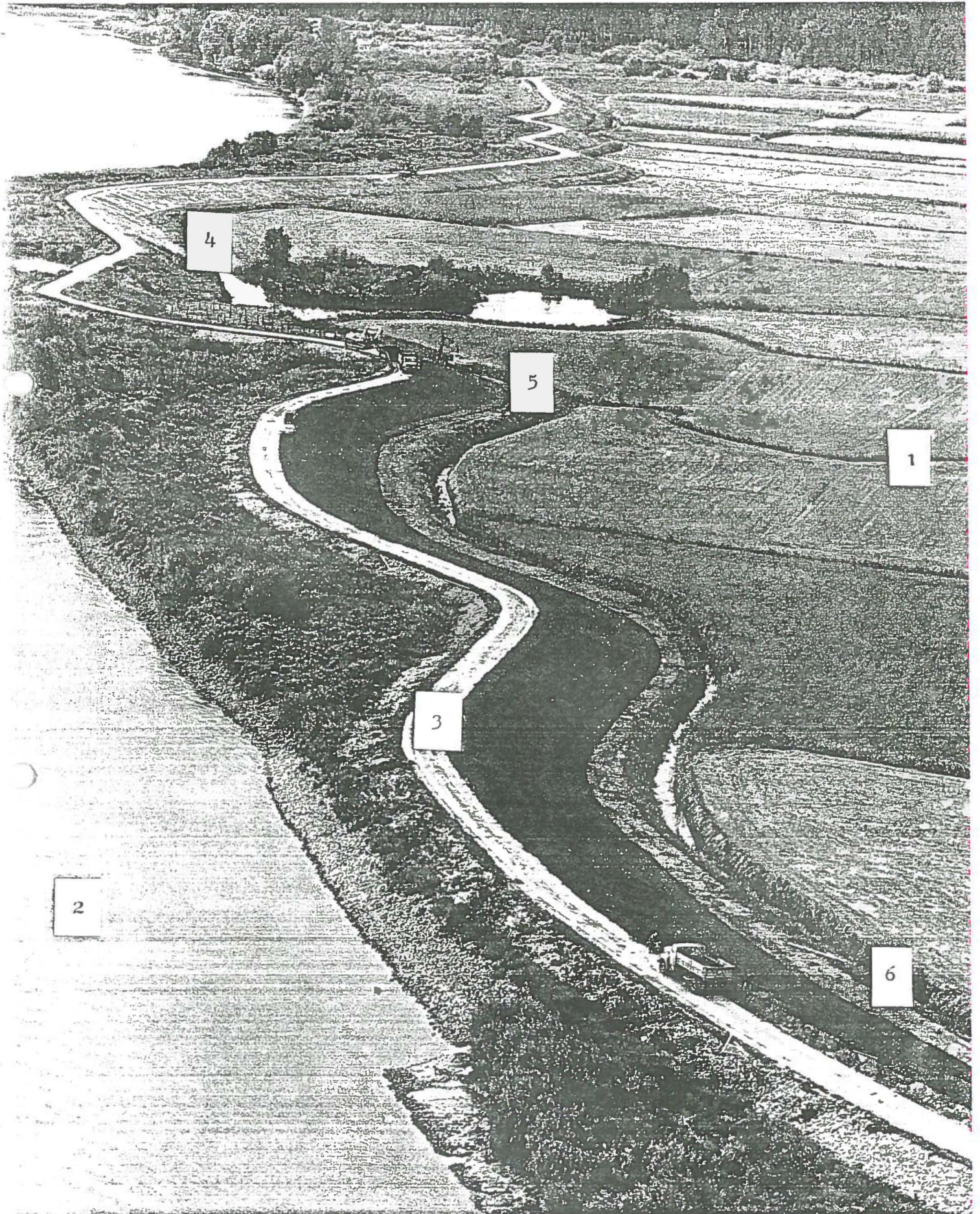
Het open steenasfalt is een tweetraps-mengeling van kalksteenslag en asfaltmastiek, à rato van een gewichtsverhouding van 81 tegen 19 op 100. Het asfaltmastiek zelf is een mengsel van 61% zand, 20% vulstof en 19% bitumen (type 80/100). Dit open steenasfalt wordt warm naar de plaats van bekleding gebracht, nl. tussen 110° en 140° C. Het wordt gelijkmatig en in één keer op de volle dikte aangebracht en geprofileerd. Dankzij deze warme verwerking treden er structureel geen naden in de bekleding op.

- een afdeklaag in verkruimelde vette grond, welke in de holten van de bekledingslaag van open steenasfalt komt, en ook erop, tot een dikte van 3 à 5 cm. Deze dikkere afdekklagen worden vnl. op de kruin- en landbermen aangebracht.

- een grasbezaaiing op deze afdeklaag van verkruimelde vette grond.

- alle voegen tussen bvb. de bekleding van open steenasfalt en de kruinweg in koolwaterstof, worden geheel met warme koolteer opgegoten en afgedicht.

ZEESCHELDE L.O. TE TEMSE - TIELRODEBROEK :
aanbrengen bekleding landtalud overloopdijk (1983)



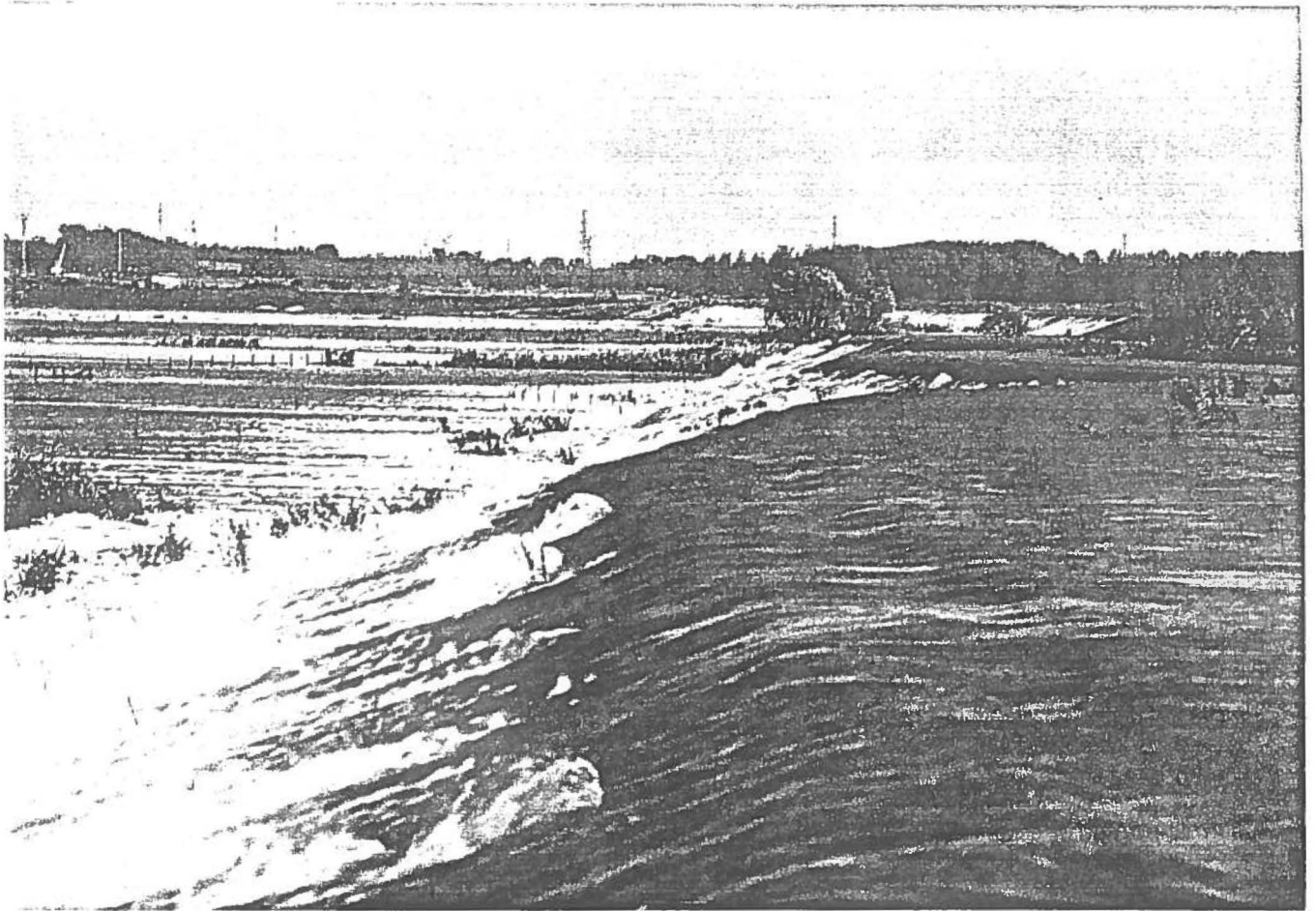
(verklarende nota: zie bladzijde hierna)

ZEESCHELDE L.O. TE TEMSE - TIELRODE :
algemeen zicht op overloopdijk



- 1 overstromingsgebied "Tielrodebroek"
- 2 Zeeschelde
- 3 overloopdijk
- 4 bekleden grond-landtalud met grondlicht doch waterdoorlatend kunstvezeldoek
- 5 aanbrengen 12 cm dikke bekledingslaag in warm open steenasfalt
- 6 aanbrengen vette grond als afdeklaag op open steenasfalt, waarna grasinzaaiing
- 7 Boelwerf (Temse)

ZEESCHELDE L.O. TE TEMSE - TIELRODE :
OVERLOOP IN OVERSTROMINGSGEBIED TIELRODEBROEK
(20 oktober 1986)



ZEESCHELDE L.O. TE BERLARE EN WICHELEN :
BEGIN VAN OVERLOOP IN OVERSTROMINGSGEBIED "PAARDENWEIDE"

