

BIBLIOTHEEK  
Waterloopkundig Laboratorium  
Postbus 177 - DELFT

# waterloopkundig laboratorium delft hydraulics laboratory

---

stormvloedkering Oosterschelde

stabiliteit rand negatieve overlap  
oriënterend onderzoek in de stroomgoot te Lith

nota

---

LV 1669/R 1852

november 1982

12.DEC.1982

BIBLIOTHEEK  
Waterloopkundig Laboratorium  
Postbus 177 - DELFT

INHOUD

	blz.
1. <u>Probleemstelling en opzet van het onderzoek</u> .....	1
2. <u>Conclusies</u> .....	3
3. <u>Proefopstelling</u> .....	4
4. <u>Meetmethoden</u> .....	5
5. <u>Proevenprogramma</u> .....	7
6. <u>Proefresultaten</u> .....	8
7. <u>Interpretatie van de proefresultaten</u> .....	11

## TABELLEN

1. Overzicht uitgevoerde proeven
2. Resultaten per proef
3. Bepaling  $u_*$  proef T6

## FIGUREN

1. Proefopstelling in de stroomgoot

### Transportrelaties

2. proeven T1...T6 sortering 30/60 mm
3. proef T7 sortering 30/125 mm
4. proef T8 sortering 30/90 mm
5. proef T9 sortering 60/125 mm
  
6. Voorbeelden stroom-snelheidsvertikalen
7. Situatie eind proef T4
8. Transportrelatie Paintal en modelproef T6
9. Transport van de rand  $S_1$  in het prototype
10. Transport van de kruin  $S_2$  in het prototype

## STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

### Stabiliteit rand negatieve overlap oriënterend onderzoek in de stroomgoot te Lith

#### 1. Probleemstelling en opzet van het onderzoek

De negatieve overlap wordt, direkt na het aanbrengen afgedekt met grind 30-60 mm, een zelfde materiaal als voor de afdeklaag van de grondverbetering wordt gebruikt. Globaal is de stabiliteit van de kruin van de negatieve overlap hiermee vergelijkbaar, er zijn echter enkele verschillen:

- de negatieve overlap vormt een ophoging in langsrichting van de stroom van circa 2 m hoogte
- de stroomrandvoorwaarden kunnen ongunstiger zijn in verband met de verder gevorderde bouw van de kering
- de expositie duur van de negatieve overlap is slechts ongeveer twee weken, tegenover orde 1 jaar bij de grondverbetering.

Enkele oriënterende berekeningen met het rekenprogramma KORROL geven aan dat er enige kans bestaat dat, met name in de Roompot, de negatieve overlap (de rand nog buiten beschouwing gelaten) onvoldoende stabiliteit bezit. Voor de kruin is waakzaamheid dus zeker geboden.

Veruit de zwakste schakel van de negatieve overlap wordt echter gevormd door de aansluiting van de negatieve overlap op de fundatiebedmat (de "rand"). Een oriënterende stabiliteitsproef met de negatieve overlap nabij een pijlerfront, de afgelopen zomer uitgevoerd in M1001 (LV1643), gaf een sterke, langs de rand van de overlap geconcentreerde, aantasting te zien. Dit, bij die situatie min of meer onverwachte gebeuren, deed het vermoeden opkomen dat een dergelijk effect met de relatief gladde fundatiebedmat in het prototype wellicht nog versterkt zou optreden. Een andere reden waarom ten opzichte van de kruin de rand een zwakke schakel vormt is, dat zelfs wanneer het transport aan de rand even groot zou zijn als het transport op de kruin, aan de rand de gevolgen veel ernstiger zouden zijn vanwege:

- de kleine erosiebuffer ten opzichte van de kruin
- het verdwijnen van geërodeerd materiaal
- de mogelijk zeer dunne afdeklaag ten gevolge van toleranties bij de uitvoering.

In het hier beschreven onderzoek, uitgevoerd in de stroomgoot te Lith, is in eerste instantie nagegaan of de aansluiting van de negatieve overlap op de fundatiebedmat (de "rand") bij de te verwachten stroomrandvoorwaarden een voldoende stabiliteit bezit (kwalitatief).

Toen dit niet het geval bleek te zijn, is de opzet van het onderzoek gewijzigd en is meer kwantitatief gericht onderzoek uitgevoerd waarbij ook aan de vertaling van de proefresultaten naar prototype-omstandigheden veel aandacht is geschonken.

De kwantitatieve resultaten ten aanzien van het materiaaltransport van de rand verschaffen een globaal inzicht in de ernst van de problematiek. De nadruk moet hierbij wel liggen op het globale karakter van het onderzoek, omdat de hoedanigheid van de proefopstelling (en feitelijk de goot zelf) ongeschikt is voor het verkrijgen van betrouwbare kwantitatieve resultaten. Ook het bezwijkgedrag bij plaatselijk doorbreken van de afdeklaag is niet onderzocht.

Het onderzoek werd begeleid door ing. J.J. Taat en ir. G.J. Akkerman, waarvan eerstgenoemde deze nota samenstelde.

## 2. Conclusies

1. De transporten langs de rand van de negatieve overlap (gemiddeld in lengte richting) blijken 3 à 10 maal zo groot te zijn als de transporten op de kruin (gemiddeld in breedte richting). (tabel 2, figuren 9 en 10).  
De toegestane transporten (hoofdstuk 7) zijn aanzienlijk kleiner, zodat geconkludeerd kan worden dat de stabiliteit van de rand onvoldoende is.
2. Niet duidelijk is waarom het transport langs de rand bij de proeven T2...T6 driemaal zo groot is als het transport op kruin, en bij de proeven T7...T9 tienmaal zo groot (tabel 2). Mogelijke oorzaken zijn de invloed van de verhouding  $D_{50}$  / ruwheid van de mat, of een verschil in de proefopstellingen tussen T2...T6 en T7...T9; bij de proeven T7...T9 was de nagebootste fundatiebedmat aanzienlijk vlakker dan bij de proeven T2...T6.
3. Vergroting van de diameter van de korrels geeft een kleinere toename van de stabiliteit dan op grond van de bekende transportrelaties kan worden verwacht. De transportafname langs de rand is evenredig met de toename van de diameter tot de macht 3,5; op de kruin neemt het transport af met een toename van de diameter met een macht 4,7 (tabel 2).  
De oorzaak hiervoor ligt in de gelijkblijvende ruwheid van de mat.
4. De invloed van de korrelvorm, afgerond, hoekig of plat, blijkt niet duidelijk uit de proefresultaten en zal derhalve gering zijn.

### 3. Proefopstelling

De geschematiseerde rand van de bestorting van de negatieve overlap is ingebouwd in de stroomgoot van Rijkswaterstaat in Lith.

Opgemerkt moet worden dat deze goot voor het hier beschreven onderzoek feitelijk niet erg geschikt is, met name in verband met de vrijwel volledig onaangepaste aanstroming. De stroom komt "als een blok" binnen en verlaat ook vrijwel als zodanig de goot. De gevolgen hiervan zijn een niet goed ontwikkelde grenslaag waardoor de vertaling van de proefresultaten naar het prototype problematisch is. Niettemin is bij de interpretatie van de resultaten (hoofdstuk 7) toch getracht enig zicht op de vertaling te verkrijgen. Het zal duidelijk zijn dat dit slechts onder het nodige voorbehoud is gedaan.

Figuur 1 geeft een overzicht van de proefopstelling.

De meetsectie heeft een lengte van 13 m, bovenstrooms hiervan bedraagt de gootlengte nog circa 15 m. De rand van de bestorting heeft een dikte van 0,2 m, de breedte bedraagt 1,2 m zodat de breedte van de mat dat niet door de bestorting wordt afgedekt nog 0,8 m bedraagt. De bestorting heeft taluds van 1:2 en 1:4. Aan deze waarden moet, vooral bij de grovere bestortingsmaterialen, alleen een indicatieve waarde worden toegekend.

Bovenstrooms van de meetsectie is over een lengte van 5 m een zwaardere bestorting aangebracht met het doel een stabiele uitgangspositie van rand te verzekeren en een afkalving vanaf de aangestroomde kop te voorkomen.

Benedenstrooms van de bestorting is een grindvang waarin de stenen die getransporteerd worden blijven liggen.



#### 4. Meetmethoden

Na het aanbrengen van een bestorting in het model is de stabiliteit onderzocht door het instellen van een reeks toenemende stroomsnelheden. De stroomsnelheid werd ingesteld in punt A (figuur 1) 1 meter boven de bodem. Na het instellen van de stroomsnelheid werd de snelheid gedurende een half uur gehandhaafd. Onderwijl werden drie snelheidsvertikalen gemeten (R, A, L) en werd de waterdiepte in de meetraai (12) bepaald.

De meetpunten in de snelheidsvertikaal varieerden in hoogte van 0,3 - 2,0 m boven de bodem. Als meetinstrument werd een Ott-molen toegepast.

Na het verstrijken van het halve uur stromen werd de goot droog gelegd en werd het transport bepaald, waarbij de getransporteerde stenen uit de goot werden gehaald en gewogen. Hierbij werd onderscheid gemaakt tussen het transport van stenen langs de rand per m' lengterichting (S1) en het transport van stenen per m' breedterichting op het horizontale gedeelte en het talud (S2). De bestortingsstenen waren geleverd in diverse gekleurde banen dwars op de stroomrichting (1 m breed), zodat stenen van de bestorting die transporteerden uit hun vak herkenbaar waren.

De stenen die buiten de oorspronkelijke begrenzing van de bestorting werden gevonden werden beschouwd als behorend tot het randtransport S1, de verplaatste stenen op de bestorting als S2. (eenvoudigheidshalve is deze lokatie in het vervolg met "kruin" aangeduid).

Oorspronkelijk was het de bedoeling uit de gemeten snelheidsvertikalen een schuifspanningssnelheid te bepalen, waarmee dan een waarde van C kan worden berekend met behulp van

$$u_A = u_* \frac{C}{\sqrt{g}} \quad (1)$$

$u_A$  = gemiddelde stroomsnelheid in vertikaal A (m/s)

$u_*$  = schuifspanningssnelheid (m/s)

C = coëfficiënt van Chezy ( $m^{1/2}/s$ )

g = versnelling van de zwaartekracht ( $m/s^2$ )

Deze opzet bleek niet mogelijk aangezien de gemeten snelheidsvertikalen in het geheel niet aangepast bleken te zijn aan de bodemruwheid. Figuur 6 geeft hiervan een voorbeeld.

Door het aanbrengen van een extra ruwe aanstroomstrook ( $D_{50} \approx 0,1 \text{ m}$ ) is bij één proef (T6) getracht een gedeeltelijke aanpassing nabij de bodem te forceren (figuur 6), en daarmee een vertaalmechanisme naar het prototype mogelijk te maken (hoofdstuk 7).

## 5. Proevenprogramma

Uitgevoerd zijn in totaal 9 proeven. Tabel 1 geeft hiervan een overzicht.

Bij aanvang van het onderzoek stond voor ogen door middel van enkele proeven na te gaan of de rand van de negatieve overlap voldoende stabiliteit bezat.

Toen dit niet het geval bleek te zijn groeide de opzet uit tot een proevenprogramma waarbij werd getracht de transportverhoudingen tussen de kruin en de rand te kwantificeren voor meerdere steensorteringen, en een vertaling naar prototype-omstandigheden mogelijk te maken.

Proef T3 is uitgevoerd met een obstructie in de stroom net bovenstrooms van de bestorting. De ontstane stromingstoestand was dermate ongedefinieerd dat van de resultaten van deze proef geen gebruik gemaakt kon worden.

## 6. Proefresultaten

### Algemeen

Transporten van de rand en de kruin zijn in principe onderling niet te vergelijken, een zinvolle presentatie leek de volgende te zijn:

- transporten van de rand in kg/m' langsrichting/uur ( $S_1$ )
- transporten op de kruin in kg/m' breedterichting/uur ( $S_2$ )

De proefresultaten ( $S_1, S_2 = f(u)$ ) zijn gegeven in de figuren 2...5 en tabel 2.

De transporten op de kruin bleken vrij gelijkmatig verdeeld over de lengte op te treden, het transport veroorzaakt door schade aan de rand echter niet. Deze schade was zeer onregelmatig van vorm, en kan het best beschreven worden als "happen" uit het talud. Figuur 7 geeft daarvan een voorbeeld.

### Verloop van de proeven

#### Proef T1

Deze "referentie" proef geeft het transport van de kruin ( $S_2$ ). De resultaten geven voor het transport op de kruin een vergelijkingsgrondslag voor het prototype (figuur 2).

#### Proef T2

In deze proef is de ontworpen bestorting getoetst. Vergelijking met proef T1 leert dat het rand transport duidelijk groter is dan het transport van de kruin, waarbij de schade in het model reeds optreedt bij stroomsnelheden van ca. 1,8 m/s (tabel 2).

Op grond van dit resultaat is aangenomen dat in het prototype een probleem van de stabiliteit van de rand van de bestorting bestaat (figuur 2).

#### Proef T3

Bovenstrooms van de bestorting (raai 3, figuur 1) is tegen de wand een verstoring element aangebracht. De verstoring van het stroombeeld ten gevolge van dit element vertoont wellicht enige overeenkomst met een geplaatste pijler.

De resultaten van deze proef blijven in deze nota buiten beschouwing (zie ook hoofdstuk 5).

#### Proef T4

Als oplossing van het probleem van de stabiliteit van de rand van de bestorting is onderzocht of enige extra ruwheid van het weefsel aan de bovenzijde van de mat de stabiliteit van de stenen bevordert. Dit blijkt niet het geval te zijn. De extra ruwheid (ruwheid ca. 2 mm) heeft geen invloed (figuur 2).

#### Proef T5

Een wat grotere ruwheid is aangebracht in de vorm van gaas met vakjes van 2,5 x 5 cm. De ruwheid is ca. 4 mm. (draaddikte 2 mm). Ook deze ruwheid heeft geen invloed op de stabiliteit (figuur 2).

#### Proef T6

In de tijd dat nagedacht werd over een betere oplossing is een proef uitgevoerd met bovenstrooms van de bestorting een ruwe bodem. Door een iets betere aanpassing van de snelheidsvertikaal aan de bodemruwheid kan uit de snelheidsvertikaal een schuifspanningssnelheid bepaald worden, waaruit een C-waarde volgens (1) berekend kan worden. Tabel 3 geeft het resultaat. De waarde  $u_* = 0,33$  m/s is als onbetrouwbaar niet in de berekening betrokken. Enigszins merkwaardig is het feit dat het transport door het aanbrengen van de extra ruwheid blijkbaar nauwelijks wordt beïnvloed (figuur 2) (zie ook hoofdstuk 7).

#### Proef T7

Als verbetering van de stabiliteit van de rand is een oplossing onderzocht die bestaat uit het verzwaren van de bestortingen door toepassing van een grotere diameter ( $D_{50} = 0,052$  i.p.v.  $0,039$  m). Het resultaat was enigszins teleurstellend, een verbetering van de stabiliteit trad wel op, doch in geringe mate (figuur 3).

#### Proef T8

Als logisch vervolg van proef T7 is de steendiameter verder vergroot ( $D_{50} = 0,066$  m), terwijl een meer hoekige vorm van de steen werd toegepast (figuur 4).

#### Proef T9

Ten einde een goede relatie te kunnen bepalen tussen de stabiliteit en de steendiameter is als laatste proef nog een zeer zware bestorting ( $D_{50} = 0,11$  m) toegepast (figuur 5). Sommige stenen waren zo zwaar (2 à 3 kg), dat het transporteren van 1 steen reeds een transport opleverde. Bij het bepalen van de transportlijnen in de figuur is hiermee rekening gehouden.

Uit tabel 2 is de invloed van de steendiameter af te lezen. Bij benadering is de transportreductie voor de rand (S2) evenredig met de steendiameter tot de macht 3,5 en voor het transport op de kruin evenredig met een macht 4,7.

## 7. Interpretatie van de proefresultaten

Voor een vertaling van de proefresultaten naar het prototype is gekozen voor onderstaand systeem.

Uitgaande van de resultaten van proef T6 (best aangepaste snelheidsvertikalen) is een vergelijking gemaakt met de transportrelatie van Paintal\*, die werd bemerkt door het WL. (viskositeitsinvloed verdisconteerd, M1115 deel VIII). In onderstaande tabel zijn de bij T6 gevonden parameters weergegeven.

$u_A$ m/s	$u_*$ m/s	$S_1$	$S_2$	$\psi$	$\Phi_1$	$\Phi_2$
		kg/m'/uur				
1,84	0,144	8,6	2,9	0,0329	$2,91 \cdot 10^{-5}$	$9,81 \cdot 10^{-6}$
1,90	0,151	8,7	1,7	0,0361	$2,94 \cdot 10^{-5}$	$5,75 \cdot 10^{-6}$
2,07	0,170	15,7	7,8	0,0458	$5,31 \cdot 10^{-5}$	$2,63 \cdot 10^{-5}$
2,28	0,194	39,5	11,1	0,0596	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$3,75 \cdot 10^{-5}$

$$\text{waarin } \psi = \frac{u_*^2}{\Delta g D_{50}} \quad (2)$$

$$\text{en } \Phi = \frac{q_s}{\sqrt{\Delta g D_{50}^3}}$$

$$q_s = \frac{S1(\text{of } S2)}{3600 \cdot 2650}$$

1: heeft betrekking op de rand

2: heeft betrekking op de kruin

$u_*$  = schuifspanningssnelheid (m/s)

$\Delta$  = relatieve dichtheid (-)

$g$  = versnelling van de zwaartekracht (m/s<sup>2</sup>)

$D_{50}$  = steendiameter die door 50% van de steenmassa wordt overschreden (m)

$q_s$  = transport (korelvolume) (m<sup>3</sup>/m/s)

$\psi$  = stromingsparameter (-)

$\Phi$  = transportparameter (-)

\* PAINTAL, A.S.,

Concept of critical shear stress in loose boundary open channels

Journal of Hydr. Research, 9 (1971) no. 1, pp. 91-113

In figuur 8 is de lijn van Paintal gegeven en de resultaten van proef T6. Het blijkt dat gezien de te verwachten onnauwkeurigheden de meetpunten van de kruin ( $\Phi 2$ ) een redelijke overeenkomst vertonen met Paintal. Door deze overeenstemming is het mogelijk proef T6 te beschouwen als een proef waarbij een min of meer eenparige stroming is opgetreden. De resultaten van de bepaling van de schuifspanning (tabel 3) kunnen dus als voldoende betrouwbaar gekenmerkt worden, en een verdere interpretatie is dan mogelijk. Uit de snelheidsvertikalen van proef T6 zijn de schuifspanningssnelheden berekend uit:

$$u_* = \frac{\kappa(u_1 - u_2)}{\ln \frac{h_1}{h_2}} \quad (\text{m/s})$$

$$u_1 = \text{stroomsnelheid op hoogte } h_1 \quad (\text{m/s})$$

$$h_1 = 0,8 \quad (\text{m})$$

$$u_2 = \text{stroomsnelheid op hoogte } h_2 \quad (\text{m/s})$$

$$h = 0,3 \quad (\text{m})$$

$$\kappa = \text{constante van Von Karman} = 0,4 \quad (-)$$

Met (1) zijn de C-waarden te berekenen, de uitkomsten zijn gegeven in tabel 3. Als gemiddelde C-waarde is gekozen  $C = 38 \text{ m/s}$ . Het verschijnsel dat C enigszins afneemt met toenemende snelheid kan niet verklaard worden, anders dan uit het niet aangepaste stroombeeld in de goot.

Volgens Chezy is

$$C = 18 \log \frac{12 h}{k_s} \quad (3)$$

$$h = \text{waterdiepte} \quad (\text{m})$$

$$k_s = \text{ruwheid} \quad (\text{m})$$

zodat met  $C = 38$  en  $h \approx 2,25 \text{ m}$   $k_s$  bepaald kan worden.

De uitkomst is

$$k_s = 0,21 \text{ m} \hat{=} 5,4 D_{50} \quad (4)$$

Aangezien het transport bij proef T6 vrijwel gelijk is aan de transporten bij de proeven T1...T5 (exclusief proef T3) kan aangenomen worden dat ook bij deze



proeven bij benadering  $C = 38 \text{ m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$  bedraagt.

Met behulp van (4) kan voor de proeven T7...T9 de C-waarde berekend worden.

Het resultaat is:

Proef	$D_{50}$ m	$k_s$ m	C $\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{s}$
T1...T6	0,039	0,21	38
T7	0,052	0,28	36
T8	0,066	0,36	34
T9	0,110	0,59	30

De waarde van  $k_s$  ligt boven de waarde die bij een eenparige, goed aangepaste stroming zou mogen worden verwacht. In dat geval is 2 à 3  $D_{50}$  meer waarschijnlijk, dus voor het grind 30/60 mm ongeveer 0,1 m.

De relatief hoge  $k_s$ -waarde die nu is gevonden, wordt veroorzaakt door de geringe hoogte waarover de grenslaag is ontwikkeld.

Dit kan nog geïllustreerd worden indien gebruik gemaakt wordt van de relatie van Schlichting\* voor een niet aangepaste stroming:

$$C = \sqrt{\frac{2g}{C_f}}$$

waarin

$$C_f = [2,87 + 1,58 \log \frac{x}{k_s}]^{-2,5}$$

C = ruwheidswaarde van Chezy  $(\text{m}^{\frac{1}{2}}/\text{s})$

g = versnelling van de zwaartekracht  $(\text{m}/\text{s}^2)$

$C_f$  = ruwheidswaarde van Schlichting (-)

x = afstand waarover de vertikaal zich kan aanpassen (m)

$k_s$  = ruwheid  $\approx 2$  à  $3 D_{50}$  (m)

\* SCHLICHTING, H.

Boundary Layer Theory

Karlsruhe, Verlag G. Braun, 1955

Het resultaat is:

proef nr.	D <sub>50</sub> m	x m	C <sub>f</sub>	C m <sup>1/2</sup> /s
T1...T5	0,039	5	0,0136	38
T6	0,039	15	0,0099	44
T7	0,052	5	0,0150	36
T8	0,066	5	0,0161	35
T9	0,11	5	0,0112	32

$$\text{met } k_s = 2,5 D_{50}$$

De overeenkomst met het eerder verkregen resultaat is, behalve proef T6, goed te noemen. Hierbij moet wel bedacht worden dat de aanpassingslengte van 5 m arbitrair is.

De tegenvallende aanpassing van proef T6 kan wellicht worden verklaard door de geometrie in het model, waarin naast de bestorting een relatief zeer gladde mat aanwezig was. De vertikalen in de as van goot (A) worden derhalve niet alleen bepaald door de ruwheid van de bestorting, maar ook door de ruwheid van de mat. Hierdoor is het mogelijk dat, zoals ook uit de proefresultaten blijkt (tabel 2 en figuur 2), het feitelijk verschil tussen de proeven T1...T5 en proef T6 ondanks de extra bovenstrooms aangebrachte ruwheid niet groot is.

Met behulp van relatie (1) is nu voor elke C-waarde in het prototype de in het model gemeten transportrelatie te vertalen.

In de figuren 2...5 is dit gedaan voor  $C = 40 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$  en  $C = 50 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$ , uitgaande van de veronderstelling dat in het prototype de C-waarde tussen deze twee waarden in zal liggen.

Met behulp van de in de figuren 2...5 gevonden relaties zijn enkele aanvullende figuren opgesteld die een overzichtelijk beeld geven van de relatie tussen de stroomsnelheid en de korreldiameter bij verschillende C-waarden voor transporten van respectievelijk 1 en 10 kg/m<sup>3</sup>/uur, figuren 9 en 10.

Voor de gedachtevorming kan worden vermeld dat als grenstransporten (die transporten waarbij het falen van de afdeklaag optreedt) de volgende orden van grootte gelden:

- voor de kruin orde 1000 kg/m<sup>3</sup> in breedterichting (zie komende nota EKOR)
- voor de rand orde 10 kg/m<sup>3</sup> in lengterichting, mits een afdeklaag van enige decimeters ter plaatse van het talud (tot en met de teen) aanwezig is.

Proef	D <sub>50</sub> bestorting (m)	omschrijving
T1	0,039	referentieproef met geheel horizontaal bed, hoekige vorm
T2	0,039	geschematiseerd ontwerp
T3	0,039	extra blokkering bovenstrooms, afwijkend stroom- beeld
T4	0,039	iets ruwere mat aangebracht, ruwheid ca. 2 mm.
T5	0,039	onder het talud gaas aangebracht als extra ruwheid gaas 2,5 x 5 cm, ruwheid ca. 4 mm.
T6	0,039	extra ruwheid (10 m) bovenstrooms aangebracht, meer aangepaste snelheidsvertikaal
T7	0,052	zwaardere bestorting, ronde vorm
T8	0,066	zwaardere bestorting, hoekige vorm
T9	0,11	zwaardere bestorting, hoekige voerm

Tabel 1 Overzicht uitgevoerde proeven

Proef	$S_1(T_x)/S_2(T_1)$	$S_2(T_x)/S_2(T_1)$	$S_1(T_x)/S_2(T_x)$	$S_1(T_x)/S_1(T_2)$	$[D_{50}(T_x)/D_{50}(T_1)]^{-3,5}$	$[D_{50}(T_x)/D_{50}(T_1)]^{-4,7}$
T1	-	1	-			
T2	2,5	-	2,5	1		
T4	2,75	-	2,75	1		
T5	3,1	-	3,1	1		
T6	3,1	1,0	3,2	1		
T7	1,5	0,17	10	0,5	0,37	0,256
T8	0,5	0,08	10	0,17	0,16	0,084
T9	0,08	0,0075	10	0,027	0,027	0,0076

Tabel 2 Resultaten per proef

$S_1$  = transport van de rand (lengterichting)

$T_x$  = betreffende proef

$S_2$  = transport op de bestorting (breedterichting)

$D_{50}$  = steendiameter die door 50% van de steenmassa wordt overschreden

$T_1$  = referentieproef kruin

(kg/m<sup>3</sup>/uur)

(-)

(kg/m<sup>3</sup>/uur)

(m)

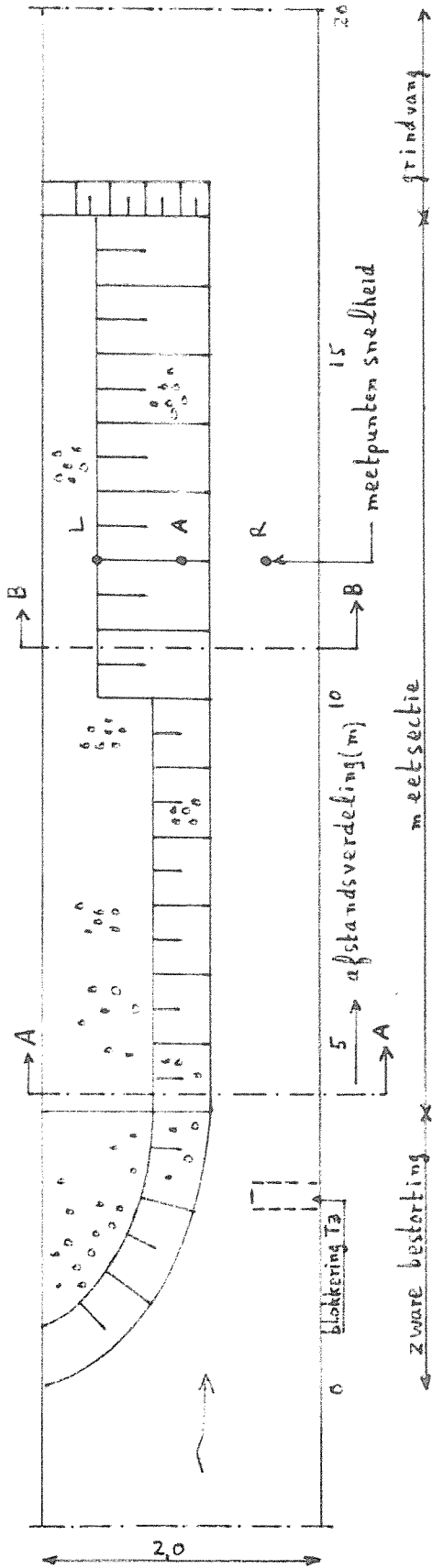
$\bar{u}_A$ m/s	$u_*$ (m/s)			$u_*$ (m/s)	C $m^{1/2}/s$
	vertikaal (zie figuur 1)				
	R	A	LG		
1,84	0,10	(0,33)	0,20	0,144	40
1,90	-	0,15	-	0,151	39
2,07	0,20	0,16	0,15	0,170	38
2,28	0,18	0,22	0,19	0,194	37

Tabel 3 Bepaling  $u_*$  en C proef T6

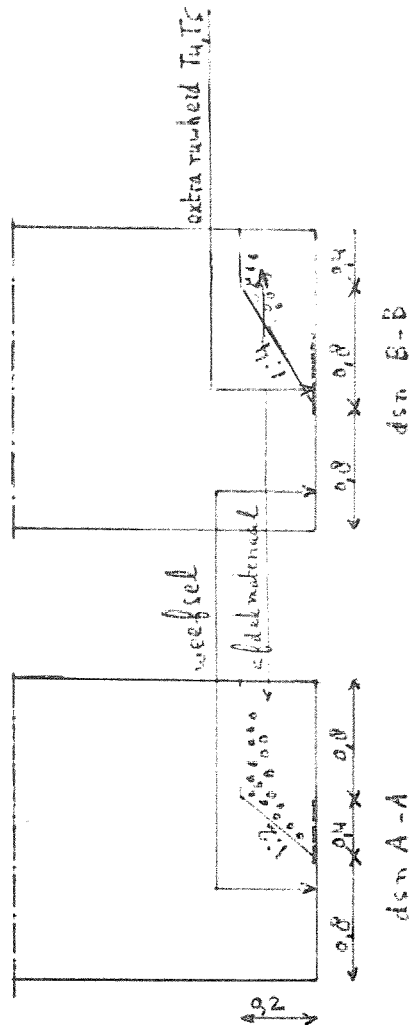
R = rechts

A = as

L = links



bouwaanricht



maten in meters

PROEFOPSTELLING IN DE STROOMGOOT

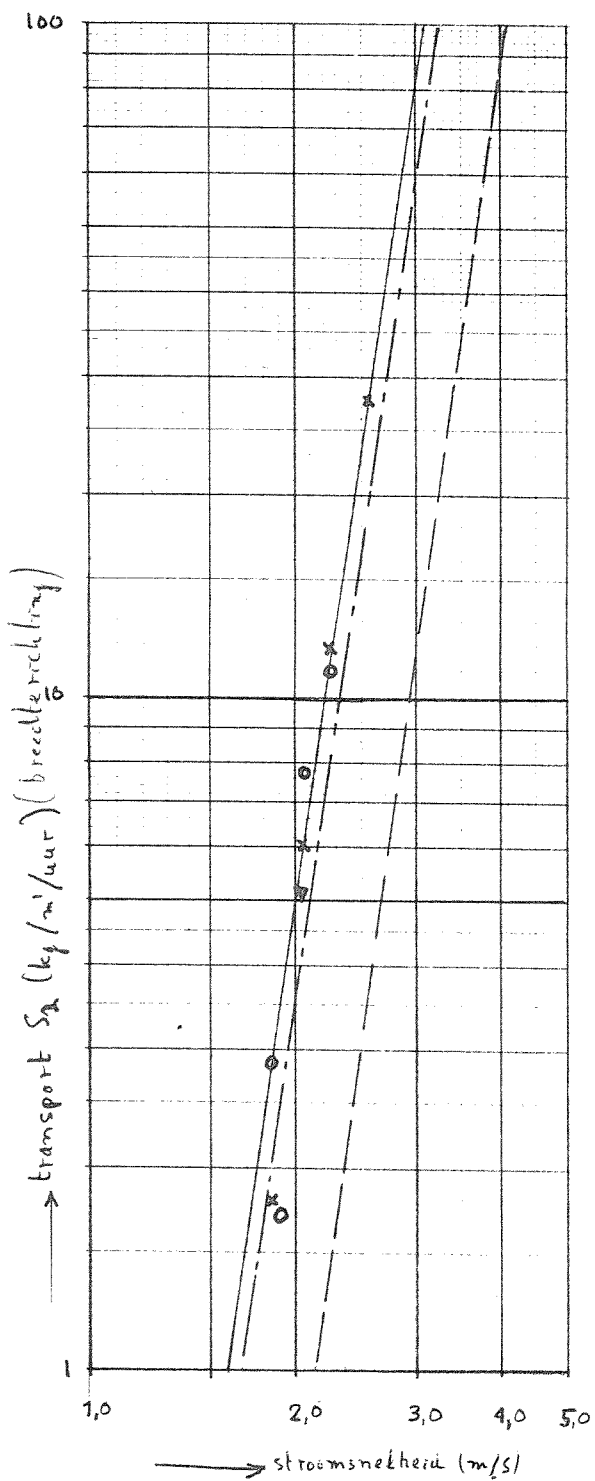
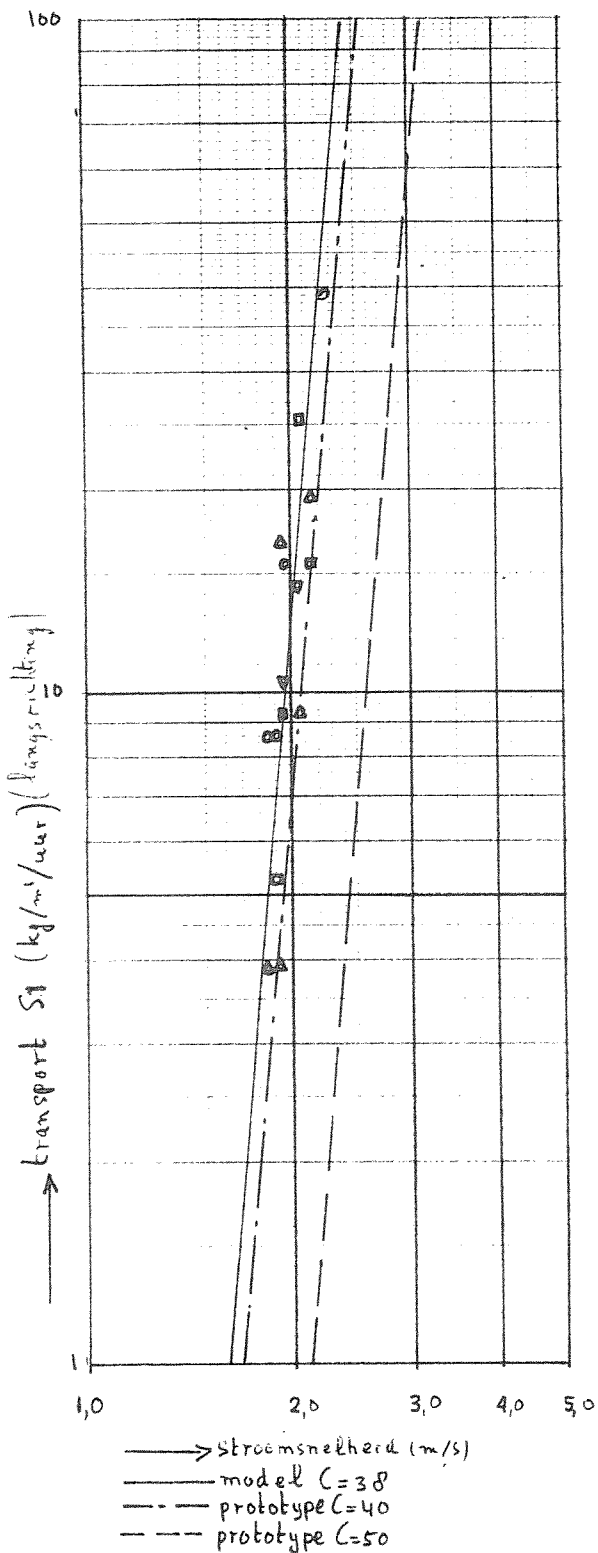
schaal 1:100, 1:50

W.L.

LV1669

Fig. 7

- x T1
- Δ T2
- T4
- ▽ T5
- T6



TRANSPORT RELATIES

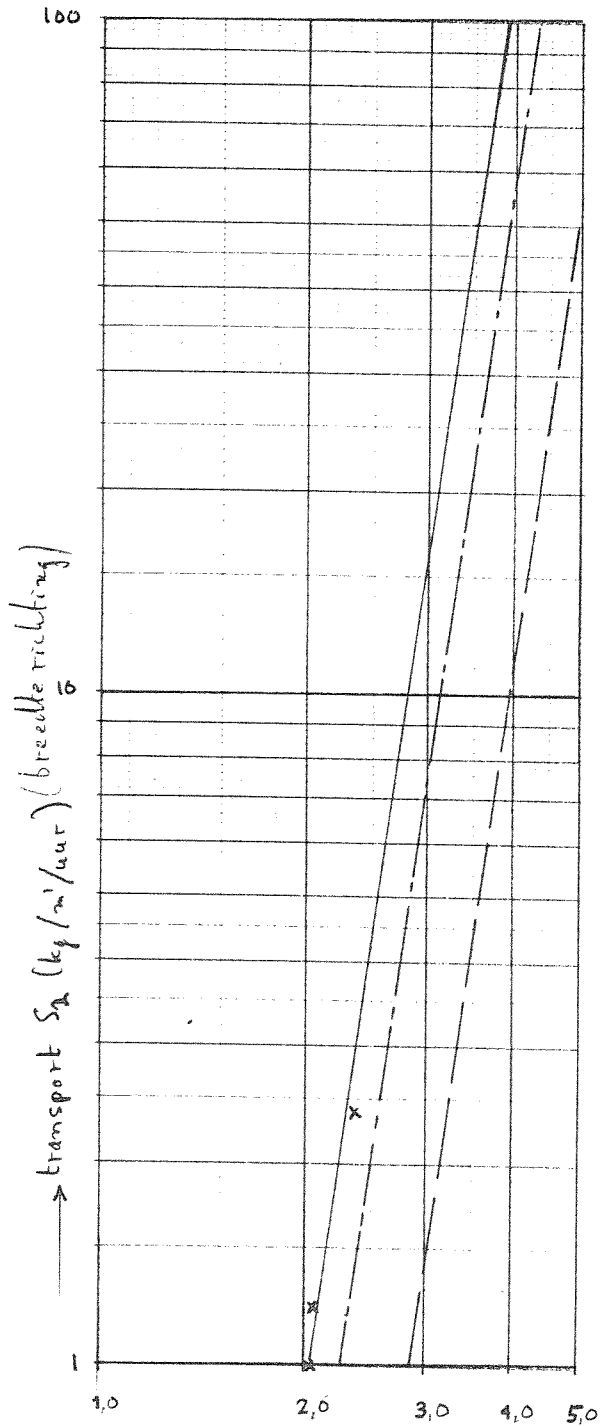
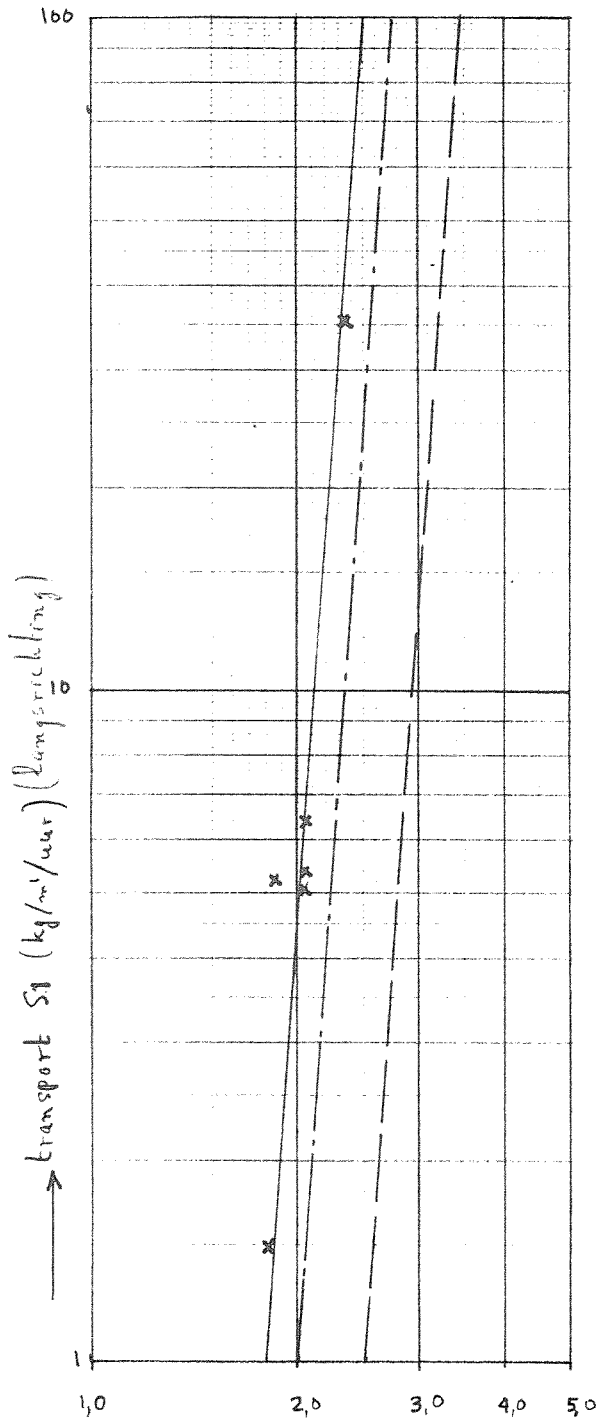
T<sub>1</sub>...T<sub>6</sub>

$D_{50} = 0,039 \text{ m}$  (30/60 mm)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

LV1669

FIG. 2



→ stroomsnelheid (m/s)  
 \* - model C=36  
 - - - prototype C=40  
 - · - - prototype C=50

→ stroomsnelheid (m/s)

TRANSPORTRELATIES

T<sub>7</sub>

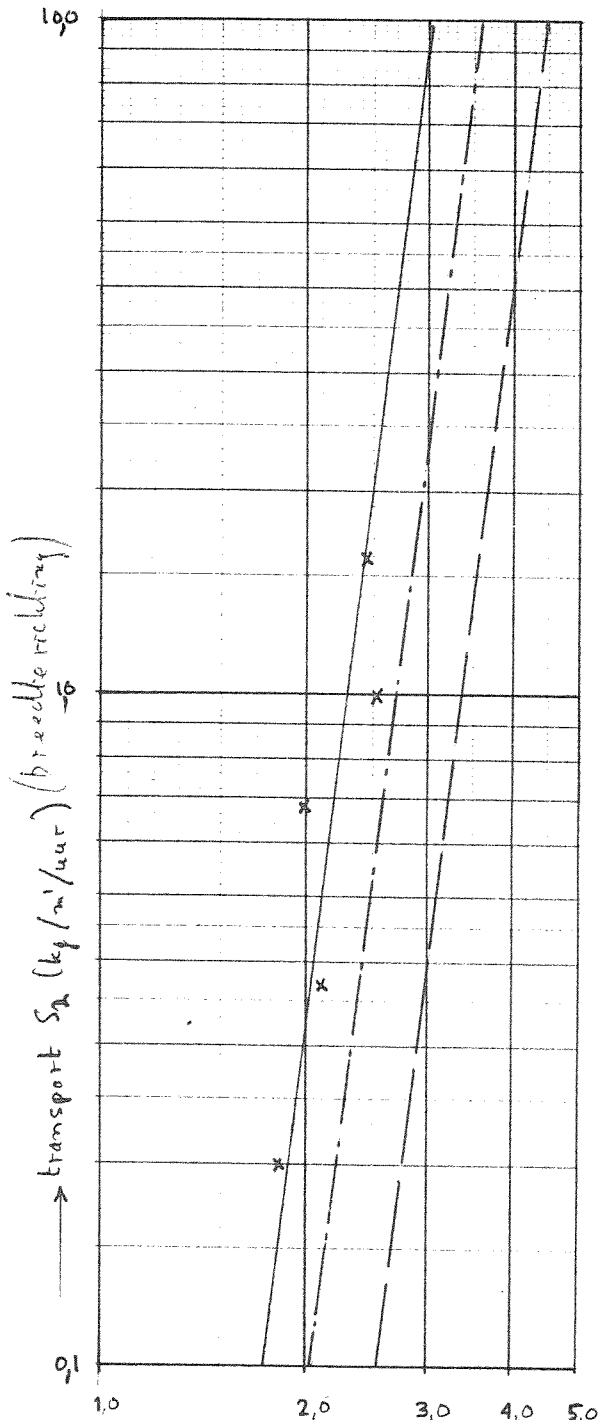
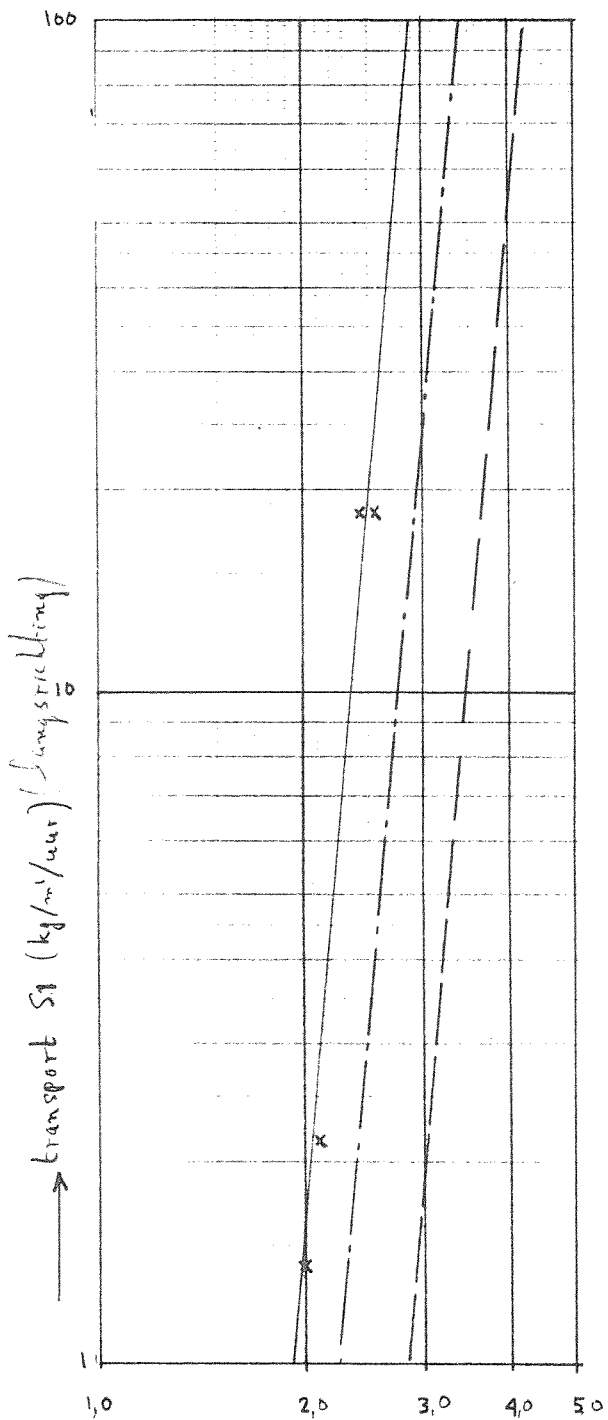
D<sub>50</sub> = 0,052 m (30/125 mm)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

LV 1669

FIG. 3





- stroomsnelheid (m/s)
- x — model C=34
- - - prototype C=40
- · - - prototype C=50

→ stroomsnelheid (m/s)

TRANSPORT RELATIES

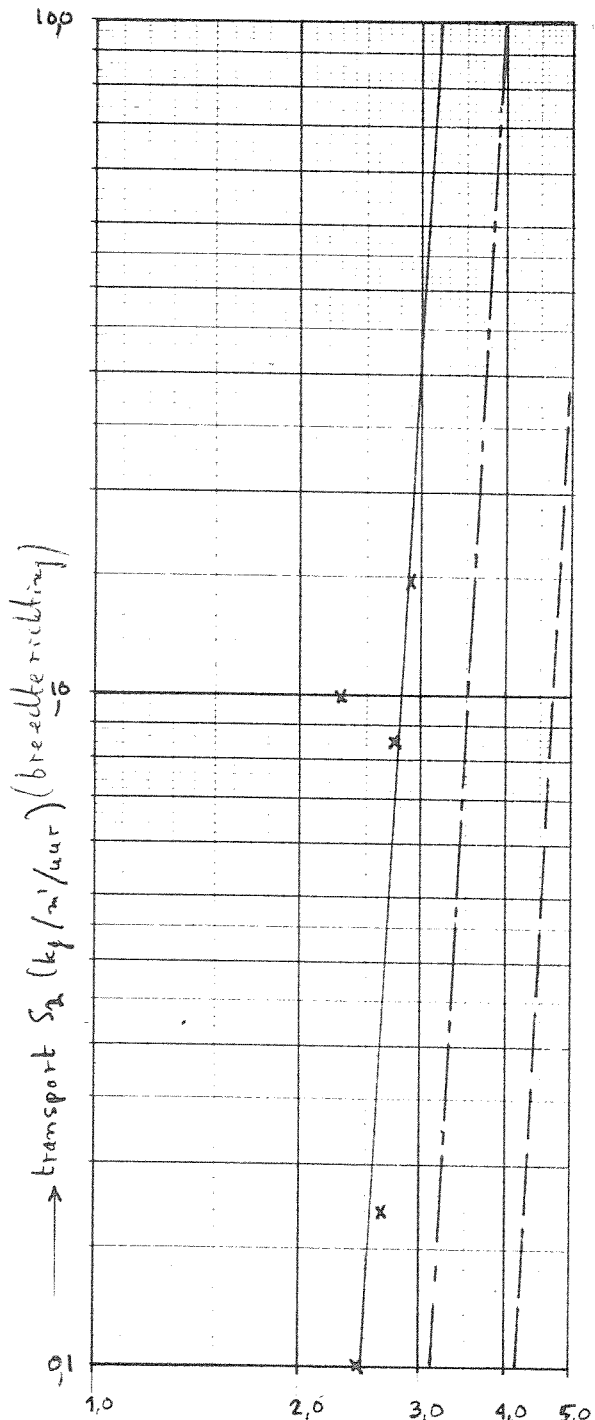
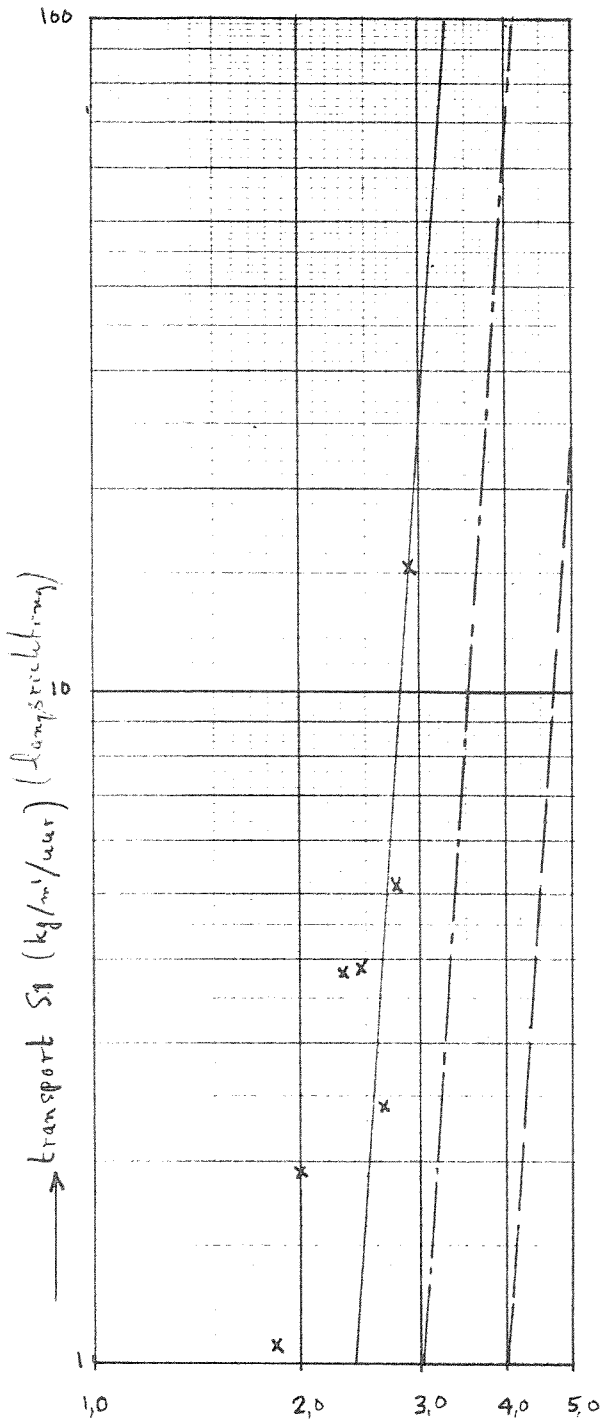
T8

$D_{50} = 0,066 \text{ m (30/90 mm)}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

LV1669

FIG. 4



- stroomsnelheid (m/s)
- x— model C = 30
- · — prototype C = 40
- · — prototype C = 50

TRANSPORTRELATIES

T<sub>9</sub>

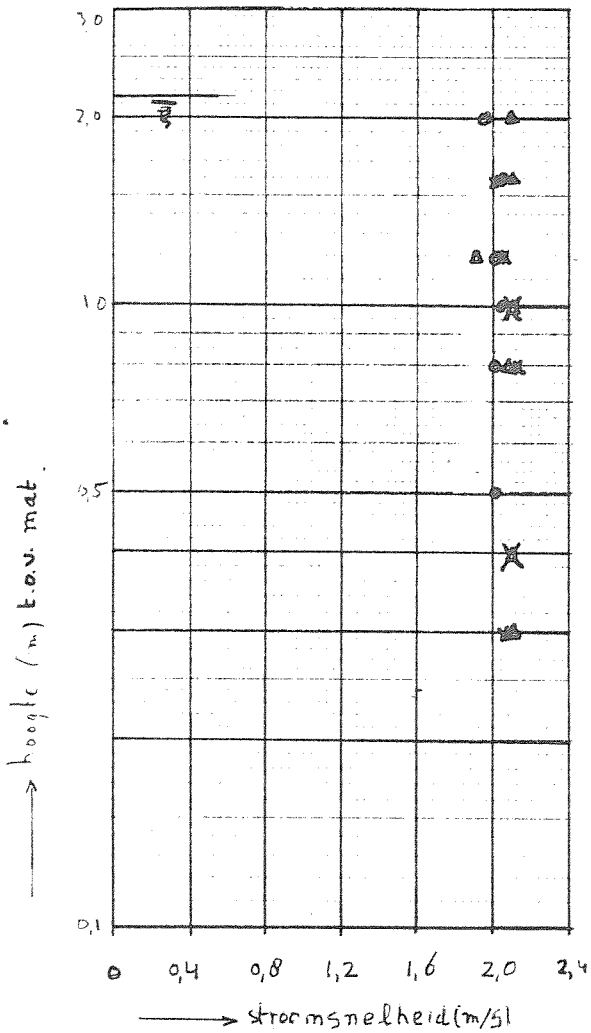
D<sub>50</sub> = 0,11 m (60/130 mm)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

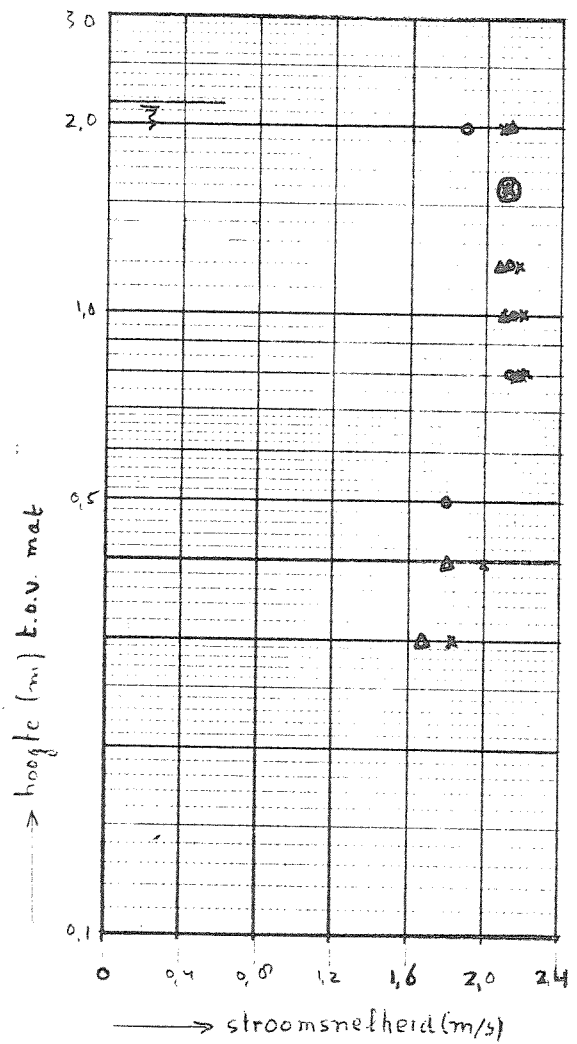
LV 1669

FIG. 5

Δ R  
 x A  
 o L



T2



T6

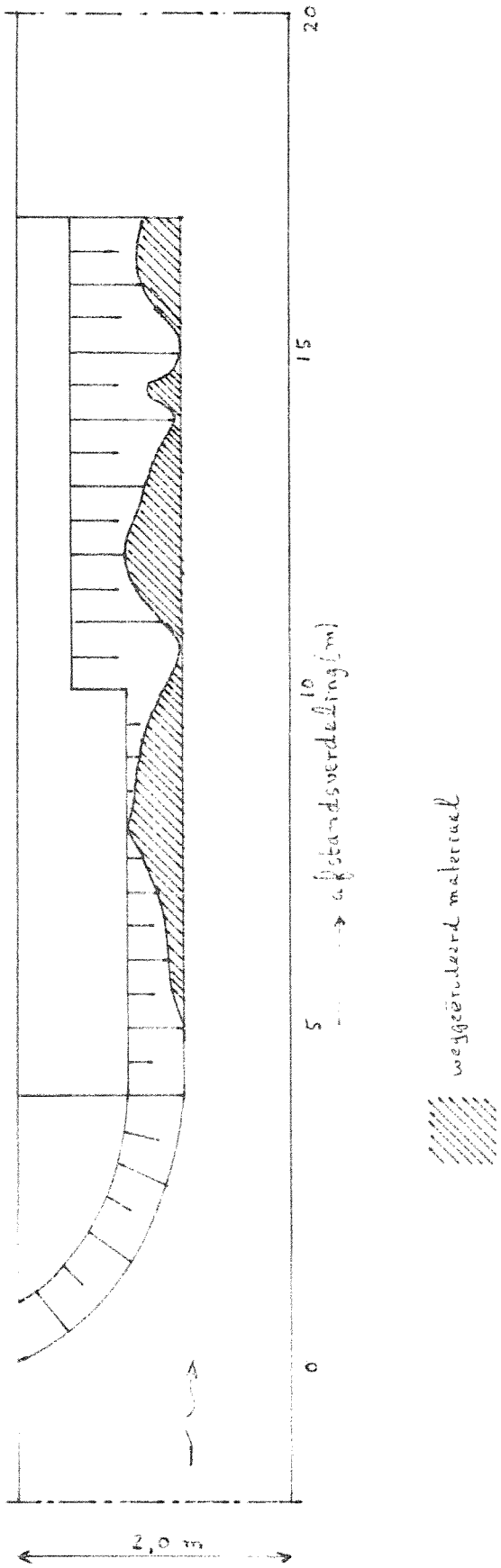
VOORBEELDEN STROOMSNELHEIDSVERTIKALEN

T2, T6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

LV 1667

FIG. 6



SITUATIE EIND PROEF

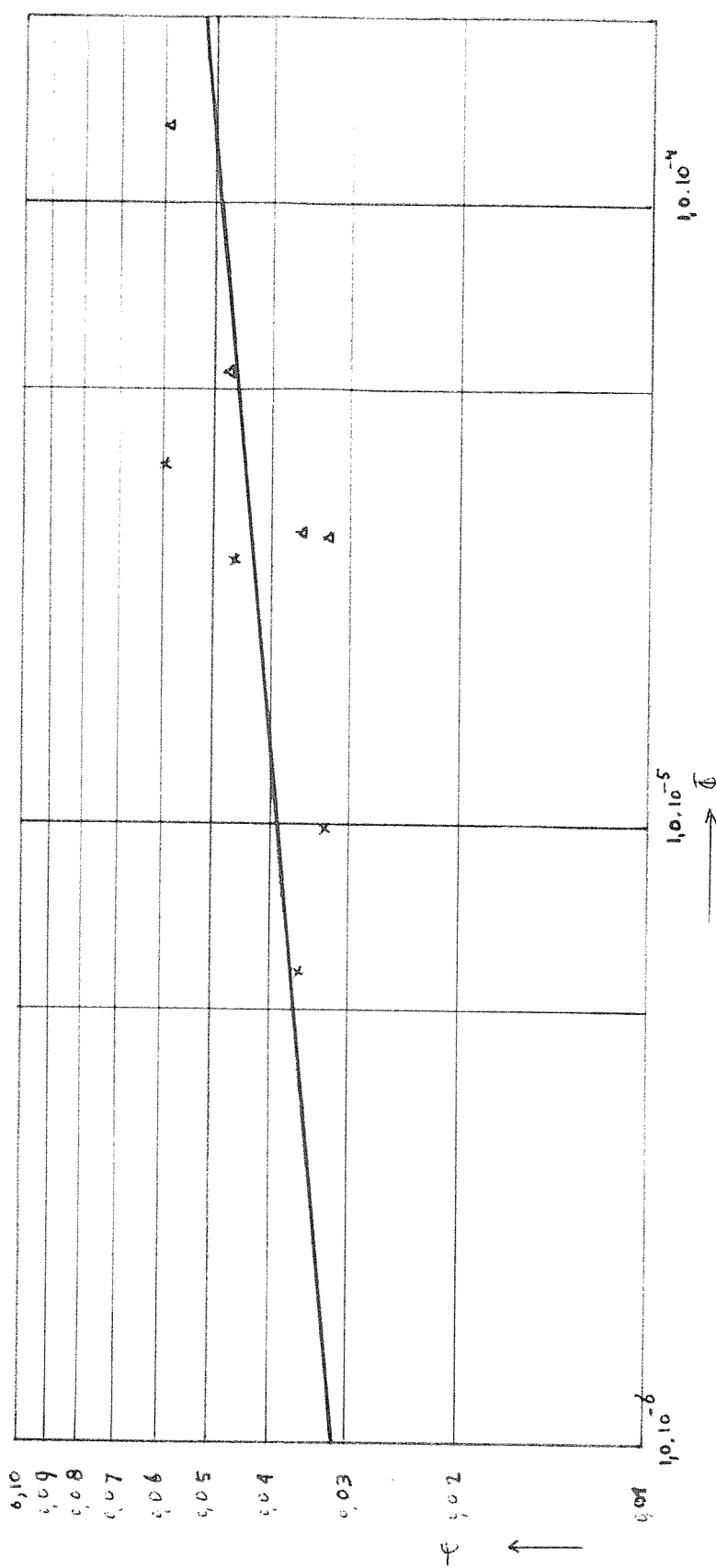
T4

schaal 1:100 1:50

W.L.

LV166g

Fig. 7

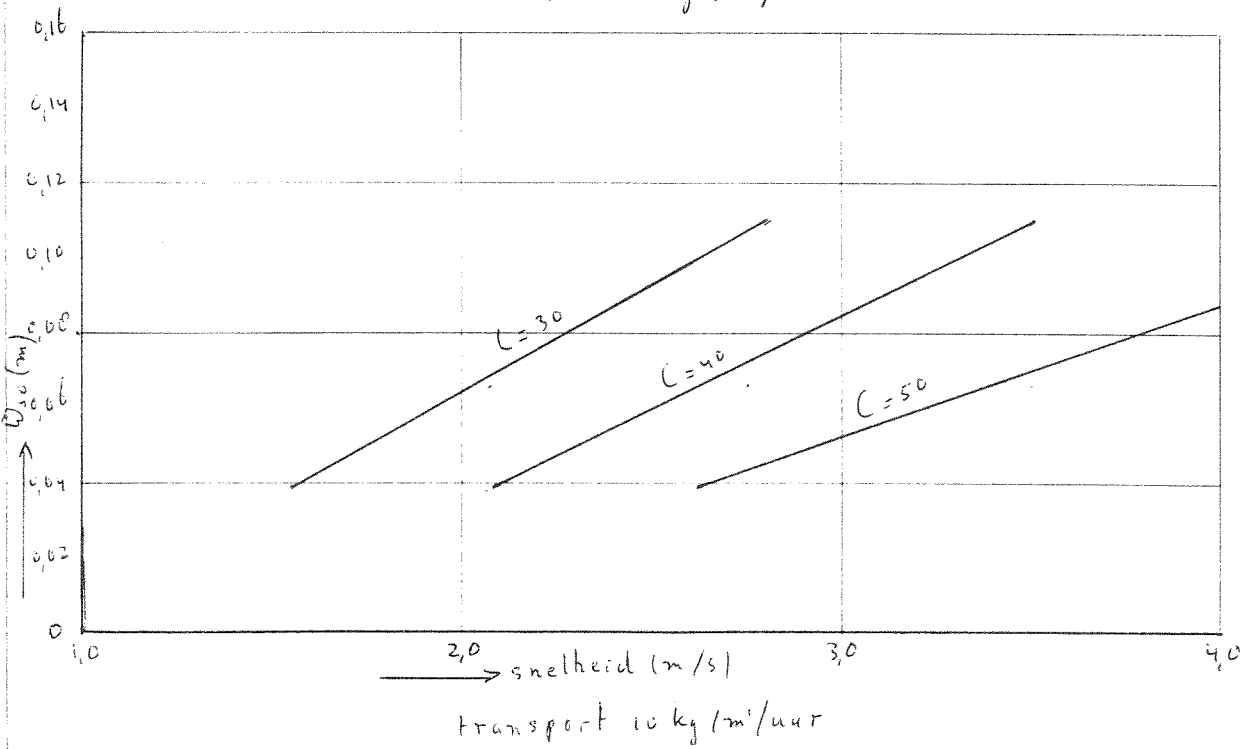
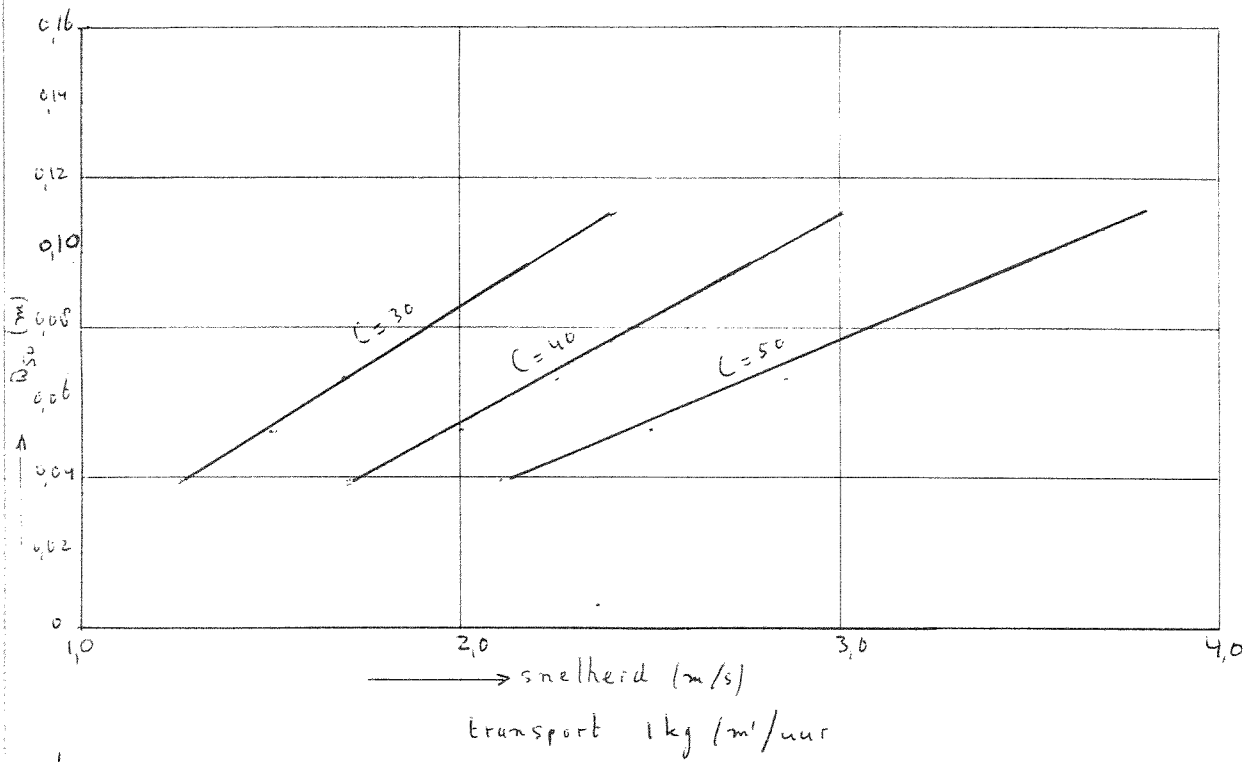


Paintal:  $\Phi = 1,64 \cdot 10^{-10}$

x proef T6 kruin  $\Phi_2$  (in breedterichting)

Δ proef T6 tand  $\Phi_1$  (in langstricking)

TRANSPORTRELATIE PAINTAL EN MODELPROEF T6		
	W.L.	Fig 8

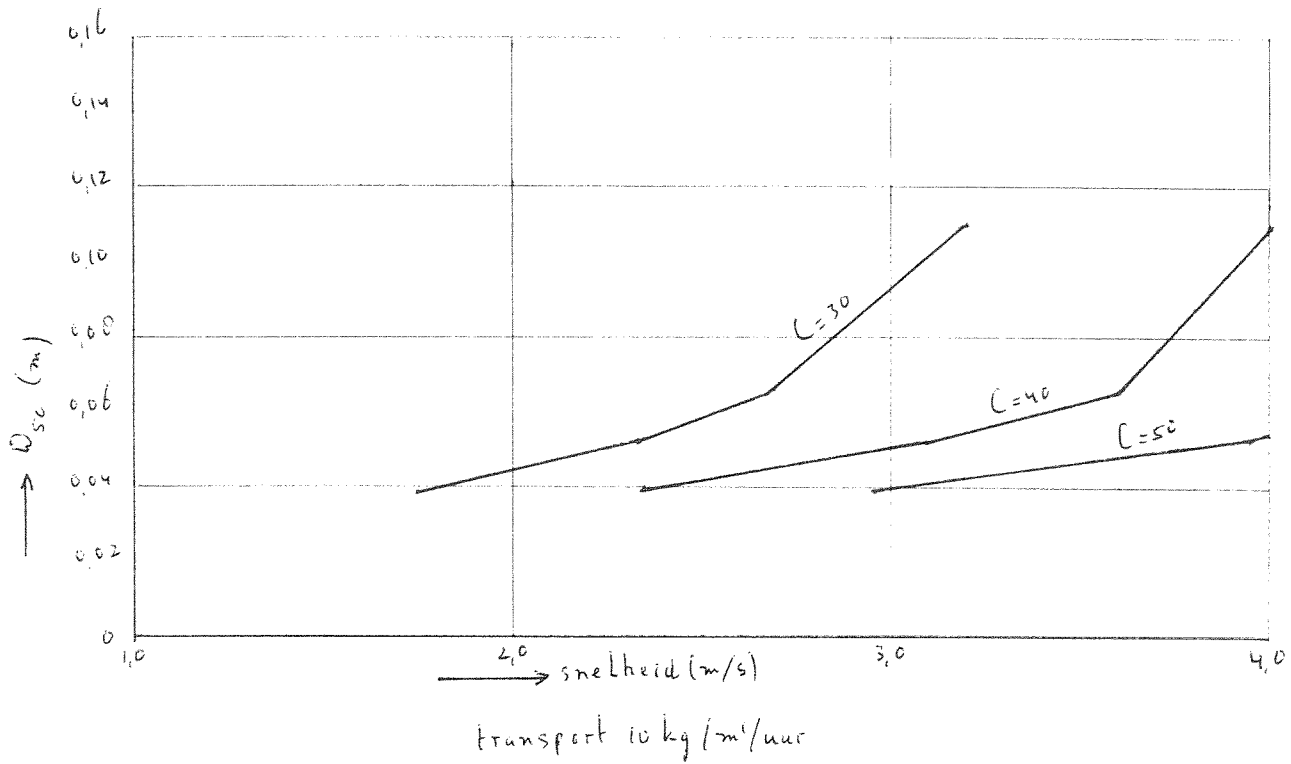
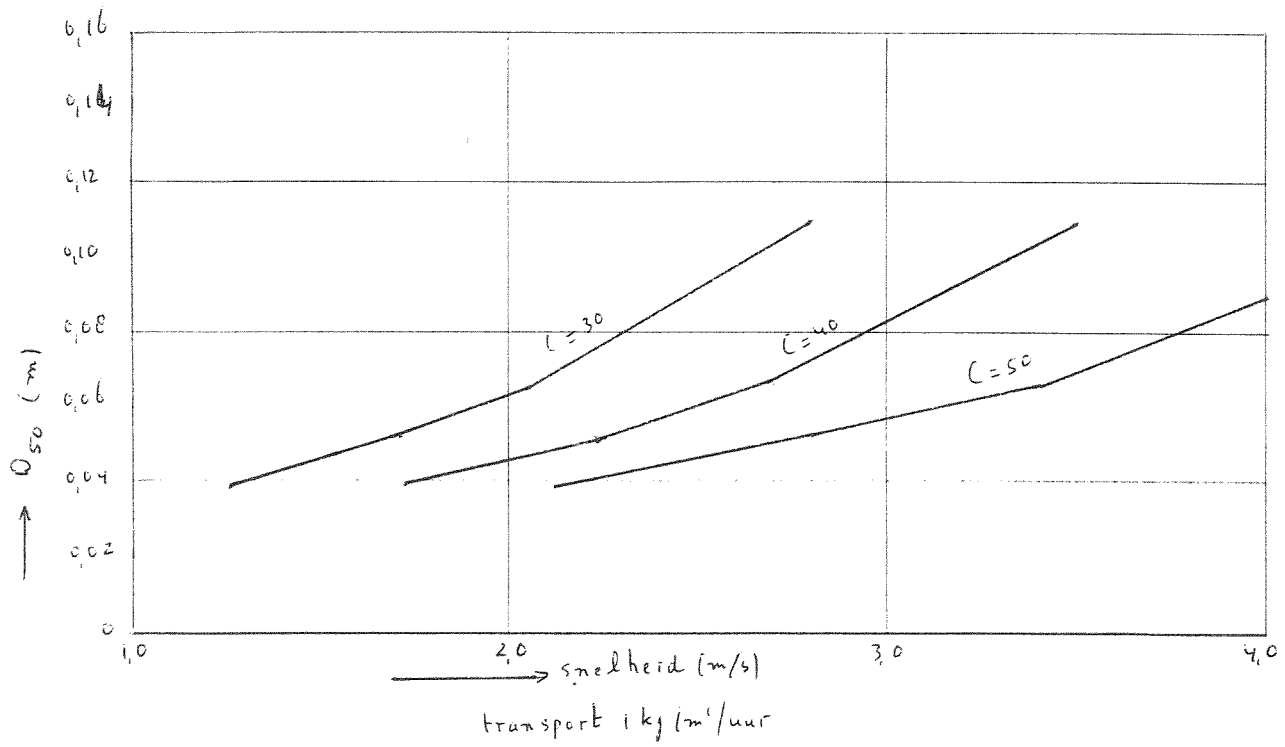


TRANSPORT VAN DE RAND S<sub>1</sub> IN HET PROTOTYPE

W.L.

LV1669

Fig. 9



TRANSPORT VAN DE KRUIN  $S_2$  IN HET PROTOTYPE

W.L.

LV 166g

Fig. 10

