

waterloopkundig laboratorium

Enka-mat als taludverdediging tegen golfaanval

AFGEHANDELD

verslag modelonderzoek

M 1153

januari 1974

Enka-mat als taludverdediging tegen golfaanval

verslag modelonderzoek

M 1153

januari 1974

INHOUD

	blz.
<u>1 Inleiding</u>	1
1.1 Opdracht	1
1.2 Probleemstelling	1
1.3 Conclusies	2
<u>2 Modelonderzoek</u>	3
2.1 Meetopstelling en meetmethoden.....	3
2.2 Overzicht proeven	4
<u>3 Modelresultaten</u>	6

FIGUREN

- 1 Meetopstelling in de golfbak
- 2 Zeefkromme grofkorrelig materiaal van het talud
- 3 Zeefkromme grofkorrelig materiaal, gebruikt voor vulling van de Enka-mat
- 4 Zeefkromme rivierzand, gebruikt voor vulling van de Enka-mat
- 5 T0. Ontwikkeling talud
- 6 T2 en T3. Talud afgedekt met de Enka-mat na 1 uur golfaanval
- 7 T4. Ontwikkeling talud tijdens en na de vulling van de Enka-mat met grofkorrelig materiaal
- 8 T5. Ontwikkeling talud na 1 uur en 8 uur golfaanval. Talud 1 : 8
- 9 T6. Ontwikkeling talud na 1 uur en 7 uur golfaanval. Talud 1 : 4

FOTO'S

- 1 T2. Ligging van de Enka-mat na 1 uur golfaanval
- 2 T3. Ligging van de Enka-mat na 1 uur golfaanval
- 3 T6. Ligging van de Enka-mat na 7 uur golven

ENKA-MAT ALS TALUDVERDEDIGING TEGEN GOLFAANVAL

1 Inleiding

1.1 Opdracht

In dit verslag worden de resultaten vermeld van een aantal oriënterende modelproeven die tot doel hadden de mogelijkheden te onderzoeken om de zogenaamde Enka-mat toe te passen voor het vastleggen van taluds bestaande uit los grofkorrelig materiaal, die aan golfaanval zijn blootgesteld.

Het onderzoek is verricht in opdracht van de Afdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden van de Deltadienst van Rijkswaterstaat. Het voor het onderzoek benodigde materiaal, te weten de verschillende typen Enka-mat en het filterdoek, werden beschikbaar gesteld door Enka Glanzstoff N.V., die ook adviseerde met betrekking tot de verwerking.

Het onderzoek is, met onderbrekingen, uitgevoerd in het najaar van 1971 en het voorjaar van 1972 in een 1,53 m brede golfgoot in een golfbasin van het Laboratorium De Voorst.

Het onderzoek stond onder leiding van ing. H. Schoonman, terwijl dit verslag is opgesteld door ir. A. Wevers.

1.2 Probleemstelling

De zogenaamde Enka-mat bestaat uit nylon monophyl-draden, die willekeurig door elkaar lopen en tesamen een warrige en zeer open structuur vormen met een dikte van 0,06 à 0,07 m. De mat ontleent enige samenhang aan het feit dat de draden op de contactvlakken plaatselijk aan elkaar gesmolten c.q. gehecht zijn. De voor het onderhavige onderzoek benodigde breedte werd verkregen door stroken met een breedte van 0,25 m aan elkaar te smelten. Van de aldus gevormde matten is een tweetal typen onderzocht, te weten één met een relatief open structuur, een dikte van ca. 0,06 m en een gewicht aan nylon van ca. 1375 gr/m² en een tweede met een relatief dichte structuur, een dikte van ca. 0,07 m en een gewicht aan nylon van ca. 2000 gr/m².

Het doel van het onderzoek was om na te gaan of de structuur van de nylondraden in staat was om bij golfaanval het onderliggende losse korrelmateriaal vast te houden en zodoende een bescherming te geven tegen golf-aantasting. Daarbij had het onderzoek een duidelijk experimenteel en ontwikkelingskarakter, in die zin dat op grond van de ervaringen verkregen bij voorafgaande proeven verbeteringen c.q. wijzigingen in het concept zijn aangebracht.

1.3 Conclusies

- 1 Wanneer een talud bestaande uit grofkorrelig materiaal ($d_m \approx 3,1$ mm) met een "uitgangs"-helling van 1 : 8 en afgedekt met een 0,06 à 0,07 m dikke Enka-mat wordt blootgesteld aan golfaanval ($H = 0,35$ m à 0,40 m en $T = 3,36$ s) dan blijkt de stabiliserende werking van de Enka-mat nihil als gevolg van:
 - a) het ontbreken van inwendige sterkte
 - b) het te lichte gewicht.

- 2 De Enka-mat met relatief dichte structuur blijkt in staat een talud met een uitgangshelling van 1 : 4 en 1 : 8 en bestaande uit grofkorrelig materiaal met $d_m \approx 3,1$ mm vrijwel volledig vast te leggen, indien het talud is blootgesteld aan golfaanval met $H = 0,35$ m à 0,40 m en $T = 3,36$ s, en mits is voldaan aan de volgende voorwaarden:
 - de mat dient aan de onderzijde te worden afgedicht om te voorkomen dat het vulmateriaal door de mat wordt gespoeld.
 - de mat dient geheel gevuld te zijn met een, voor de betreffende mat geschikte vulling van zand of grofkorrelig materiaal.

- 3 De wijze waarop het juiste vulmateriaal in de mat gebracht dient te worden moet nog nader worden onderzocht.

2 Modelonderzoek

2.1 Meetopstelling en meetmethoden

Bij de bepaling van de stabiliserende werking van de Enka-mat is gebruik gemaakt van een dwarsprofiel dat gebaseerd is op het profiel van de Zuidwal in het Europoortcomplex en dat op schaal 1 : 10 in het model is gereproduceerd (figuur 1). Overigens is dit de enige relatie met de prototype-situatie omdat het modelonderzoek verder gezien dient te worden als een onderzoek op schaal 1 : 1. In het betreffende profiel is het talud op 0,65 m beneden de stilwaterspiegel vastgelegd door middel van een laagje beton, terwijl het talud vanaf dit punt tot 0,40 m boven de stilwaterspiegel bestaat uit een voldoende dikke laag fijn grind met helling 1 : 8. De korrelverdeling van het grind is weergegeven op figuur 2. Aan de hand van een uitgebreide serie proeven, uitgevoerd in het kader van het modelonderzoek M 1063 (Onderzoek Stabiliteit Grindstrand Zuidwal), is vastgesteld dat de helling 1 : 8 gemiddeld de helling van het evenwichtsprofiel op de waterlijn voorstelt. In een later stadium van het onderzoek is ook de stabiliteit van het afgedekte materiaal bij een uitgangshelling van 1 : 4 onderzocht.

De stabiliserende werking van de Enka-mat is onderzocht bij regelmatige golfaanval. De golfaanval werd opgewekt door een translenderend schot, waarvan de golfperiode en de slag regelbaar waren.

De golfhoogte is gemeten met behulp van een geleidbaarheidsgolfhoogtemeter met temperatuurcompensatie en geregistreerd op een penschrijver. Daarnaast zijn in een aantal gevallen nog een aantal andere golfkenmerken bepaald, zoals de golfreflectie, de golfoploop, de plaats waar de golf begint te breken en het type breker.

De golfreflectiecoëfficiënt, k , is gedefinieerd als

$$k = H_a/H_r \times 100 \text{ } \%,$$

waarin

k = reflectiecoëfficiënt

H_a = aankomende golfhoogte

H_r = gereflecteerde golfhoogte

De golfreflectie is bepaald door over voldoende lengte het verloop van de golfhoogte te bepalen. Volgens de lineaire golftheorie is dan:

$$H_a = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \text{ en } H_r = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2}$$

waarin

H_{\max} = de maximale golfhoogte in de registratie

H_{\min} = de minimale golfhoogte in de registratie

In een aantal proeven is de hoogte tot waar de golf tegen het talud oploopt aangegeven.

De plaats waar de golf breekt is gedefinieerd als de plaats waar de golf of een gedeelte van de golf nagenoeg verticaal staat. Wanneer zich nu de golf-tong vanuit de kam begint los te maken spreekt men van een "plunging breaker" terwijl de "surging breaker" vanuit het golfdal begint te breken.

De eventuele veranderingen in het verloop van de taludhelling zijn bepaald door op regelmatige tijden het talud langs een tweetal raaien te peilen. Bovendien zijn van een aantal situaties foto's gemaakt.

2.2 Overzicht proeven

Golfomstandigheden

De golfomstandigheden te weten de golfhoogte, de golfperiode en de waterdiepte zijn gedurende de proevenserie niet gevarieerd. Bij de maximale golfperiode van $T = 3,36$ s en bij een waterdiepte van 1,25 m bedroeg de golfhoogte H_a steeds 0,35 à 0,40 m. Deze golfhoogte en de golfreflecties zijn steeds bepaald op het horizontale bodemgedeelte vóór het talud.

Variatie van de methode waarop het talud middels de Enka-mat is vastgelegd

- T0 Voorafgaand aan de beproeving van de Enka-mat zijn de door de golf-aanval veroorzaakte veranderingen van het onverdedigde talud, met een uitgangshelling 1 : 8, bepaald als functie van de tijd.
De zeefkromme van het toegepaste korrelmateriaal is weergegeven op figuur 2.
- T1 In deze proef is onderzocht of het grind op een talud 1 : 8 kan worden beschermd c.q. vastgelegd door het af te dekken met een Enka-mat met een dikte van ca. 0,06 m en een open structuur. De Enka-mat is aan de zijkanten van de golfgoet vastgelegd door een buis ϕ 0,05 m, die in het korrelmateriaal is verankerd. Deze methode bleek een goede aansluiting te garanderen en is ook voor de verdere proeven toegepast.
- T2 Omdat de losse Enka-mat niet stabiel bleek is bij proef T2 de Enka-mat met een open structuur vooraf afgedekt met een 0,05 à 0,06 m dikke laag fijn grind met vrijwel dezelfde korrelverdeling als het door de Enka-mat afgedekte materiaal. Op figuur 3 is de zeekromme gegeven van het materiaal dat voor de vulling van de Enka-mat is gebruikt. Bij de opzet van deze proef werd verondersteld dat het materiaal door de golfwerking in de Enka-mat zou worden gewassen, waardoor het gewicht en de samenhang van de mat zou toenemen.
- T3 Deze proef is een herhaling van proef T2, echter met gebruikmaking van de Enka-mat met de dichte structuur en een dikte van ca. 0,07 m.
- T4 Voortbouwend op de ervaringen opgedaan tijdens de proeven T2 en T3 is in T4 de mat met de open structuur aan de onderzijde beplakt met een nylondoek met een maaswijdte van 2 mm. Dit had tot doel te voorkomen dat het op de Enka-mat gebrachte materiaal door de mat heen wordt getransporteerd. Daarnaast is ook in deze proef weer getracht het los op de Enka-mat gebrachte materiaal door de golven in de mat te laten wassen. Hiertoe is bij de aanvang van de proef een 0,05 à 0,06 m dikke laag fijn grind op de mat gebracht, waarna het talud gedurende 1 uur aan golfaanval is blootgesteld. Na 1 uur golven is op dat gedeelte dat

door de golfinwerking van alle materiaal was ontdaan opnieuw een 0,05 à 0,06 m dikke laag aangebracht, waarna het talud weer gedurende 1 uur aan golfaanval is blootgesteld. Na twee uur golven is de procedure herhaald en is het vrijgekomen matgedeelte opnieuw bedekt en het geheel opnieuw gedurende een uur aan golfaanval onderworpen. Na de drie uur golfaanval is het overtollige materiaal, dat los boven op de mat lag, van de mat geschept. Daarna is het talud opnieuw gedurende vier uur aan golfaanval blootgesteld.

- T5 Omdat het gevuld zijn van de mat voor de stabiliteit van de Enka-mat essentieel bleek is in proef T5 de Enka-mat met dichte structuur (dikte ca. 0,07 m) vooraf geheel gevuld met rivierzand. De zeefkromme van het rivierzand (met $d_m \approx 600 \mu$) is gegeven op figuur 4. Om het doorspoelen van het rivierzand door de Enka-mat heen tegen te gaan, is deze aan de onderzijde afgedicht met een nylon doek met maaswijdte 400 μ . Bovendien dient vermeld te worden dat om een maximale vulling van de Enka-mat te bereiken het rivierzand vooraf is gedroogd en zorgvuldig in de mat is gebracht c.q. geklopt. Evenals in de voorgaande proeven is de stabiliserende werking van de aldus gevulde Enka-mat onderzocht voor het talud met $d_m \approx 3,1$ mm en helling 1 : 8.
- T6 Gezien de gunstige stabiliserende werking van een met droog rivierzand gevulde Enka-mat met dichte structuur op een talud 1 : 8 (in T5) is in deze proef de stabiliserende werking van dezelfde constructie onderzocht voor het talud met $d_m \approx 3,1$ mm en uitgangshelling 1 : 4.

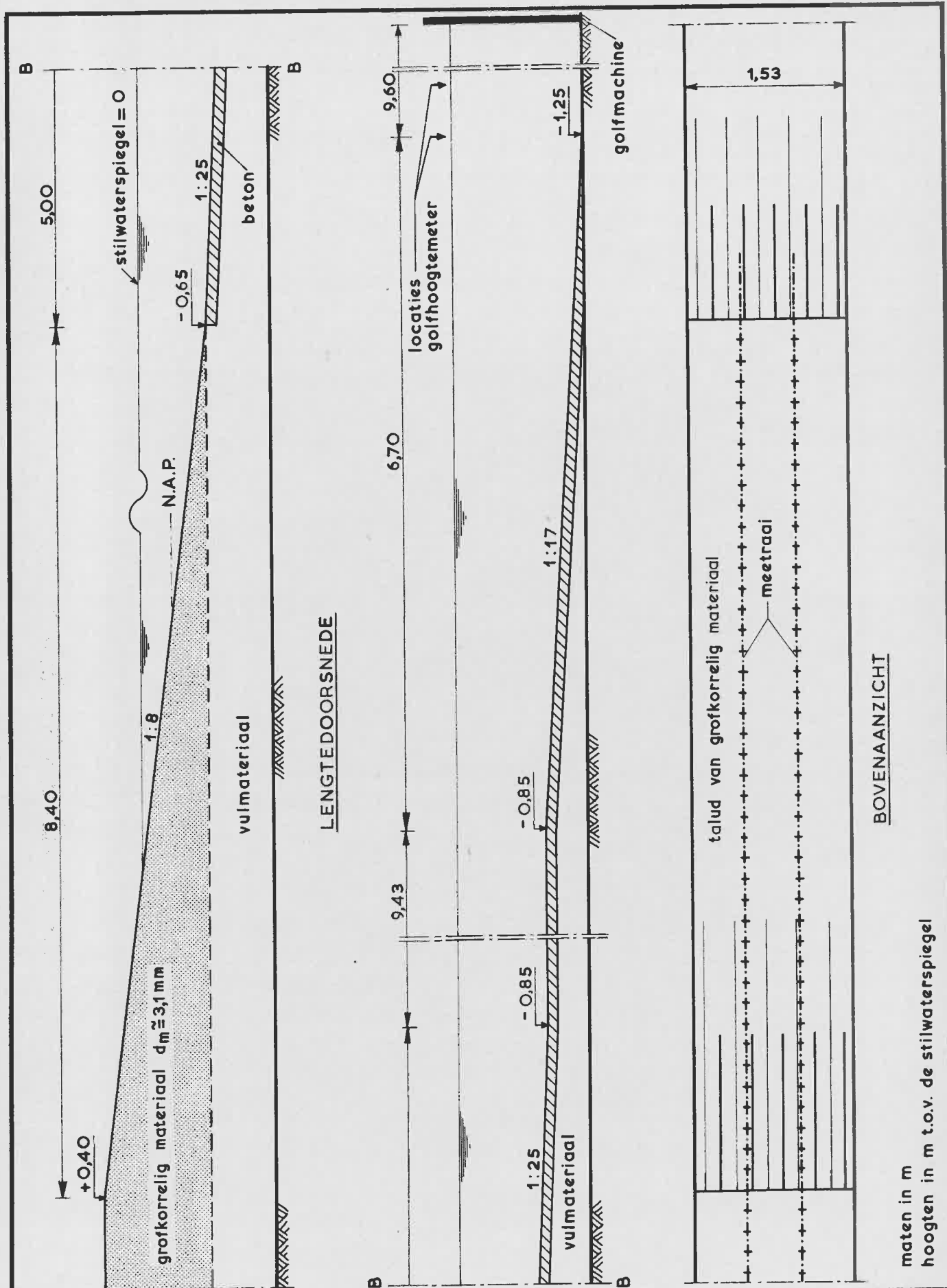
3 Modelresultaten

- T0 De ontwikkeling van het taludprofiel 1 : 8 onder invloed van de golfaanval is weergegeven op figuur 5. Op deze figuur is voor de respectieve tijdstippen van $\frac{1}{2}$ uur, 2 uur en 3 uur, de golfhoogte, de golfreflectie, het golfopplooppunt, het breekpunt, het type breker en het verloop van het taludprofiel vastgelegd. Het blijkt dat er in de betreffende tijd een materiaaltransport van beneden naar boven heeft plaatsgevonden, maar dat er na circa 2 uur een evenwicht is ingetreden. De helling ter plaatse van de stilwaterspiegel is bij benadering 1 : 8.

- T1 Wanneer het talud is afgedekt met een Enka-mat en dit geheel aan golfaanval wordt blootgesteld blijkt, dat de inwendige sterkte en het gewicht van de Enka-mat zo gering zijn dat de mat volledig door het water wordt meegenomen. Het materiaal wordt daardoor in het geheel niet door de Enka-mat beschermd en dezelfde profielveranderingen treden op als in de situatie zonder Enka-mat.
- T2, T3 De afdekking met een 0,05 à 0,06 m dikke laag materiaal op de Enka-mat met de open structuur enerzijds (T2) en op die met de dichte structuur anderzijds (T3) blijkt zonder meer niet voldoende om het talud in zijn geheel te stabiliseren. Blootgesteld aan de golfaanval wordt het materiaal deels over de mat en deels door de mat heen getransporteerd. Bijgevolg verdwijnt het materiaal van en uit het onderste gedeelte van de Enka-mat, waardoor deze mat zijn beschermende werking verliest en het talud zich vrij kan vervormen. Op figuur 6 zijn de profielen weergegeven zoals deze bij de Enka-mat met open structuur (T2) en die met dichte structuur (T3) na 1 uur golfaanval zijn ontstaan. In deze figuur is tevens aangegeven tot waar al het materiaal van en uit de Enka-matten is verdwenen. Boven deze punten is de mat gedeeltelijk tot geheel met materiaal gevuld. Op de foto's 1 en 2 zijn dezelfde profielen na 1 uur golfaanval weergegeven.
- T4 De ontwikkeling van het taludprofiel, indien dit is afgedekt met een Enka-mat met open structuur, waaronder een nylondoek met maaswijdte 2 mm, is weergegeven op figuur 7. Bij de aanvang van de proef was een 0,05 à 0,06 m dikke laag fijn grind op de mat aangebracht. Door de inwerking van de golf wordt vooral van dat taludgedeelte waar de golf nog niet gebroken is materiaal opgenomen en langs het talud naar boven getransporteerd. Bijgevolg is na 1 uur golven het materiaal van en uit de laatste 3 m van het talud verdwenen. Wanneer dit gedeelte opnieuw met een laag van 0,05 à 0,06 m wordt afgedekt en opnieuw gedurende 1 uur aan golfaanval wordt blootgesteld, schuift de grens tot waar het materiaal van en uit de mat wordt verwijderd circa 1,5 m naar beneden. Wanneer de procedure nogmaals wordt herhaald schuift de grens tot waar de mat gevuld is opnieuw circa 0,5 m op. Wordt vervolgens het

losse overtollige materiaal van de Enka-mat verwijderd dan blijkt na volumebepaling dat het resterende materiaal de Enka-mat vrijwel volledig heeft gevuld c.q. volledig in de mat is opgenomen. Op deze wijze is het dus mogelijk de mat te vullen. De profielveranderingen die optreden wanneer de aldus gevulde mat achtereenvolgens 2 uur en 4 uur aan golfaanval wordt blootgesteld, zijn eveneens aangegeven op figuur 7. Hierbij bleek dat de mat weliswaar gevuld bleef maar dat niettemin onder de mat, met name in het brekergebied, nog profielveranderingen optraden.

- T5 Wanneer een Enka-mat, vooraf geheel gevuld met rivierzand, op een grindtalud met helling 1 : 8 aan golfaanval wordt blootgesteld blijkt het talud in de tijd volledig stabiel. Na 8 uur golfaanval blijkt er geen enkele verandering in het taludverloop opgetreden. Het zand dat zich in de bovenste centimeters van de mat bevond is enigszins uitgewassen, maar verder blijkt er zich geen enkele wijziging noch in profiel noch in matvulling te hebben voltrokken. Dit blijkt ook uit het profielverloop op figuur 8.
- T6 Op grond van de gunstige ervaringen bij proef T5 is in T6 dezelfde opbouw van de constructie onderzocht, echter nu voor een uitgangshelling 1 : 4. Het zal, mede aan de hand van de resultaten van T0, duidelijk zijn dat de helling van 1 : 4 zeker niet de evenwichtshelling van het grind voorstelt. Niettemin blijkt dat er slechts minimale veranderingen aan het talud optreden, wanneer dit is afgedekt met de geheel met rivierzand gevulde Enka-mat met de dichte structuur. Uit de ontwikkeling van de taludhelling, op figuur 9, blijkt, dat zich een kleine verhoging vormt juist boven het punt waar de golf als "surging" breker begint te breken. Maar reeds na 1 à 2 uur blijkt er een evenwichtssituatie te zijn ingetreden. Op foto 3 is eveneens het verloop van het talud aangegeven nadat het 7 uur aan golfaanval is blootgesteld. Ook hieruit blijkt dat het zand bovenin de mat is uitgewassen maar dat de mat in de diepte geheel gevuld blijft.



MEETOPSTELLING IN DE GOLFBAK

SCHAAL 1:50

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

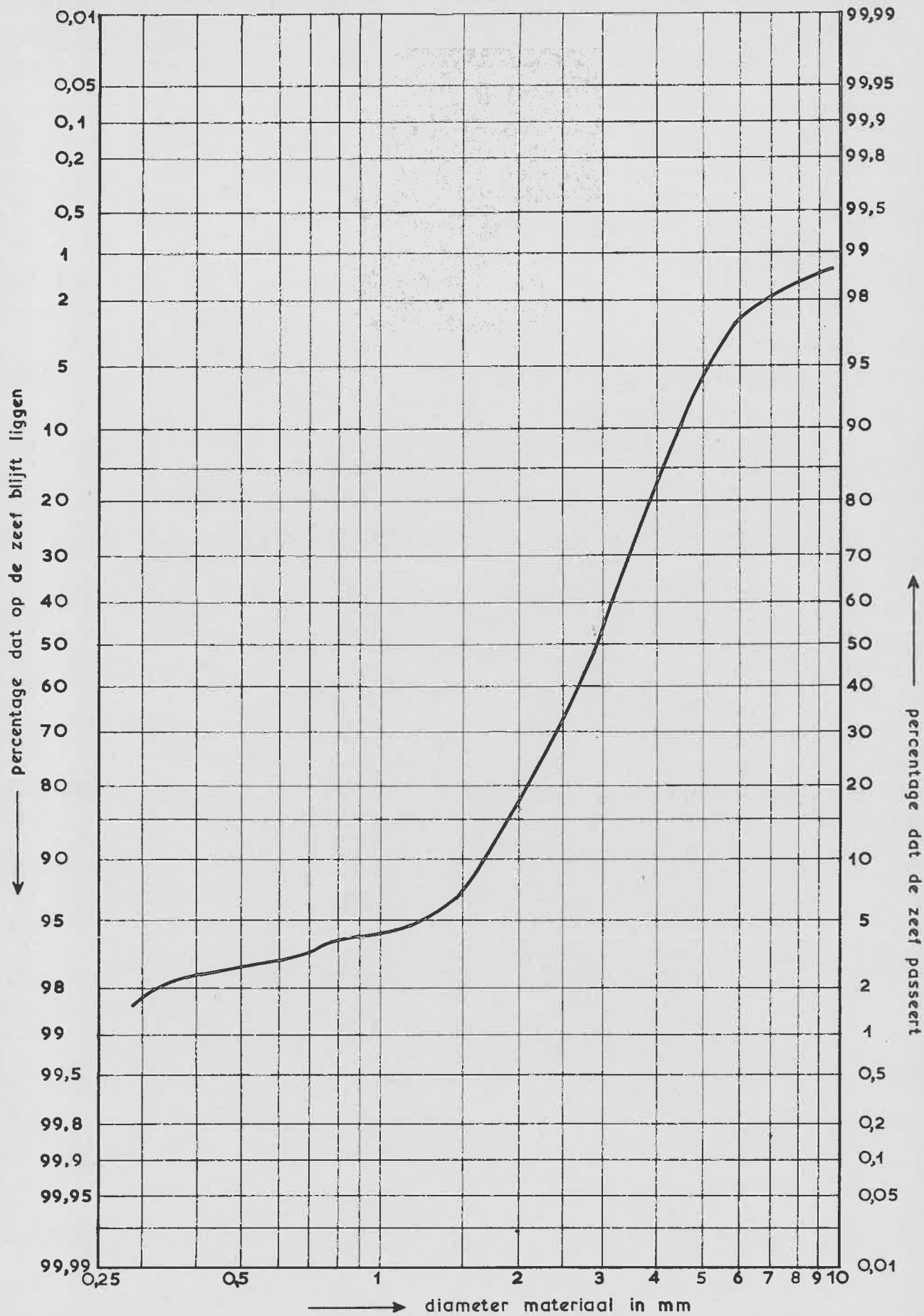
M. 1153

FIG. 1

maten in m
hoogten in m t.o.v. de stilwaterspiegel

BOVENAANZICHT

LENGTEDOORSNEDE

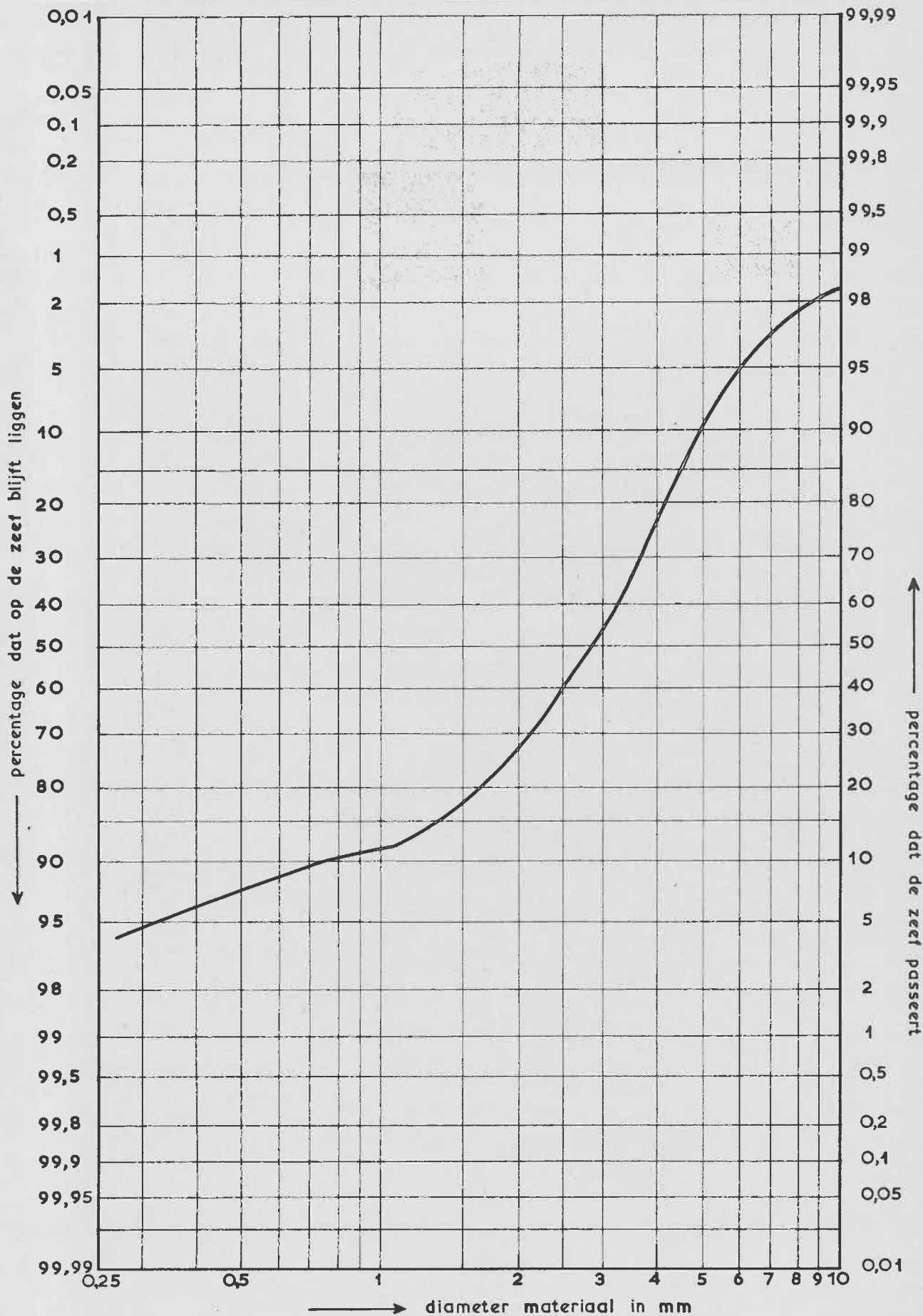


ZEEFKROMME GROFKORRELIG MATERIAAL
VAN HET TALUD

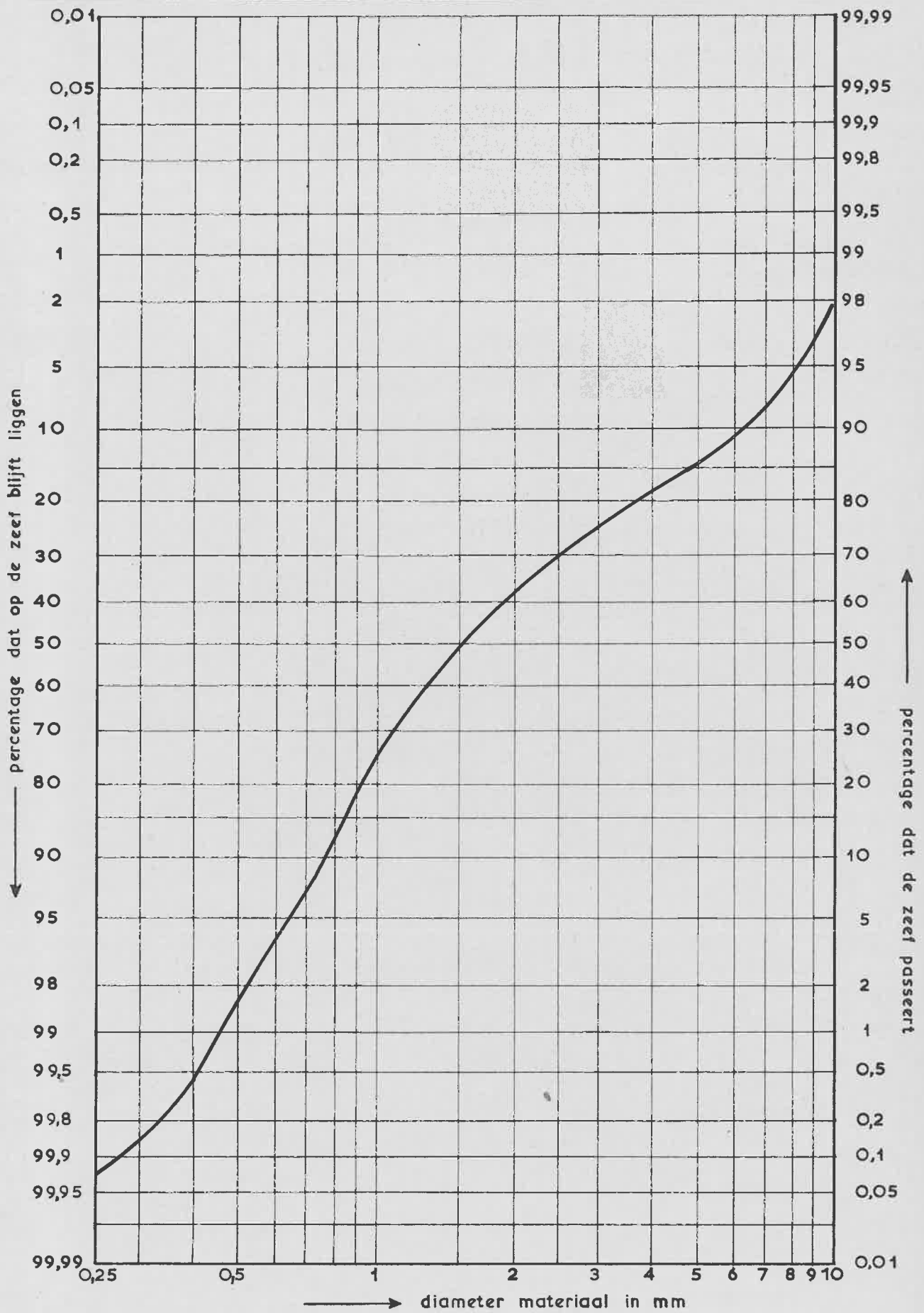
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1153

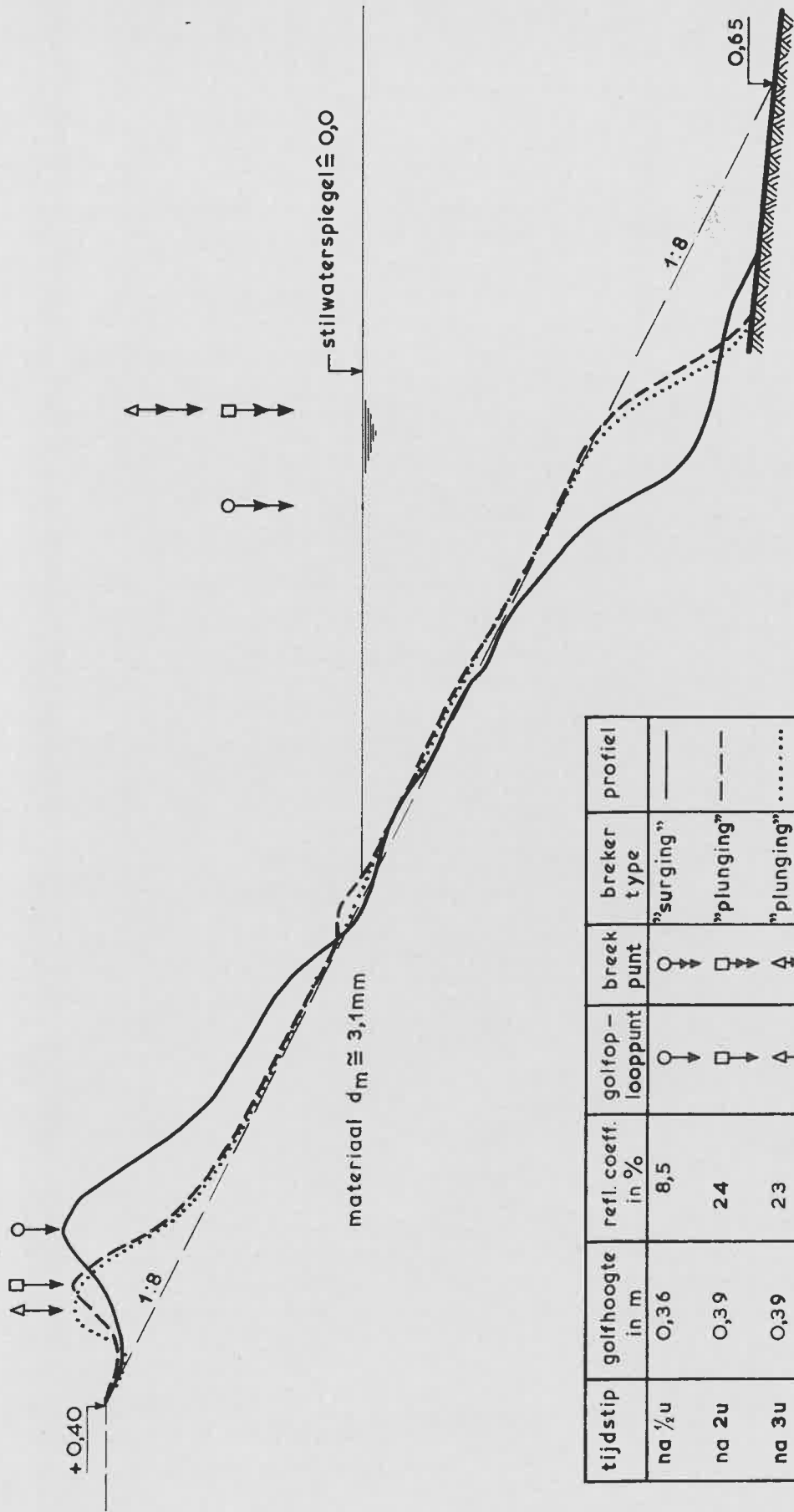
FIG. 2



ZEEFKROMME GROFKORRELIG MATERIAAL
 GEBRUIKT VOOR VULLING VAN DE ENKA-MAT



ZEEFKROMME RIVIERZAND GEBRUIKT VOOR
VULLING VAN DE ENKA-MAT



tijdstip	golfhoogte in m	refl. coeff. in %	golfop-looppunt	breekpunt	breker type	profiel
na 1/2 u	0,36	8,5	○	○	"surging"	—
na 2 u	0,39	24	◻	◻	"plunging"	- - -
na 3 u	0,39	23	▲	▲	"plunging"

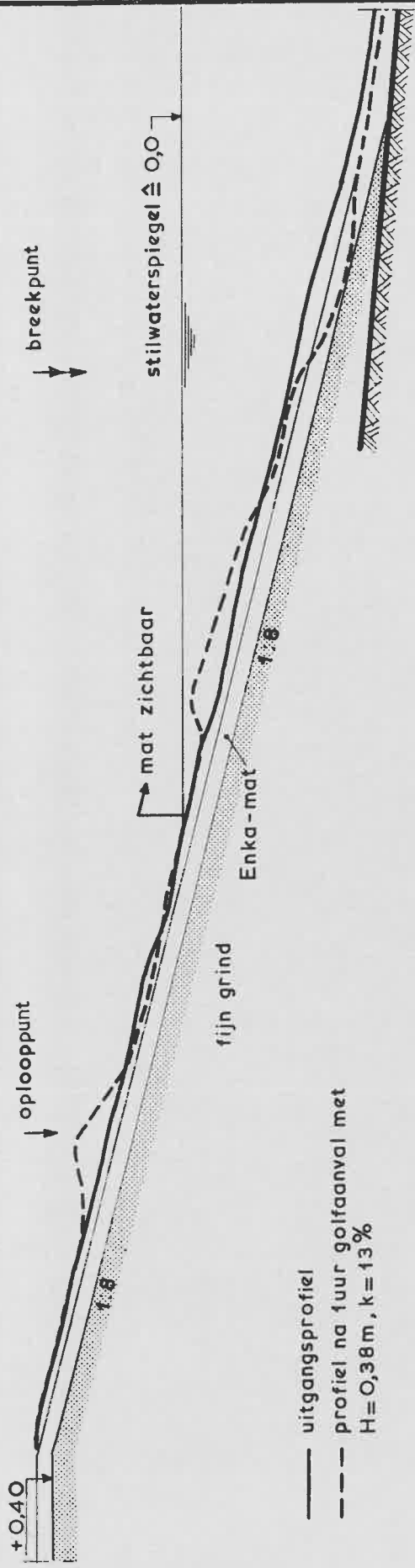
maten in m
hoogten in m t.o.v. stilwaterspiegel

ONTWIKKELING TALUD

TO

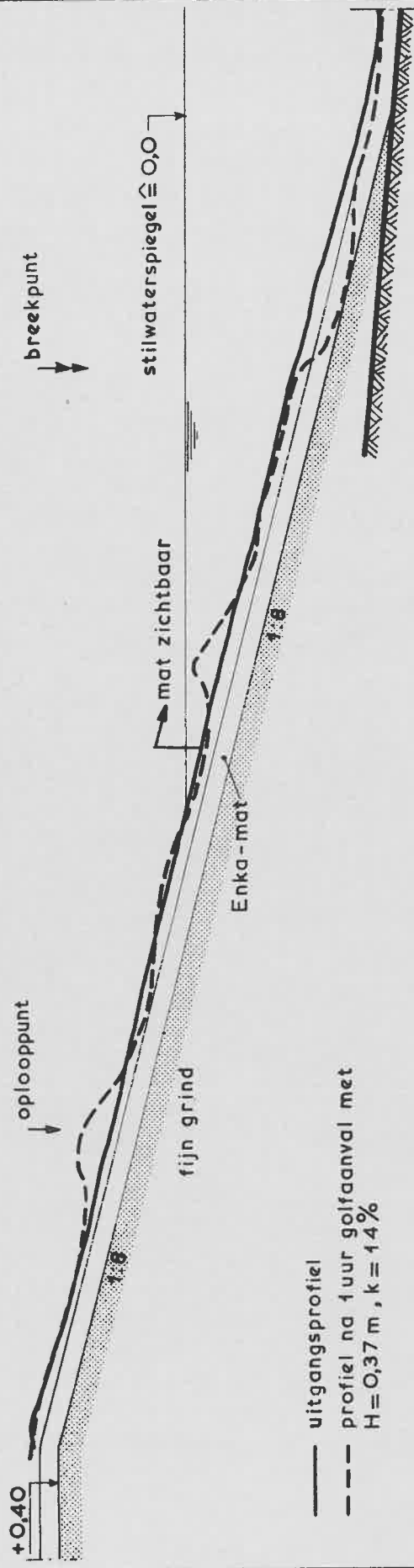
SCHAAL hor. 1 : 40
vert. 1 : 10

T 2, ENKA - MAT MET OPEN STRUCTUUR



— uitgangsprofiel
 - - - profiel na 1 uur golfaanval met
 H = 0,38 m, k = 13%

T 3, ENKA - MAT MET DICHTE STRUCTUUR



— uitgangsprofiel
 - - - profiel na 1 uur golfaanval met
 H = 0,37 m, k = 14%

maten in m
 hoogten in m t.o.v. stilwaterspiegel

TALUD AFGEDEKT MET DE ENKA - MAT
 NA 1 UUR GOLFAANVAL

T 2 ENT 3

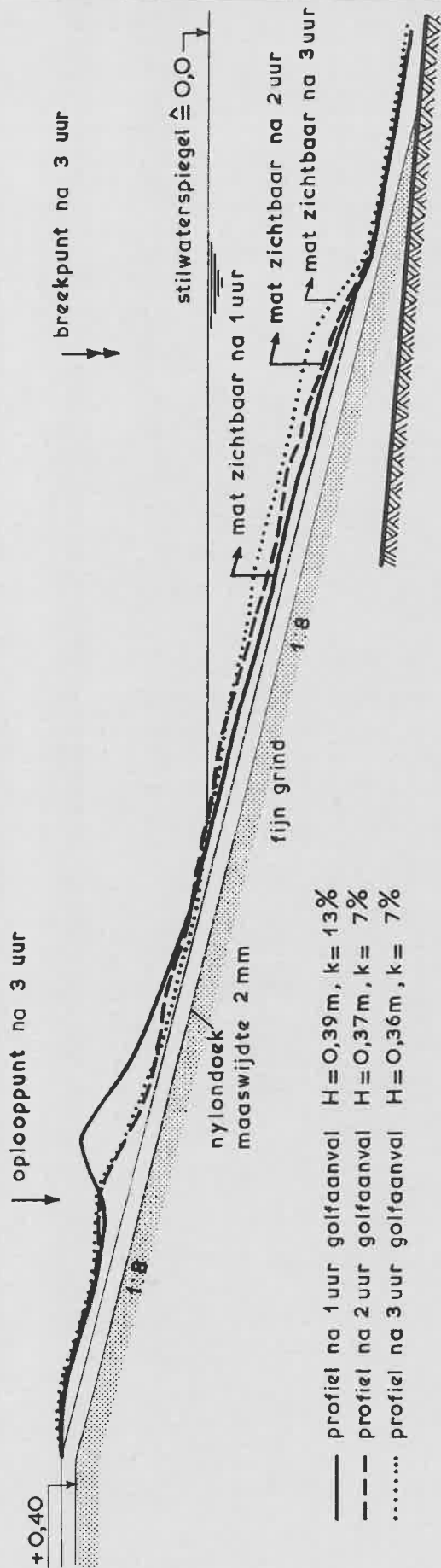
SCHAAL hor. 1: 40
 vert. 1: 20

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1153

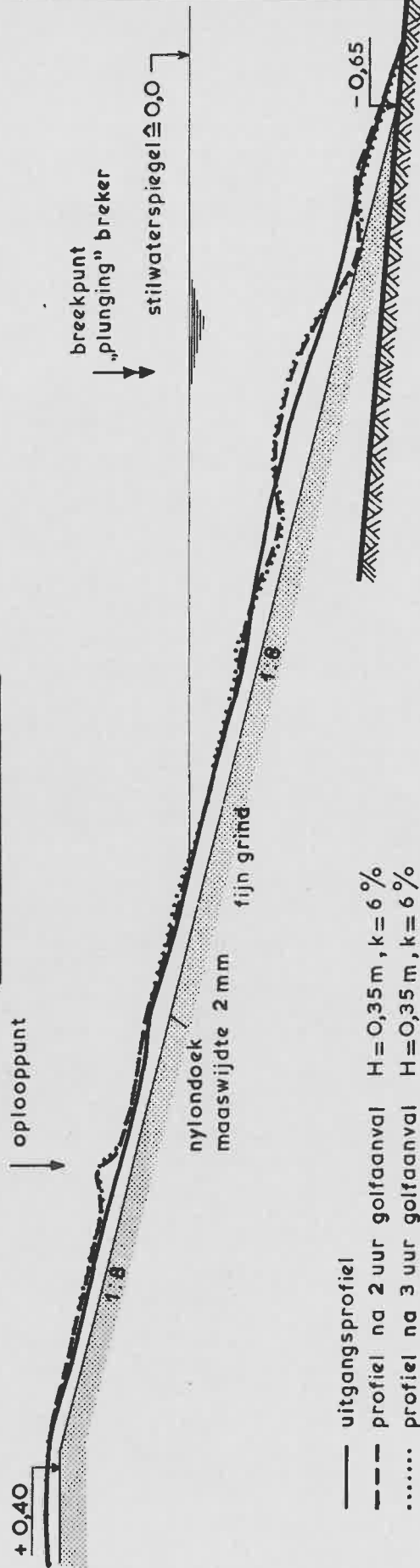
FIG. 6

TJIDENS VULLING ENKA-MAT



- profiel na 1 uur golfaanval $H=0,39\text{ m}$, $k=13\%$
- - - profiel na 2 uur golfaanval $H=0,37\text{ m}$, $k=7\%$
- profiel na 3 uur golfaanval $H=0,36\text{ m}$, $k=7\%$

NA VULLING ENKA-MAT



- uitgangsprofiel
- - - profiel na 2 uur golfaanval $H=0,35\text{ m}$, $k=6\%$
- profiel na 3 uur golfaanval $H=0,35\text{ m}$, $k=6\%$

maten in m
hoogten in m t.o.v. stilwaterspiegel

ONTWIKKELING TALUD TJIDENS EN NA
DE VULLING VAN DE ENKA-MAT MET
GROFKORRELIG MATERIAAL

T 4

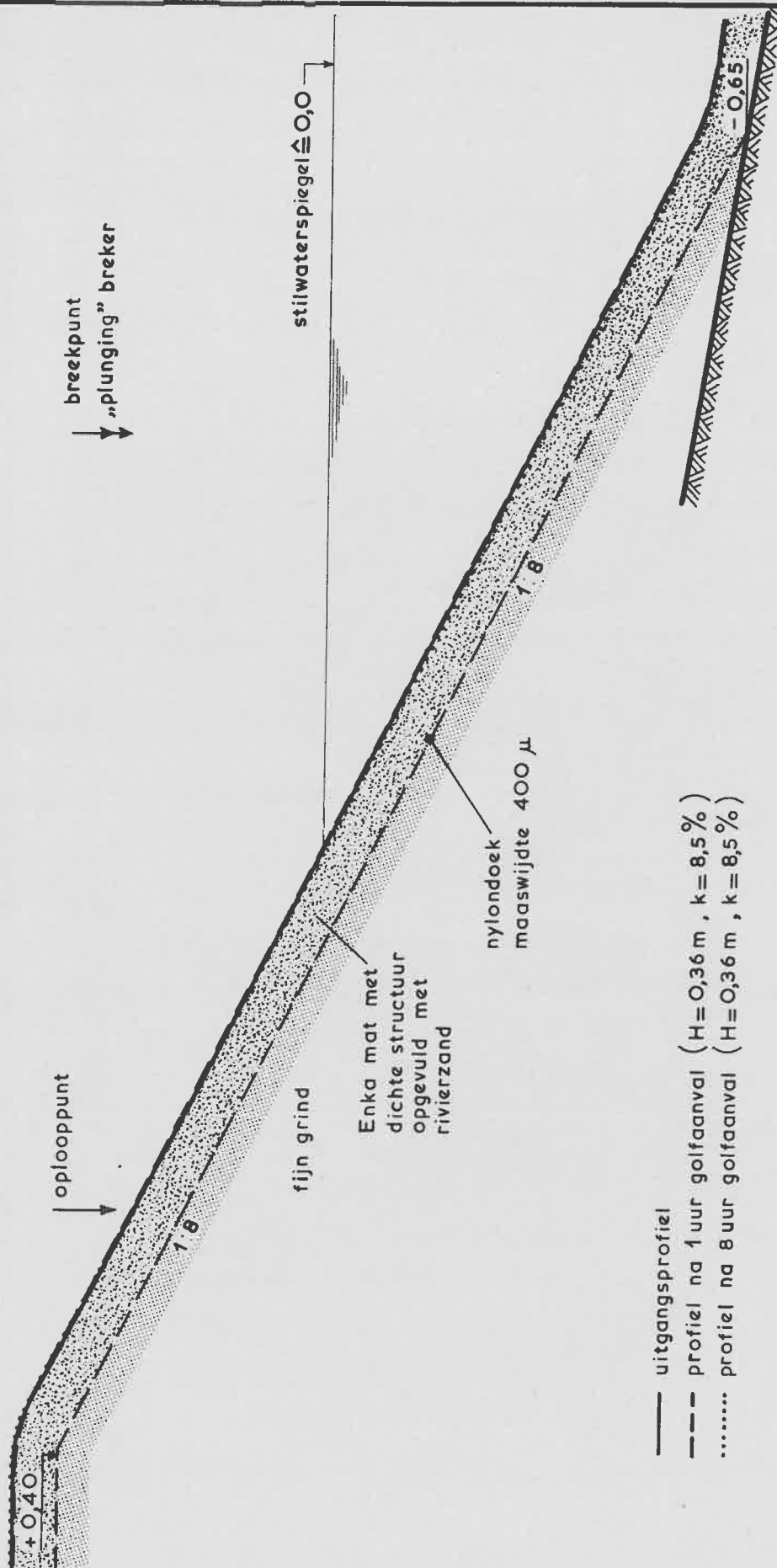
SCHAAL

hor. 1:40
vert. 1:20

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1153

FIG. 7



- uitgangsprofiel
- - - profiel na 1 uur golfaanval (H=0,36 m, k=8,5%)
- profiel na 8 uur golfaanval (H=0,36 m, k=8,5%)

maten in m
 hoogten in m t.o.v. stilwaterspiegel

ONTWIKKELING TALUD NA 1 UUR EN 8 UUR GOLFAANVAL

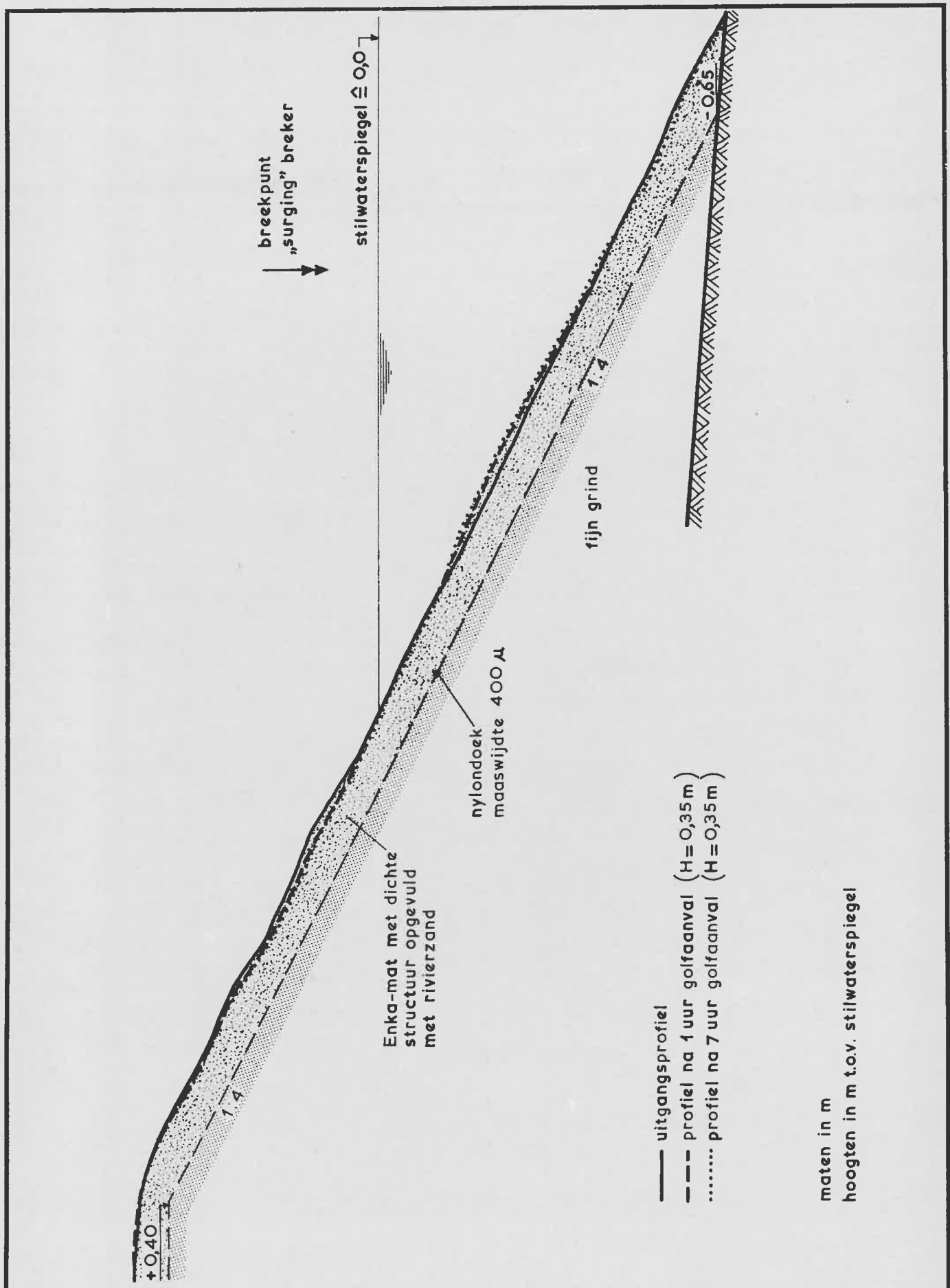
T 5

SCHAAL hor. 1:40
 vert. 1:10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1153

FIG. 8



ONTWIKKELING TALUD NA 1 UUR EN 7 UUR GOLFAANVAL

T6

SCHAAL hor. 1:20
vert. 1:10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1153

FIG. 9



1 T2. Ligging van de Enka-mat na 1 uur golfaanval



2 T3. Ligging van de Enka-mat na 1 uur golfaanval



3 T6. Ligging van de Enka-mat na 7 uur golven

waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft