

Opdrachtgever:

Technische Adviescommissie voor de
Waterkeringen; Werkgroep C

Nadere verfijning DUROSTA-model

Toetsing H/Tw-parameter en aanpassing t.b.v.
porositeitsverschillen en strandtransporten

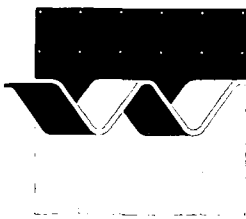
Verslag bureaustudie

April 1994

Nadere verfijning DUROSTA-model

Toetsing H/Tw-parameter en aanpassing t.b.v.
porositeitsverschillen en strandtransporten

H.J. Steetzel



1. Rapport nr.	2. Serie nr. TAW-C	3. Ontvanger catalogus nummer	
4. Titel en sub-titel Nadere verfijning DUROSTA-model Toetsing H/Tw-parameter en aanpassing t.b.v. porositeitsverschillen en strandtransporten		5. Datum rapport april 1994	
		6. Kode uitvoerende organisatie H 1865	
7. Schrijvers H.J. Steetzel		8. Nr. rapport uitvoerende organisatie H 1865	
9. Naam en adres opdrachtnemer Waterloopkundig Laboratorium Voorsterweg 28, Marknesse Postbus 152, 8300 AD Emmeloord		10. Projektnaam TAW-C-DIMCRIT	
		11. Kontraktnummer DWW-679	
12. Naam en adres opdrachtgever Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde Postbus 5044, 2600 GA Delft		13. Type rapport	
		14. Kode andere opdrachtgever	
15. Opmerkingen WL-projectleider: H.J. Steetzel DWW-projectleider: A.W. Kraak			
16. Referaat Teneinde het DUROSTA-model verder te verbeteren zijn de effecten van de niet-constante porositeit en de strandtransportmodellering nader onderzocht en is de schaalgrootheid H/Tw nader bekeken. In order to achieve an update of the DUROSTA-model, the effects of both the non-constant porosity and swash-transport have been studied. Some remarks on the H/Tw-parameter are presented also.			
17. Trefwoorden duinafslag, schaalrelaties		18. Distributie systeem	
19. Classificatie vrij toegankelijk	20. Classificatie deze pagina	21. Aantal blz.	22. Prijs

Inhoud

Lijst van figuren

	blz.
1 Inleiding	1
1.1 Achtergrond en doel	1
1.2 Aanpak	1
1.3 Opdracht	2
2 Toetsing schaalrelaties	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Betekenis H/Tw -parameter	3
2.3 Numerieke schaalserie	3
2.4 Resultaten	5
2.5 Discussie	6
2.6 Nadere uitwerking schaalafhankelijkheid	8
2.7 Morfologische tijdschaal	10
2.8 Conclusies	10
3 Porositeitseffecten	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Algemene formulering	13
3.3 Bereik poriëngehalte	14
3.4 Relatief poriënpercentage	15
3.5 Correctie op berekende duinafslag	16
3.6 Conclusies	17
4 Strandtransportmodellering	19
4.1 Inleiding	19
4.2 Uitgangspunten	19
4.3 Principe-formulering transportverdeling	20
4.4 Effect numerieke swash	22
4.5 Effect oploophoogte	23
4.6 Aanpassing rekenprogramma	23
4.7 Conclusies	23
5 Conclusies en aanbevelingen	25
5.1 Conclusies m.b.t. de H/Tw -relatie	25
5.2 Conclusies m.b.t. de niet-constante porositeit	25
5.3 Conclusies m.b.t. het strandtransport	25
5.4 Aanbevelingen	25

Literatuur

Appendix: Onderlinge vergelijking meetresultaten

Lijst van figuren

- 2.1 Overzicht standaard hydraulische diepwaterrand-randvoorwaarden
- 2.2 Overzicht uitgangprofiel
- 2.3A Vergelijking post-stormprofielen; resultaten schaalserie (var. condities)
- 2.3B Vergelijking post-stormprofielen; resultaten schaalserie (const. condities)
- 2.4A Vergelijking ontwikkeling afslag; resultaten schaalserie (var. condities)
- 2.4B Vergelijking ontwikkeling afslag; resultaten schaalserie (const. condities)
- 2.5 Vergelijking eindwaarde afslag; resultaten schaalserie (var. condities)
- 2.6 Vergelijking diverse parameters; resultaten schaalserie
- 2.7 Concentratieschaal als functie van diepteschaal; diverse relaties

- 4.1 Effect swash-factor op post-storm profiel; resultaten berekeningen
- 4.2 Effect swash-factor op post-storm profiel; resultaten berekeningen (detail)
- 4.3 Vergelijking ontwikkeling afslag; effect swash-factor
- 4.4 Effect oplooffactor op post-storm profiel; resultaten berekeningen
- 4.5 Effect oplooffactor op post-storm profiel; resultaten berekeningen (detail)
- 4.6 Vergelijking ontwikkeling afslag; effect oplooffactor
- 4.7 Vergelijking eindprofielen; Testserie H298-I, T5 na 16 uur

- A1 Vergelijking meetresultaten; Deltagoot en Scheldegoot
- A2 Vergelijking meetresultaten; Deltagoot en Scheldegoot (in één figuur)
- A3 Vergelijking meetresultaten; Deltagoot en Scheldegoot (op verschillende tijdstippen)
- A4 Toetsing H/Tw parameter, profielontwikkeling $n_d = 5$ en $n_d = 30$

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en doel

Op termijn zal er mogelijk een nieuwe leidraad komen voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering, ter vervanging van de huidige, op het DUROS-model gebaseerde leidraad (TAW, 1984). Het lijkt hierbij niet uitgesloten dat het DUROSTA-model hiervoor de basis gaat vormen. Een simpele vervanging van DUROS door het DUROSTA-model is echter nog niet mogelijk. Hiertoe dient enerzijds deze vervanging nog nader te worden onderbouwd en anderzijds de 'probabilistiek' (de effecten van de onzekerheid in de afslagbepalende factoren) nog te worden meegenomen.

Een belangrijke voorwaarde voor de vervanging is natuurlijk dat het nieuwe model een betere voorspelling geeft van de te verwachten hoeveelheid afslag als gevolg van een specifieke storm.

Uit de vergelijking tussen een groot aantal gemeten afslagprofielen en hoeveelheden en de met het DUROSTA-model berekende hoeveelheden blijkt dat er juist in de belangrijke afslagzone nog een tweetal foutenbronnen aanwezig zijn (WL-H1201-I, 1992; Steetzel, 1993). Deze hebben betrekking op respectievelijk het effect van niet-constante dichtheid en de transportverdeling op het strand.

Verder leek het zinvol enkele uitgangspunten van het DUROS-onderzoek met behulp van het DUROSTA-model nader te analyseren. Hierbij gaat het in het bijzonder om de schaalrelaties die gebruikt zijn bij de uitgevoerde schaalseries.

Deze studie heeft tot doel de drie genoemde aspecten nader te onderzoeken.

Opgemerkt moet worden dat de genoemde probabilistiek in een latere fase in een andere studie aan de orde zal komen.

1.2 Aanpak

Gezien de feitelijke onafhankelijkheid van de onderzoeksvragen komen deze successievelijk aan de orde in aparte hoofdstukken.

Allereerst is in Hoofdstuk 2 de bij de schaalseries gebruikte H/Tw -parameter behandeld. Centraal hierbij staan de resultaten van een 'numerieke schaalserie' met het DUROSTA-model.

De inventarisatie en uitwerking van de effecten van dichtheidsverschillen komen aan de orde in Hoofdstuk 3. De verschillen tussen gemeten en berekende afslaghoeveelheden worden kleiner als met dit effect rekening wordt gehouden.

M.b.t. de strandtransportmodule is in Hoofdstuk 4 de werking van de huidige module nader geëvalueerd en het effect van een aanpassing ervan onderzocht door implementatie in een onderzoeksmodel.

In Hoofdstuk 5 zijn de voornaamste conclusies en aanbevelingen per onderzoeksaspect samengevat.

1.3 Opdracht

Op verzoek van Werkgroep C ("Zandige Kusten") van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW), en verwoord in een offerte-aanvraag van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde met kenmerk WB/CX/930816 d.d. 27 januari 1993, heeft WL (Waterloopkundig Laboratorium) een offerte uitgebracht met kenmerk HK682/H1865/HJS, d.d. 29 januari 1993 inzake een bureaustudie over de verdere validatie en verfijning van het DUROSTA-duinafslagmodel.

Door middel van brief WB/CX/931894, d.d. 2 april 1993, werd onder overeenkomst nr. DWW-679 opdracht verleend voor de uitvoering van dit onderzoek.

Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van deze studie, zoals deze (bloksgewijs) werd uitgevoerd in de periode mei tot december 1993.

Vanuit Werkgroep C werd het onderzoek begeleid door de BegeleidingsGroep DUROSTA, waarin zitting hadden: dr.ir. J. van de Graaff (TUD), ir. A.W. Kraak (RWS/DWW), ir. J. van der Kolff (Hoogheemraadschap Delfland) en ir. H.D. Rakhorst (RWS, Directie Noord-Holland).

Het onderzoek werd uitgevoerd door dr.ir. H.J. Steetzel, die tevens dit verslag schreef.

2 Toetsing schaalrelaties

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn enkele uitgangspunten en uitkomsten van het DUROS-onderzoek met behulp van het nieuwe model nader geanalyseerd. Hierbij gaat het met name om de schaalrelaties die gebruikt zijn om de resultaten van de uitgevoerde schaalseries te verwerken. Meer in detail gaat het hierbij om:

- Effect H/Tw -parameter;
- Tijdschaal morfologische processen.

Beide aspecten komen in het volgende nader aan de orde.

2.2 Betekenis H/Tw -parameter

De H/Tw -parameter geeft in feite de verhouding weer tussen een karakteristieke waarde van de (orbitaal)snelheid van het water ($U \approx H/T$) en de valsnelheid van het sediment w . Lokaal beschouwd levert deze verhouding informatie op over de hoek waaronder gesuspenderde sedimentdeeltjes naar beneden vallen (verhouding tussen horizontale orbitaalsnelheid U en verticale valsnelheid w).

Een andere interpretatie betreft de verhouding tussen de golfhoogte H en de afstand waarover sedimentdeeltjes binnen een golfperiode kunnen vallen ($= wT$).

In beide gevallen heeft de H/Tw -parameter betrekking op het suspensieproces. Toepassing van een gelijke H/Tw -parameter op verschillende modelschalen waarbij kleinere golfhoogten en golfperiodes gecompenseerd worden door fijner zand met een kleinere valsnelheid zou derhalve duiden op een vergelijkbaar suspensieproces en mogelijk resulteren in vergelijkbare profielvormen en zelfs vergelijkbare profielontwikkelingen.

2.3 Numerieke schaalserie

Om het effect van een de H/Tw -parameter op de profielontwikkeling te onderzoeken is gekozen voor het uitvoeren van een numerieke schaalserie.

Uitgaande van het standaard referentie-profiel (een onder 1:180 hellende vooroever en een 15 m hoog duin) en de standaard superstorm-omstandigheden (maximale golfhoogte van 7 m bij een golfperiode van 12 s samenvallend met een maximale waterstand van 5 m boven NAP) zijn aanvullend zes geschaalde rekengevallen gedefinieerd.

De schaalfactor voor de diepte (diepteschaal n_d) is hierbij telkens een factor twee vergroot, dus $n_d = 1, 2, 4, 8$, enz.

Omdat is uitgegaan van niet-samengetrokken profielen is de lengteschaal n_l gelijkgesteld aan de diepteschaal, dus:

$$n_l = n_d \quad (2.1)$$

De hydraulische tijdschaal n_T (niet te verwarren met de morfologische tijdschaal n_r) is verondersteld te voldoen aan de Froude-schaal, zodat:

$$n_T = \sqrt{n_d} \quad (2.2)$$

Uitgaande van deze relaties kunnen voor een gegeven diepteschaal, zowel dwarsprofiel (en het rekengrid) als de hydraulische condities en (hydraulische) tijdstappen e.d. worden bepaald. Bij dit laatste geldt natuurlijk:

$$n_H = n_d \quad (2.3)$$

en:

$$n_{\Delta T} = \sqrt{n_d} \quad (2.4)$$

Voor de toetsing van de schaalrelatie is verder uitgegaan van een constante H/Tw -parameter, ofwel:

$$n_{H/Tw} = 1 \quad (2.5)$$

zodat:

$$\frac{n_H}{n_T n_w} = 1 \quad (2.6)$$

De benodigde schaalfactor voor de valsnelheid van het sediment volgt dan uit:

$$n_w = \frac{n_H}{n_T} = \frac{n_d}{\sqrt{n_d}} = \sqrt{n_d} \quad (2.7)$$

Uitgaande van $w_s = 0,0247$ m/s (voor $D_{50} = 225 \mu\text{m}$) in het referentie-geval, ligt voor een gegeven schaalfactor n_d de grootte van de valsnelheid vast. De bijbehorende korreldiameter is berekend aan de hand van het verband tussen korreldiameter en valsnelheid zoals dit geldt voor zout zeewater van 5° conform:

$$\log(1/w_s) = 3,226 + 2,180 \log(D_{50}) + 0,476 [\log(D_{50})]^2 \quad (2.8)$$

Een overzicht van de aldus verkregen rekengevallen is gegeven in Tabel 2.1. Geval A vormt hierbij de referentiesituatie (= prototype).

Geval	n_d (= n_1)	n_T (= n_w)	H_s [m]	T_p [s]	w_s [m/s]	D_{50} [μ m]
A	1	1	7,0	12,0	0,0247	225
B	2	1,41	3,5	8,485	0,0175	174
C	4	2	1,75	6,0	0,0124	137
D	8	2,83	0,875	4,243	0,0087	109
E	16	4	0,4375	3,0	0,0062	89
F	32	5,66	0,2188	2,121	0,0044	73
G	64	8	0,1094	1,500	0,0031	60

Tabel 2.1 Overzicht rekengevallen ten behoeve van toetsing H/Tw -parameter

Opgemerkt moet worden dat de gebruikte waarde van de H/Tw -parameter telkens gelijk was aan:

$$\frac{H}{Tw} = \frac{7,0}{12,0 \cdot 0,0247} = 23,62 \quad (2.9)$$

In Figuur 2.1 is een overzicht gegeven van de standaard hydraulische randvoorwaarden, waarbij de onderste figuur het uit het astronomische getij en stormopzet samengestelde waterstandsverloop geeft.

Figuur 2.2 geeft een overzicht van het gebruikte referentieprofiel. Hierin zijn tevens de berekende dwarsprofielen (voor basisgeval A) gegeven voor de situatie halverwege de storm (na 16 uur) en de eindsituatie (na 32 uur golfaanval).

2.4 Resultaten

Voor elk van de in Tabel 2.1 gegeven rekengevallen zijn DUROSTA-berekeningen uitgevoerd zowel voor een situatie met variërende hydraulische condities (conform Figuur 2.1) als voor constante (maximale) hydraulische condities.

In Figuur 2.3^A is voor een deel van de rekengevallen het met de lengte- en diepteschaal opgeschaalde post-storm profiel na 32 uur golfaanval gegeven.

Uit onderlinge vergelijking van de eindprofielen blijkt dat er sprake is van verschillen. Opvallend is natuurlijk de geringere mate van afslag die bij kleinere diepteschaal wordt gevonden. Bij toenemende diepteschaalfactor neemt de afslag boven stormvloedpeil systematisch af. Dit verschil in afslag maakt overigens ook dat er ter plaatse van de zeewaartse beëindiging van de verschillende stormprofielen sprake is van een aanzienlijk afwijkende profielligging.

Opvallend is overigens wel dat ter plaatse van het erosieprofiel zelf, zeg voor $-30 < x < +50$ m, er wel sprake is van een vergelijkbare profielligging, afgezien van het resultaat voor $n_d = 64$.

Een gelijke H/Tw -parameter lijkt derhalve wel garant te staan voor een vergelijkbare profielvorm van het door het suspensieproces beheerste onderwaterprofiel, maar niet voor een reproductie van het gehele afslagprofiel en dus ook niet voor de hiermee samenhangende hoeveelheid afslag boven water (stormvloedpeil).

In Figuur 2.4^A is de tijdsontwikkeling van de hoeveelheid afslag boven stormvloedpeil uitgezet voor vier n_d -waarden, waaruit nog eens blijkt dat de (opgeschaalde) hoeveelheid afslag bij grotere diepteschaalfactoren relatief kleiner is en voor $n_d = 64$ zelfs reduceert tot circa 25 % van de referentie-waarde.

In Figuur 2.3^B en 2.4^B zijn de resultaten gegeven voor een situatie met constante hydraulische condities. Ofschoon er natuurlijk sprake is van kwantitatieve verschillen zijn de resultaten kwalitatief gelijkwaardig.

Uitgaande van de post-storm-waarde na 32 uur van de hoeveelheden afslag boven stormvloedpeil kan een relatie worden gegeven tussen de (relatieve) afslag A en de gebruikte diepteschaal n_d . Deze relatie is gegeven in Figuur 2.5.

2.5 Discussie

Uit Figuur 2.5 blijkt dat de hoeveelheid afslag kennelijk afneemt bij een toenemende diepteschaal. De vraag die daarbij naar voren komt is in feite tweeledig, namelijk: is dit reëel en zoja, hoe komt dit?

Afhankelijkheid reëel?

In hoeverre deze afhankelijkheid reëel aanwezig is werd (in de Appendix) onderzocht door een detailvergelijking te maken tussen twee, op verschillende schalen gemeten, onderling vergelijkbare profielontwikkelingen. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat er inderdaad sprake is van de door het DUROSTA-model gegenereerde afhankelijkheid. Voor een nadere uitwerking van deze vergelijking wordt verwezen naar de Appendix.

Achterliggende oorzaak?

Om inzicht te krijgen in de feitelijke oorzaak van deze afhankelijkheid is, uitgaande van de veronderstelling dat het transport primair bepaald wordt door de grootte van de (tijdsgemiddelde) snelheden en de concentraties, voor verschillende diepteschalen het opgeschaalde (plaats)verloop van een aantal parameters onderzocht. De resultaten van deze bewerking zijn samengebracht in Figuur 2.6, waarbij moet worden opgemerkt dat de berekende snelheden en concentraties landwaarts van de door een verticale stippellijn aangegeven positie van de stilwaterlijn als niet relevant moeten worden beschouwd.

Het verloop van de significante golfhoogte wordt ook voor de kleinere schalen blijkbaar juist (d.w.z. conform $n_H = n_d$) op schaal weergegeven, waarbij de optredende verschillen gerelateerd zijn aan wrijvingsmodellering.

Voor de (onderstroom)snelheid u_0 , dat is de referentiewaarde van het gemiddelde snelheidsprofiel op het niveau van de bodem, lijkt dit in iets mindere mate te gelden. Verwacht mag immers worden dat de snelheden op Froude-schaal (d.w.z. conform $n_u = \sqrt{n_d}$) worden weergegeven. Dat dit voor de hier gepresenteerde referentiesnelheid u_0 niet zo is heeft echter te maken met de afwijkende schaalfactor voor de bodemruwheid. De grootte van de over de waterdiepte (onder golfdalniveau) gemiddelde onderstroom \bar{u} , is immers gelijk aan het quotiënt van de massaflux en de waterdiepte, waarbij de massaflux ($m = E/c$) wordt weergegeven met een schaalfactor $n_m = n_d^{3/2}$. Voor de schaalfactor voor de dieptegemiddelde snelheid geldt derhalve $n_{\bar{u}} = n_m/n_d = n_d^{3/2}/n_d = \sqrt{n_d}$, waarmee dus wel degelijk voldaan wordt aan de Froude-schaal. De verticale verdeling van de onderstroom $u(z)$ wordt bij een gegeven gemiddelde waarde \bar{u} mede bepaald door de randvoorwaarde aan de bodem. In deze randvoorwaarde speelt de optredende wrijving een belangrijke rol. De ruwheid is hierbij mede afhankelijk van het aanwezige bodemmateriaal en daarmee van de D_{50} -waarde. Omdat de schaalfactor van het bodemmateriaal is bepaald met behulp van de valsnelheid is er bij kleinere schalen echter sprake van een relatief (te) grote ruwheid. Beschouwing van rekengeval E (zie Tabel 2.1) met $n_d = 16$ laat bijvoorbeeld zien dat voor de schaalfactor voor de korreldiameter n_D geldt $n_D = 225/89 = 2,52$, zodat $n_d > n_D$. Dit verklaart dus waarom er op de kleinere schalen aan de bodem sprake is van relatief te lage stroomsnelheden.

De concentraties vertonen een sterke afhankelijkheid van de diepteschaal. De diepteschaal-afhankelijkheid van de transporten (onderste figuur) wordt blijkbaar primair veroorzaakt door de schaalafhankelijkheid van de concentraties.

Schaalafhankelijkheid concentraties

Uit deze beschouwing komt naar voren dat er blijkbaar sprake is van een (onverwachte) schaalafhankelijkheid in de sedimentconcentraties. Er geldt dus blijkbaar:

$$n_C \neq 1 \quad (2.10)$$

of, betrokken op de klaarblijkelijke afhankelijkheid van de diepteschaal:

$$n_C = (n_d)^\gamma \quad (2.11)$$

waarin de macht $\gamma \neq 0$.

In het volgende wordt deze schaalafhankelijkheid nader uitgewerkt.

2.6 Nadere uitwerking schaalafhankelijkheid

In Figuur 2.7 zijn enkele van de op Figuur 2.6 gebaseerde verhoudingswaarden voor de concentratie uitgezet (voor $n_d = 1, 4$ en 16).

Analytische uitwerking

In hoeverre een kleinere diepteschaal inderdaad aanleiding geeft tot geringere concentraties is eveneens onderzocht door gebruik te maken van een analytische formulering voor de berekening van sedimentconcentraties en transporten. Hierbij is gekozen voor de formule van Van Rijn omdat dit een van de meest betrouwbare uitdrukkingen is.

Uitgaande van de hydraulische omstandigheden ergens midden op het prototype stormprofiel, met $H_s = 3,2$ m, $d = 2,5$ m en $\bar{u} = 0,40$ m/s zijn voor zes n_d -waarden (en de daarbij behorende n_T -waarden) achtereenvolgens de grootte van de sedimentlast L_s (in kg/m^2) en het totale (dwars)transport S_t (in kg/m/s) berekend.

Een overzicht van de in- en uitvoerparameters is gegeven in Tabel 2.2.

Parameter	Diepteschaal n_d					
	1	2	4	8	16	32
H_s [m]	3,20	1,60	0,80	0,40	0,20	0,10
d [m]	2,50	1,25	0,625	0,3125	0,1563	0,078
T_p [s]	12,0	8,49	6,0	4,24	3,0	2,12
u [m/s]	0,40	0,29	0,20	0,141	0,10	0,071
D_{50} [μm]	225	174	137	109	89	73
D_{90} [μm]	300	232	183	145	118	97
w_s [m/s]	0,025	0,0175	0,0124	0,0087	0,0062	0,0044
$k_{c,w}$ [m/s]	0,025	0,0125	0,0063	0,003	0,0016	0,0008
δ_b [m]	0,06	0,03	0,015	0,075	0,0038	0,0019
L_s [kg/m^2]	39,65	12,33	3,02	0,809	0,264	0,135
L_s/d [kg/m^3]	12,39	9,86	3,77	2,59	1,69	1,73
n_C [-]	1,00	1,26	3,35	4,78	7,33	7,16
S_t [kg/m/s]	11,74	3,02	0,624	0,112	0,0261	0,0086
n_S [-]	1,00	3,89	18,81	104,8	449,8	1365
n_S/n_d^3 [-] /2	1,00	1,38	2,35	4,63	7,02	7,74

Tabel 2.2 Overzicht resultaten concentratieschaal volgens Van Rijn formulering

Teneinde een uitspraak te doen over de (diepte)schaalafhankelijkheid van de karakteristieke concentratie is deze zowel afgeleid uit de berekende sedimentlast als uit het berekende transport.

Bij de (directe) vaststelling op basis van de sedimentlast volgt de aanwezige schaalfactor voor de concentratie uit:

$$n_C = \frac{n_{L_s}}{n_d} \quad (2.12)$$

De karakteristieke concentratie is hierbij dus berekend uit het quotiënt van de totale gesuspendeerde sedimentlast L_s en de waterdiepte d .

In een tweede benadering is uitgegaan van het berekende transport conform:

$$S = UCd \quad (2.13)$$

waarbij het transport gelijk is verondersteld aan een produkt van karakteristieke snelheden, concentraties en waterdiepten. Uitgaande van de Froude-schaal voor de snelheden:

$$n_U = \sqrt{n_d} \quad (2.14)$$

levert dit:

$$n_C = \frac{n_S}{n_d^{3/2}} \quad (2.15)$$

een resultaat dat onderin de tabel is gegeven.

De volgens Vgl. (2.12) en (2.15) berekende n_C -waarden ontlopen elkaar slechts in geringe mate.

Conclusies

Toevoeging van de op basis van de analytische uitdrukking verkregen n_C -waarden in Figuur 2.7 laat zien dat de optredende tendens d.w.z. toenemende concentratieschaal bij toenemende diepteschaal gelijkwaardig is.

Mede op basis hiervan mag derhalve worden geconcludeerd dat er sprake is van een afhankelijkheid van de diepteschaal.

Uitgaande van de in Vgl. (2.11) gegeven machtsrelatie geldt qua orde van grootte blijkbaar $\gamma = 0,7 \sim 0,8$.

2.7 Morfologische tijdschaal

Het feit dat de sedimentconcentraties op kleinere schalen kleiner zijn, heeft natuurlijk consequenties voor de transporten en daarmee voor de morfologische tijdschaal n_t . Deze laatste is dan immers niet meer gelijk aan de hydraulische tijdschaal n_T .

Gegeven de klaarblijkelijke diepteschaalafhankelijkheid van de concentratieschaal n_C , kan de grootte van de transportschaal n_S worden bepaald uit:

$$n_S = n_U n_C n_d = \sqrt{n_d} n_d^\gamma n_d \quad (2.16)$$

zodat:

$$n_S = n_d^{(\frac{3}{2} + \gamma)} \quad (2.17)$$

De morfologische tijdschaal uit:

$$n_S = \frac{n_A}{n_t} = \frac{n_d^2}{n_t} \quad (2.18)$$

waarin n_A de schaalfactor voor de afslag (met $n_A = n_d^2$).

Hieruit volgt dat:

$$n_t = \frac{n_d^2}{n_S} \quad (2.19)$$

Voor de morfologische tijdschaal geldt na substitutie van Vgl.(2.17) derhalve:

$$n_t = \frac{n_d^2}{n_d^{(\frac{3}{2} + \gamma)}} = n_d^{(\frac{1}{2} - \gamma)} = \frac{n_T}{n_C} \quad (2.20)$$

Voor kleinere diepteschaal is de morfologische tijdschaalfactor dus kleiner dan de hydraulische tijdschaalfactor. Voor het verkrijgen van eenzelfde geaccumuleerd transport (afslag) is op kleinere (diepte)schaal dus een grotere tijdsduur nodig dan die welke zou volgen uit toepassing van de hydraulische tijdschaal.

2.8 Conclusies

Zowel uit een numerieke schaalserie als uit een analytische uitwerking blijkt dat de grootte van de morfologische tijdschaal n_t bij een kleinere diepteschaal afwijkt van de hydraulische tijdschaal n_T , als gevolg van een schaalafhankelijkheid van de concentraties.

Op grond van deze conclusie kunnen enige vraagtekens geplaatst worden bij de op de H/Tw -parameter gebaseerde schaalseries. Daarbij werd immers uitgegaan van $n_t = n_T$ en dus is de

afslag in het prototype gebaseerd op schaalproeven met een te geringe duur. Op grond hiervan zou er sprake zijn van een systematische onderschatting van de prototypeafslag.

Het feit dat bij de uitvoering van de verschillende proeven vaak gebruik werd gemaakt van vertrokken modellen (met een relatief te steil profiel en dus een te zware golfaanval) waarbij bovendien de golfhoogteaansturing werd gebaseerd op de lineaire golftheorie (veel te grote golven direct onder de kust), maakt het geheel echter minder doorzichtig.

Een en ander heeft overigens geen consequenties voor het DUROSTA-model, aangezien de afregeling daarvan plaatsvond voor de werkelijke gootomstandigheden.

3 Porositeitseffecten

3.1 Inleiding

De dichtheid van het door golfwerking op het strand afgezette zand is veelal groter dan de dichtheid van het zich boven de waterlijn bevindende zand in het duinfront. Tijdens het duinafslagproces wordt dit los gepakte materiaal afgeslagen en onder water afgezet. De volumebalans in dwarsrichting (in m^3/m^1 , inclusief poriën) is in deze gevallen dan ook niet sluitend (in gewicht natuurlijk wel): er lijkt zand te zijn verdwenen.

Omdat het DUROSTA-model is afgeregeld op het 'onderwater-deel' van de afzetting en omdat is uitgegaan van een (in tijd en plaats) constant poriënpercentage, leidt dit per definitie tot enige onderschatting van de hoeveelheid afslag.

Hoe groot deze effecten zijn en op welke wijze dit effect dient te worden meegenomen komt in de volgende paragrafen nader aan de orde.

3.2 Algemene formulering

In alle gevallen (situaties met langstransportgradiënten uitgezonderd) is er sprake van een overeenkomst tussen het afgezette en het geërodeerde zandvolume (exclusief poriën; resp. V_a en V_e), dus:

$$V_a = V_e \quad (3.1)$$

Uitgedrukt per eenheid van breedte en inclusief poriën levert dit:

$$(1 - p)A_a = (1 - p_d)A_e \quad (3.2)$$

waarin p_d het poriëngehalte in het duin (erosiedeel van het profiel) en p het normale (referentie) poriëngehalte. Na introductie van de onderlinge verhouding ξ tussen deze percentages (met $\xi \geq 1$; zie ook Paragraaf 3.4) conform:

$$\xi = \frac{p_d}{p} \quad (3.3)$$

en met gebruikmaking van:

$$A_e = A_a + \Delta A \quad (3.4)$$

waarin ΔA het (blijkbaar optredende) verschil is tussen het erosie- en aanzandingsoppervlak, volgt als uitgangspunt voor de verdere uitwerking:

$$(1 - p)A_a = (1 - \xi p)(A_a + \Delta A) \quad (3.5)$$

Omwerking van deze relatie levert een uitdrukking voor het verschiloppervlak:

$$\Delta A = \frac{(\xi - 1)p}{1 - \xi p} A_a \quad (3.6)$$

Hieruit blijkt dat er sprake is van een schijnbaar verlies (oppervlakteverschil ΔA) dat recht evenredig is met $(\xi - 1)$ en het aanzanding/afzettingsoppervlak A_a .

Ter indicatie: Voor $\xi = 1,1$ en $p \approx 0,40$ resulteert dit in een relatief verlies $\Delta A/A_a = 0,071$, dat is 7,1%. Opgemerkt moet worden dat deze verhouding niet erg gevoelig is voor de exacte grootte van p . Voor een 5% hogere of lagere p -waarde worden respectievelijk waarden van 5,7 en 8,9% gevonden.

In het volgende wordt nader ingegaan op de grootte van het poriëngehalte.

3.3 Bereik poriëngehalte

Ten aanzien van het mogelijke bereik van het poriëngehalte is een aantal gegevensbronnen beschikbaar, waaronder in prototype en modelopstellingen gemeten waarden, alsmede de maximale begrenzingsen.

Prototype waarden

In het prototype zijn door GD (Grondmechanica Delft) ter hoogte van km paal 37 bij Egmond aan Zee dichtheidsmetingen uitgevoerd (LGM, juli 1982).

Het aantal metingen was echter onvoldoende om een betrouwbare uitspraak te kunnen doen over de ruimtelijke dichtheidsverdelingen. De uitgevoerde metingen gaven echter wel aan dat er met name rond en direct boven de gemiddelde hoogwaterlijn sprake is van relatief los gepakt zand (met $p \approx 44\%$). Het gemeten poriënpercentage vertoonde een grote spreiding met $p = 35 \sim 47\%$, met een gemiddelde waarde van $\bar{p} = 42,6\%$.

Over de dichtheid van het onder prototypeomstandigheden afgezette materiaal (op dieper water) bestaat geen informatie.

Modelwaarden

Tijdens enkele proeven uitgevoerd in de Deltagoot van WL zijn ook dichtheidsmetingen uitgevoerd.

Voor proef T1 van de M1263-III-serie werd hierbij als gemiddelde waarde gevonden $p = 40,3\%$ terwijl bij de latere proeven uit dezelfde serie hogere waarden zijn gevonden.

Bij een ander onderzoek uitgevoerd onderzoek in het kader van het "onderzoek duinvoetverdedigingen" te weten de H298-I-serie werden ook dichtheden gemeten. Hierbij werd een gemiddelde waarde van $p = 44,5\%$ gevonden.

Dichtheidsmetingen na een proef zijn alleen uitgevoerd voor proef T1 van de M1263-III-serie. De hierbij gevonden waarde bedraagt $p = 38,3\%$, dus 2% kleiner dan vóór de proef.

Maximale begrenzungen

In het kader van het door LGM uitgevoerde onderzoek zijn ook het minimale en maximale poriëngehalte bepaald. Voor het onderzochte duinzand werd hierbij gevonden $p_{min} = 33,6\%$ en $p_{max} = 44,7\%$. De eerder genoemde percentages vallen binnen deze begrenzungen.

3.4 Relatief poriënpercentage

Conform Vgl. (3.6) is de grootte van de door dichtheidsverschillen veroorzaakte extra afslag sterk afhankelijk van de ξ -verhouding.

De grootte van het relatieve poriënpercentage ξ kan op twee manieren worden vastgesteld, namelijk:

- Directe methode : uit de verhouding tussen de poriëngehaltes in duin en afzetting;
- Indirecte methode: uit de waargenomen afzettings- en erosieoppervlakken.

Directe methode

Ten aanzien van de directe methode is er niet al te veel informatie beschikbaar.

Vergelijking van het gemiddelde prototypepercentage ($\bar{p} = 42,6\%$) met de in de goot gevonden dichtheden (Testserie M1263-III, proef T1) van $p = 40,3\%$ laat zien dat er bij de gootproeven (soms) werd uitgegaan van een te dicht gepakt duinmassief.

Rekening houdend met dit feit, derhalve uitgaande van $p_d \approx 42\%$ als een soort van karakteristieke waarde en onder aanname dat voor de dichtheid van de afzetting $p \approx 38\%$ geldt, wordt voor de ξ -parameter een waarde van $\xi \approx 1,10$ gevonden.

Uitgaande van een reëel minimaal en maximaal poriënpercentage van respectievelijk 38 en 45% volgt een bovengrens voor de ξ -waarde van 1,18. Als waarschijnlijke begrenzing voor deze parameter moet derhalve gedacht worden aan:

$$1 < \xi < 1,2 \quad (3.7)$$

waarbij een soort van gemiddelde waarde van $\xi \approx 1,1$ inderdaad niet uitgesloten lijkt.

Indirecte methode

De indirect bepaalde ξ -waarde volgt uit de eerder gegeven volumebalans in dwarsrichting:

$$(1-p)A_a = (1-\xi p)A_e \quad (3.8)$$

Omwerking van deze uitdrukking levert:

$$\xi = \frac{1}{p} \left(1 - (1-p) \frac{A_a}{A_e} \right) \quad (3.9)$$

waarbij de gezochte ξ -parameter, voor gegeven p -waarde, afhankelijk is van de A_a/A_e -verhouding.

Een overzicht van de erosie- en aanzandingsoppervlakken als bepaald voor de in de Deltagoot uitgevoerde proeven wordt gegeven in Tabel 3.1. Hierbij is steeds uitgegaan van $p = 42\%$.

Testserie	Proef	A_e	A_a	ξ
M1797	T1	35,6	31,5	1,16
M1811	T1	11,8	9,7	1,24
M1263-III	T1	20,7	19,1	1,11
	T2	15,1	14,1	(1,09)
	T3	9,7	9,3	(1,06)
	T4	7,6	7,3	(1,05)
	T5	51,3	43,8	1,20
H298-I	T5	16,4	15,0	1,12

Tabel 3.1 Overzicht opgetreden ξ -waarden voor uitgevoerde Deltagootmetingen

Hierbij moet worden opgemerkt dat er bij de M1263-III-serie voor de proeven T2 t/m T4 steeds is uitgegaan van het zandbed van de voorafgaande proef, waardoor er per definitie sprake is van afnemende verliezen en eveneens afnemende ξ -waarden. Het buiten beschouwing laten van deze waarden resulteert in $\xi = (1,17 \pm 0,05)\%$.

Conclusie

Samenvattend dient bij de mogelijke correctie te worden uitgegaan van $\xi = 1,10 \sim 1,15$ rekening houdend met de op verschillende manieren geschatte waarden.

3.5 Correctie op berekende duinafslag

In het huidige rekenprogramma wordt geen rekening gehouden met de effecten van de variatie in het poriënpercentage. In principe zijn er twee mogelijkheden dit wel te doen, namelijk het direct meenemen van dit effect in de balansvergelijkingen en het achteraf verrekenen van dit effect.

Het direct meenemen van het verschil in de porositeit tussen erosie en afzetting voor elke tijdstap in het rekenprogramma vergt een ingewikkelde boekhouding (bijv. omdat er dan ook rekening moet worden gehouden met de situatie waarbij lokale erosie een eerdere afzetting betreft).

Gekozen is derhalve voor een uitbreiding van het nabewerkingsprogramma waarbij bij het berekenen van de tijdsontwikkeling van de hoeveelheid afslag boven stormvloedpeil naast het normaal berekende volume of oppervlak ($A_z^*(t)$) ook een aangepaste waarde wordt gegeven ($A_z^+(t)$).

Nadere uitwerking

De berekende hoeveelheid erosie A_e^* is, gegeven een sluitende balans, per definitie gelijk aan de berekende afzetting A_a^* , ofwel:

$$A_a^* = A_e^* \quad (3.10)$$

Als nu wordt uitgegaan van de veronderstelling dat de afzetting goed door het model wordt weergegeven, dan geldt:

$$A_a = A_a^* \quad (3.11)$$

waarbij dus blijkt:

$$A_e^* < A_e \quad (3.12)$$

Een betere schatting van de erosie, aangeven met A_e^+ , volgt dan uit vermenigvuldiging van de berekende waarde A_e^* met een zekere factor, te weten:

$$A_e^+ = \left(\frac{1-p}{1-\xi p} \right) A_e^* \quad (3.13)$$

Deze vermenigvuldigingsfactor is ook van toepassing op de afslag boven stormvloedpeil conform:

$$A_d^+ = \left(\frac{1-p}{1-\xi p} \right) A_d^* \quad (3.14)$$

Voor $\xi = 1,1$ en $p = 0,4$ levert dit in beide gevallen een toename op van ongeveer 8 %, terwijl voor $\xi = 1,2$ en $p = 0,45$ 13 % wordt gevonden.

3.6 Conclusies

Het effect van het niet-constant zijn van het poriënpercentage kan worden verrekend door het achteraf toekennen van een soort (relatieve) toeslag op de berekende afslaghoeveelheden. Afhankelijk van het relatieve poriënpercentage ξ en de referentiewaarde p levert dit een toename op van orde 10 %.

Het meenemen van deze correctie maakt dat er een (nog) betere overeenkomst ontstaat tussen de gemeten en de berekende afslaghoeveelheden. Er blijft echter nog sprake van een geringe systematische onderschatting als gevolg van de onjuiste reproductie van het transport op het strand (zie Hoofdstuk 4).

Om te komen tot een betere onderbouwing van de grootte van de ξ -factor wordt verder aanbevolen om na het optreden van een afslaggebeurtenis met name de dichtheid van de afzetting op het strand te bepalen.

4 Strandtransportmodellering

4.1 Inleiding

In het huidige DUROSTA-model wordt de profielvorming van het bovenwaterdeel (d.w.z. boven de waterlijn, op het strand tot aan het duinfront) geregeld door het 'opleggen' van een transportverdeling in deze zone. Deze ingreep is nodig omdat er anders een te sterke transportgradiënt aanwezig is ter plaatse van de waterlijn (in het eerste droge punt is het transport volgens het rekenschema immers gelijk aan nul).

De formulering van de huidige modelversie 1.11/1.15 resulteert echter nog in een onjuiste herkomst van het afslagmateriaal, in het bijzonder tijdens constante hydraulische condities. Het benodigde (= gevraagde zand) wordt voor een te groot deel bij de waterlijn weggehaald en dus voor een te klein deel vanaf de hoger gelegen posities (uit het duinfront). Hierdoor wordt de hoeveelheid afslag boven s.v.p. en de hiermee gepaard gaande teruggang van het duinfront (= ligging punt R) systematisch onderschat.

In dit hoofdstuk is een nadere uitwerking (aanpassing) van de 'strandtransport-module' van het rekenprogramma gegeven, die gericht is op verbetering van de modellering van de profielontwikkeling in deze zone.

4.2 Uitgangspunten

De transportverdeling en de profielontwikkeling in de zone rond en boven de waterlijn zijn in het rekenprogramma afhankelijk van de geforceerde transportverdeling boven de waterlijn en van de mate waarin sprake is van een additionele numerieke smering.

Het opleggen van een zekere transportverdeling op het droge strand is nodig omdat in de standaardvorm van een transportprogramma geen transport boven water aanwezig is. Aangezien dit, mede door golfploop, bij duinafslag natuurlijk wel het geval is, ontstond er de noodzaak in deze zone iets aanvullends te definiëren.

Omdat er dan sprake is van een verschillende transportberekening voor respectievelijk het onderwaterdeel ('normaal' dwarstransport) en het bovenwaterdeel ('speciale' formulering) bleek het noodzakelijk ter plaatse van de overgang tussen beide formuleringen een additionele numerieke smering te introduceren.

In het volgende wordt eerst een korte uiteenzetting gegeven van de wijze waarop de transportverdeling over het droge strand is geregeld. Vervolgens zijn de effecten van de numerieke swash-factor en het toevoegen van een afregelingsparameter aan de transportverdelingsroutine nader uitgewerkt.

4.3 Principe-formulering transportverdeling

De grootte van het transport op het (droge) strand wordt berekend uit het produkt van het transport dat volgt uit de standaard berekening aanwezig in een positie zeewaarts van de waterlijn (in het vervolg aangeduid als het 'randpunt') en een verdelingsfunctie waarin de grootte van de te verwachten golfoploop een belangrijke rol speelt.

In algemene termen:

$$S(x) = S^* \mathbf{F}\left(\frac{z(x)}{z^*}\right) \quad (4.1)$$

waarin S^* de referentiewaarde is van het dwarstransport in het randpunt (met niveau $z = z^*$) en $S(x)$ de gezochte transportverdeling. Voor de positie van het 'randpunt' is, min of meer arbitrair, gekozen voor die positie waarbij de afstand tot de waterlijn gelijk is aan een kwart van de lokale golfhoogte.

De in Vgl. (4.1) gegeven vermenigvuldigingsfactor is afhankelijk van de golfwerking/oploop op het strand.

Golfoploop

Uitgangspunt bij de nadere kwantificering van deze relatie is de veronderstelling dat een en ander in ieder geval te maken heeft met de golfoploop. Een karakteristieke maat in deze is de significante golfoploop, bepaald volgens:

$$z_s = K_{opl} 0,7 T_p \sqrt{g H_s} \tan \beta \quad (4.2)$$

waarin T_p de golfperiode, H_s de significante golfhoogte en $\tan \beta$ een maat is voor de gemiddelde bodemhelling op het strand.

De evenredigheidsfactor K_{opl} is vooralsnog gelijk verondersteld aan de eenheid (zie ook Paragraaf 4.5).

Oppervlakte oplooptong

Een tweede veronderstelling is dat het lokale (suspensie)transport gerelateerd is aan de inhoud (of aan het oppervlak) van een driehoekig veronderstelde watertong voor zover deze zich landwaarts van (= boven) de lokale positie bevindt. Voor een locatie met niveau $z = z_1$ en een individuele golf met een maximale oploop gelijk aan $z = \hat{z}$, geldt voor dit oppervlak:

$$A(z_1) = C_A (\hat{z} - z_1)^2 \quad (4.3)$$

waarin C_A een evenredigheidsfactor is.

Kansdichtheidsfunctie

Het tijdsgemiddelde transport moet op deze wijze gerelateerd zijn aan een soort van gewogen oppervlak. Uitgaande van een verdeling van de golfoploop volgens een Rayleigh-verdeling geldt voor de kans op overschrijding van een zeker (oploop)niveau $z = z_1$ een relatie voor de overschrijdingskans P_o , die gelijk is aan:

$$P_o(z > z_1) = \exp \left[-2 \left(\frac{z_1}{z_s} \right)^2 \right] \quad (4.4)$$

waarin z_s de eerder gekwantificeerde significante ophoogte.
Voor de kansdichtheid geldt dan:

$$p_v(z=z_1) = \frac{4}{z_s} \frac{z_1}{z_s} P_o(z_1) \quad (4.5)$$

Om te komen tot een soort van gewogen tongoppervlak moet het oppervlak conform Vgl. (4.3) worden vermenigvuldigd met deze kansdichtheid.

Gewogen oppervlak

Het gewogen oppervlak ('conflictvolume per strekkende meter') volgt nu uit de volgende integraal:

$$\bar{A}(z_1) = \int_{z=z_1}^{\infty} p_v(z) A(z) dz \quad (4.6)$$

waarbij dus rekening gehouden is met elke mogelijke oploop boven het niveau $z = z_1$ en de daarbij behorende kans van voorkomen.

Relatieve waarde

Aangezien deze uitwerking primair is gericht op het vinden van een relatieve grootte van het transport geldt voor de grootte van de in Vgl. (4.1) gegeven vermenigvuldigingsfactor R dan ook:

$$R = \frac{\bar{A}(z_1)}{\bar{A}(z^*)} \quad (4.7)$$

Na substitutie van de eerder gegeven relaties en met introductie van een hulpparameter σ met:

$$\sigma = \sqrt{2} \frac{z}{z_s} \quad (4.8)$$

wordt na verdere uitwerking van (4.7) gevonden:

$$R = \exp(-\sigma^2) - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma (1 - \operatorname{erf}(\sigma)) \quad (4.9)$$

waarin erf de zogenaamde error-functie is, met:

$$\operatorname{erf}(\sigma) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\sigma} \exp(-x^2) dx \quad (4.10)$$

Uitgaande van het transport in het randpunt, kan de transportverdeling over het strand nu berekend worden door het randtransport S^* te vermenigvuldigen met de reductiefactor van Vgl. (4.9).

4.4 Effect numerieke swash

In het expliciete rekenschema dat wordt toegepast voor het berekenen van een nieuwe bodemligging voor een gegeven dwarstransportverdeling en rekentijdstep is met het oog op de benodigde stabiliteit van het numerieke schema een numerieke smeefactor γ in gebruik. Deze bepaalt in feite de mate waarin de bodemligging van naastliggende punten wordt meegenomen in de vaststelling van de lokale nieuwe bodemligging en voorkomt zaagtandachtige profielontwikkelingen. Op basis van testberekeningen bleek $\gamma = 0,05$ te voldoen (Steetzel, 1993).

Rond de waterlijn bleek dit vanwege de discontinuïteit in de gebruikte formuleringen niet altijd voldoende en er is dan ook lokaal een vermenigvuldigingsfactor toegepast, conform:

$$\gamma^* = K_{sw} \gamma \quad (4.11)$$

In de standaardversie van het rekenmodel is deze factor gelijk aan $K_{sw} = 2$.

In hoeverre de grootte van deze swash-factor effect heeft op de profielontwikkeling is onderzocht door voor een groot aantal waarden van deze parameter de profielontwikkeling onder invloed van de 32-uurs superstorm te berekenen. Een overzicht van de berekende eindprofielen is gegeven in Figuur 4.1 en in meer detail in Figuur 4.2.

Een grotere factor geeft meer afslag, maar heeft ook tot gevolg dat door zeewaarts transport van dit extra materiaal er sprake is van een aanzienlijk gewijzigde afzetting.

Zoals blijkt uit de tijdsontwikkeling van de hoeveelheid afslag boven stormvloedpeil (als gegeven in Figuur 4.3) is bij een verdubbeling van deze factor sprake van circa 20% meer afslag.

Omdat het hier feitelijk gaat om een numerieke truc die bovendien ook nog de vorm van de afzetting verandert, lijkt de aanpassing van de factor niet de aangewezen weg.

4.5 Effect oploophoogte

Bij gebruikmaking van de aanwezige formuleringen voor de berekening van de transportverdeling over het droge strand kan de uitkomst van de bewerking enigszins worden gestuurd door aanpassing van de grootte van de significante golfoploophoogte. Introductie van een afregelingscoëfficiënt maakt het mogelijk de berekende oploophoogte en daarmee de transportverdeling en dus de optredende profielontwikkeling te beïnvloeden.

Uitgaande van de eenheid als referentiewaarde, zijn voor een aantal afwijkende waarden de profielontwikkelingen en de daarmee gepaard gaande afslagvolumina bepaald.

Het in Figuur 4.4 gegeven overzicht laat zien dat een vergroting van de oplooffactor inderdaad leidt tot het gewenste resultaat, zonder dat daarbij sprake is van een significante beïnvloeding van de vorm van de onderwater-afzetting. Zoals met name blijkt uit het in Figuur 4.5 gegeven detail is er boven de waterlijn sprake van een zekere kanteling van het post-stormprofiel. Bij een nagenoeg ongewijzigde erosie landwaarts van $x = 50$ m is door het vergroten van de oplooffactor sprake van een relatieve toename van de erosie op de hogere niveaus. Dit is in feite conform het nagestreefde doel.

Blijkens de in Figuur 4.6 gegeven relatie veroorzaakt een 50 % toename van de oplooffactor ongeveer 10 % meer afslag.

Ter controle is het effect van deze oplooffactor gegeven voor een in de Deltagoot uitgevoerde proef. Het maximaal te bereiken effect lijkt voor deze situatie marginaal.

Blijkbaar heeft deze aanpassing voor een situatie met constante hydraulische condities toch nog niet het gewenste effect. Voor situaties met variërende hydraulische condities lijkt dit effect, in overeenstemming met eerdere resultaten, wel aanzienlijk.

4.6 Aanpassing rekenprogramma

Het rekenprogramma is nu zodanig aangepast dat er één parameter is toegevoegd. Deze oploopp parameter heeft nu een waarde die ongelijk aan de eenheid is. Vooral nog lijkt $K_{opi} = 1,25$ als invoer een redelijke waarde.

4.7 Conclusies

Door wijziging van de strandtransportmodule in het rekenmodel en uitbreiding van de basisparameters kan de verdeling van het transport boven de waterlijn en daarmee de berekende hoeveelheid duinafslag enigszins worden beïnvloed.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies m.b.t. de H/Tw -relatie

Onder andere uit een numerieke schaalserie blijkt dat de morfologische tijdschaal n_t afwijkt van de hydraulische tijdschaal n_T vanwege de diepteschaalafhankelijkheid van de sedimentconcentraties. Het gebruik van de H/Tw -parameter voor de schaling resulteert voor verschillende (diepte-)schalen n_d in een gelijke helling van het dwarsprofiel vanwege het vergelijkbare suspensietransportproces. Voor het verkrijgen van volledig gelijkvormige evenwichtsprofielen is echter in relatieve zin veel meer tijd nodig. Uitgaande van de hydraulische tijdschaal als maat voor de morfologische tijdschaal (dus $n_t = n_T$), leidt een kleinere diepteschaal tot geringere afslaghoeveelheden.

5.2 Conclusies m.b.t. de niet-constante porositeit

Door het aanzienlijke verschil tussen de dichtheid van met name uit het duinfront geërodeerd materiaal en de (veel hogere) dichtheid van het afgezette materiaal is in het dwarsprofiel per definitie sprake van volumeverlies. Door het verdisconteren van dit effect in een relatieve toeslagfactor op de berekende afslag kan met dit effect op eenvoudige wijze rekening worden gehouden.

5.3 Conclusies m.b.t. het strandtransport

Door wijziging van de strandtransportmodule in het rekenmodel en uitbreiding van de basisparameters (met o.a. een oplooffactor) kan de verdeling van het transport boven de waterlijn enigszins worden beïnvloed. Onderzochte aanpassingen leveren echter slechts ten dele het gewenste, cq. benodigde effect op.

5.4 Aanbevelingen

Aangezien er vraagtekens geplaatst kunnen worden bij de resultaten van op de H/Tw -parameter gebaseerde schaalseries, lijkt nader (meer diepgaand) onderzoek naar deze ingewikkelde problematiek zinvol.

Dit aanvullende onderzoek dient zich ook te richten op de schaalrelaties welke blijkbaar uit de formuleringen van het DUROSTA-rekenmodel volgen. Eén en ander levert meer inzicht in de tussen de uitkomsten van de rekenmodellen aanwezige verschillen, iets wat bij de overgang van het DUROS- naar het DUROSTA-model zeker nodig is.

Een aanpassing van het rekenmodel door implementatie van een enigszins gewijzigde routine voor de vaststelling van de transportverdeling op het strand en een extra nabewerking op de kuberingsresultaten leidt tot een betere voorspelling van de mate van duinafslag.

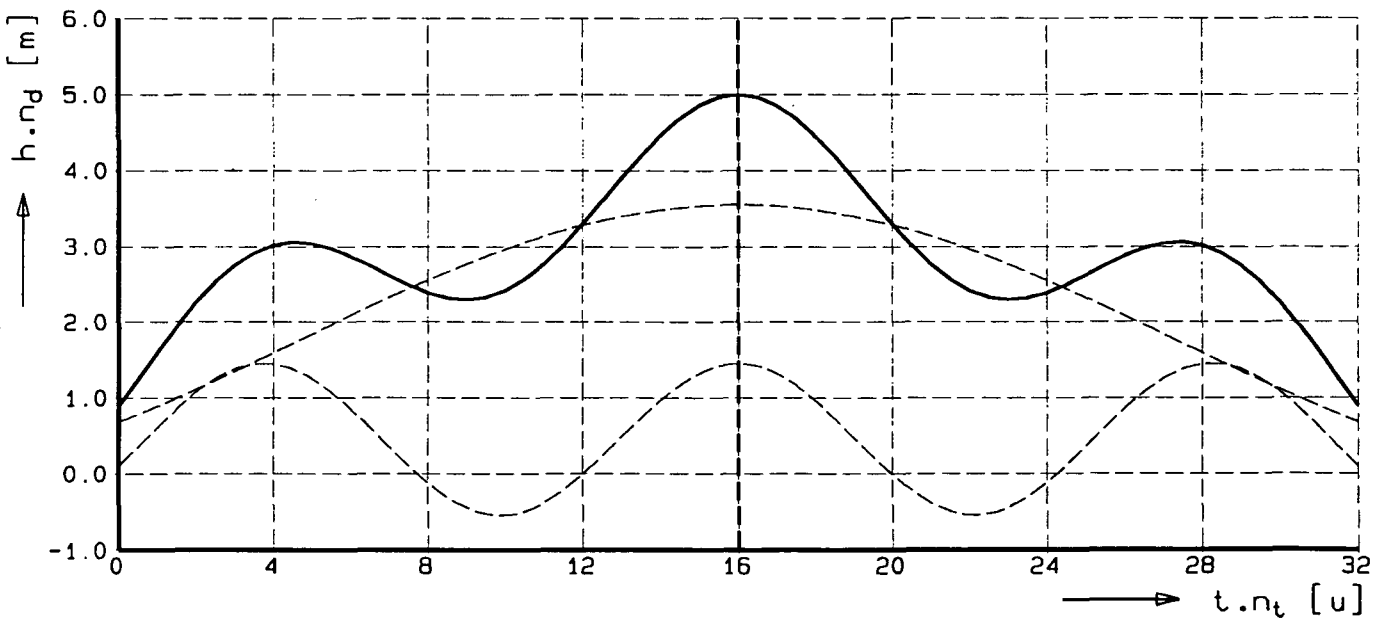
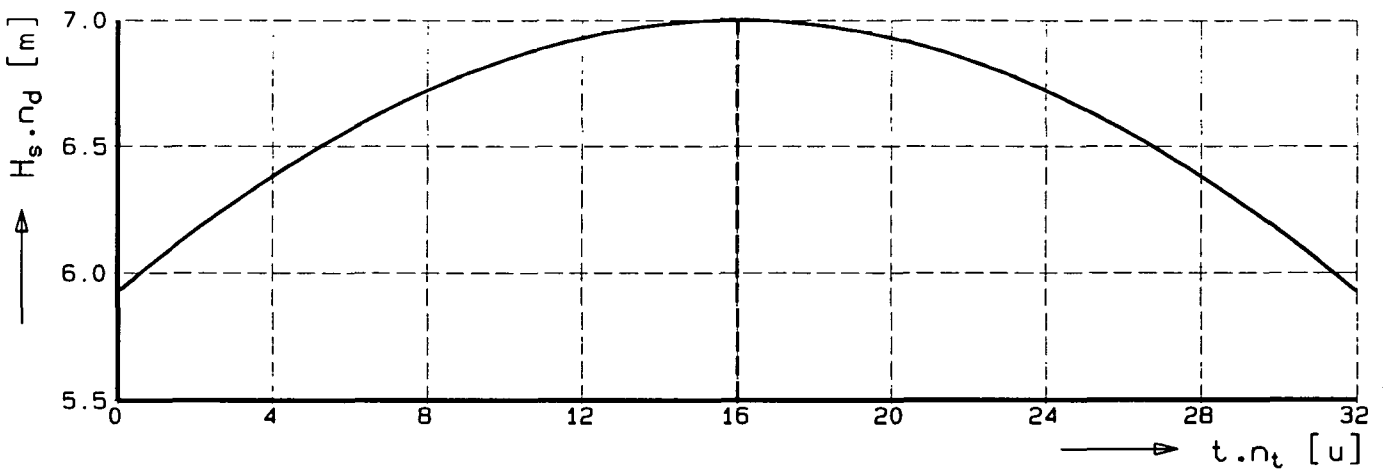
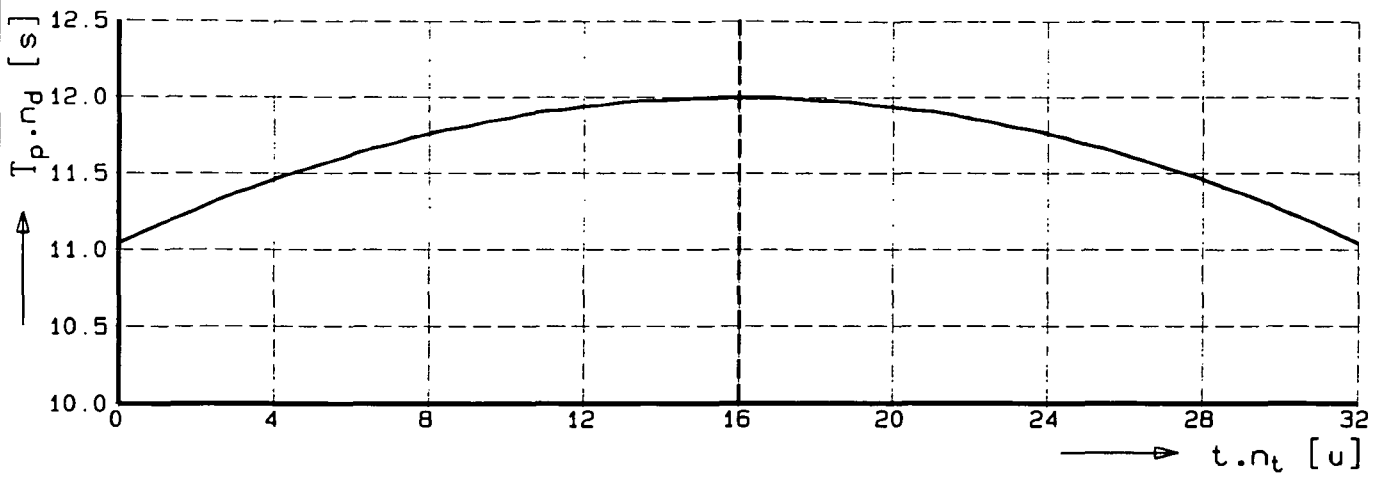
Aanbevolen wordt dan ook deze aanpassingen in een nieuwe versie van het model te implementeren (DUROSTA-1.20).

Om te komen tot een betere onderbouwing van de grootte van de ξ -factor wordt aanbevolen na het optreden van een afslaggebeurtenis in het bijzonder de dichtheid van de afzetting op het strand te bepalen.

Met betrekking tot genoemde strandmodellering wordt overigens aanbevolen de ontwikkelingen op dit gebied nauwgezet in de gaten te houden door middel van literatuurstudie, opdat in een toekomstige versie van het rekenmodel alsnog een verbeterde routine kan worden geïmplementeerd.

Literatuur

- Laboratorium voor grondmechanica, *Grondmechanische aspecten bij duinafslag*, Rapportage CO-244480, juli 1982.
- Steetzel, H.J., *Cross-shore transport during storm surges*, Proefschrift Technische Universiteit Delft, september 1993.
- Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, *Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering*, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage, 1984.
- Vellinga, P., *Beach and dune erosion during storm surges*, Proefschrift Technische Universiteit Delft, december 1986.
- Waterloopkundig Laboratorium, *Systematisch onderzoek naar kenmerkende factoren voor duinafslag*, Verslag modelonderzoek M1819, deel I, 1982.
- Waterloopkundig Laboratorium, *Schaalserie duinafslag, proeven op grote schaal in de Deltagoot*, Verslag modelonderzoek M1263, deel III, 1984.
- Waterloopkundig Laboratorium, *Verificatie DUROSTA*, Verslag onderzoek H1201, deel I, 1992.



n_d = diepteschaal; n_t = tijdschaal ($= \sqrt{n_d}$)

OVERZICHT STANDAARD HYDRAULISCHE
DIEPWATERRAND-RANDVOORWAARDEN

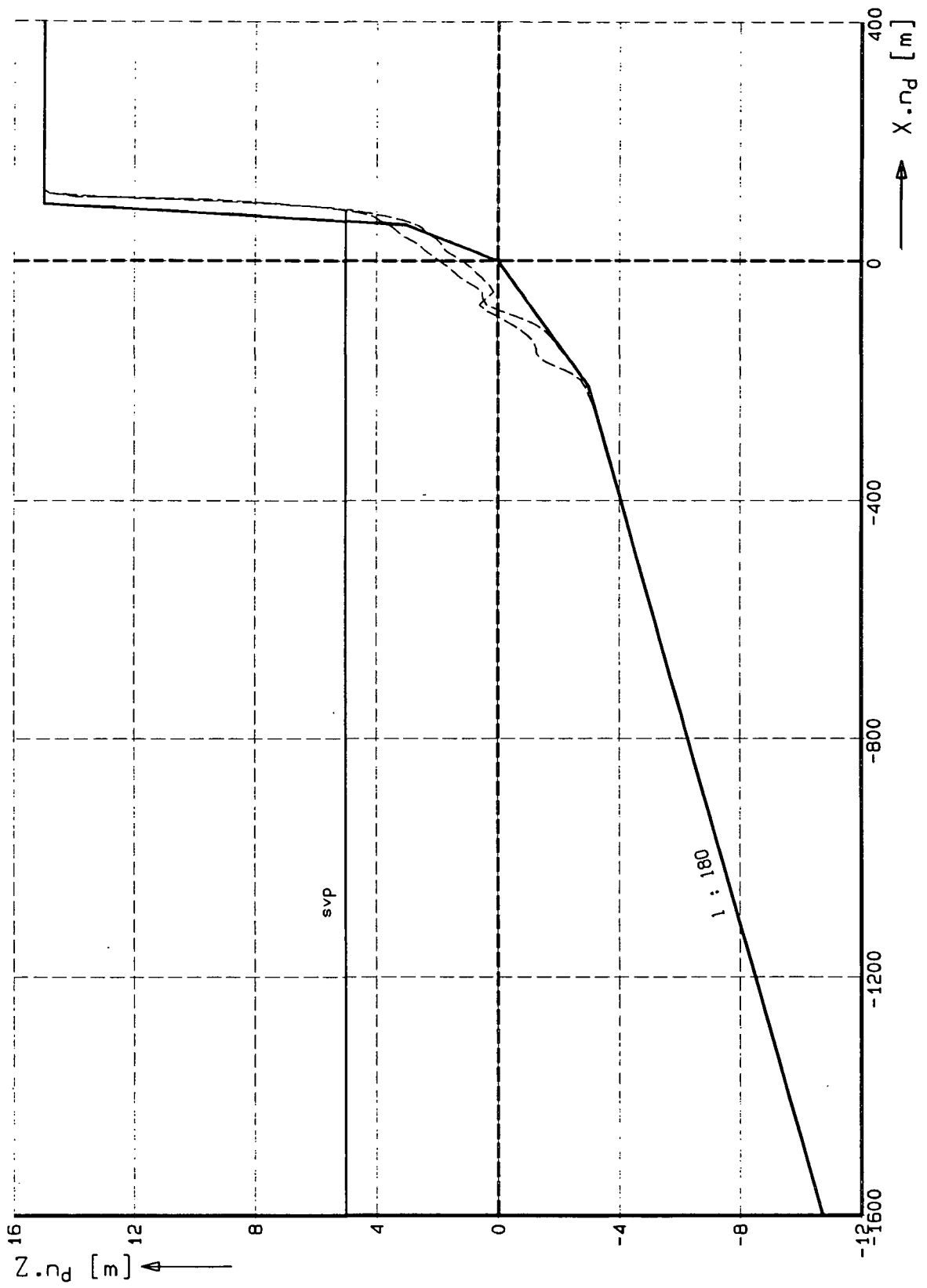
"RVW"

DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 2.1



n_d = diepteschaal

OVERZICHT UITGANGSPROFIEL

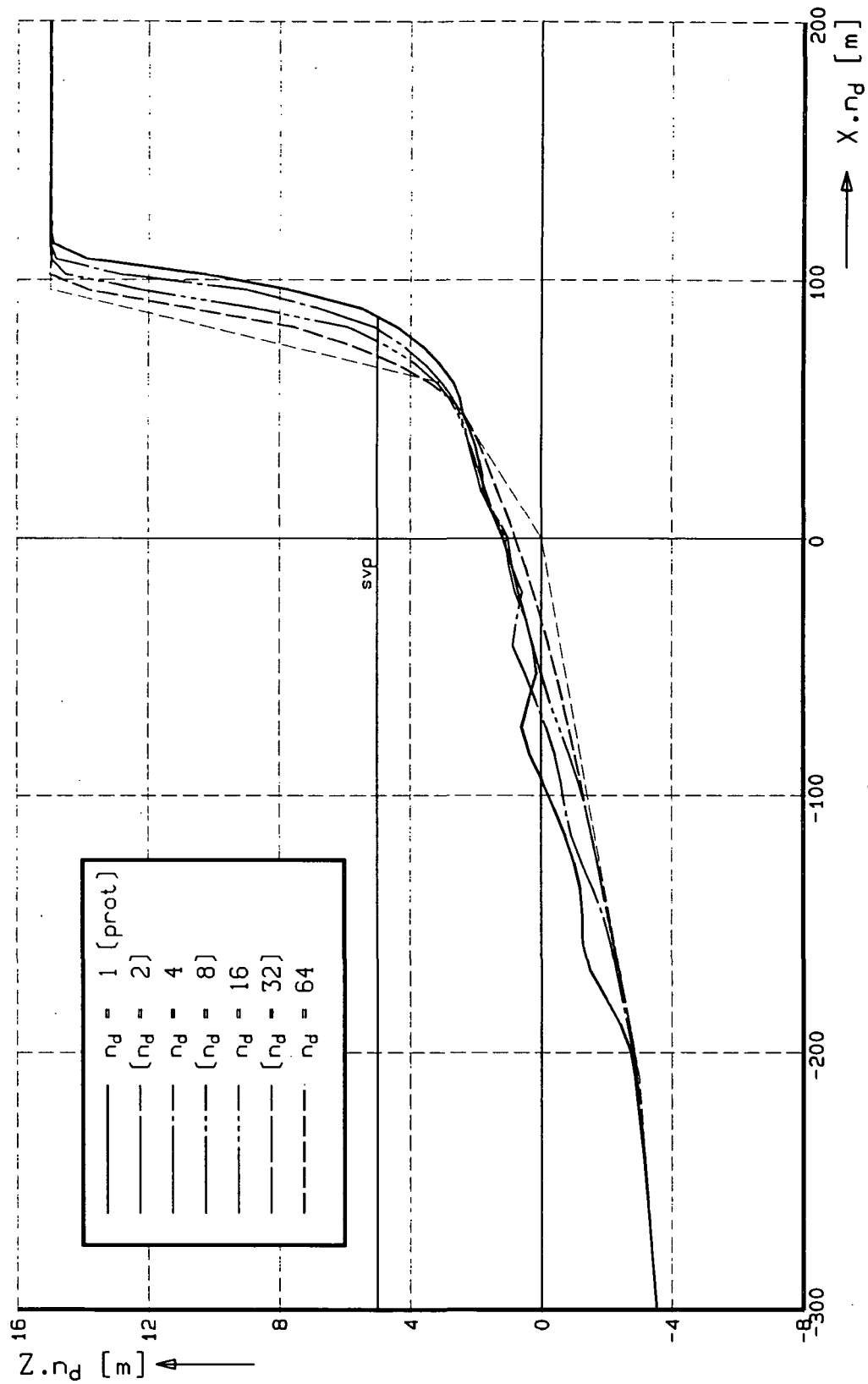
"PROF"

DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 2.2



n_d = diepteschaal

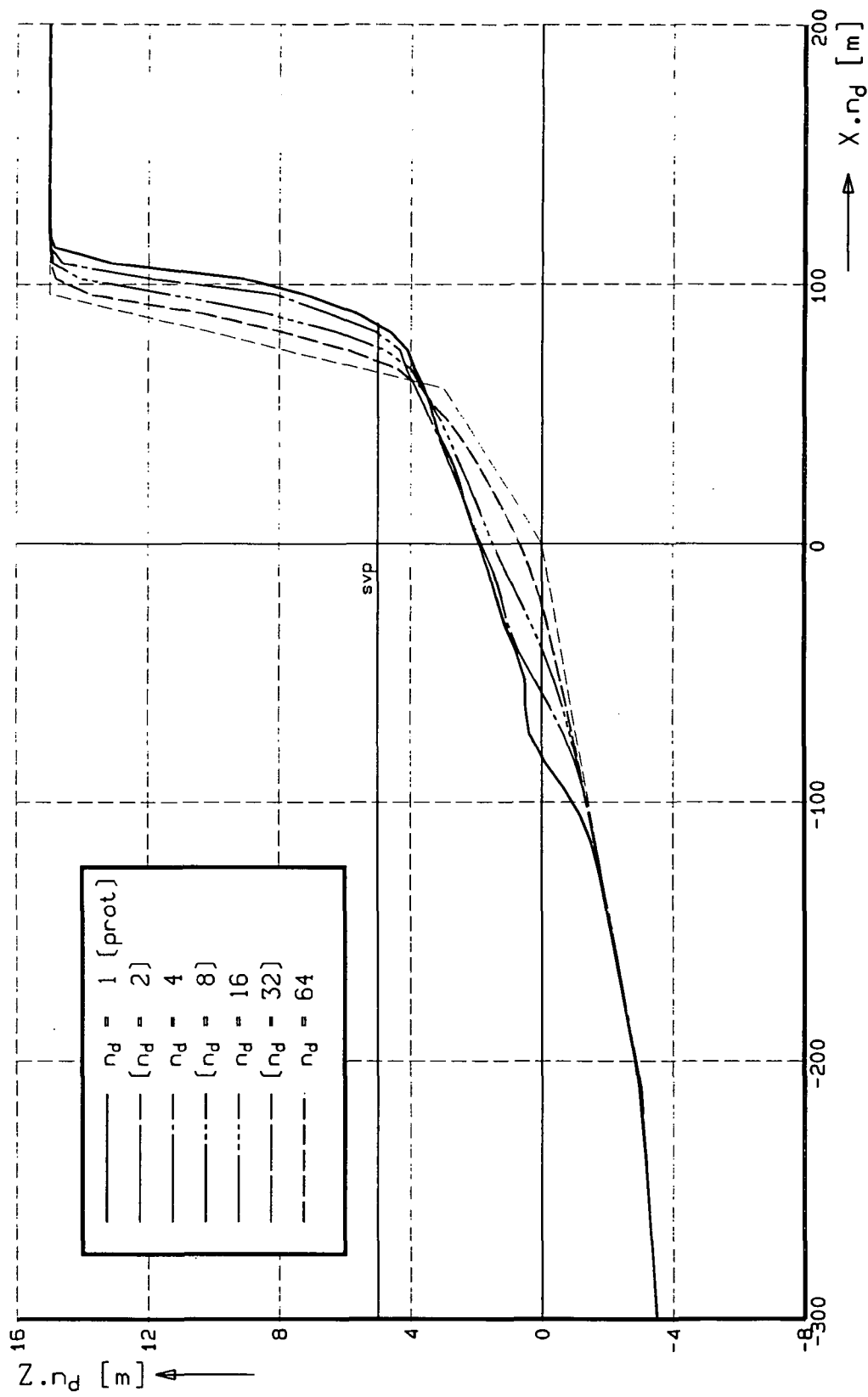
VERGELIJKING POST-STORM PROFIELEN;
resultaten schaalserie

"HTWPROF" DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 2.3^A



n_D = diepteschaal

VERGELIJKING POST-STORM PROFIELEN;
resultaten schaalserie

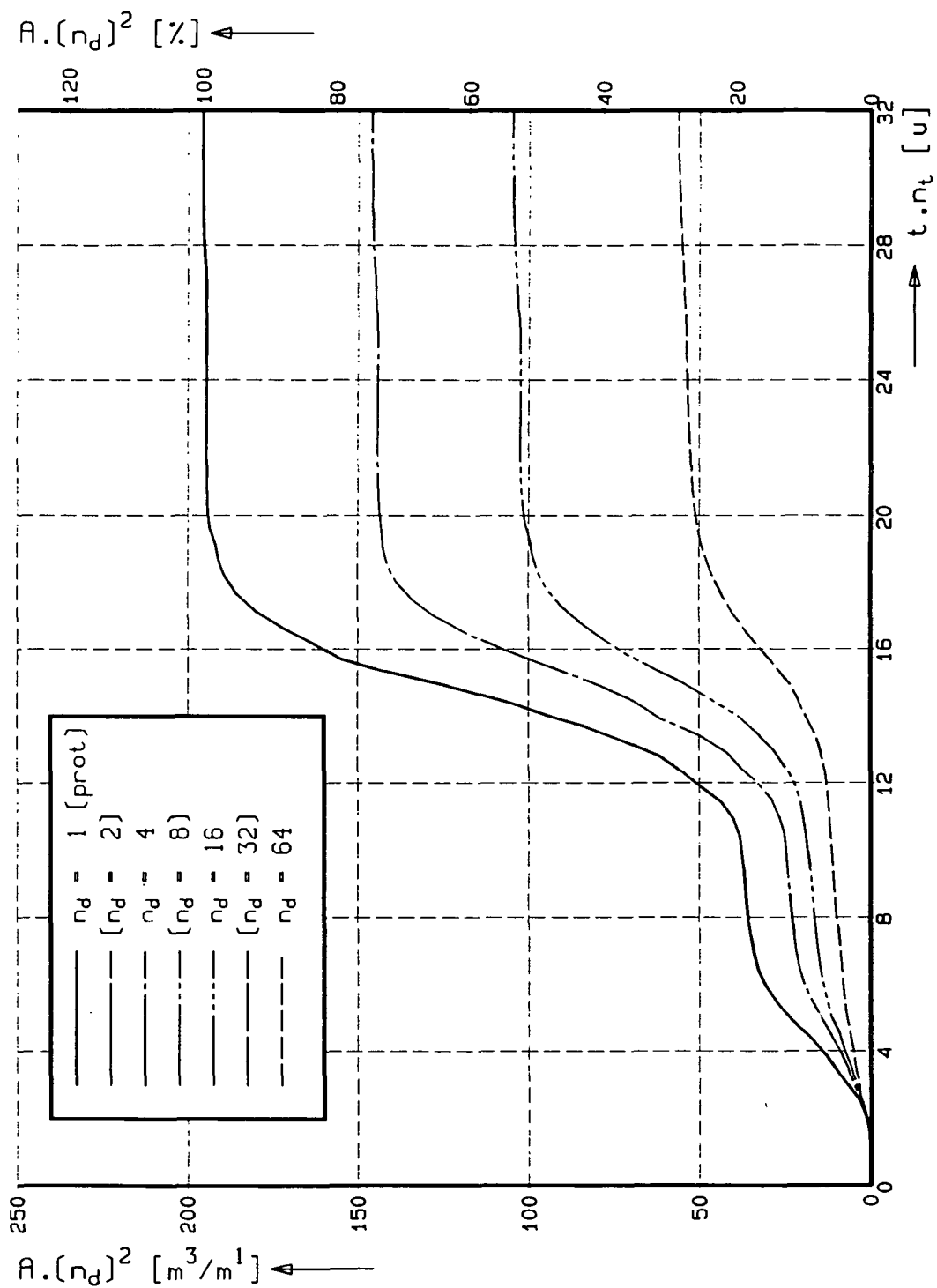
"HIWPROFC"

DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 2.3^b



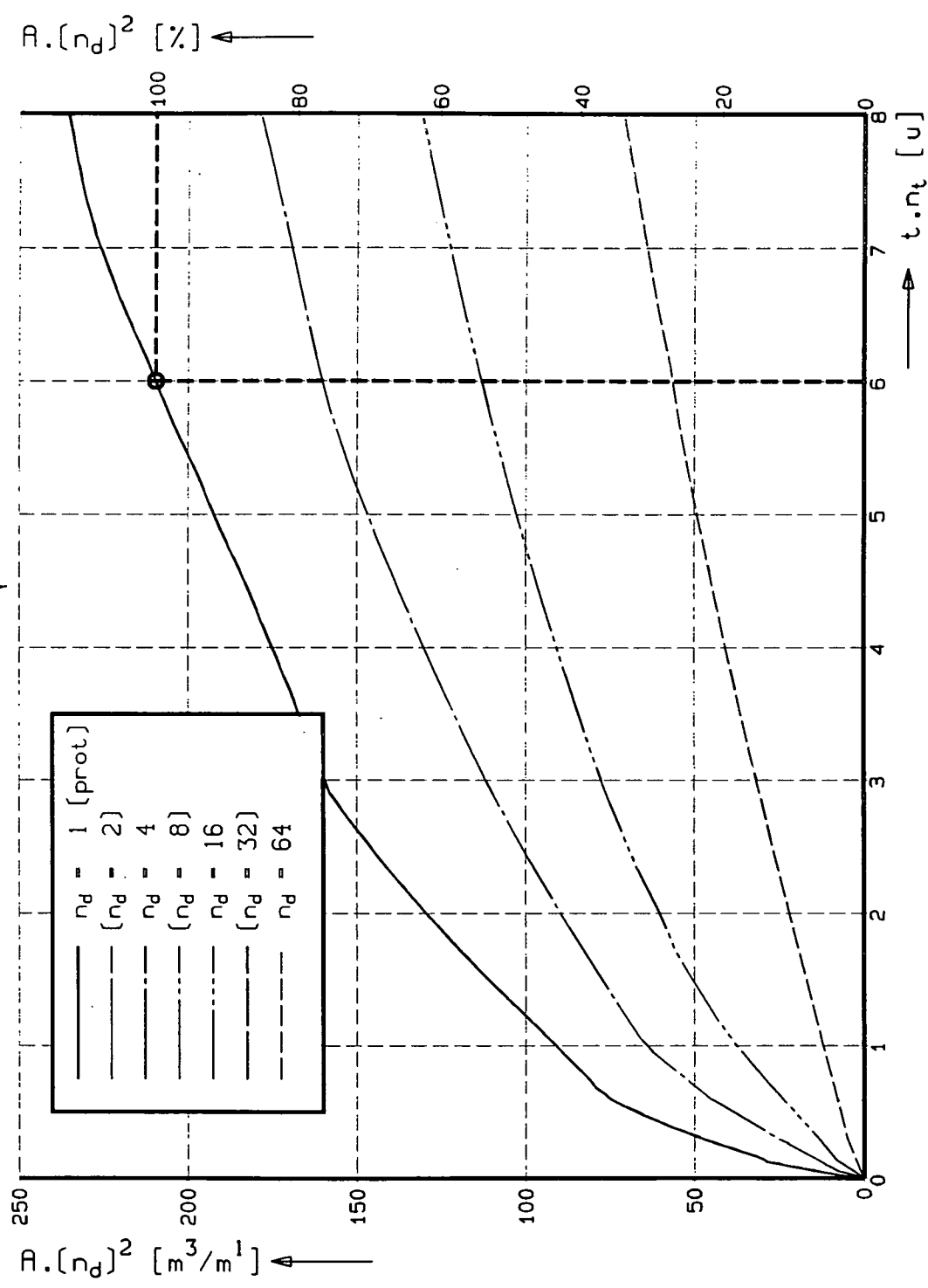
VERGELIJKING ONTWIKKELING AFSLAG;
resultaten schaalserie

"HTWAFSL" DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 2.4^A



n_d = diepteschaal
 n_t = tijdschaal ($= \sqrt{n_d}$)
 A = afslag boven svp

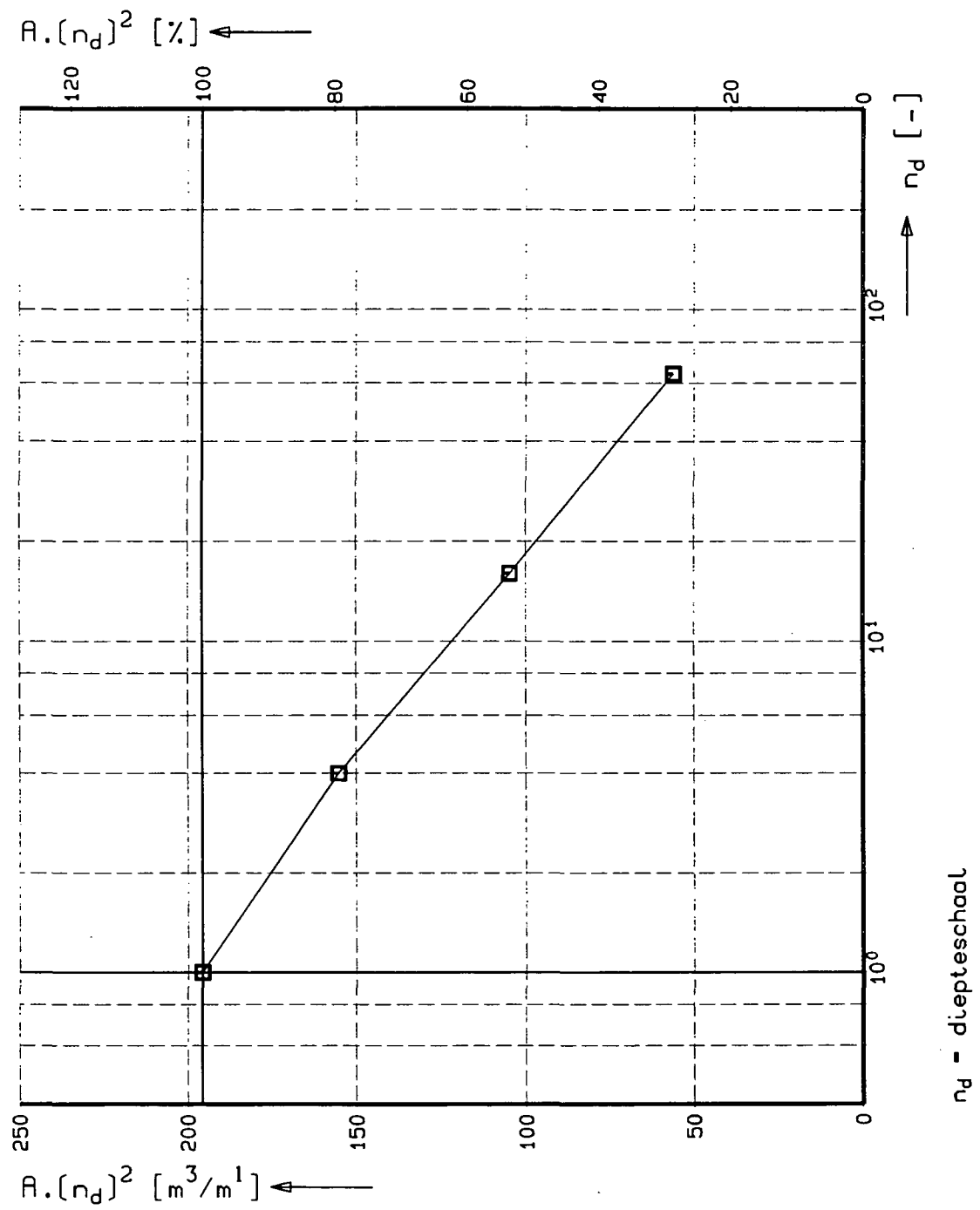
VERGELIJKING ONTWIKKELING AFSLAG;
 resultaten schaalserie

"HTWAFSLC" DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 2.4^B



r_D = diepteschaal

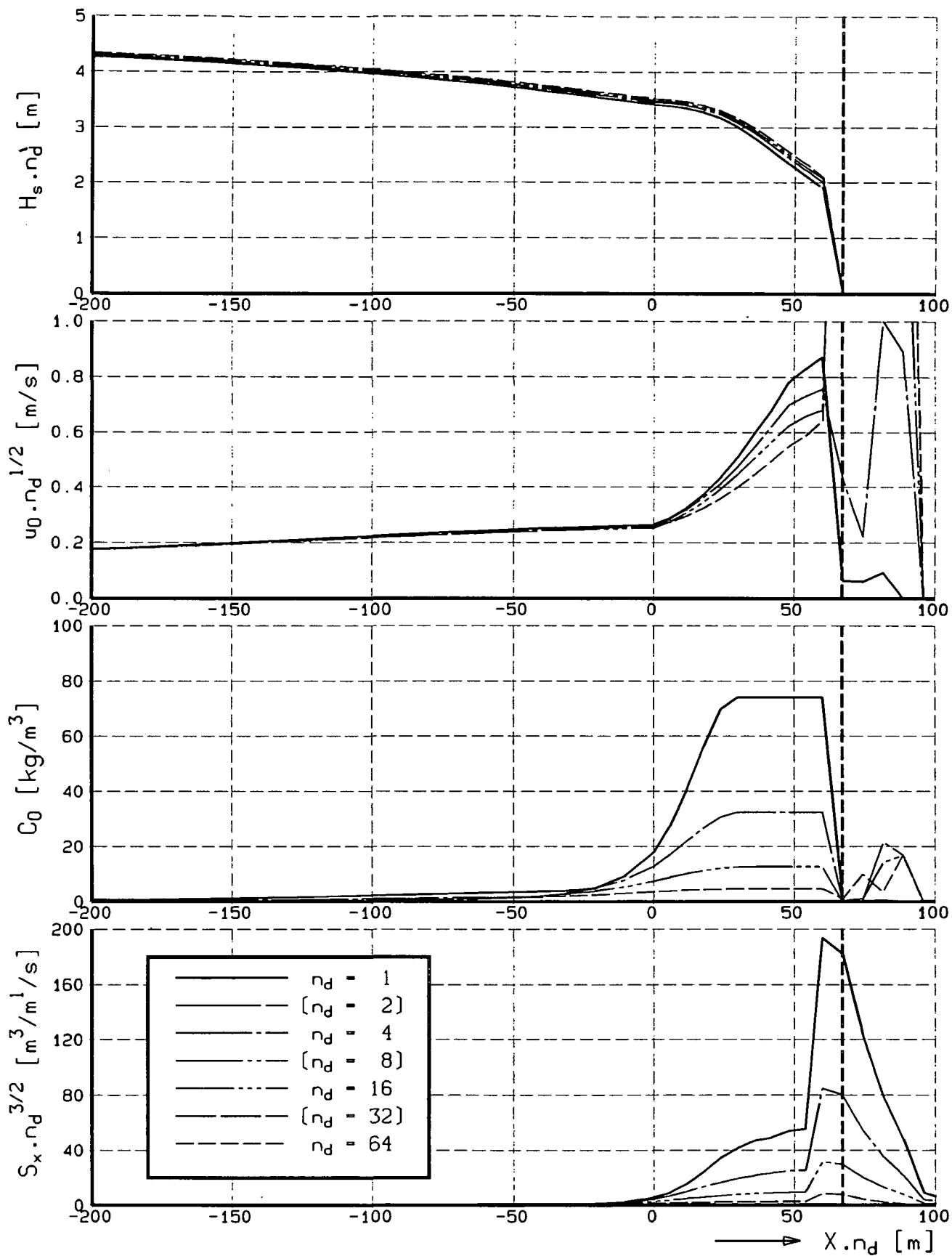
VERGELIJKING EINDWAARDE AFSLAG;
resultaten schaalserie

"ND-AFSL" DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 2.5



n_d - diepteschaal

VERGELIJKING DIVERSE PARAMETERS
 resultaten schaalserie

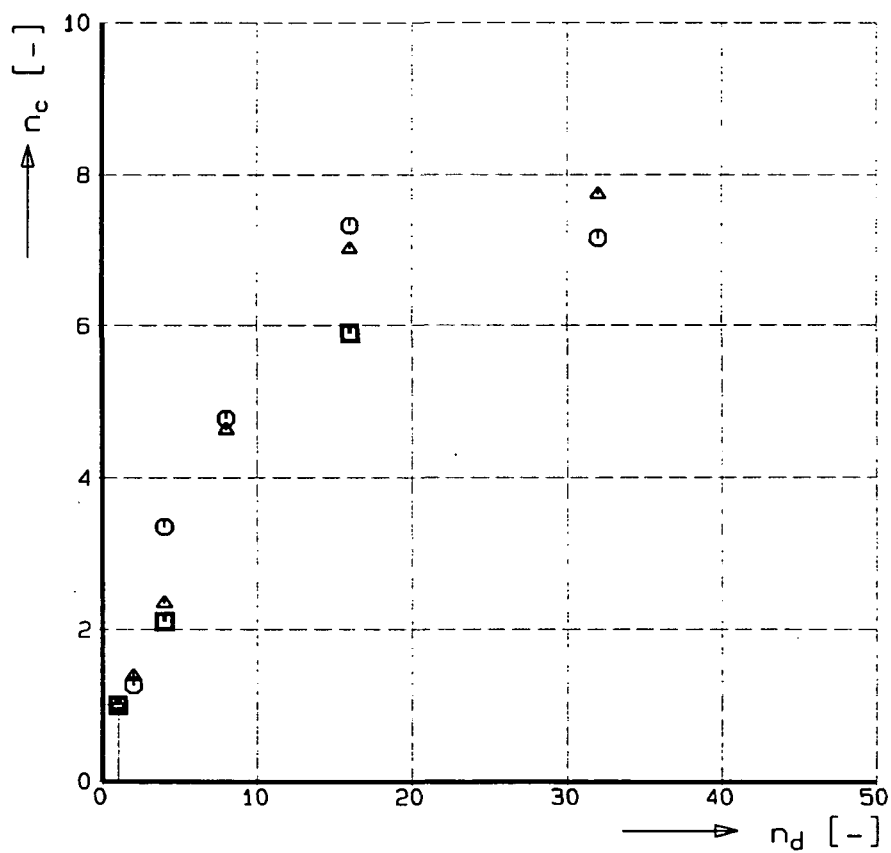
"HTWPAR" DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 2.6

- DUROSTA-berekening
- van Rijn; concentraties
- ▲ van Rijn; transporten



n_d - diepteschaal
 n_c - concentratieschaal

CONCENTRATIESCHAAL ALS FUNCTIE VAN
 DIEPTESCHAAL; diverse relaties

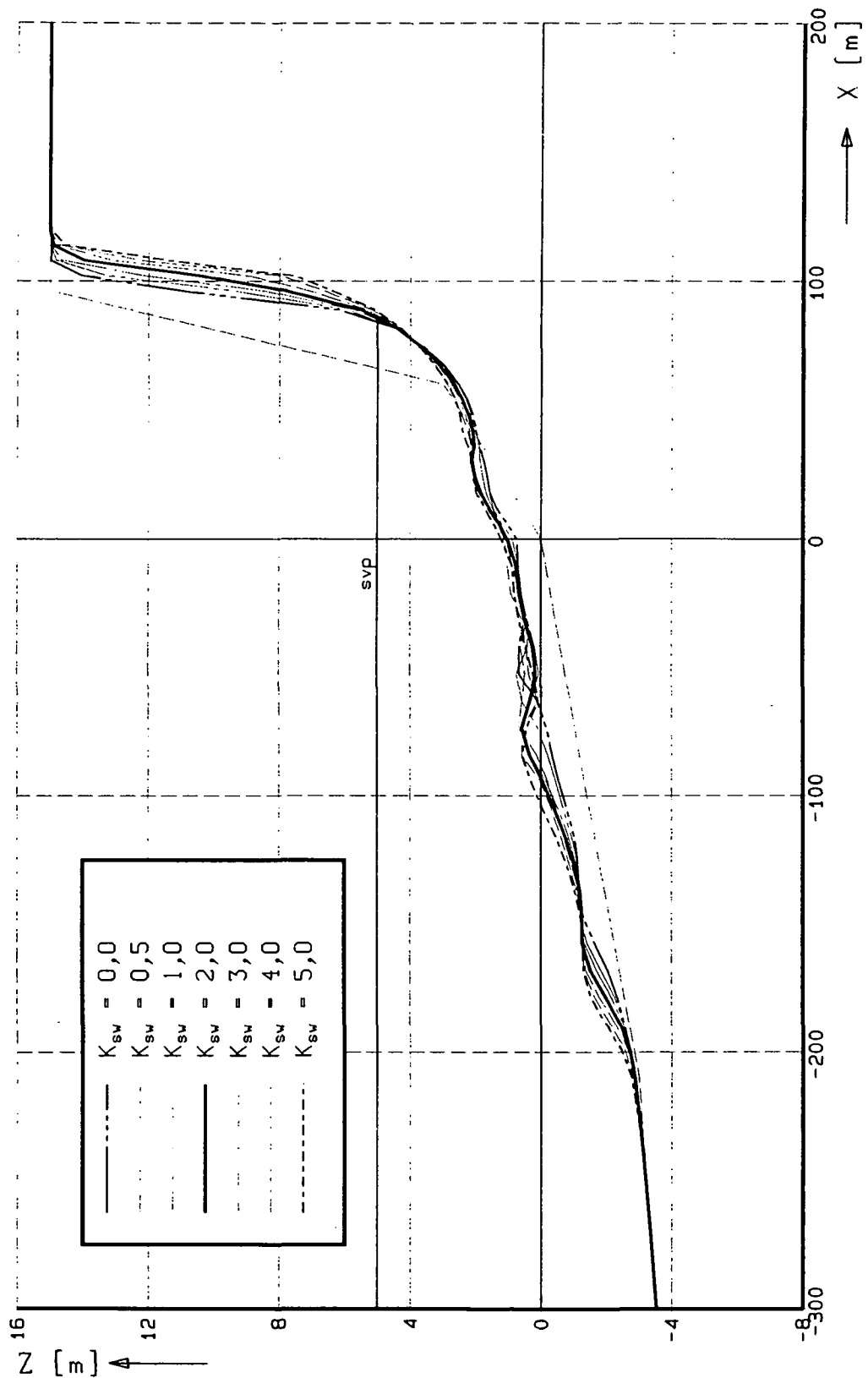
"ND-NC"

DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 2.7



EFFECT SWASHFACTOR OP POST-STORM
PROFIEL; resultaten berekeningen

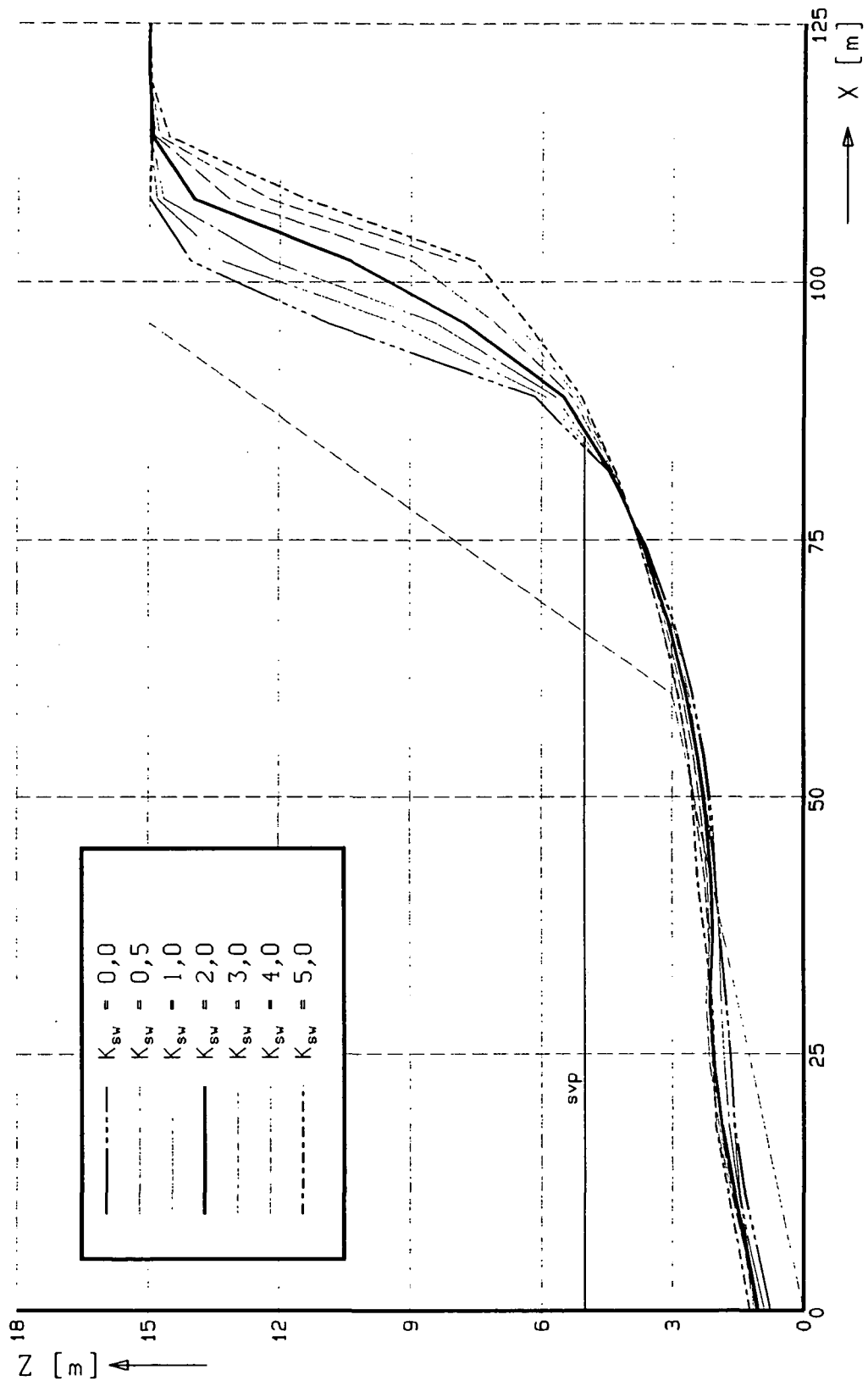
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

"SPPROF"

DUROSTA

H1865

FIG. 4.1



EFFECT SWASHFACTOR OP POST-STORM
 PROFIEL; resultaten berekeningen

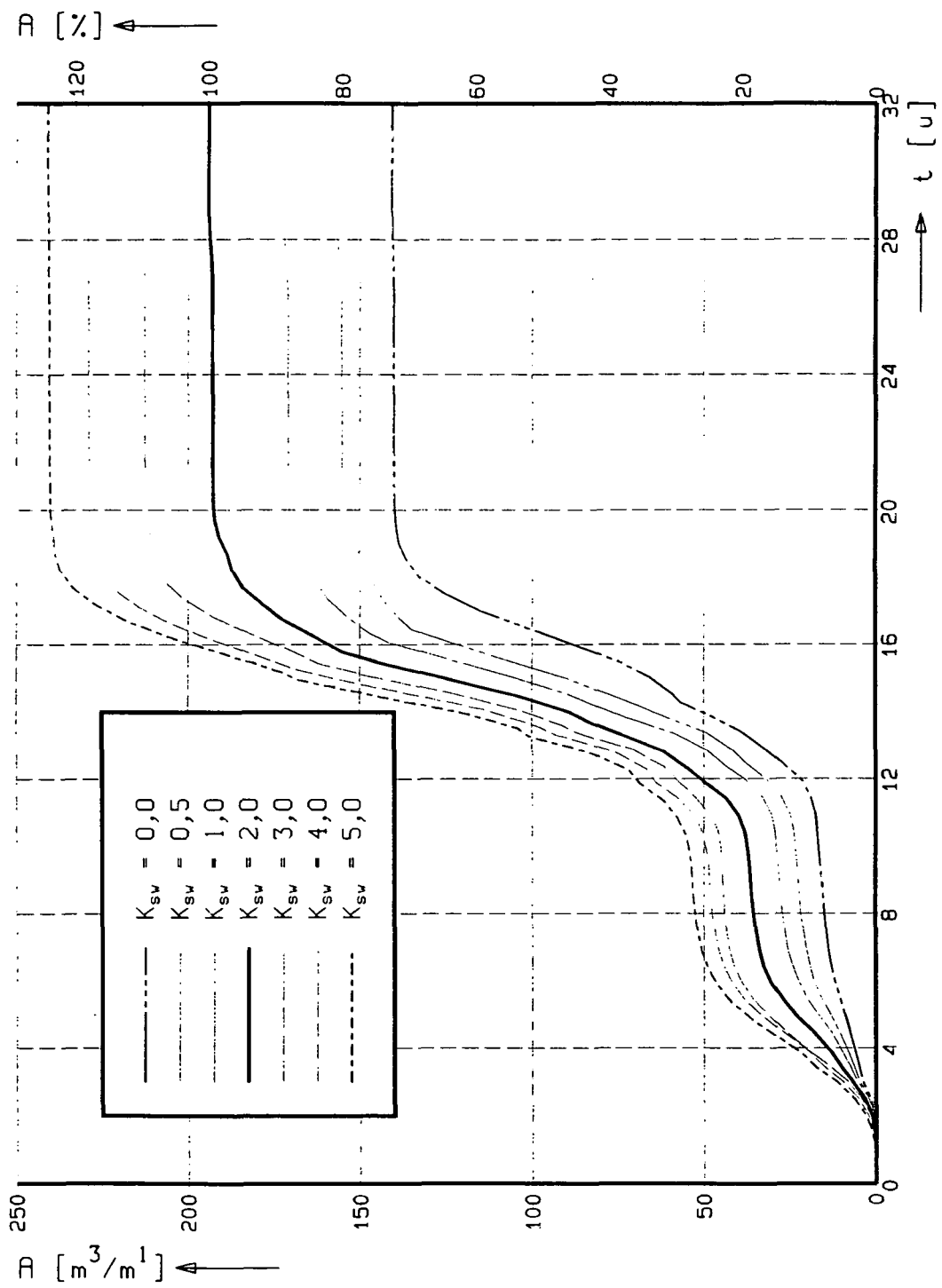
"SPPROF2" DUROSTA

Detail

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 4.2



VERGELIJKING ONTWIKKELING AFSLAG;
Effect washfactor

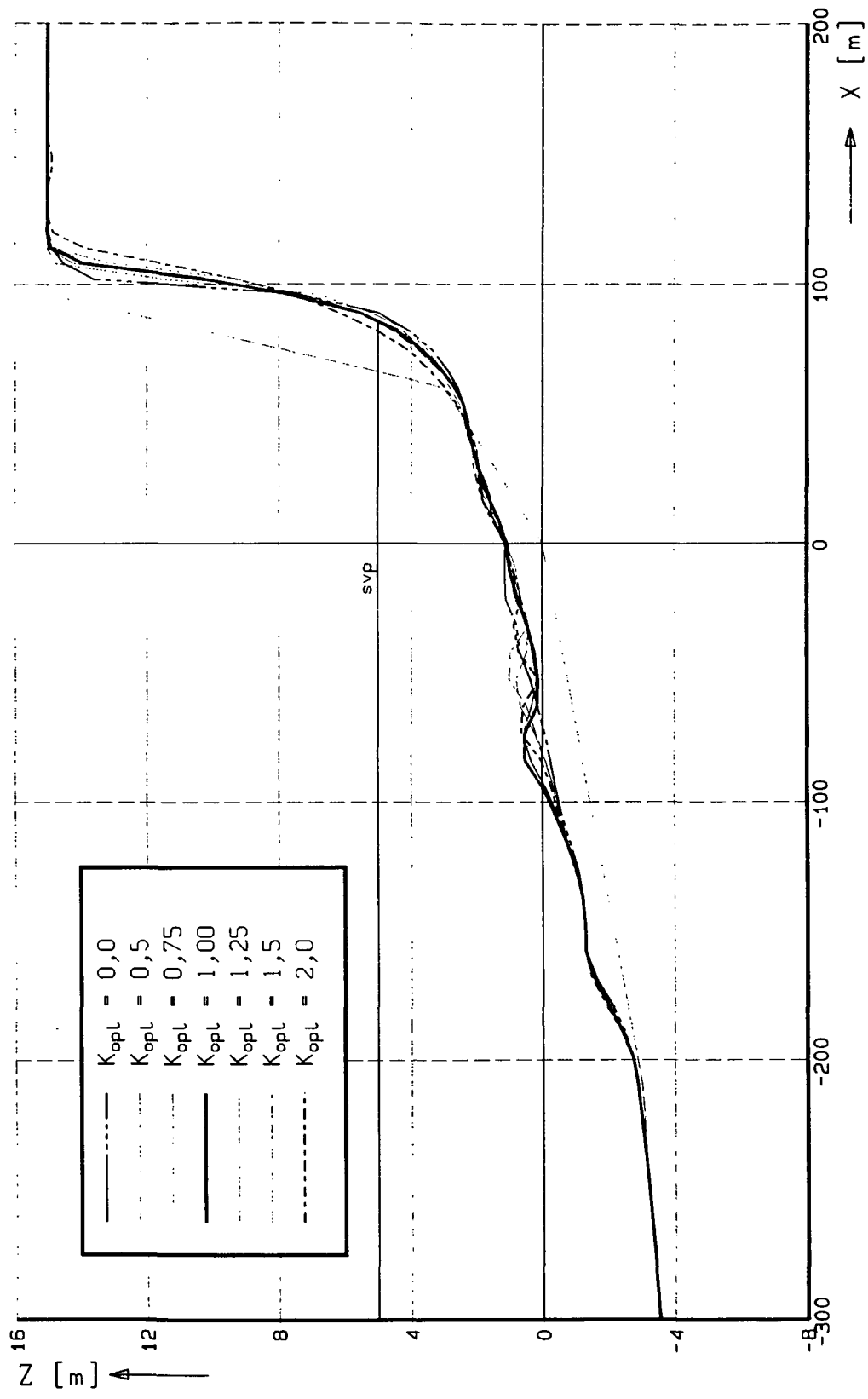
"SPAFSL"

DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 4.3

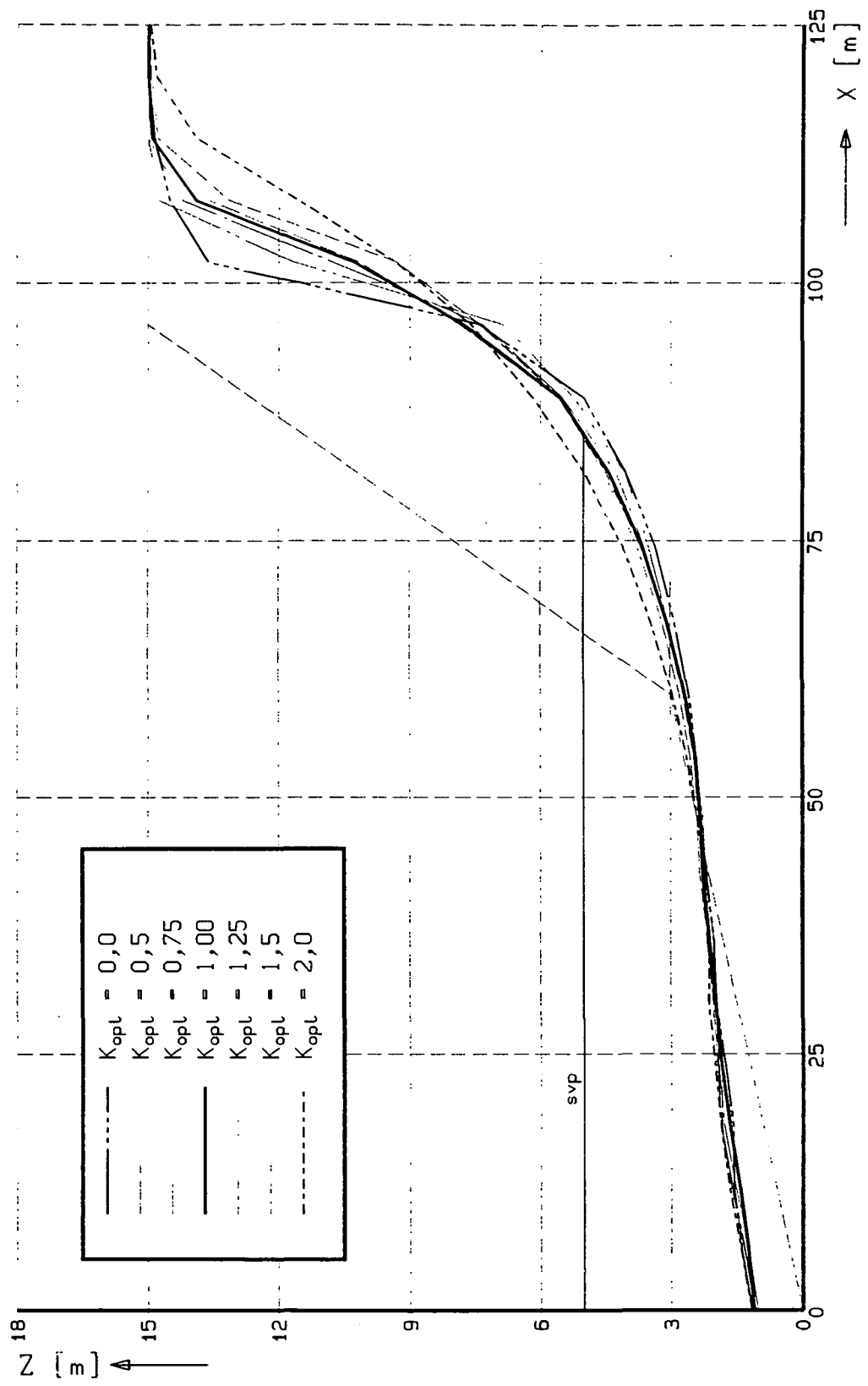


EFFECT OPLOOFFACTOR OP POST-STORM
 PROFIEL; resultaten berekeningen

"ZSPROF" DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865 FIG. 4.4



EFFECT OPLOOPFACTOR OP POST-STORM
 PROFIEL; resultaten berekeningen

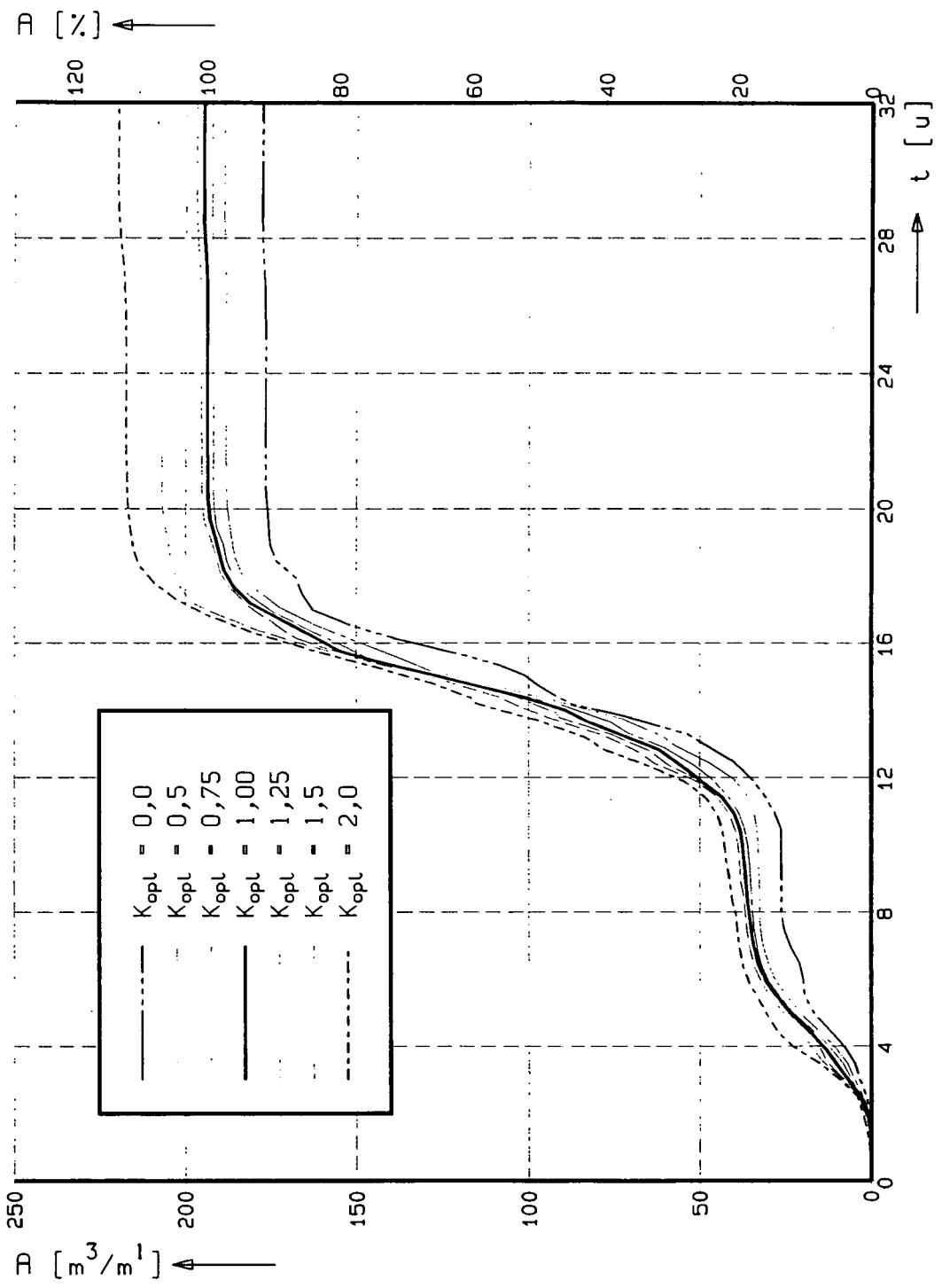
'ZSPROF2' DUROSTA

Detail

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

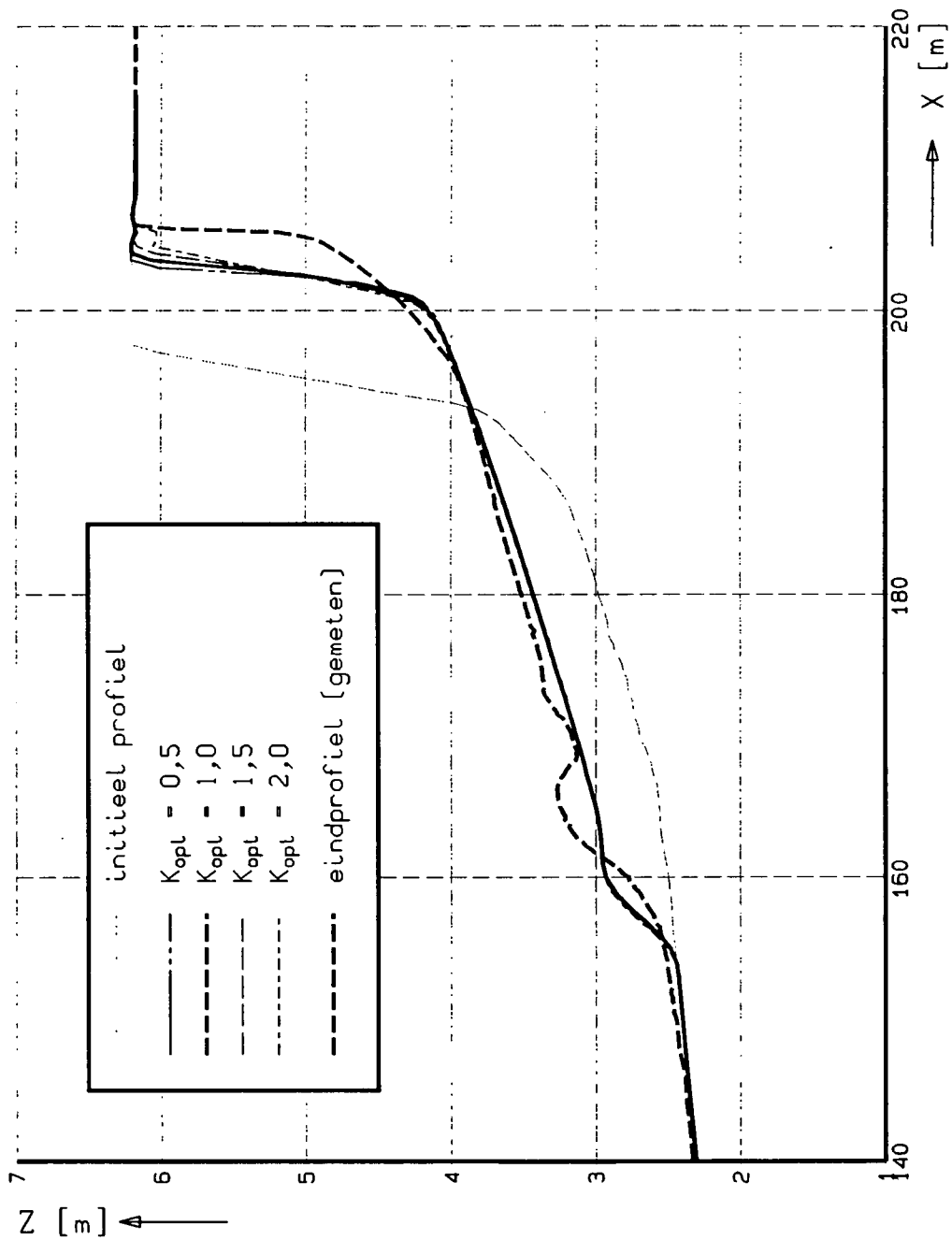
FIG. 4.5



VERGELIJKING ONTWIKKELING AFSLAG;
Effect ophloopfactor

"ZSAFSL"

DUROSTA



VERGELIJKING EINDPROFIELEN
 Testserie H298-I; T5 na 16 uur

'H298-T5' DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. 4.7

Appendix

Onderlinge vergelijking meetresultaten

In hoeverre een op kleinere (diepte)schaal uitgevoerde (numerieke/fysische) test aanleiding geeft tot verschillen in de mate van afslag is onderzocht door een vergelijking te maken tussen waargenomen profielontwikkelingen in twee modelproeven.

Gebruikte proeven

Het betreft hierbij proef T2 van de in de Deltagoot uitgevoerde M1263-III-serie en een vergelijkbare proef in de Scheldegoot, namelijk test T04 van het M1819-I-onderzoek.

Ten opzichte van de Deltagootproef is bij de laatste sprake van een (diepte)schaalfactor $n_d = 6$. Voor een eerlijke onderlinge vergelijking tussen de feitelijke H/Tw -parameters is uit het gemeten golfhoogteverloop de golfhoogte bepaald op een (prototype)waterdiepte van twee maal de nagestreefde diepwatergolfhoogte ($H_{0s} = 7,6$ m). Voor de beide proeven geeft dit respectievelijk $H_{s\Delta} = 1,65$ m en $H_{sS} = 0,247$ m. Met golfperiode $T_{p\Delta} = 5,4$ s en $T_{pS} = 2,2$ s en valsnelheid $w_\Delta = 0,0268$ m/s en $w_S = 0,0083$ m/s wordt voor de grootte van deze factor respectievelijk 11,4 en 13,5 gevonden. Deze waarden zijn nagenoeg gelijkwaardig.

Een overzicht van de tijdens beide proeven gemeten profielontwikkelingen is gegeven in Figuur A1.

Eerste vergelijking

In Figuur A2 zijn dezelfde meetresultaten samengebracht in eenzelfde figuur, waarbij de langs de boven- en rechterrand van de figuur gegeven getalswaarden betrekking hebben op de respectievelijke posities en niveaus voor de Scheldegootproef.

De in beide opstellingen gemeten profielontwikkelingen lijken op het eerste gezicht geometrisch vergelijkbaar.

Detailvergelijking

Een betere vergelijking is gegeven in Figuur A3. Hierin zijn vier in de Deltagoot gemeten profielen vergeleken met het, volgens de hydraulische tijdschaal, meest overeenkomstige Scheldegootprofiel. Hierbij is, gegeven $n_d = 6$, in principe immers een tijdschaalfactor volgens $n_t = n_T = \sqrt{n_d} = \sqrt{6} = 2,45$ van toepassing. Het in de bovenste figuur gegeven Deltagootprofiel ($t = 0,3$ uur) zou dan ook moeten worden vergeleken met het profiel in de Scheldegoot zoals dit was ontstaan na $0,3/2,45 = 0,12$ uur. De dichtst bij dit ideale tijdstip gelegen meting heeft betrekking op de situatie op $t = 0,1$ uur en zou dus op zich weer vergelijkbaar moeten zijn met een Deltagootprofiel na 0,24 uur. Deze laatste waarde is in de figuur tussen haakjes gegeven.

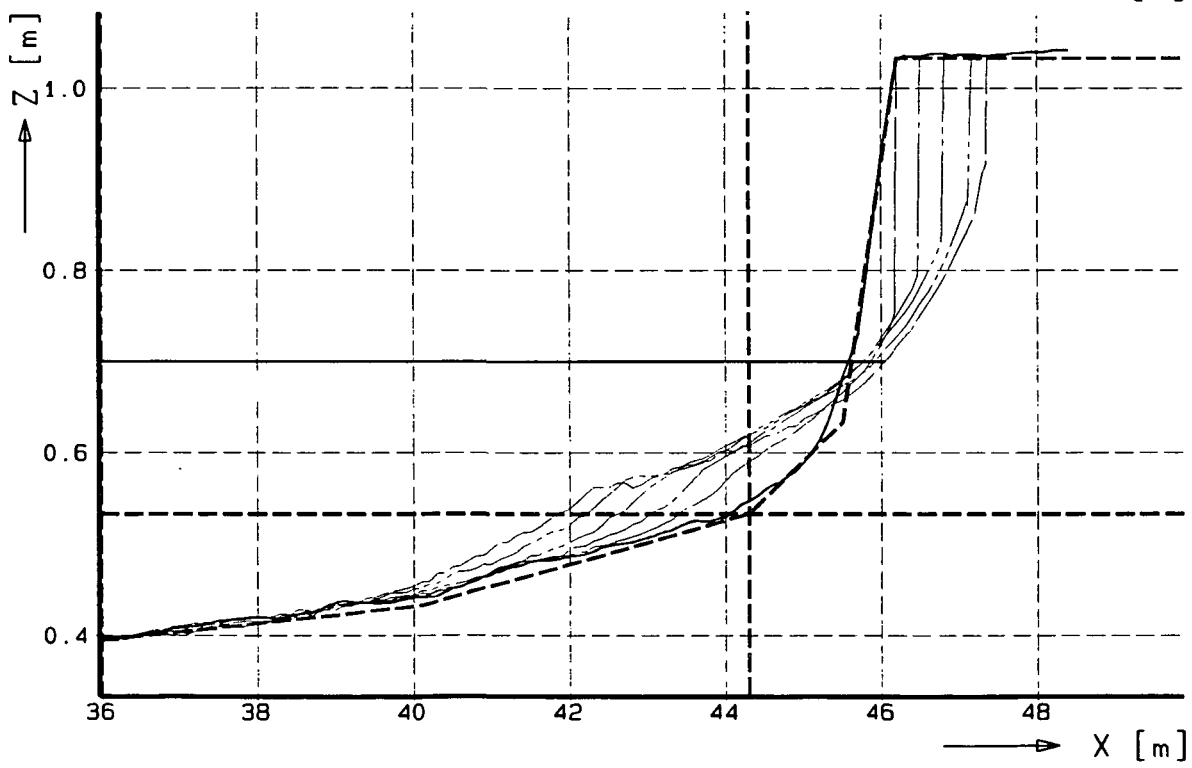
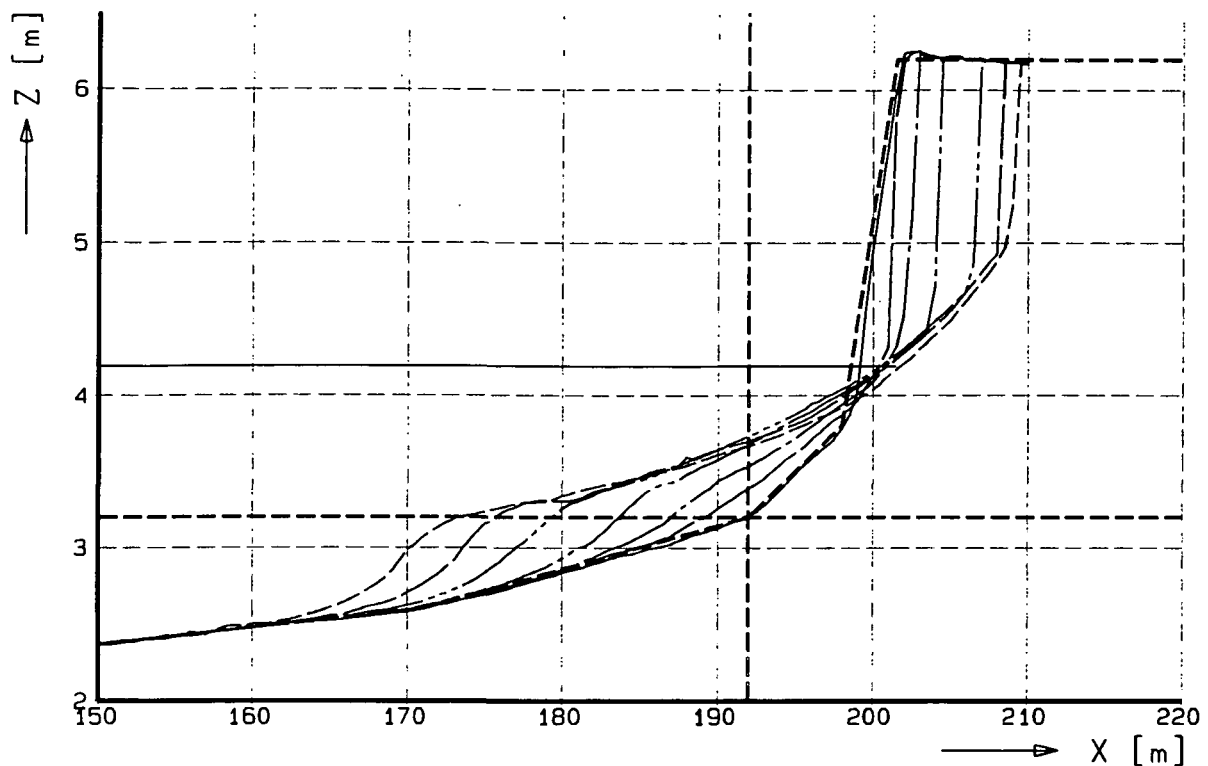
Conclusies

Uit beschouwing van de vier gegeven dwarsprofielen blijkt dat in alle gevallen de (opgeschaalde) afslag bij een kleinere diepteschaal blijkaar relatief geringer is.

Opvallend hierbij is overigens dat de profielligging in het midden van het afslagprofiel (tussen de kop van de afzetting en de stilwaterlijn) zowel qua niveau als helling wel gelijkwaardig is.

In hoeverre deze conclusie wordt gerechtvaardigd door eerder uitgevoerde vergelijkingen blijkt uit Figuur A4, waarin een kopie is gegeven van Figuur 162 uit het M1263-III-rapport. Hierin zijn de naar prototype herleide resultaten van dezelfde twee proeven gegeven. Mede

op basis van de geconstateerde overeenkomst in de profielontwikkeling (die als vrij goed werd gekwalificeerd) werd hiermee een bevestiging gegeven van het gebruik van de H/T_w -parameter als schaalgrootte voor de reproductie van duinafslag.



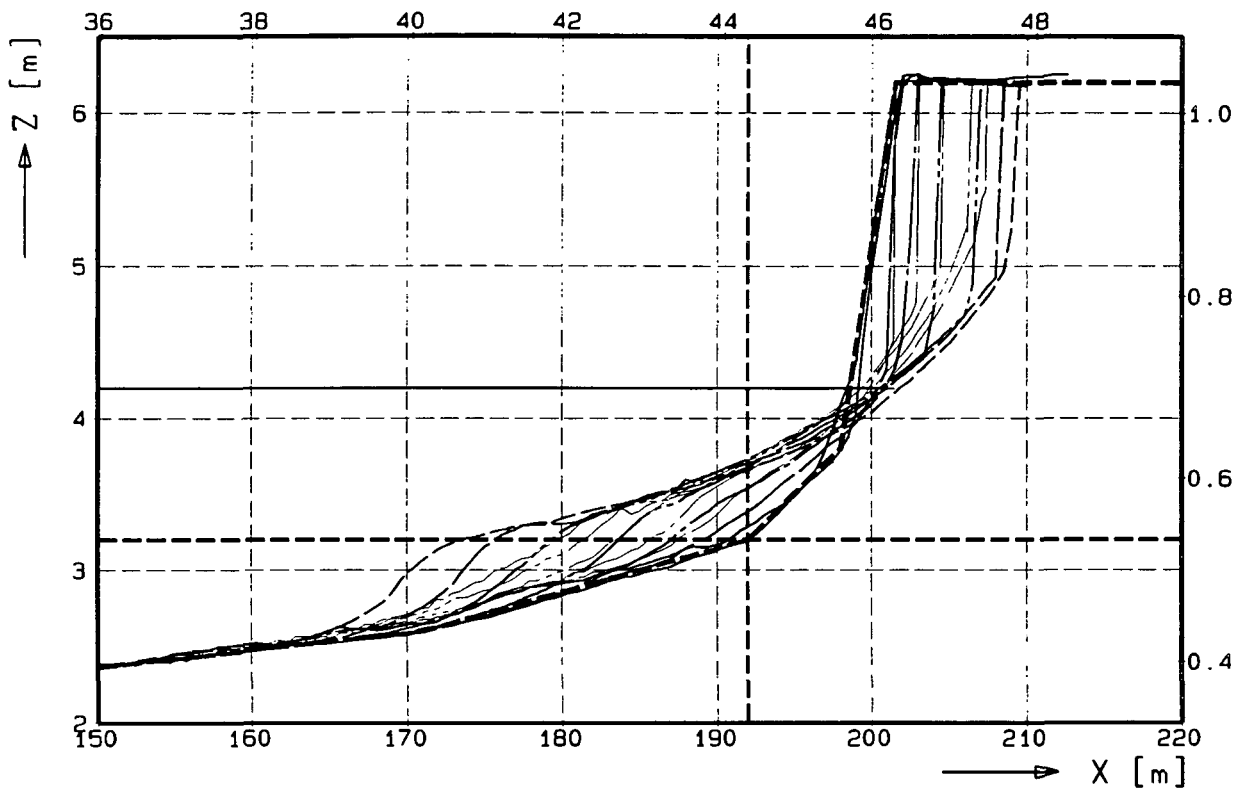
- | | | | |
|-------|---------|-------|----------|
| ----- | gewenst | ----- | 1,0 uur |
| ===== | 0 uur | ----- | 3,0 uur |
| ===== | 0,1 uur | ----- | 6,0 uur |
| ----- | 0,3 uur | ----- | 10,0 uur |

VERGELIJKING MEETRESULTATEN
Deltagoot en Scheldegoot

"HTW1" DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865 FIG. A1



Deltagoot		Scheldegoot
—————	0 uur	—————
-----	0,1 uur	-----
- - - - -	0,3 uur	- - - - -
—————	1,0 uur	—————
—————	3,0 uur	—————
—————	6,0 uur	—————
—————	10,0 uur	—————

VERGELIJKING MEETRESULTATEN
Deltagoot en Scheldegoot

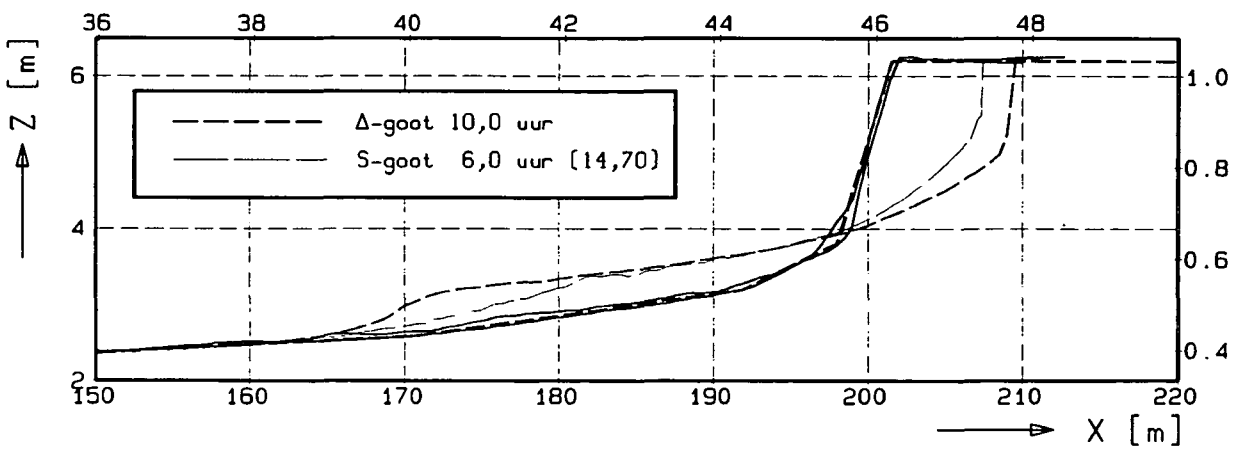
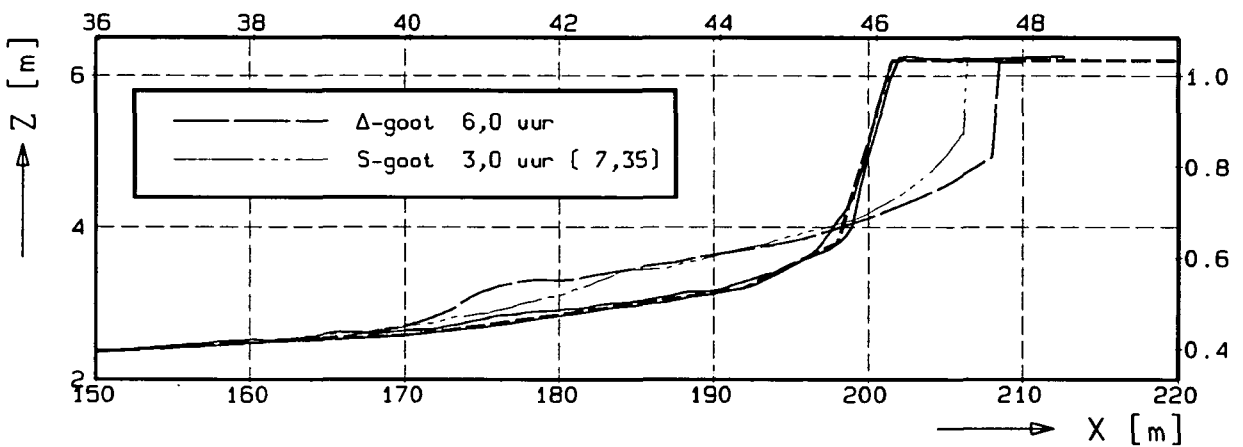
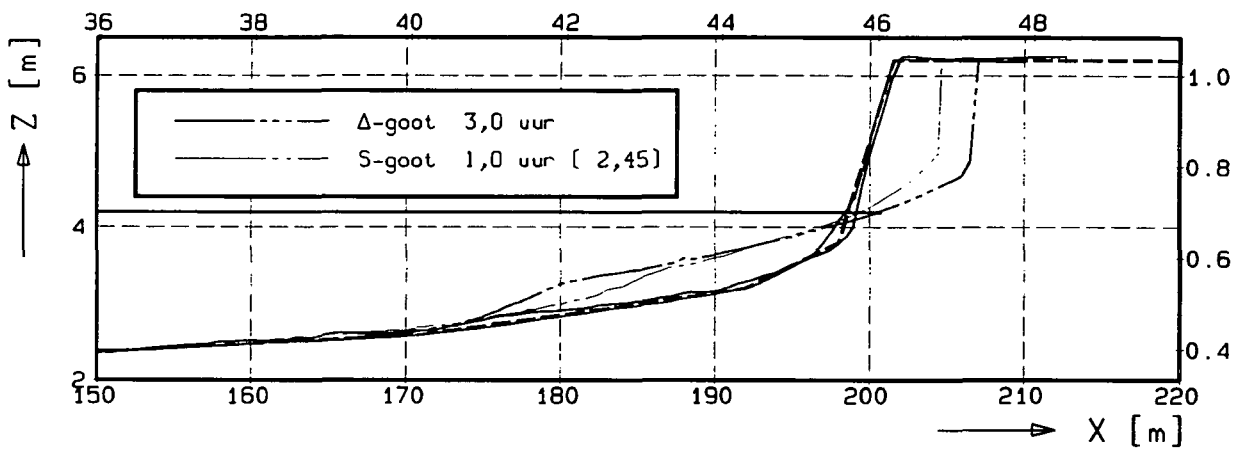
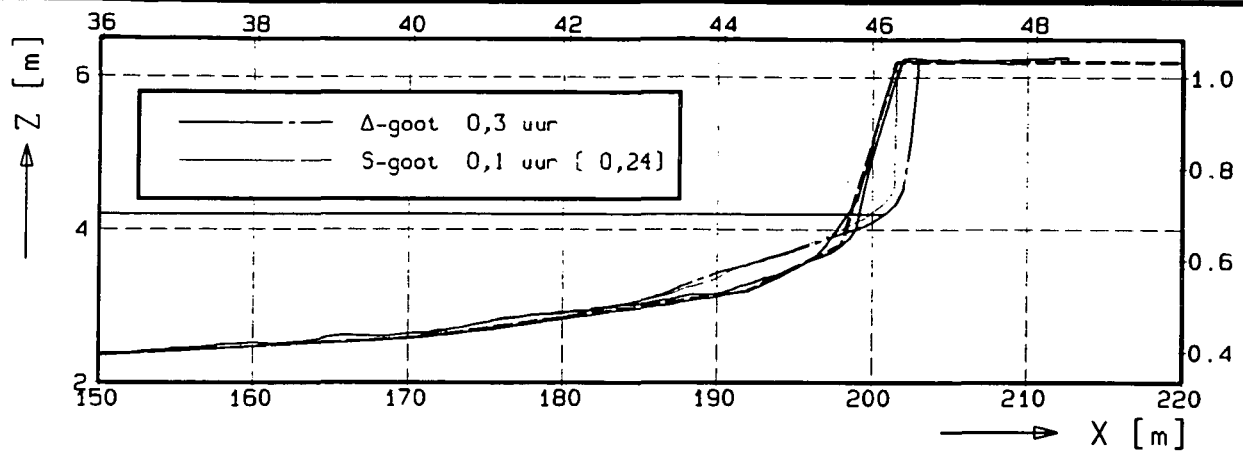
"HTW2"

DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. A2



VERGELIJKING MEETRESULTATEN
Deltagoot en Scheldegoot

"HTW3"

DUROSTA

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

H1865

FIG. A3

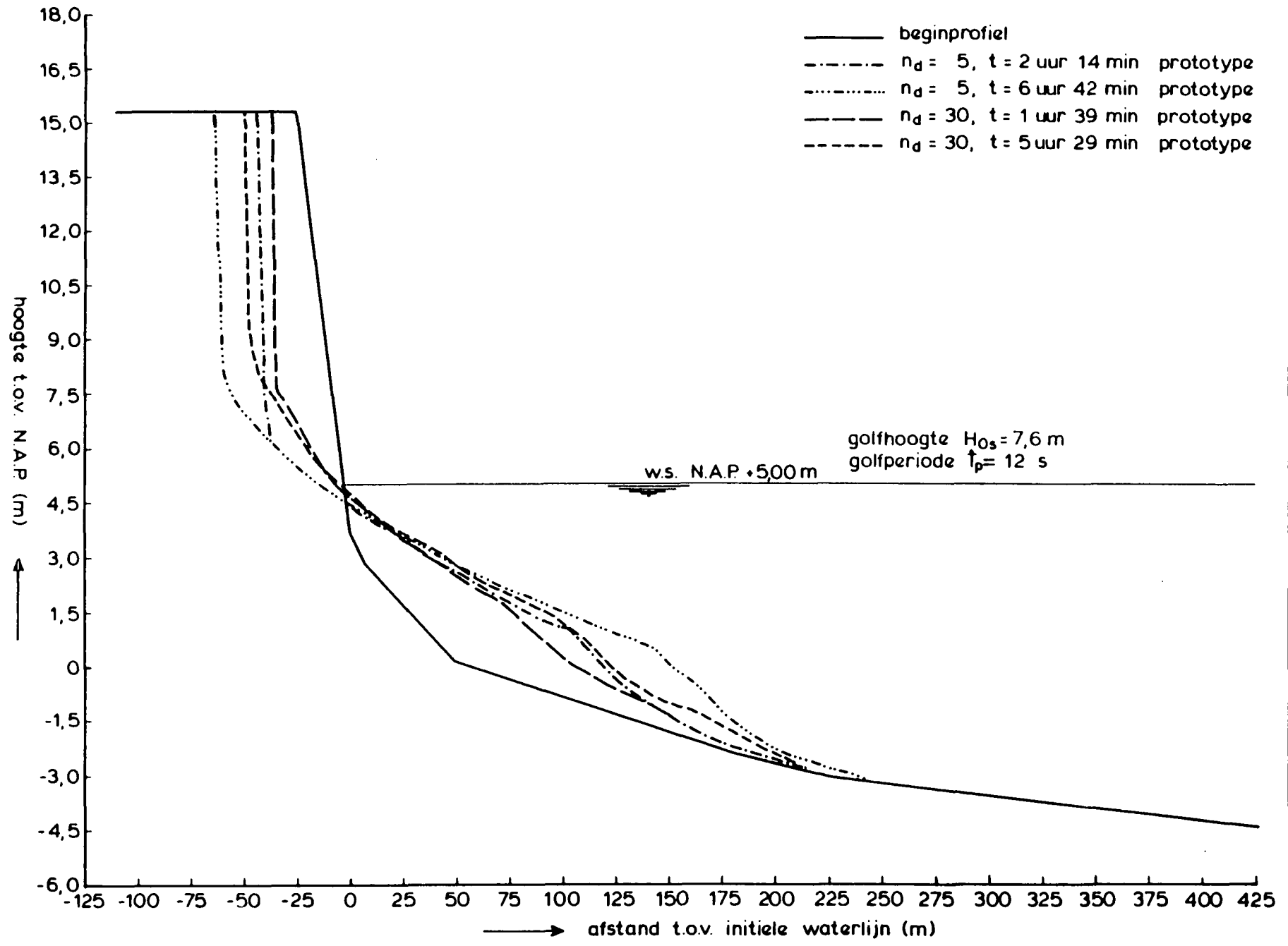
TOETSING H/TW PARAMETER, PROFIEL-
ONTWIKKELING $n_d=5$ EN $n_d=30$

M1263f.c.g.

Uit: [M1263-111; figuur 162]

H1865

FIG. R4



• locatie 'De Voorst'

• hoofdkantoor

Wijk 10a De Voorst, NL

hoofdkantoor
Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon (015) 56 93 53
telefax (015) 61 96 74
telex 38176 hydel-nl

locatie 'De Voorst'
Voorsterweg 28, Marknesse
postbus 152
8300 AD Emmeloord
telefoon (05274) 29 22
telefax (05274) 35 73
telex 42290 hylvo-nl

