



waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

stormvloedkering Oosterschelde

berekening aanzanding cunetten;
berekening gebaseerd op voortgezet onderzoek

AFGEHANDELD

verslag onderzoek

R 1267 deel VI

juli 1980



stormvloedkering Oosterschelde

berekening aanzanding cunetten;
berekening gebaseerd op voortgezet onderzoek

verslag onderzoek

R 1267 deel VI

juli 1980

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding</u>	1
2. <u>Samenvatting en conclusies</u>	2
3. <u>Opzet van de berekeningen</u>	3
4. <u>Berekeningen</u>	4
4.1 Te berekenen situaties.....	4
4.2 Randvoorwaarden.....	5
4.2.1 Waterbeweging ter plaatse van de bovenstroomse rand.....	5
4.2.2 Sedimentbeweging.....	7
4.2.3 Bodemruwheid.....	8
4.2.4 Overzicht invoergegevens.....	9
5. <u>Resultaten</u>	11
6. <u>Nauwkeurigheid</u>	13

LITERATUUR

FIGUREN

- 1 Overzicht sluitgaten met ligging van beschouwde dwarsprofielen
- 2 Dwarsprofielen verdichtingsseuven
- 3 Dwarsprofielen cunetten
- 4 Invloed plaatsing pijlers weergegeven door vermenigvuldigingsfaktor
- 5...11 Stroomsnelheden bij maatgevend getij in niet vernauwde situatie
- 12 Waterstanden bij maatgevend getij
- 13...16 Bodemligging van de verdichtingsseuf; dwarsprofielen 3, 5, 11 en 14
- 17...20 Bodemligging van het cunet; dwarsprofielen 6, 8, 10 en 11
- 21 Aanzanding in de tracé-as van de verdichtingsseuf als functie van de tijd; dwarsprofielen 3, 5, 11 en 14.
- 22 Aanzanding in de tracé-as van het cunet als functie van de tijd; dwarsprofielen 6, 8, 10 en 11

SYMBOLLEN

	dimensie	
b	exponent sedimenttransport-relatie	-
c	concentratie van het sediment	-
d	diepte van de sleuf	[L]
h	waterdiepte bovenstrooms van de sleuf	[L]
k	gemiddelde hoogte (dal-top) van de ribbels	[L]
k_s	ruwheidswaarde volgens Nikuradse	[L]
l	gemiddelde lengte van de ribbels	[L]
s_b	bodemtransport per eenheid van breedte	[M L ⁻¹ T ⁻¹]
s_s	suspensietransport per eenheid van breedte	[M L ⁻¹ T ⁻¹]
Δt	tijdstap	[T]
T	temperatuur	[°C]
\bar{u}	over de vertikaal gemiddelde stroomsnelheid	[LT ⁻¹]
\bar{u}_0	gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de bovenstroomse rand van de bodembescherming	[LT ⁻¹]
\bar{u}_1	gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van de bovenstroomse rand van het cunet	[LT ⁻¹]
W_s	bezinksnelheid sediment	[LT ⁻¹]
Δx	longitudinale plaatsstap	[L]
z_a	afstand bodemrand tot bed	[L]
Δz	vertikale plaatsstap	[L]
e	porositeit	-
ρ_s	dichtheid sediment	[M L ⁻³]

STORMVLOEDKERING OOSTERSCHELDE

Berekening aanzanding cunetten; berekening gebaseerd op voortgezet onderzoek.

1 Inleiding

De pijlers voor de stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde zullen grotendeels één voor één geplaatst worden op een in een gebaggerd cunet aangebracht fundatiebed. Teneinde zeker te zijn van de stabiliteit van de pijlers onder extreme omstandigheden zal de grondslag onder de pijlers worden verdicht, terwijl in de Roompot over een belangrijk deel van het sluitgat zelfs een grondverbetering zal worden uitgevoerd.

Het maken van het cunet begint met het cutteren van een zogenaamde verdichtings sleuf. Vervolgens wordt de grondslag verdicht, waarna de overhoogte en de daarop gevormde aanzanding wordt verwijderd. Direkt na dit zogenaamde opschonen wordt de eerste laag van het fundatiebed (losgestort filter) aangebracht, bestaande uit grof zand met overhoogte. Tenslotte worden de overige lagen van het fundatiebed aangebracht, waarna de pijlers kunnen worden geplaatst.

De hiervoor geschetste handelingen kunnen niet alle achter elkaar worden uitgevoerd. Gedurende de verschillende fasen zal aanzanding optreden. In de volgende hoofdstukken wordt verslag gedaan van de berekening van de aanzanding in een aantal dwarsprofielen.

De berekeningen zijn uitgevoerd onder leiding van ir. L.C. van Rijn en ir. N.J. van Wijngaarden van het Waterloopkundig Laboratorium, waarvan laatstgenoemde tevens dit verslag heeft opgesteld.

2. Samenvatting en konklusies

Voor verschillende situaties zijn in een aantal representatieve dwarsprofielen de aanzandingen berekend (zie de figuren 1...3). De berekeningen zijn uitgevoerd met het voor sleuven met steile taluds geschikt gemaakte numerieke model SUTRENCH. Hierbij is voor de waterbeweging ter plaatse van de bovenstroomse rand gebruik gemaakt van meetresultaten uit het getijmodel van de Oosterschelde. De gebruikte sedimenttransportformules zijn bepaald aan de hand van verscheidene sedimenttransportmetingen in de Oosterschelde.

De resultaten worden gegeven in de figuren 13 tot en met 22.

Aan de hand hiervan kan het volgende worden geconkludeerd:

- 1 de aanzanding, die optreedt tussen het cutteren van de verdichtings-sleuf en het moment van verdichten bedraagt afhankelijk van de plaats gemiddeld 1,1 á 1,4 cm per dag. Een uitzondering wordt gevormd door dwarsprofiel 14 met een gemiddelde aanzanding van 4,2 cm per dag, veroorzaakt door het aldaar heersende grote sedimenttransport en de relatief grote diepte van de sleuf.
- 2 de aanzanding, die optreedt tussen het aanbrengen van grof zand en de toplaag van het fundatiebed bedraagt afhankelijk van de plaats gemiddeld 0,8 á 1,9 cm per dag.
- 3 de aanzanding, die optreedt na het aanbrengen van de toplaag van het fundatiebed tot het moment van plaatsen van de pijler is in alle dwarsprofielen zo groot, dat het cunet vroegtijdig geheel is aangezand.
- 4 de aanzanding, die optreedt tussen het opschonen van het fundatiebed en het plaatsen van de pijler (korte termijn aanzanding) bedraagt afhankelijk van de plaats gemiddeld 0,8 á 1,7 cm per dag; hierbij is geen rekening gehouden met verstoringen ten gevolge van de plaatsing van de pijler.

De nauwkeurigheid van de berekende aanzanding wordt in hoofdzaak bepaald door de nauwkeurigheid van de berekende sedimenttransporten bovenstrooms van de sleuf en ligt tussen 0,5 en 2 maal de berekende waarde.

3 Opzet van de berekeningen

De berekeningen zijn uitgevoerd met het voor sleuven met steile taluds geschikt gemaakte numerieke model SUTRENCH (zie verslag deel V [1]).

Drie-dimensionale effecten zijn alleen te verwachten in de omgeving van de oevers. Een correctie van de berekende aanzanding in verband met drie-dimensionale effecten was niet nodig, omdat geen enkel dwarsprofiel waarvan de aanzanding moest worden berekend, zich in de directe omgeving van de oevers bevindt.

Een sedimenttransportformule voor de Oosterschelde was niet voorhanden. Er zijn daarom verscheidene sedimenttransportmetingen uitgevoerd, aan de hand waarvan verschillende sedimenttransportformules zijn bepaald (zie verslag deel IV [2]). Hierbij is onderscheid gemaakt in formules voor versnellende en vertragende stroom.

Voor de waterbeweging ter plaatse van de bovenstroomse rand is gebruik gemaakt van meetresultaten uit het getijmodel van de Oosterschelde (zie de interimverslagen M1000-3 [3] en M1000-10 [4]). Deze gegevens zijn omgewerkt naar de situatie met het voor het sedimenttransport maatgevend getij (getijcoëfficiënt: 1,04; zie paragraaf 4.2.1).

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een aantal representatieve dwarsprofielen.

Het betreft de volgende situaties:

- de aanzanding, die optreedt tussen het cutteren van de verdichtings sleuf en het moment van verdichten
- de aanzanding, die optreedt na het cutteren van de grondverbeterings sleuf tot het moment van aanvullen
- de aanzanding, die optreedt tussen het aanbrengen van grof zand en de toplaag van het fundatiebed
- de aanzanding, die optreedt na het aanbrengen van de toplaag van het fundatiebed tot het moment van plaatsen van de pijler

4 Berekeningen

4.1 Te berekenen situaties

De aanzandingsberekeningen zijn uitgevoerd voor een aantal representatieve dwarsprofielen. De ligging van deze dwarsprofielen wordt gegeven in figuur 1. Er kan onderscheid gemaakt worden in dwarsprofielen van verdichtingssleuven (waaronder ook de grondverbeteringssleuven worden gerekend) en dwarsprofielen van cunetten.

De aanzandingsberekeningen voor de grondverbeteringssleuven (dwarsprofielen 3 en 5, zie figuur 2) betreffen de uitvoeringswijze, waarbij de sleuven pas worden aangevuld nadat er aanzanding heeft plaats gevonden. De aanzanding, die optreedt tussen het cutteren van de grondverbeteringssleuf en het moment van aanvullen komt in mindering van de benodigde hoeveelheid voor aanvullen. De aanzanding, die optreedt tussen het cutteren van de verdichtingssleuf en het moment van verdichten beperkt de diepte tot waar met het verdichtingsschip kan worden verdicht. Bij het vaststellen van de bodemligging van de verdichtingssleuf moet met de te verwachten aanzanding rekening worden gehouden. De berekening is uitgevoerd voor de dwarsprofielen 11 en 14 (zie figuur 2). De aanzanding, die optreedt tussen het aanbrengen van grof zand (eerste laag van het fundatiebed) en de toplaag van het fundatiebed is bepalend voor de hoeveelheid die moet worden opgeschoond. De laag grof zand wordt in verband met de te verwachten ribbelvorming aangebracht met een overhoogte van 1,5 m. De berekening is uitgevoerd voor de dwarsprofielen 6, 8, 10 en 11 (zie figuur 3).

De aanzanding, die optreedt na het aanbrengen van de toplaag van het fundatiebed tot het moment van plaatsen van de pijler is bepalend voor de hoeveelheid, die moet worden opgeschoond. In dit geval is het vooral van belang te weten hoeveel aanzanding er optreedt tussen het opschonen en het plaatsen van de pijler (korte termijn aanzanding). De berekening is uitgevoerd voor de dwarsprofielen 6, 8, 10 en 11 (zie figuur 3). De ligging van de toplaag van het fundatiebed komt overeen met de ligging van het grof zand inclusief de overhoogte van 1,5 m, zodat sprake is van eenzelfde situatie, waarbij alleen de duur van de aanzanding verschilt.

De tijdsduur voor de aanzanding in de verschillende situaties is afgeleid van het tijd- wegdiagram van de planning voor de uitvoering van de bouw van de stormvloedkering, zoals dat in december 1978 van kracht was (PL313, d.d. 13-12-1978).

In onderstaande tabel wordt per dwarsprofiel de tijdsduur, waarmee is gerekend, gegeven. In die gevallen, waarbij de sleuf reeds in een eerder stadium volledig was aangezand, is de berekening vroegtijdig afgebroken.

	dwarsprofiel	tijdsduur aanzanding
verdichtings- sleuven	3	8 maanden
	5	6 maanden
	11	1 maand
	14	2 maanden
cunetten	6	21 maanden, 2 maanden, *) korte termijn**)
	8	12 maanden, 2 maanden, korte termijn
	10	16 maanden, 2 maanden, korte termijn
	11	19 maanden, 2 maanden, korte termijn

*) tijdsduur tussen het aanbrengen van grof zand (eerste laag van het fundatiebed) en de toplaag van het fundatiebed

***) tijdsduur tussen opschonen en plaatsen van de pijler

4.2 Randvoorwaarden

4.2.1 Waterbeweging ter plaatse van de bovenstroomse rand

Alle werkzaamheden voorafgaande aan de plaatsing van de pijlers leveren nauwelijks een verandering in doorstroomprofiel op. Dientengevolge is de getijbeweging onveranderd. De waterbeweging ter plaatse van de bovenstroomse rand is daarom voor de aanzandingsberekeningen van de verdichtingssleuven (dwarsprofielen 3, 5, 11 en 14) gelijk aan die in de huidige situatie.

Er is gebruik gemaakt van de resultaten van metingen in het getijmodel van de Oosterschelde, zoals die zijn vastgelegd in het interim-verslag M1000-3 [3]. Bedoelde metingen zijn uitgevoerd bij het gemiddeld getij van 11 september 1968 met bij Burghsluis een getijdaling van 2,76 m en een getijrijzing van 2,86 m. De aanzandingsberekeningen dienen te worden uitgevoerd voor het maatgevend getij. Hieronder wordt verstaan het getij, dat gemiddeld dezelfde sedimenttransporten geeft als die optreden tijdens een springtij- doodtijcyclus, waarbij bovendien rekening is gehouden met weersinvloeden. Het maatgevend getij wordt verkregen door het gemiddeld getij met een transport koëfficiënt

β te vermenigvuldigen. Voor de Oosterschelde bedraagt $\beta = 1,04$ (zie nota I [5]). De resultaten van de metingen in het getijmodel zijn omgerekend naar de situatie met maatgevend getij.

Tijdens het plaatsen van de pijlers wordt het doorstroomprofiel vernauwd. Hierdoor zal een verandering in snelheidsverdeling over het sluitgat optreden. Bovendien wordt in de noordelijke sluitgaten de debietverdeling beïnvloed. Het vertikaal getij blijft onveranderd.

Teneinde de waterbeweging voor de aanzandingsberekeningen van de cunetten (dwarsprofielen 6, 8, 10 en 11) te kunnen bepalen is gebruik gemaakt van het interim-verslag M1000-10 [4]. Hierin zijn de resultaten gegeven van een aantal berekeningen van de stroomsnelheden in een aantal bouwfasen. Het daarbij gehanteerde tijd-wegdiagram voor de pijlerplaatsing is niet gelijk aan het onderhavige. De verschillen zijn evenwel niet zo groot, dat de resultaten niet te gebruiken zijn. De berekeningen uit het interim-verslag M1000-10 [4] zijn uitgevoerd voor het springtij van 7 oktober 1971. Dit is geen bezwaar, daar de invloed van de verschillende bouwfasen kan worden uitgedrukt in een faktor, waarbij de stroomsnelheid op een bepaalde plaats in de niet vernauwde situatie de faktor 1 heeft. Aldus beschouwd wordt de basis van de waterbeweging voor de aanzandingsberekeningen van de cunetten, gevormd door de resultaten van de metingen in het getijmodel, zoals die zijn vastgelegd in het interim-verslag M1000-3 [3], evenwel omgerekend naar de situatie met maatgevend getij.

Om de invloed van de plaatsing van de pijlers weer te geven, wordt het maatgevend getij dus vermenigvuldigd met een faktor (zie figuur 4). Bij het bepalen van deze faktor zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- het debiet in de Roompot wordt niet beïnvloed door de plaatsing van pijlers in de Schaar van Roggenplaat en Hammen en omgekeerd,
- het debiet in de Schaar van Roggenplaat neemt toe als gevolg van de plaatsing van pijlers in de Hammen. De mate waarin het debiet toeneemt kan worden afgeleid uit het interim-verslag M1000-9 [6]: + 10% bij alle pijlers in de Hammen geplaatst. Het verloop van de debiettoename in de Schaar van Roggenplaat is als volgt aangenomen:

de helft van de pijlers in de Hammen geplaatst.....	+ 2%
driekwart van de pijlers in de Hammen geplaatst.....	+ 6%
alle pijlers in de Hammen geplaatst.....	+ 10%

De figuren 5 tot en met 11 geven de stroomsnelheden bij maatgevend getij in de niet vernauwde situatie voor de dwarsprofielen 3, 5, 6, 8, 10, 11 en 14. In deze figuren is tevens de representatieve stroomsnelheid gegeven. Daartoe is het getij geschematiseerd tot een aantal quasi-permanente stromingstoestanden, zodanig dat het daarmee berekende totale sedimenttransport gedurende één getijcyclus goed wordt weergegeven. De eb- en vloedperiode bestaan ieder uit twee tijdstappen Δt (= 2 uur).

Voor de aanzandingsberekeningen van de verdichtingspleuven kan worden volstaan met de representatieve stroomsnelheden uit de figuren 5, 6, 10 en 11. Voor de aanzandingsberekeningen van de cunetten moeten de representatieve stroomsnelheden uit de figuren 7, 8, 9 en 10 nog worden vermenigvuldigd met de factoren uit figuur 4.

Figuur 12 geeft het waterstandsverloop bij maatgevend getij. Dit is voor alle dwarsprofielen hetzelfde en wordt niet significant beïnvloed door het plaatsen van de pijlers.

4.2.2 Sedimentbeweging

In de jaren 1977 en 1978 zijn in de Oosterschelde verscheidene sedimenttransportmetingen uitgevoerd. Aan de hand hiervan is een aantal sedimenttransportformules bepaald (zie verslag deel IV [2]). Er is onderscheid gemaakt in formules voor versnellende en vertragende stroom. Met de formules wordt het suspensietransport beschreven. De formules zijn in onderstaande tabel gegeven.

sluitgat	transport bij versnellende stroom (kg/sm)	transport bij vertragende stroom (kg/sm)
Roompot	$s_s = 0,11 \bar{u}^{-4}$	$s_s = 0,16 \bar{u}^{-2,6}$
Schaar van Roggenplaat	$s_s = 0,11 \bar{u}^{-5,5}$	$s_s = 0,19 \bar{u}^{-2,9}$
Hammen	$s_s = 0,20 \bar{u}^{-4,8}$	$s_s = 0,45 \bar{u}^{-5,1}$

Het bodemtransport is bepaald uit het verplaatsen van de beddingvorm (zie het interim-verslag R 1267-4 [7]) en kan worden beschreven met de volgende formule:

$$s_b = 0,06 \bar{u}^3 \quad (\text{kg/s.m})$$

waarin:

\bar{u} = over de vertikaal gemiddelde stroomsnelheid (m/s)

De representatieve korreldiameter van het materiaal in suspensie bedraagt voor alle sluitgaten ongeveer 170 μm .

De bezinksnelheid van dit materiaal bedraagt bij een watertemperatuur van 5°C ongeveer 0,015 m/s.

Bij de aanzandingsberekeningen van de cunetten (dwarsprofielen 6, 8, 10 en 11) moet rekening worden gehouden met de aanwezigheid van een bodembescherming. De stroomsnelheid ter plaatse van de bovenstroomse rand van de bodembescherming is maatgevend voor de aangevoerde hoeveelheid sediment. In het versnellingsgebied boven de bodembescherming kan namelijk geen sediment worden opgenomen. Omdat de lengte van de bodembescherming groot is, wordt aangenomen, dat de toename van de stroomsnelheid-voor zover deze wordt veroorzaakt door het plaatsen van een aantal pijlers in het beschouwde sluitgat- volledig boven de bodembescherming plaats vindt. Dientengevolge is gerekend met een transportformule van de vorm:

$$s_s = a \left(\frac{\bar{u}_0}{\bar{u}_1} \right)^b \bar{u}^b \quad (\text{kg/s.m})$$

waarin:

\bar{u}_0 = stroomsnelheid ter plaatse van de bovenstroomse rand van de bodembescherming (m/s)

\bar{u}_1 = stroomsnelheid ter plaatse van de bovenstroomse rand van het cunet (m/s)

\bar{u} = stroomsnelheid in het beschouwde punt (m/s)

4.2.3 Bodemruwheid

Voor de aanzandingsberekeningen moet de bodemruwheid, uitgedrukt in de k_s -waarde volgens Nikuradse, bekend zijn.

Volgens het interim-verslag R 1267-3 [8] kan de bodemruwheid volgens twee methoden worden voorspeld:

- de zogenaamde splitsingsmethode, waarbij de hydraulische weerstand wordt gesplitst in een korrelweerstand en een vormweerstand (Einstein-Barbarossa, Engelund-Hansen, Alam-Kennedy, Vanoni-Hwang en Vittal et al),
- de methode, waarbij de k-waarde wordt gerelateerd aan de afmetingen van de beddingvorm (Shinohara-Tsubaki, Swart en Waterloopkundig Laboratorium).

Voor de Oosterschelde komen de splitsingsmethoden niet in aanmerking, gezien de relatief grote waterdiepte in de sluitgaten. Van de methoden, waarbij de k-waarde wordt gerelateerd aan de afmetingen van de beddingvorm heeft de methode van het Waterloopkundig Laboratorium de voorkeur, omdat deze gebaseerd is op een groot aantal metingen en de omstandigheden in de Oosterschelde binnen het geldigheidsgebied van deze formule vallen. De formule luidt:

$$\frac{k_s}{k} = 1,75 + 0,75 \log \left(\frac{k}{l} \right) \quad \left(\text{voor } 0,01 \leq \frac{k}{l} \leq 0,2 \right)$$

waarin:

k_s = ruwheidswaarde volgens Nikuradse (m)

k = gemiddelde hoogte (dal-top) van de ribbels (m)

l = gemiddelde lengte van de ribbels (m)

De ribbelhoogte en ribbellengte kan worden afgeleid uit "tracks" van de Wijker Rib, zoals deze zijn aangegeven op de tekeningen van Rijkswaterstaat, nrs. 75.9.0056;75.9.0057 en 75.9.0058. Het blijkt dat $k=0,4$ m en $l=10$ m.

De met deze gegevens berekende waarde van de bodemruwheid bedraagt:

$$k_s = 0,3 \text{ m.}$$

4.2.4 Overzicht invoergegevens

In de volgende tabel wordt een overzicht gegeven van de voor de berekeningen gebruikte invoergegevens.

5. Resultaten

De figuren 13 tot en met 16 geven de bodemligging van de verdichtings-sleuf op verschillende tijdstippen (dwarsprofielen 3, 5, 11, en 14). Het blijkt, dat de aanzanding tussen het cutteren van de grondverbeterings-sleuf en het moment van aanvullen ter plaatse van de tracé-as in dwarsprofiel 3 oploopt tot 2,80 m (dat is gemiddeld 1,2 cm per dag) en in dwarsprofiel 5 tot 2,05 m (dat is gemiddeld 1,1 cm per dag).

De aanzanding tussen het cutteren van de verdichtings-sleuf en het moment van verdichten ter plaatse van de tracé-as bedraagt in dwarsprofiel 11 totaal 0,41 m en in dwarsprofiel 14 totaal 2,50 m (dat is gemiddeld respectievelijk 1,4 en 4,2 cm per dag). Het valt op, dat de aanzanding in dwarsprofiel 14 erg groot is. Dit moet worden toegeschreven aan de relatief grote stroomsnelheden aldaar in combinatie met een sedimenttransportrelatie met voor versnellende en vertragende stroom een hoge waarde van de exponent voor de stroomsnelheid. Bovendien is bij dwarsprofiel 14 de sleuf relatief diep ten opzichte van de bovenstroomse waterdiepte ($d/h \approx 0,4$; bij dwarsprofielen 3, 5 en 11 is $d/h \approx 0,2$). De aanzanding ter plaatse van de manoeuvreerplateau's is aanzienlijk kleiner. Op 180 m uit de as bedraagt deze in dwarsprofiel 11 totaal 0,06 m en in dwarsprofiel 14 totaal 1,00 m (dat is gemiddeld respectievelijk 0,2 en 1,7 cm per dag). In dit verband wordt ook verwezen naar figuur 21.

De figuren 17 tot en met 20 geven de bodemligging van het cunet op verschillende tijdstippen (dwarsprofielen 6, 8, 10 en 11). Het blijkt, dat de aanzanding tussen het aanbrengen van grof zand (eerste laag van het fundatiebed) en de toplaag van het fundatiebed ter plaatse van de tracé-as in dwarsprofiel 6 oploopt tot 0,48 m (dat is gemiddeld 0,8 cm per dag) en in dwarsprofiel 8 tot 1,15 m (dat is gemiddeld 1,9 cm per dag). Deze aanzanding bedraagt in dwarsprofiel 10 totaal 1,00 m en in dwarsprofiel 11 totaal 0,75 m (dat is gemiddeld respectievelijk 1,7 en 1,2 cm per dag).

De aanzanding, die optreedt na het aanbrengen van de toplaag van het fundatiebed tot het moment van plaatsen van de pijler is in alle dwarsprofielen zo groot, dat het cunet vroegtijdig geheel is aangezand.

De aanzanding, die optreedt tussen het opschonen van het fundatiebed en het plaatsen van de pijler (korte termijn aanzanding) bedraagt in dwarsprofiel 6 gemiddeld 0,8 cm per dag en in dwarsprofiel 8 gemiddeld 1,7 cm per dag.

Deze aanzanding bedraagt in dwarsprofiel 10 gemiddeld 1,3 cm per dag en in dwarsprofiel 11 gemiddeld 1,2 cm per dag. In dit verband wordt ook verwezen naar figuur 22. Er moet nog worden opgemerkt, dat hierbij geen rekening is gehouden met verstoringen ten gevolge van de plaatsing van de pijler.

6. Nauwkeurigheid

De in hoofdstuk 5 gepresenteerde resultaten van de berekeningen zijn tot stand gekomen door gebruik te maken van het verbeterde numeriek model voor niet-permanent suspensietransport (SUTRENCH-nieuw). Teneinde te kunnen vaststellen in hoeverre de nauwkeurigheid van de uitgevoerde berekeningen is verbeterd ten opzichte van de eerder uitgevoerde globale berekeningen van de aanzanding (zie verslag deel I [9]) wordt hier SUTRENCH-nieuw vergeleken met de oude versie van het numeriek model (SUTRENCH-oud).

SUTRENCH-oud

SUTRENCH-nieuw

- | | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | logaritmisch snelheidsveld | 1 | semi-empirisch snelheidsveld |
| 2 | vaste bodemrandvoorwaarde:
$c_{b,e}$ (bodemconcentratie bij evenwicht) | 2 | gecombineerde bodemrandvoorwaarde:
$c_{b,e}$ en $(\delta c / \delta z)_b = 0$ (concentratiegradiënt bij de bodem) |
| 3 | sedimenttransportformule bepaald uit extrapolatie van één meetpunt op 0,4 m boven de bodem; geen onderscheid versnellende en vertragende stroom | 3 | sedimenttransportformule bepaald uit gemeten vertikalen; onderscheid versnellende en vertragende stroom |
| 4 | bezinksnelheid sediment bepaald uit D_{50} van het gevangen sediment op 0,4 m boven de bodem | 4 | bezinksnelheid sediment bepaald uit representatieve korreldiameter van het gesuspendeerde sediment |

- ad 1 Het is gebleken, dat alleen voor de korte termijn aanzanding het gebruik van een semi-empirisch snelheidsveld een duidelijke verbetering heeft opgeleverd: als gevolg van de lagere stroomsnelheid bij de bodem wordt meer aanzanding berekend (zie verslag R 1267, deel V [1]).
- ad 2 Bij de toetsing van SUTRENCH aan de proefsleuf Schaar is gebleken, dat door gebruik te maken van een combinatie van bodemrandvoorwaarden in de tracé-as 50 % meer aanzanding wordt berekend (zie verslag R 1267, deel V [1]).
- ad 3 De sedimenttransportformule is nog steeds niet optimaal. De relatie tussen het sedimenttransport en de stroomsnelheid vertoont een grote spreiding in meetwaarden. Dit is het gevolg van:

- gebrekkige meetmethode
- invloed springtij - doodtij
- invloed plaats van meten
- seizoeninvloed

De nauwkeurigheid van de gebruikte sedimenttransportformules is naar schatting zodanig, dat de werkelijke transporten liggen tussen 0,5 en 2 maal de berekende waarde (zie verslag R 1267, deel IV [2]).

ad 4 De bezinksnelheid van het sediment heeft een grote invloed op de aanzanding: een 25% grotere bezinksnelheid levert ook een 25% grotere aanzanding op (zie verslag R 1267, deel V [1]).

Samenvattend kan worden gezegd, dat SUTRENCH-nieuw een duidelijke verbetering betekent ten opzichte van SUTRENCH-oud.

Uit het verslag R 1267, deel V [1] blijkt, dat de belangrijkste parameters voor de aanzandingsberekeningen met SUTRENCH zijn:

- het bovenstroomse aangevoerde sediment (sedimenttransportformule)
- de maximum diffusiecoëfficiënt bovenstrooms van de sleuf
- de bezinksnelheid van het sediment

Uit het verslag R 1267, deel V [1] blijkt bovendien, dat - uitgaande van een nauwkeurige relatie voor het sedimenttransport - met SUTRENCH-nieuw in het diepste punt van de sleuf een 5 á 30% te kleine aanzanding wordt berekend (gootproeven). Toetsing van het numerieke model aan de proefsleuf Schaar gaf in de tracé-as een 5% te kleine aanzanding. In beide gevallen werd geen additionele ijking toegepast. De verschillende parameters hadden reële waarden. Gezien het feit dat de werkelijke sedimenttransporten liggen tussen 0,5 en 2 maal de met de sedimenttransportformules berekende transporten wordt de nauwkeurigheid van de berekende aanzanding in hoofdzaak bepaald door de nauwkeurigheid van de berekende sedimenttransporten.

Uit het verslag R 1267, deel V [1] blijkt, dat bij een tweemaal zo groot sedimenttransport bovenstrooms van de sleuf ook ongeveer een tweemaal zo grote aanzanding optreedt.

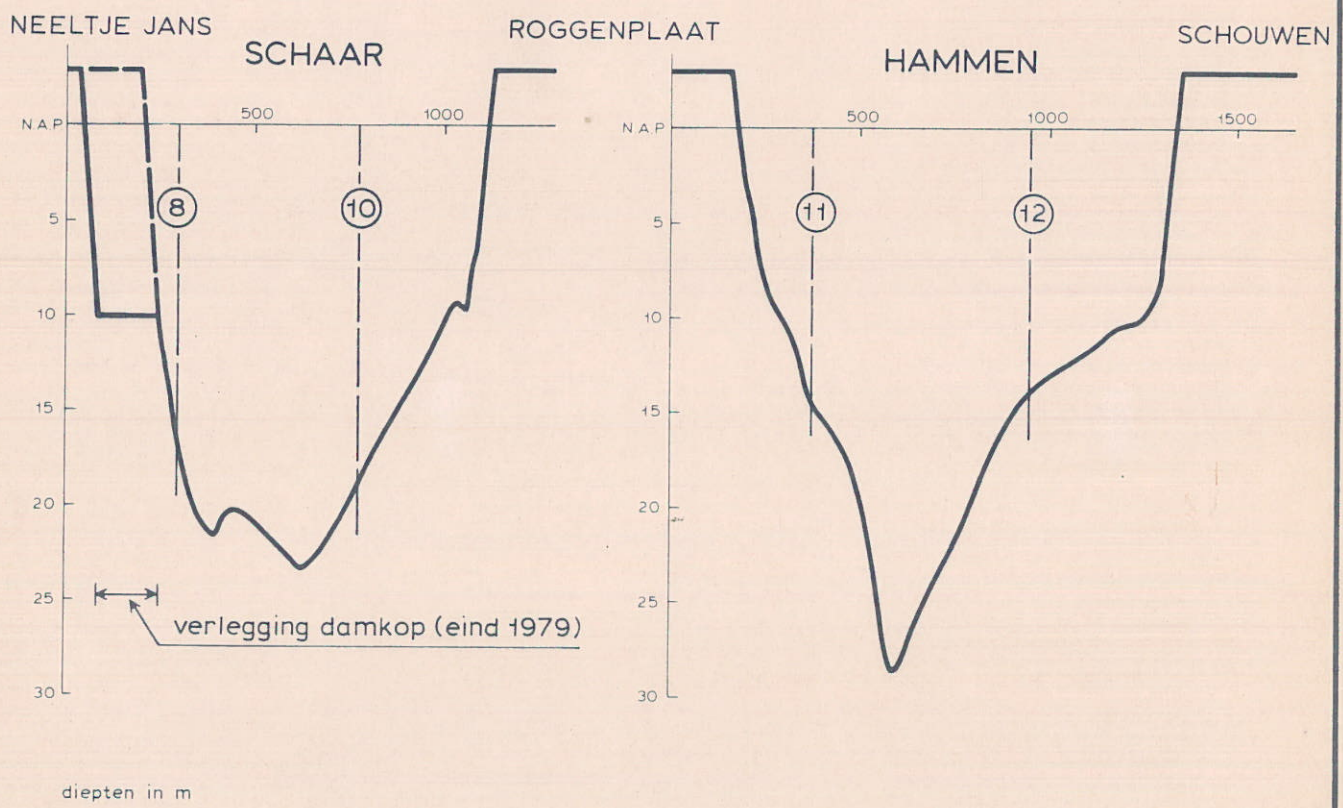
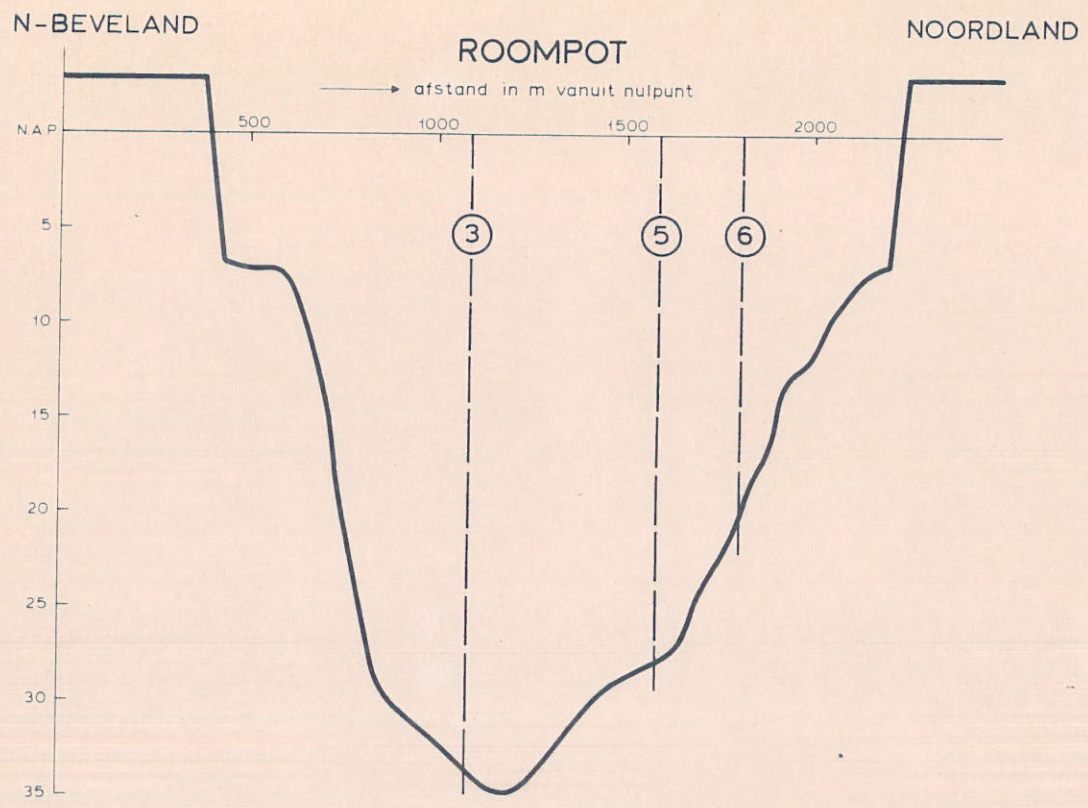
Aan de hand van het bovenstaande kan worden geconcludeerd, dat de resultaten van de aanzandingsberekeningen uit hoofdstuk 5 een nauwkeurigheid hebben, die ligt tussen 0,5 en 2 maal de berekende waarde.

LITERATUUR

- 1 Storm-surge barrier Oosterschelde
Computation siltation in dredged trenches; mathematical model for the siltation in dredged trenches
Delft Hydraulics Laboratory, R 1267, part V, 1980
- 2 Stormvloedkering Oosterschelde
Berekening aanzanding cunetten; sediment transport in de sluitgaten van de Oosterschelde
Waterloopkundig Laboratorium, R 1267, deel IV, 1980
- 3 Stormvloedkering Oosterschelde, Getijmodel Oosterschelde
Randvoorwaarden en plaatsingstijden putten bij de situatie met kaal sluitgat
Waterloopkundig Laboratorium, interim-verslag M1000-3, 1977
- 4 Stormvloedkering Oosterschelde, Getijmodel Oosterschelde
Berekening van stroomsnelheden bij een aantal bouwfases van de stormvloedkering
Waterloopkundig Laboratorium, interim-verslag M1000-10, 1978
- 5 Stormvloedkering Oosterschelde
Berekening aanzanding cunetten; sedimenttransport in estuaria
Waterloopkundig Laboratorium R 1267 not a I, 1977
- 6 Stormvloedkering Oosterschelde, Getijmodel Oosterschelde
Onderzoek plaatsingsfases pijlers
Waterloopkundig Laboratorium, interim-verslag M1000-9, 1978
- 7 Stormvloedkering Oosterschelde
Berekening aanzanding cunetten; bepaling bodemtransport uit het verplaatsen van de beddingvorm
Waterloopkundig Laboratorium, interim verslag R 1267-4, 1980
- 8 Stormvloedkering Oosterschelde
Berekening aanzanding cunetten; stromingsweerstand in open waterlopen met een alluviale bedding
Waterloopkundig Laboratorium, interim verslag R 1267-3, 1980

LITERATUUR (vervolg)

- 9 Stormvloedkering Oosterschelde
Berekeningen aanzanding cunetten; globale berekening
Waterloopkundig Laboratorium, R 1267 deel I, 1977



OVERZICHT SLUITGATEN MET LIGGING VAN
BESCHOUWDE DWARSPROFIELEN

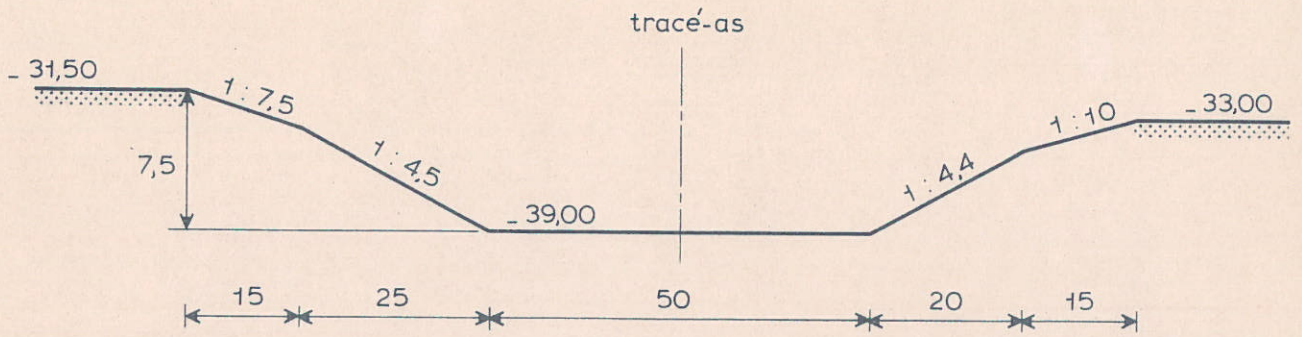
lengte schaal 1 : 20.000
diepte schaal 1 : 400

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

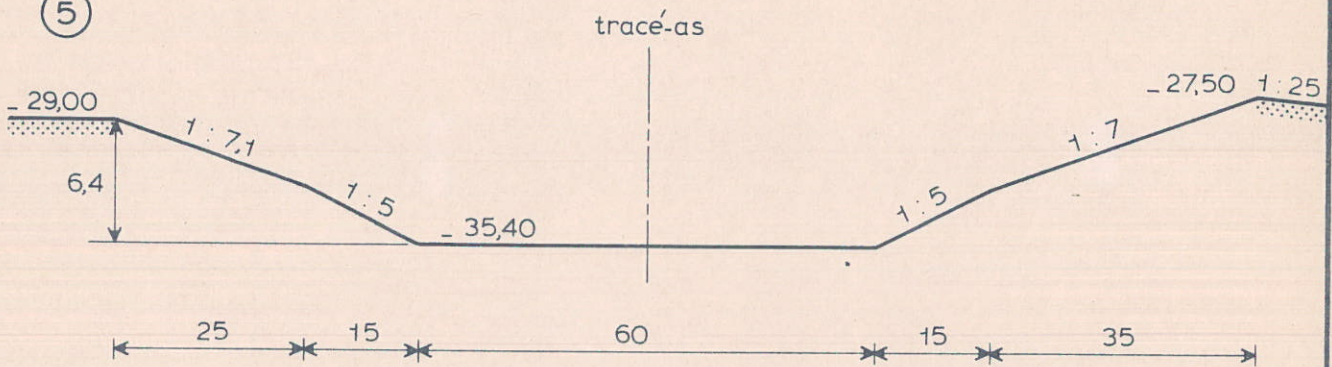
R 1267

FIG. 1

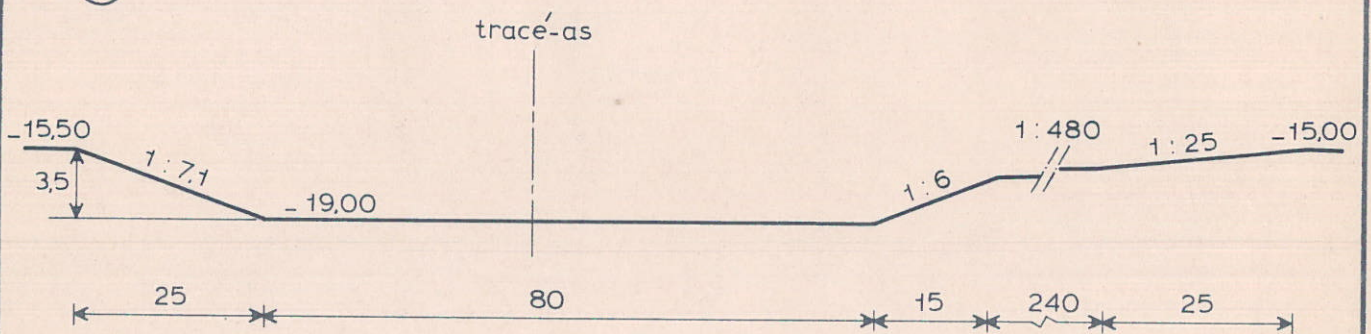
3



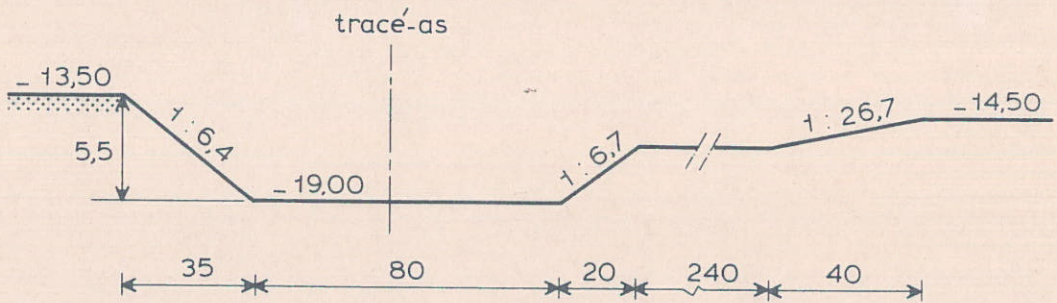
5



11



14



vaste bodem

maten in m

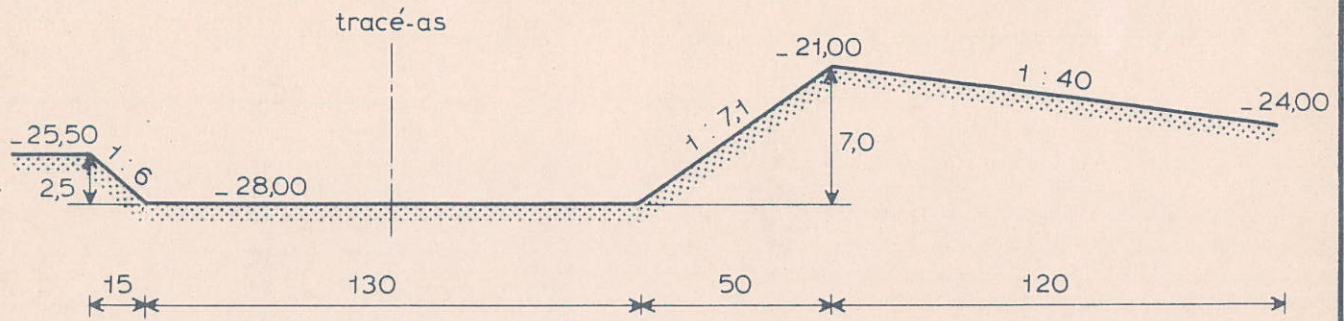
DWARSPROFIELEN VERDICHTINGSLEUVEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

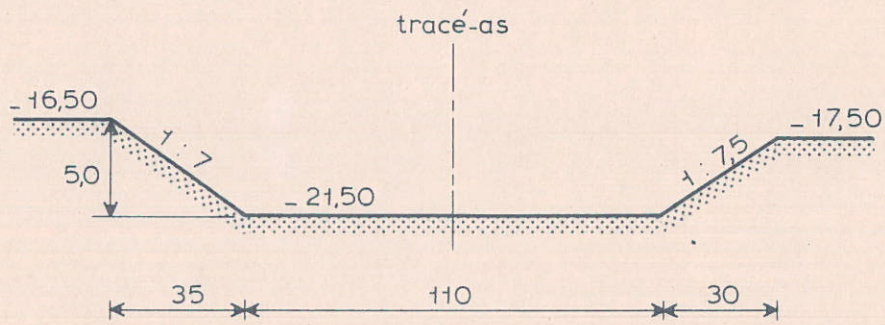
R 1267

FIG. 2

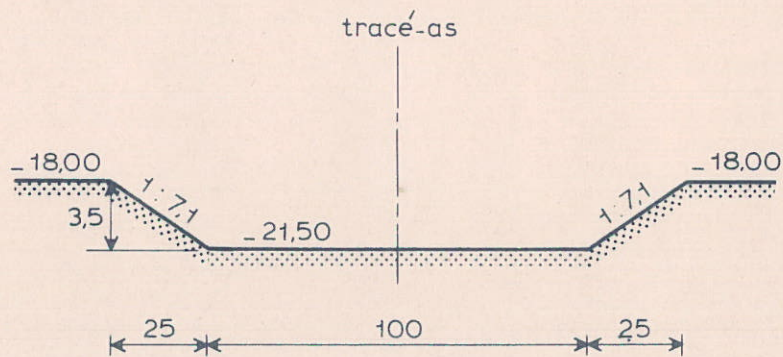
6



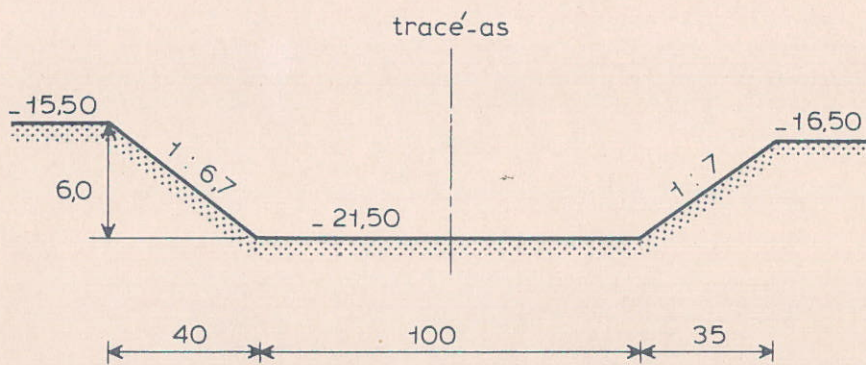
8



10



11



vaste bodem

maten in m

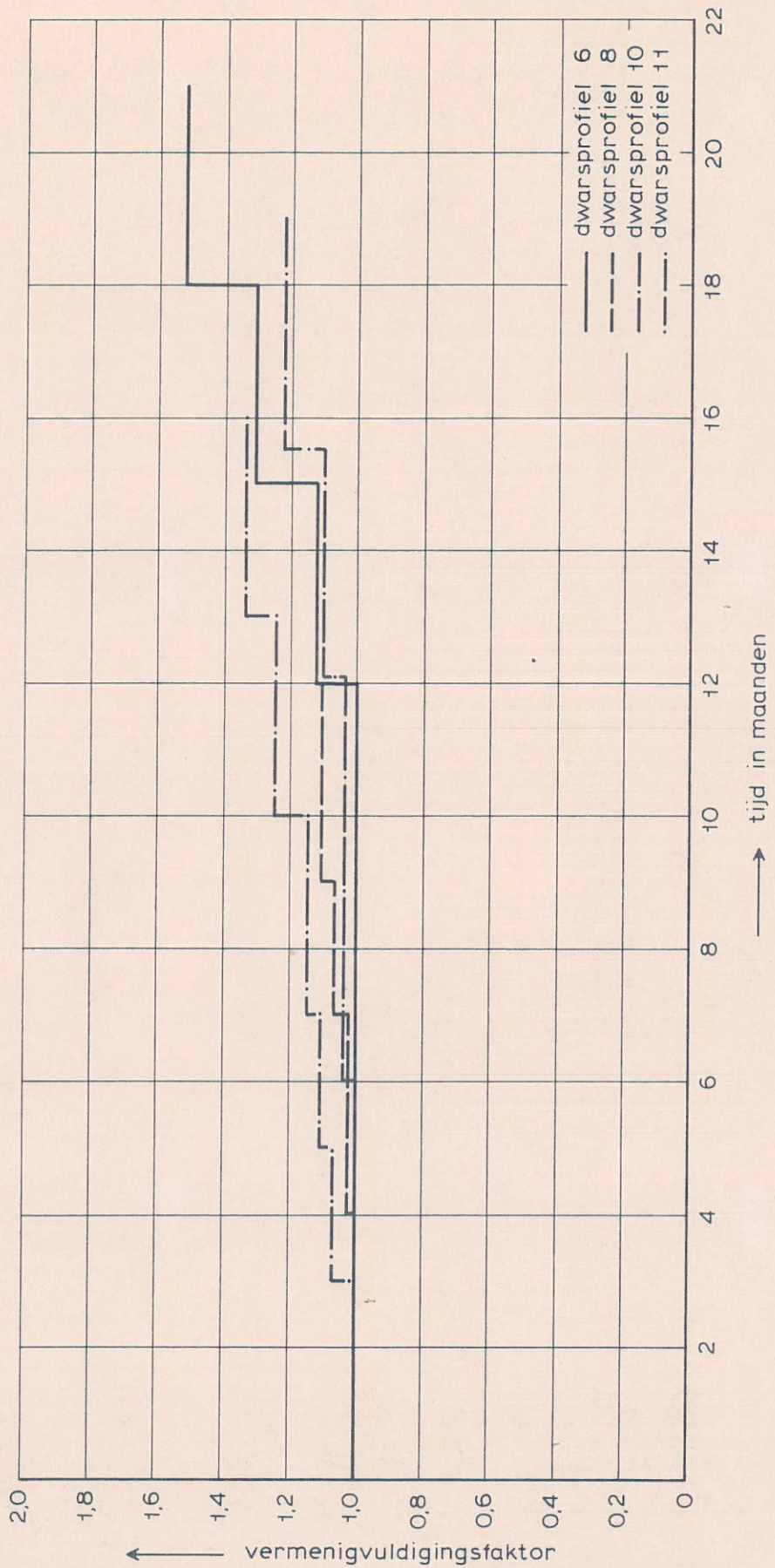
DWARSPROFIELEN CUNETTEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 3

80-184

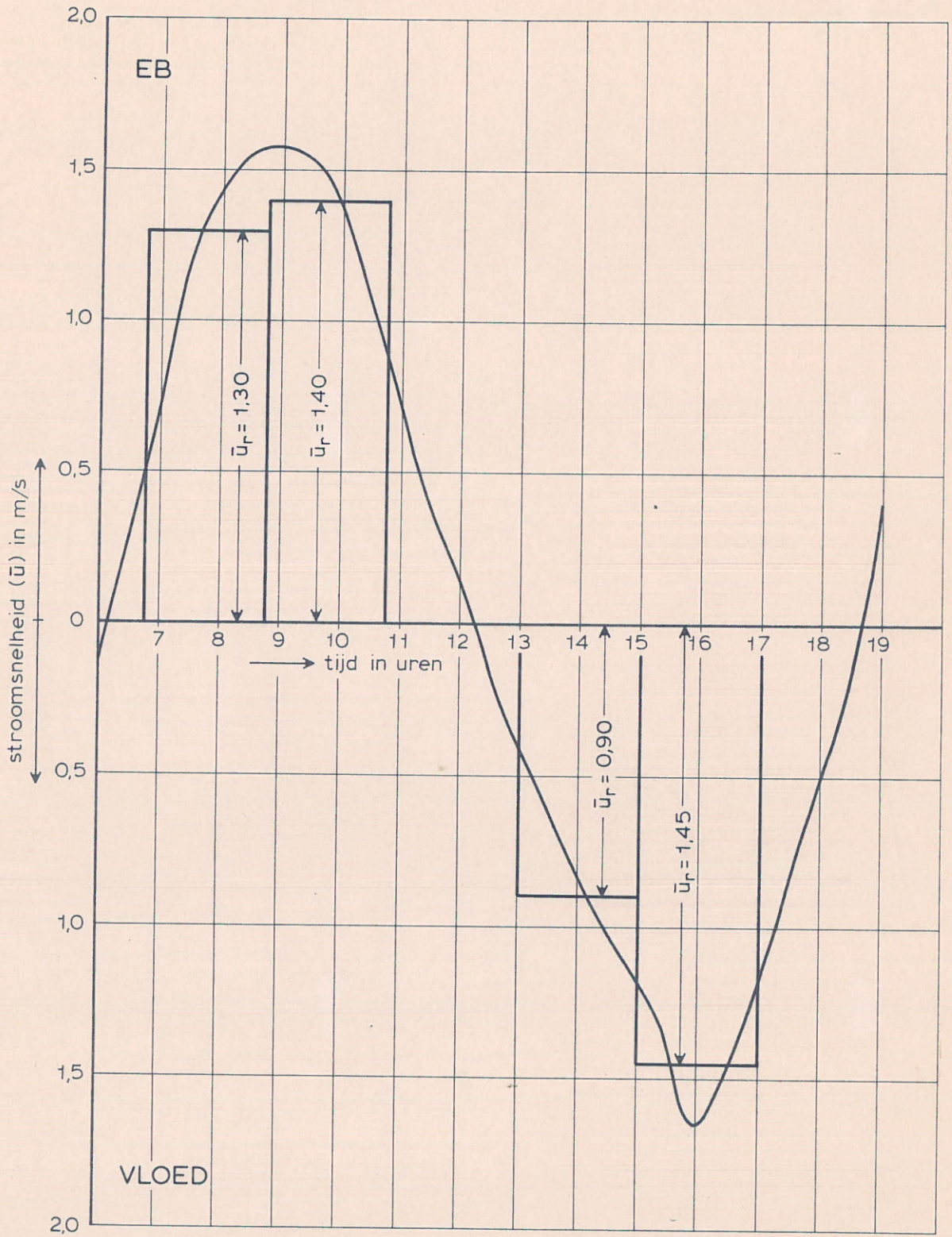


INVLOED PLAATSIING PIJLERS WEERGEDEVEN
DOOR VERMENIGVULDIGINGSFAKTOR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 4



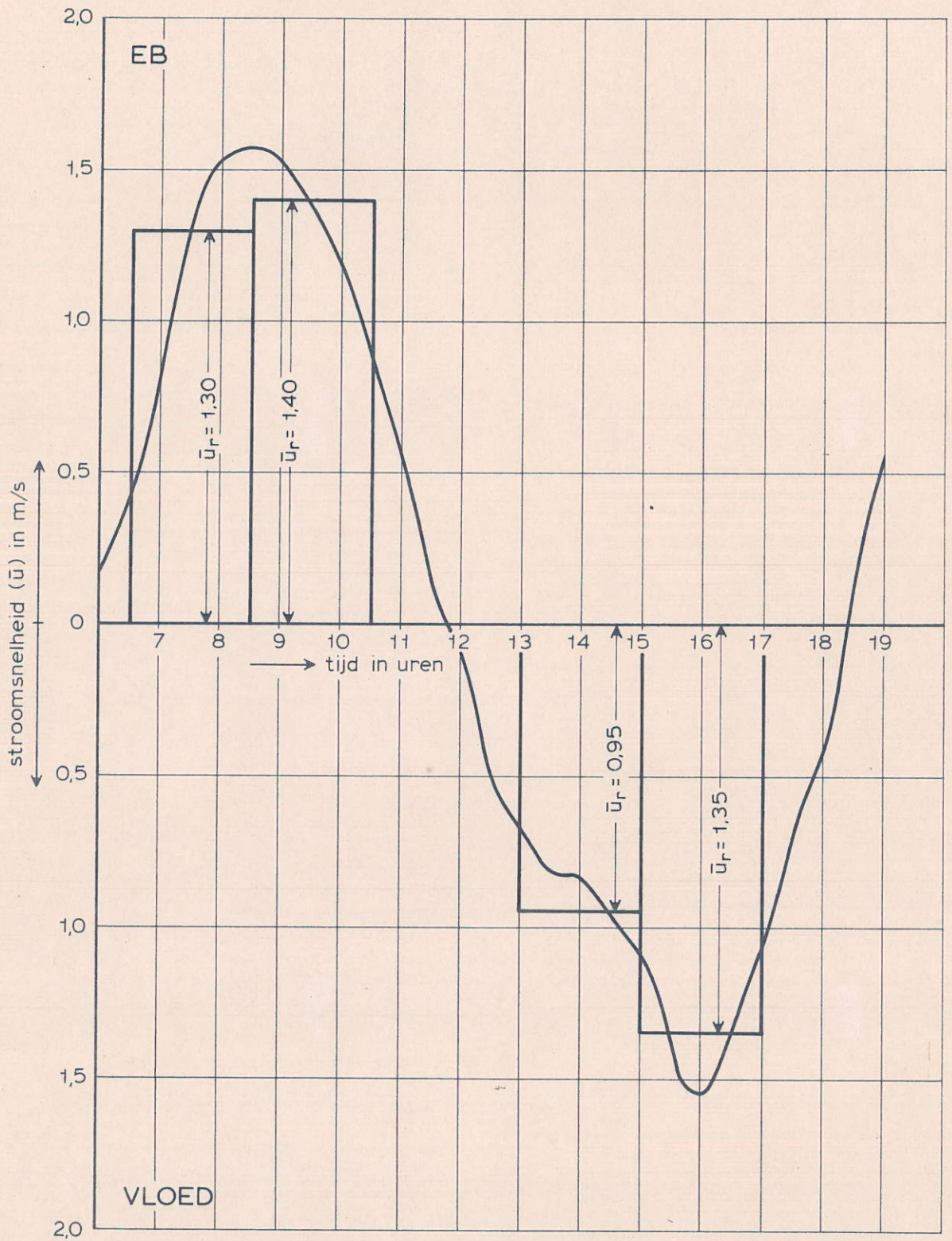
STROOMSNELHEDEN BIJ MAATGEVEND GETIJ IN
NIET VERNAUWDE SITUATIE

dwarsprofiel 3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 5



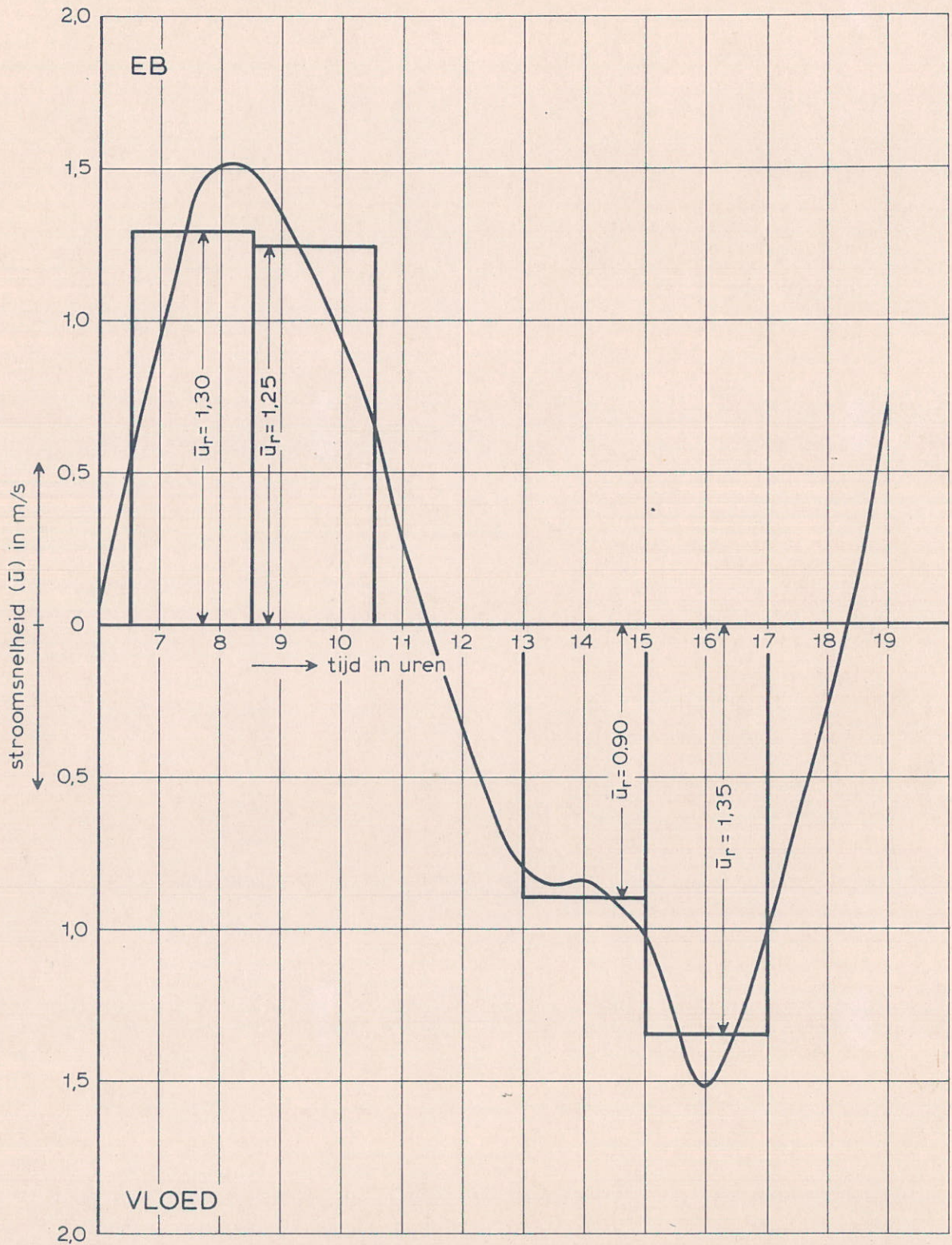
STROOMSNELHEDEN BIJ MAATGEVEND GETIJ IN
NIET VERNAUWDE SITUATIE

dwarsprofiel 5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 6



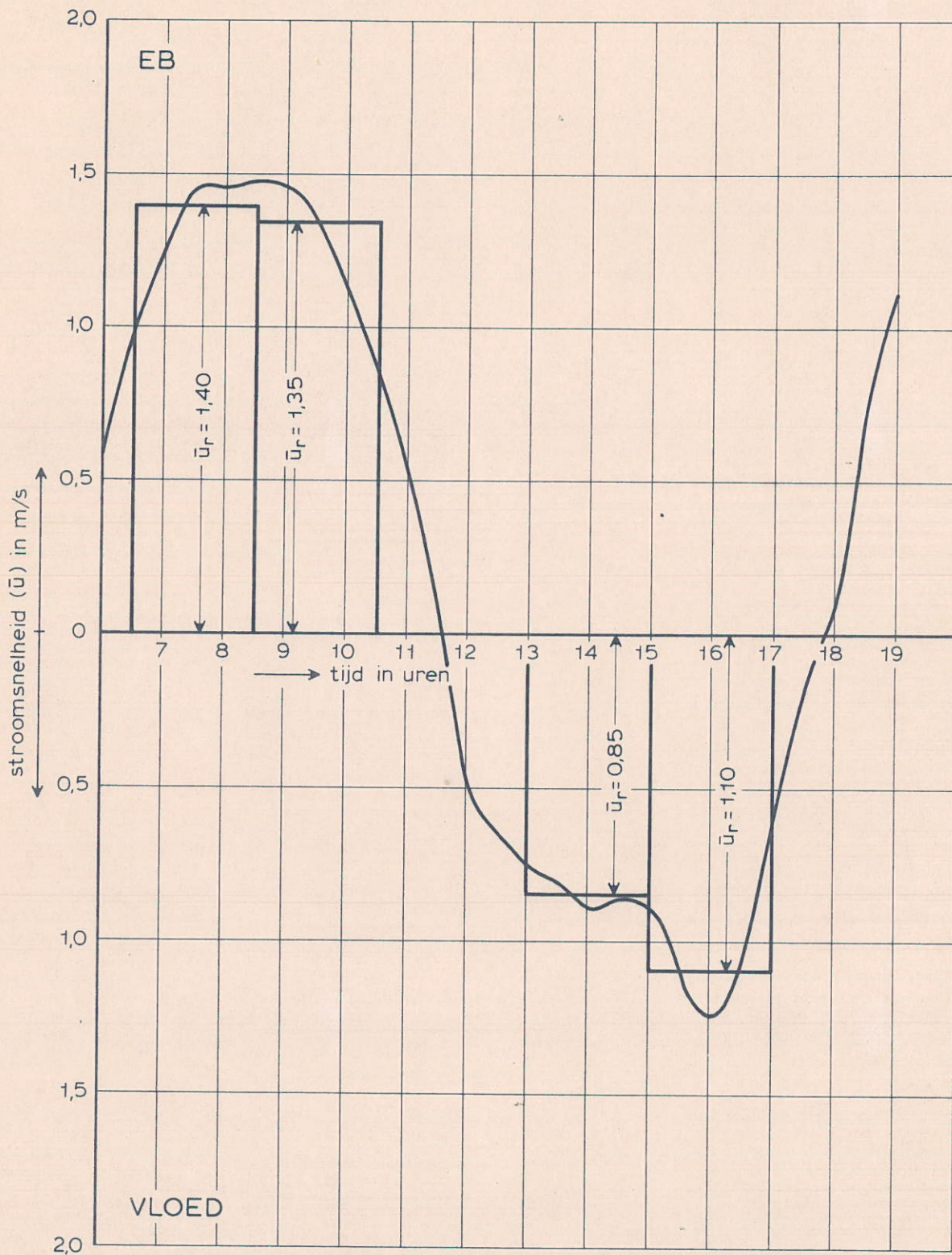
STROOMSNELHEDEN BIJ MAATGEVEND GETIJ IN
NIET VERNAUWDE SITUATIE

dwarsprofiel 6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 7



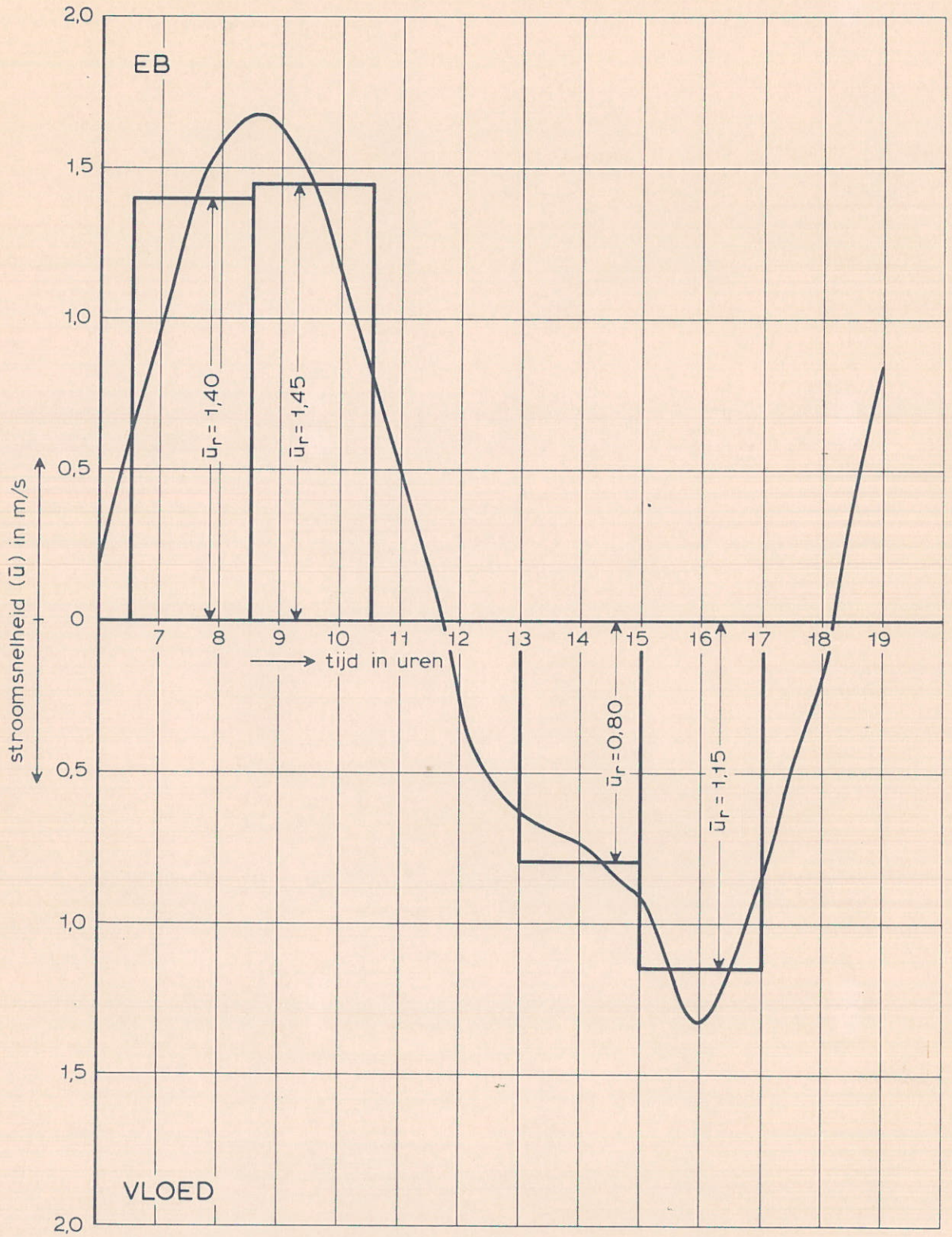
STROOMSNELHEDEN BIJ MAATGEVEND GETIJ IN
NIET VERNAUWDE SITUATIE

dwarsprofiel 8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 8



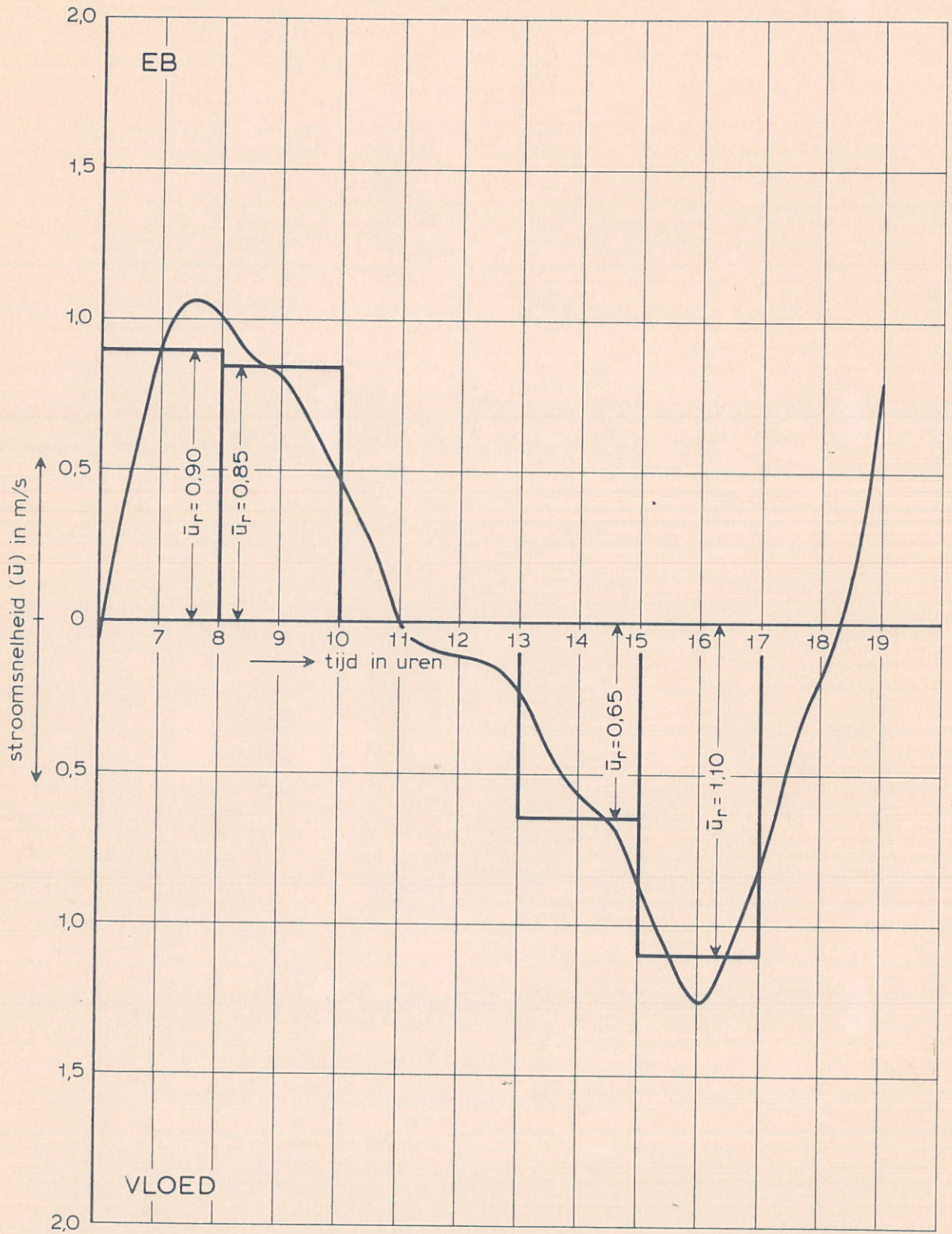
STROOMSNELHEDEN BIJ MAATGEVEND GETIJ IN
NIET VERNAUWDE SITUATIE

dwarsprofiel 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 9



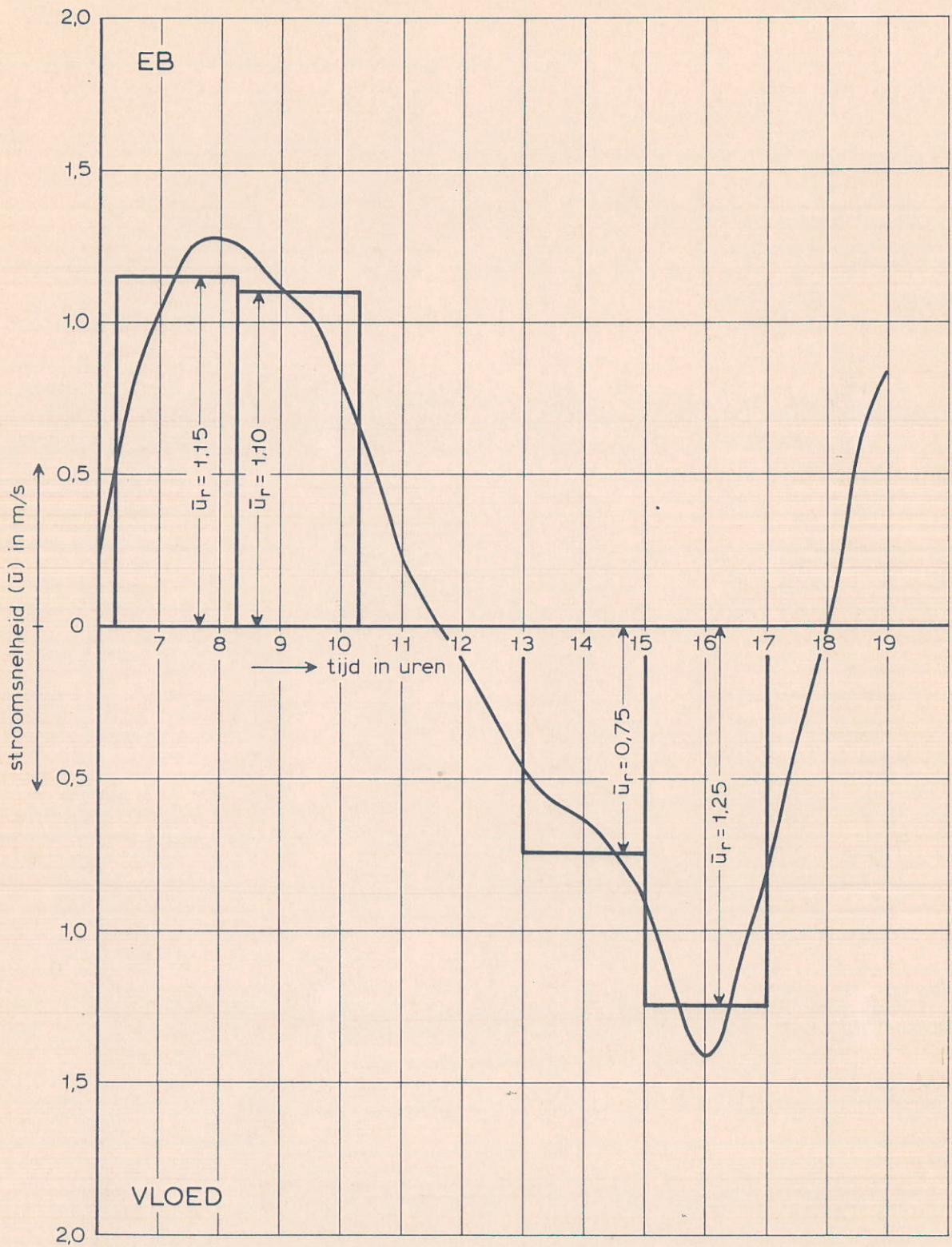
STROOMSNELHEDEN BIJ MAATGEVEND GETIJ IN
NIET VERNAUWDE SITUATIE

dwarsprofiel 11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 10



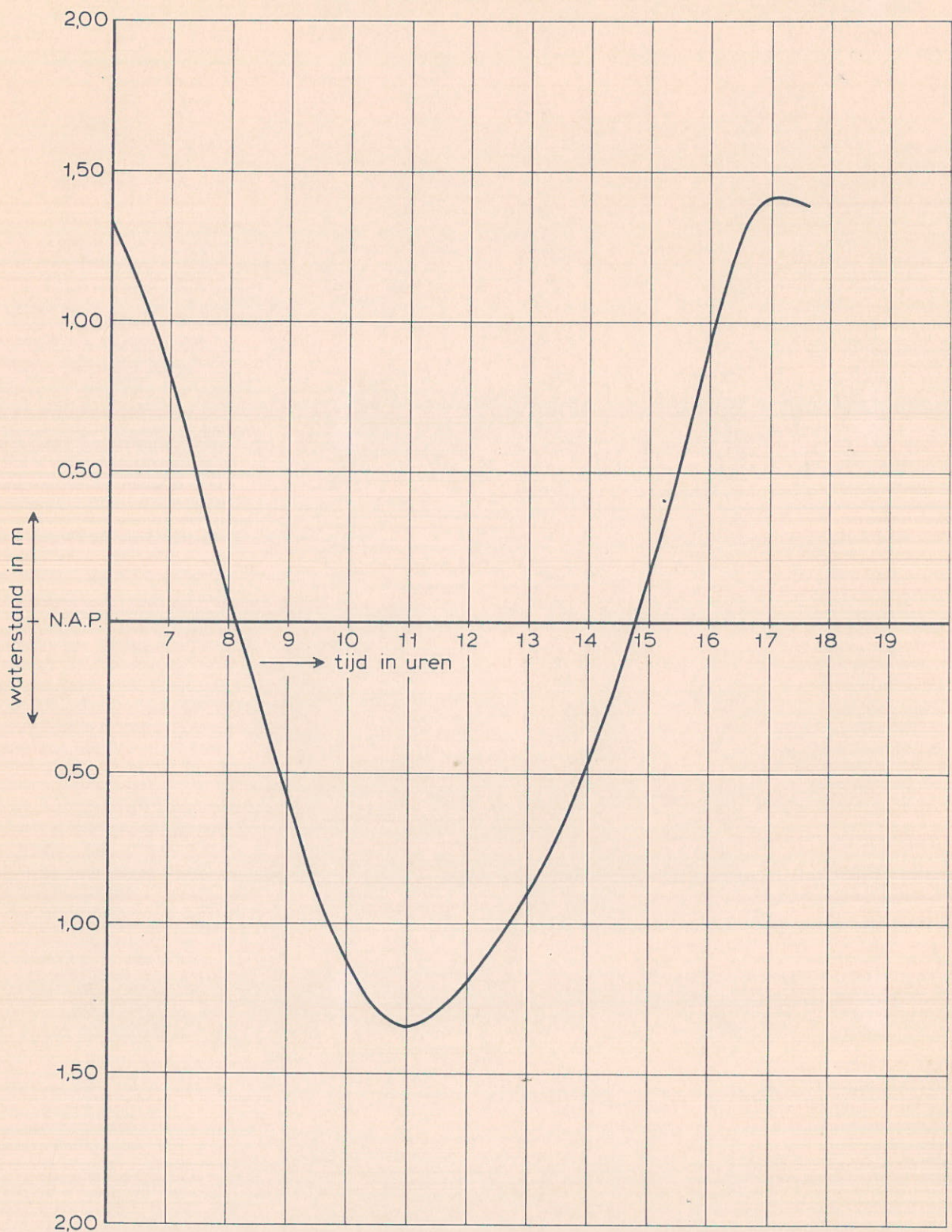
STROOMSNELHEDEN BIJ MAATGEVEND GETIJ IN
NIET VERNAUWDE SITUATIE

dwarsprofiel 14

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 11

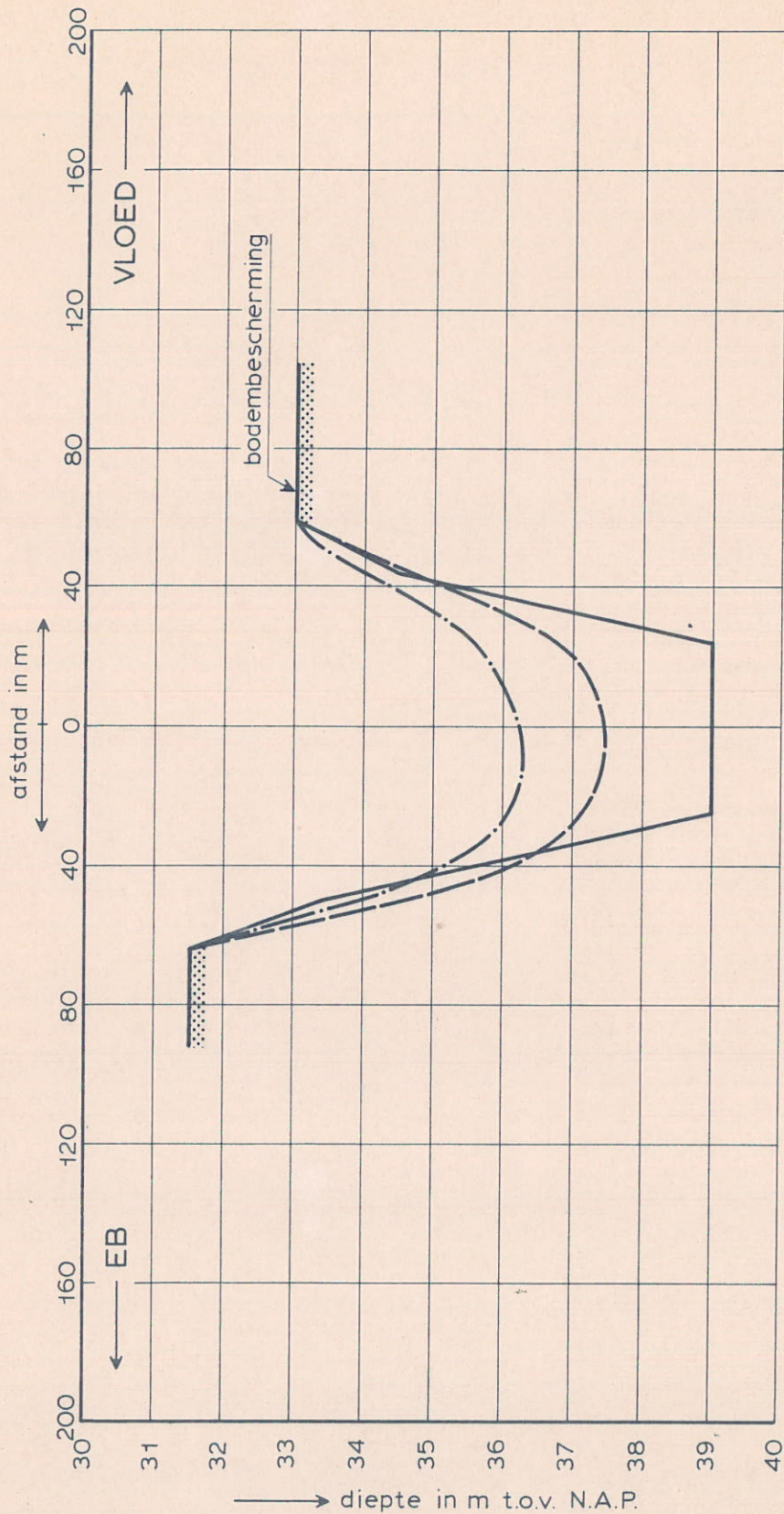


WATERSTANDEN BIJ MAATGEVEND GETIJ

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 12



randvoorwaarden sedimenttransport:

- suspensietransport, versnellende stroom $S_s = 0,11 \bar{u}_{2,6}^4 \text{ kg/ms}$
- suspensietransport, vertragende stroom $S_s = 0,16 \bar{u}_{2,6}^6 \text{ kg/ms}$
- bodemtransport $S_b = 0,06 \bar{u}^3 \text{ kg/ms}$
- bezinksnelheid sediment $W = 0,015 \text{ m/s}$

- bodemligging opt t = 0
- - - bodemligging opt t = 120 dagen
- · - bodemligging opt t = 240 dagen

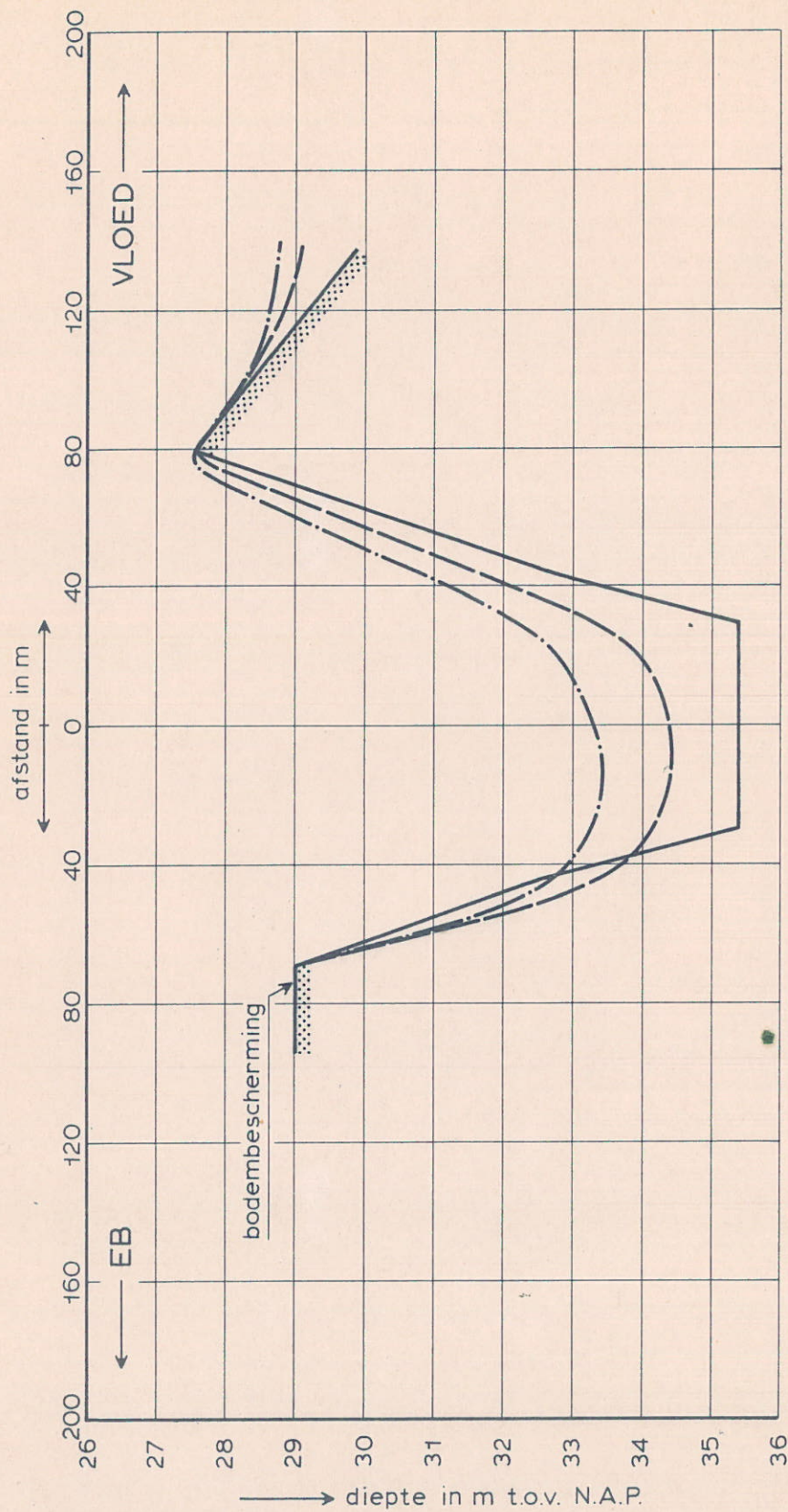
BODEMLIGGING VAN DE VERDICHTINGSSLEUF

dwarsprofiel 3

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 13



randvoorwaarden sedimenttransport:

- suspensietransport, versnellende stroom $S_s = 0,11 \bar{u}^4$ kg/ms
- suspensietransport, vertragende stroom $S_s = 0,16 \bar{u}^{2,6}$ kg/ms
- bodemtransport $S_b = 0,06 \bar{u}^3$ kg/ms
- bezinknelheid sediment $W = 0,015$ m/s

- bodemligging op t = 0
- - - bodemligging op t = 93 dagen
- · - · bodemligging op t = 184 dagen

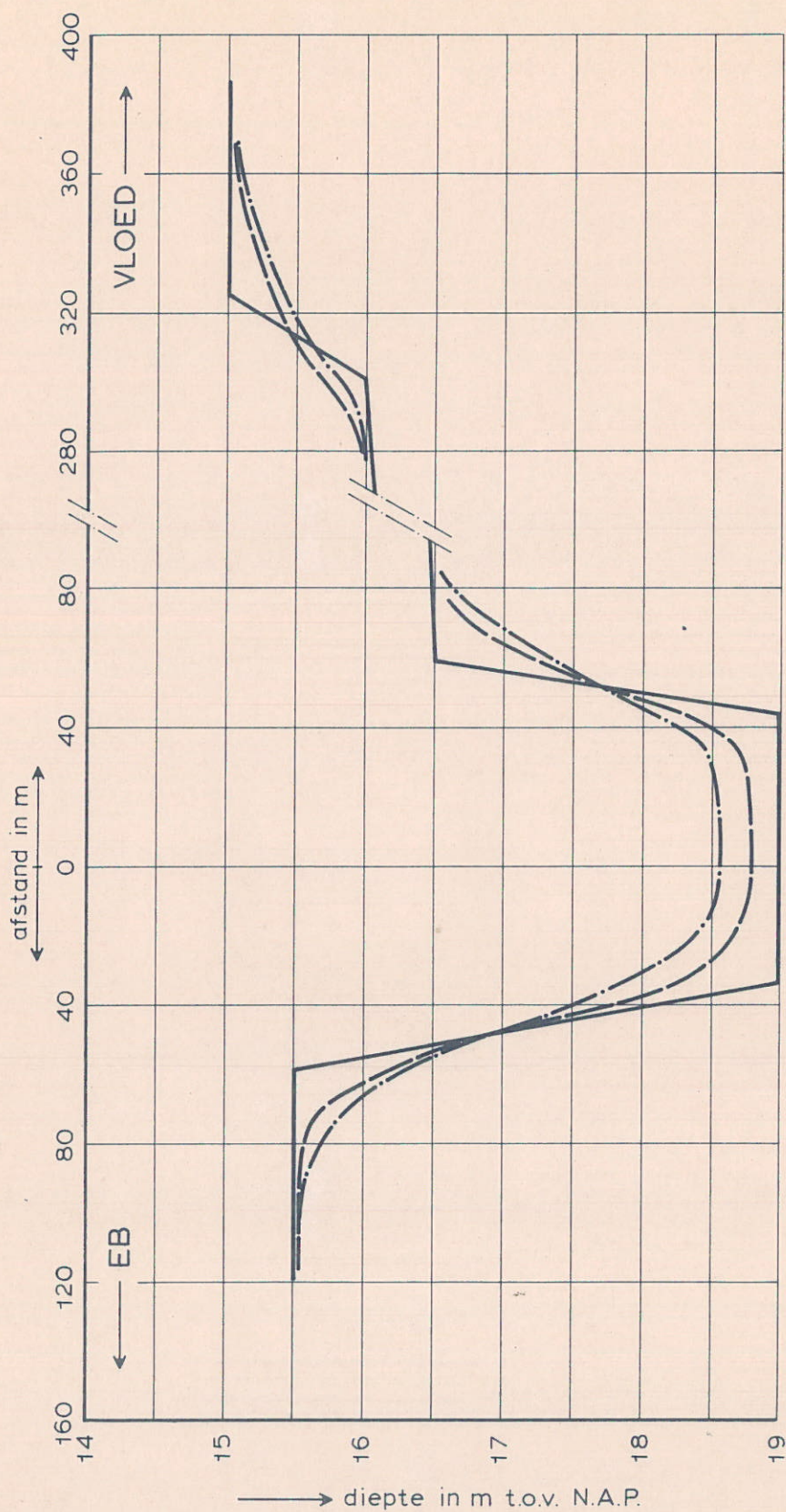
BODEMLIGGING VAN DE VERDICHTINGSSLEUF

dwarsprofiel 5

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 14



randvoorwaarden sedimenttransport:

- suspensietransport, versnellende stroom $S_s = 0,20 \bar{u}^{4,8}$ kg/ms
- suspensietransport, vertragende stroom $S_s = 0,45 \bar{u}^{5,1}$ kg/ms
- bodemtransport $S_b = 0,06 \bar{u}^3$ kg/ms
- bezinksnelheid sediment $W = 0,015$ m/s

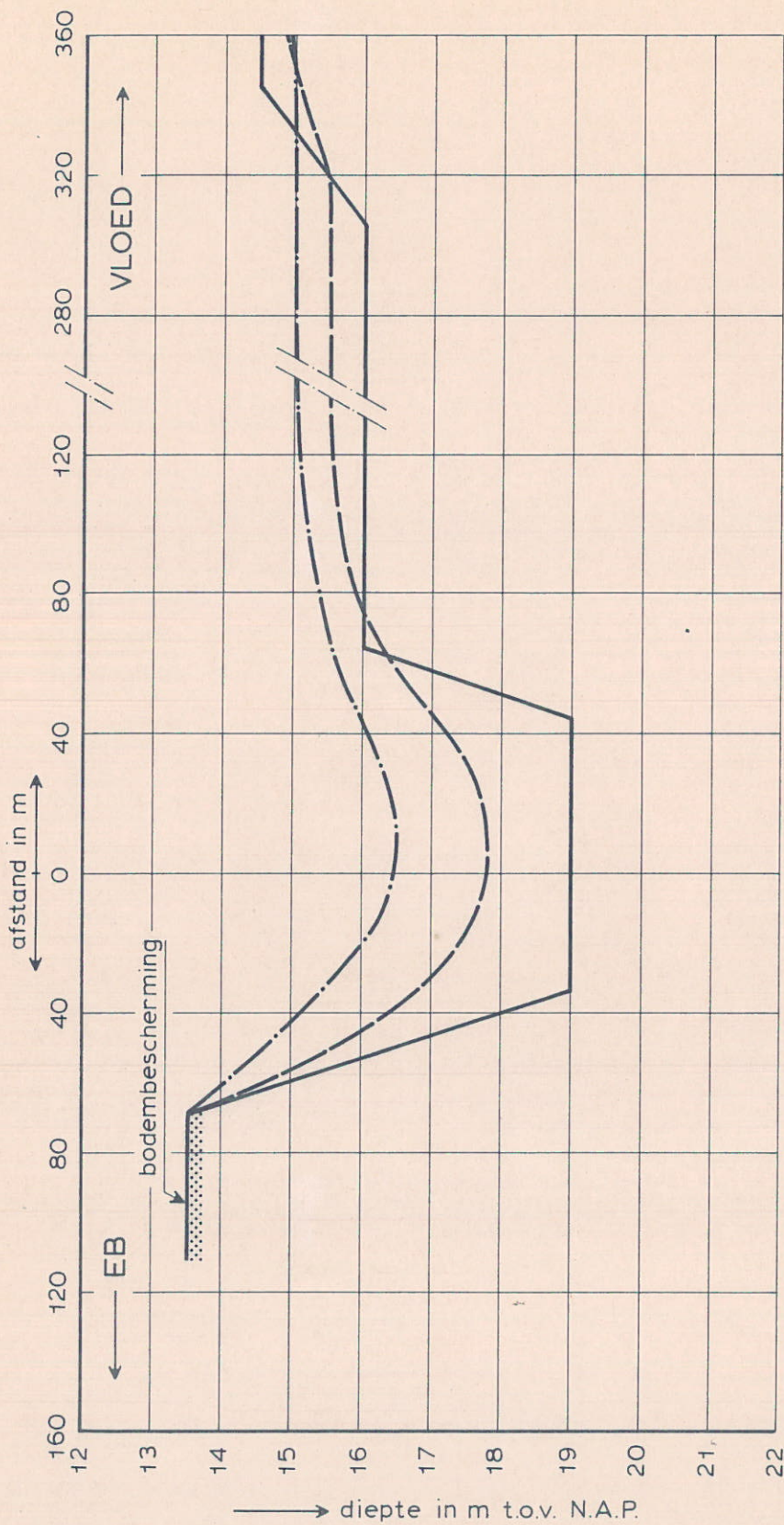
BODEMLIGGING VAN DE VERDICHTINGSSLEUF

dwarsprofiel 11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 15



randvoorwaarden sedimenttransport:

suspensietransport, versnellende stroom $S_s = 0,20 \bar{u}_{51}^{48}$ kg/ms
 suspensietransport, vertragende stroom $S_s = 0,45 \bar{u}_{51}$ kg/ms
 bodemtransport $S_b = 0,06 \bar{u}^3$ kg/ms
 bezinksnelheid sediment $W = 0,015$ m/s

— bodemligging op t = 0
 - - - bodemligging op t = 30 dagen
 - · - bodemligging op t = 60 dagen

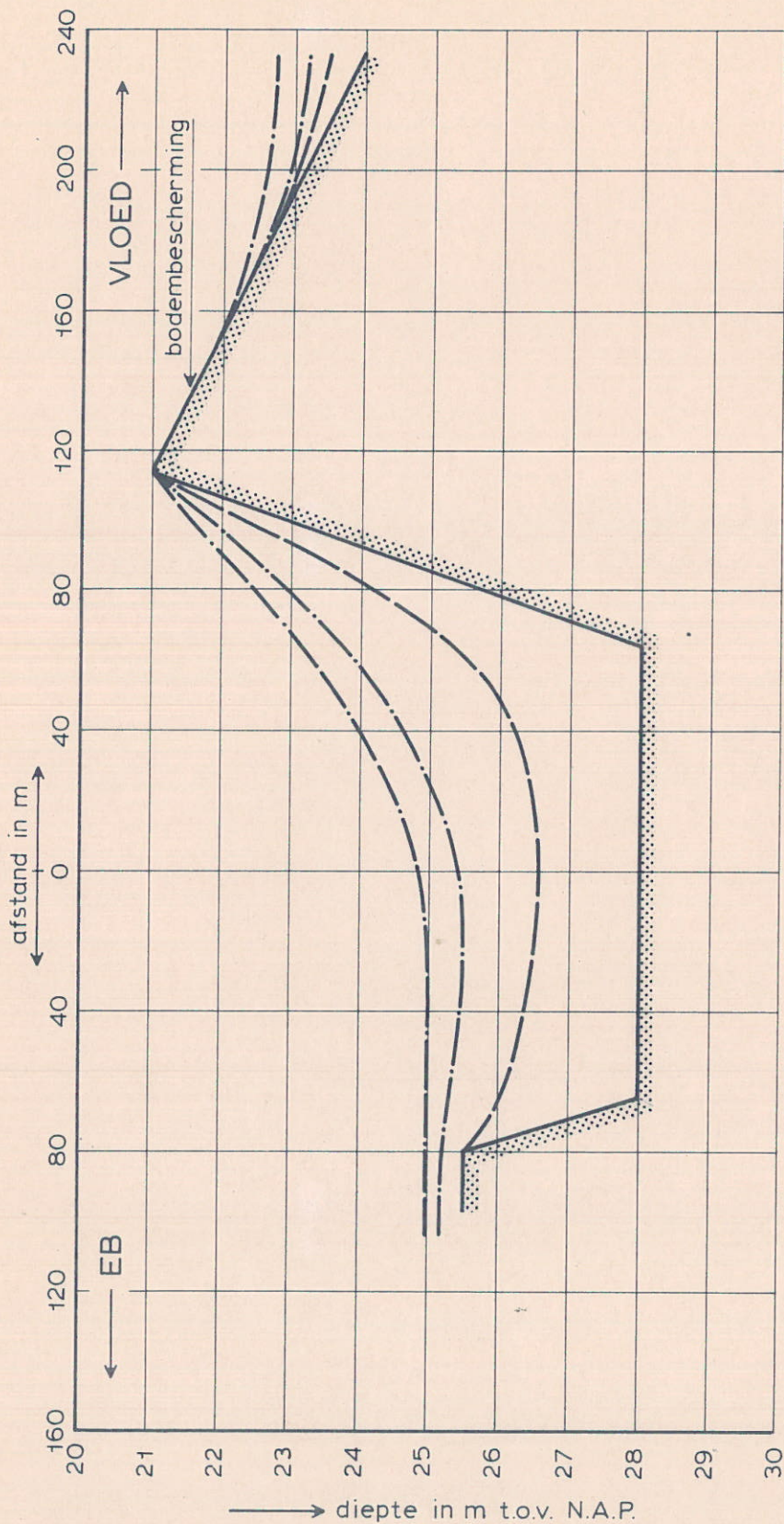
BODEMLIGGING VAN DE VERDICHTINGSLEUF

dwarsprofiel 14

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 16



randvoorwaarden sedimenttransport:

- suspensietransport, versnellende stroom $S_s = 0,11 \bar{u}_{2,6}^4$ kg/ms
- suspensietransport, vertragende stroom $S_s = 0,16 \bar{u}_{2,6}^4$ kg/ms
- bodemtransport $S_b = 0,06 \bar{u}^3$ kg/ms
- bezinknelheid sediment $W = 0,015$ m/s

- bodemligging opt = 0
- - - bodemligging opt = 180 dagen
- · - · bodemligging opt = 360 dagen
- · · · bodemligging opt = 450 dagen

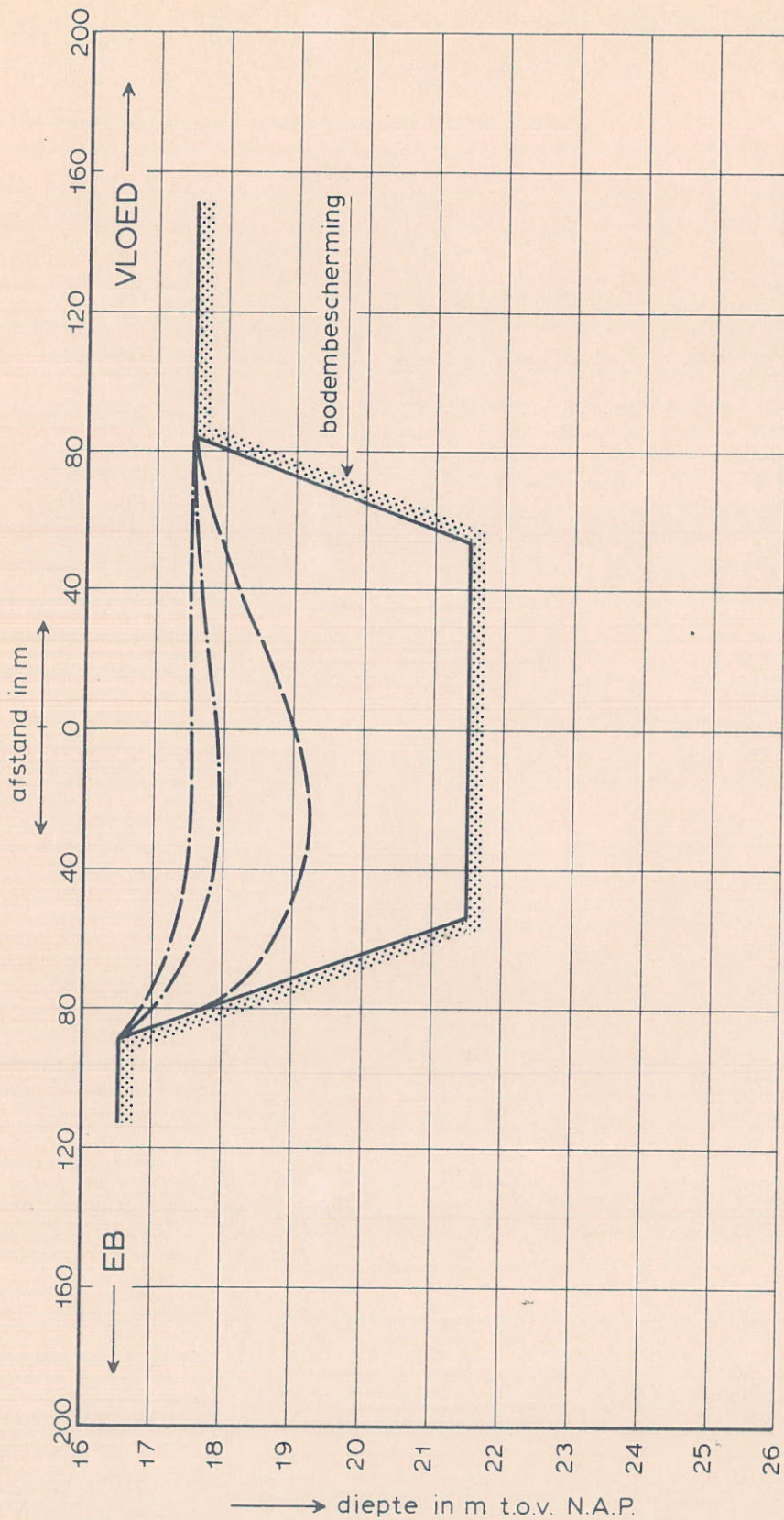
BODEMLIGGING VAN HET CUNET

dwarsprofiel 6

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 17



randvoorwaarden sedimenttransport:

- suspensietransport, versnellende stroom $S_s = 0,11 \bar{u}^{55} \text{ kg/ms}$
- suspensietransport, vertragende stroom $S_s = 0,19 \bar{u}^{29} \text{ kg/ms}$
- bodemtransport $S_b = 0,06 \bar{u}^3 \text{ kg/ms}$
- bezinksnelheid sediment $W = 0,015 \text{ m/s}$

- bodemligging opt = 0
- - - bodemligging opt = 120 dagen
- · - · bodemligging opt = 210 dagen
- · · · bodemligging opt = 270 dagen

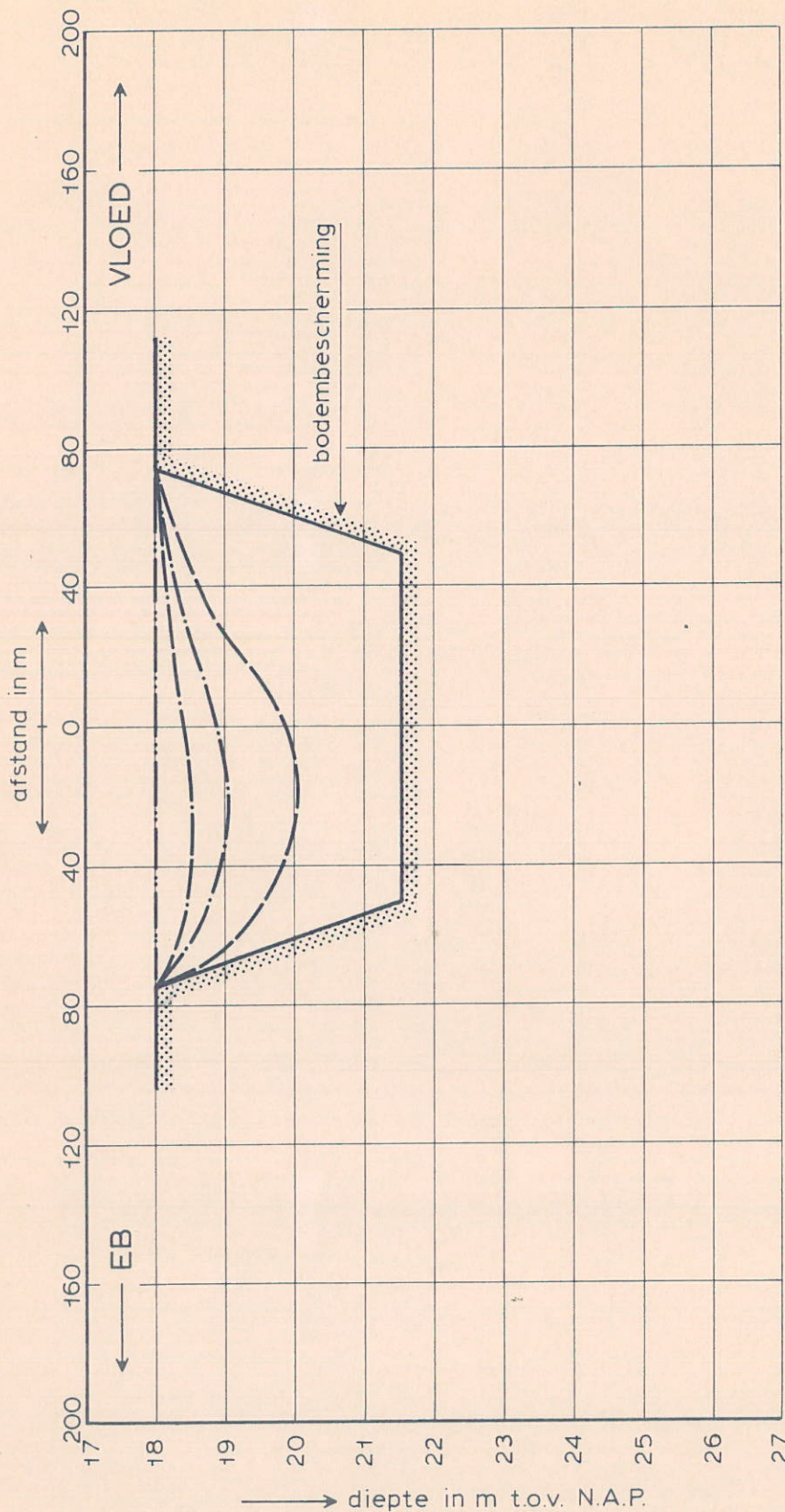
BODEMLIGGING VAN HET CUNET

dwarsprofiel 8

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 18



randvoorwaarden sedimenttransport:

- suspensietransport, versnellende stroom $S_s = 0,11 \bar{u}_{2,9}^{55} \text{ kg/ms}$
- suspensietransport, vertragende stroom $S_s = 0,19 \bar{u}_{2,9}^{29} \text{ kg/ms}$
- bodemtransport $S_b = 0,06 \bar{u}_3 \text{ kg/ms}$
- bezinksnelheid sediment $W = 0,015 \text{ m/s}$

- bodemligging opt = 0
- - - bodemligging opt = 90 dagen
- · - bodemligging opt = 150 dagen
- · · bodemligging opt = 210 dagen
- - - bodemligging opt = 300 dagen

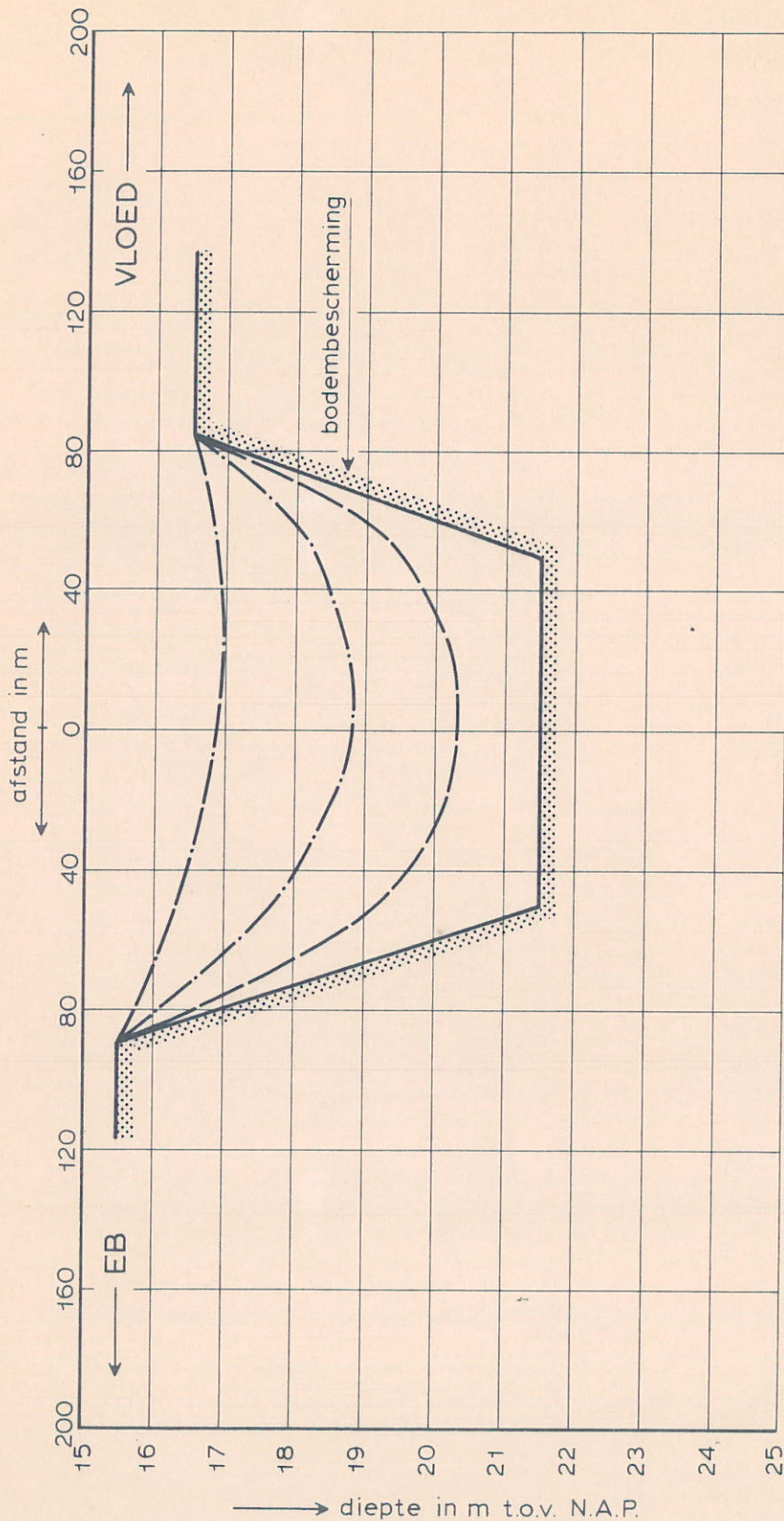
BODEMLIGGING VAN HET CUNET

dwarsprofiel 10

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 19



randvoorwaarden sedimenttransport:

- suspensietransport, versnellende stroom $S_s = 0,20 \bar{u}_{5,1}^{4,8} \text{ kg/ms}$
- suspensietransport, vertragende stroom $S_s = 0,45 \bar{u}_{5,1}^{5,1} \text{ kg/ms}$
- bodemtransport $S_b = 0,06 \bar{u}^3 \text{ kg/ms}$
- bezinksnelheid sediment $W = 0,015 \text{ m/s}$

- bodemligging opt = 0
- - - bodemligging opt = 90 dagen
- · - bodemligging opt = 180 dagen
- · · bodemligging opt = 360 dagen

BODEMLIGGING VAN HET CUNET

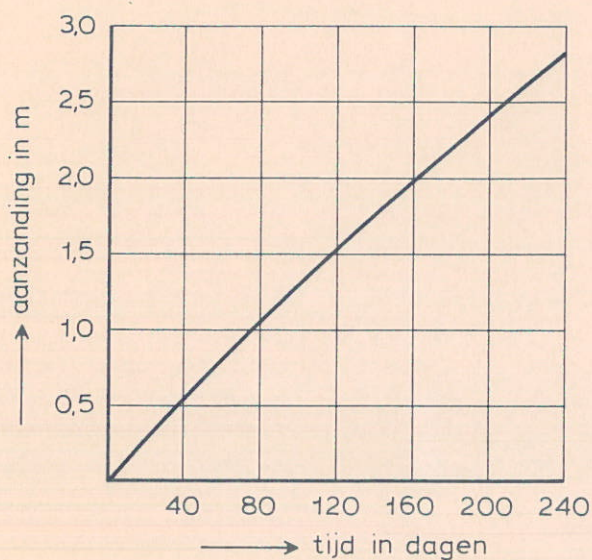
dwarsprofiel 11

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

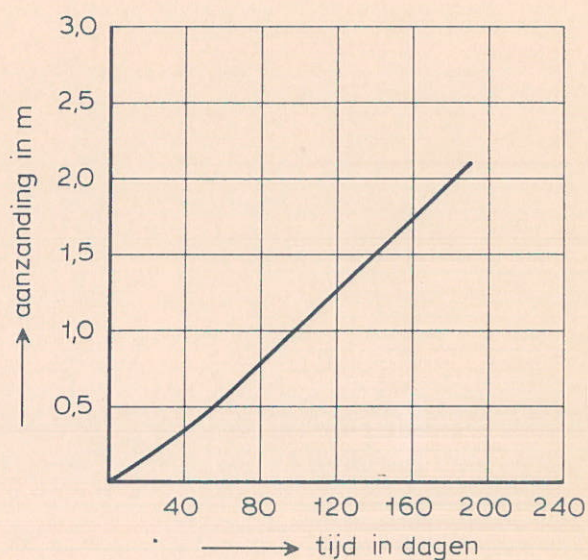
R 1267

FIG. 20

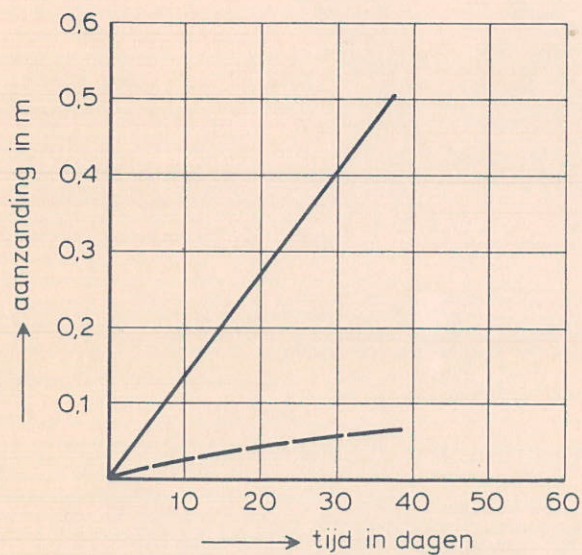
dwarsprofiel 3



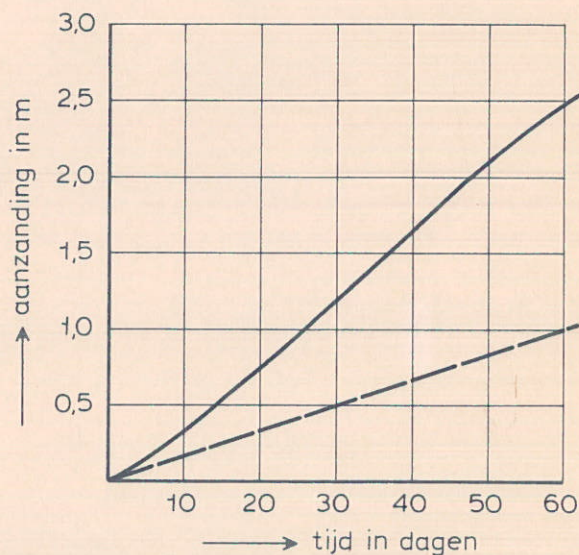
dwarsprofiel 5



dwarsprofiel 11



dwarsprofiel 14



——— aanzanding tracé-as
 - - - - - aanzanding manoeuvreerplateau, 180 m uit de as

AANZANDING IN DE TRACÉ-AS VAN DE VERDICH-
TINGSSLEUF ALS FUNKTIE VAN DE TIJD

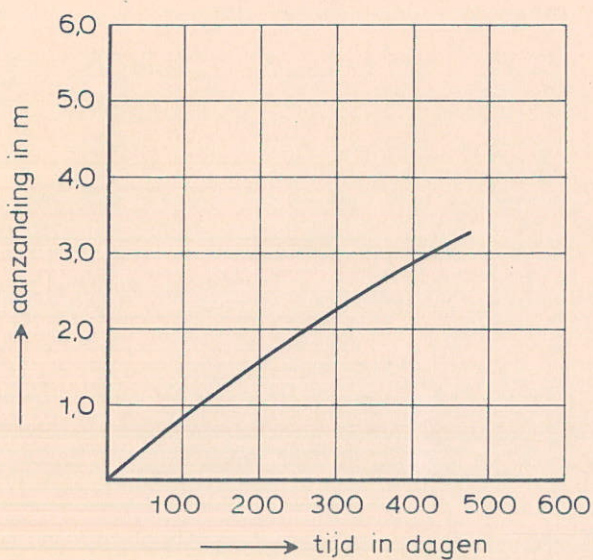
maatgevend getij

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

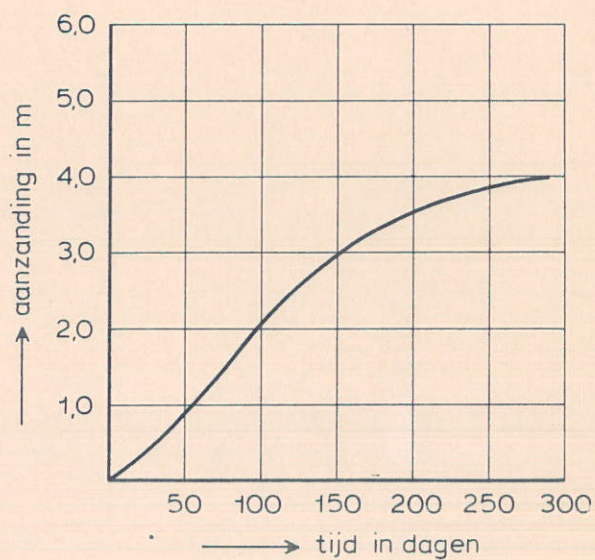
R 1267

FIG. 21

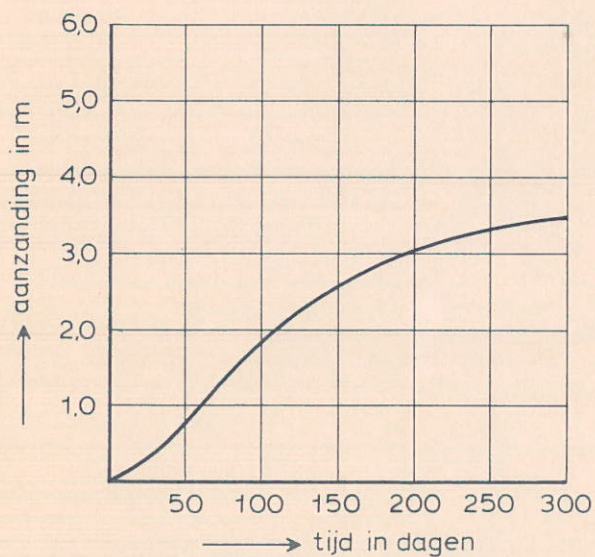
dwarsprofiel 6



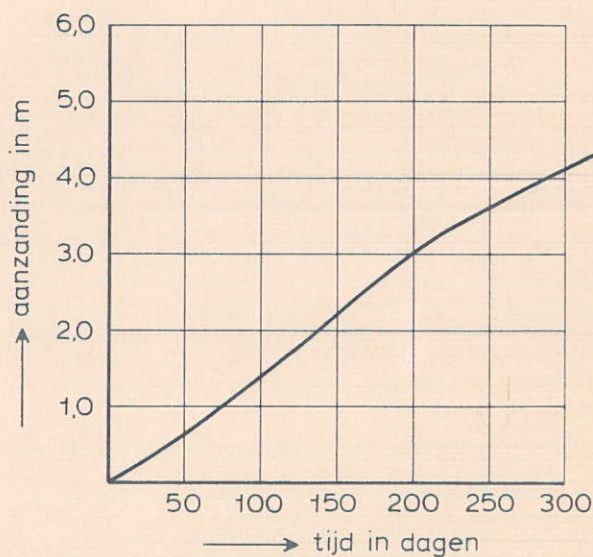
dwarsprofiel 8



dwarsprofiel 10



dwarsprofiel 11



— aanzanding tracé-as

AANZANDING IN DE TRACÉ-AS VAN HET CUNET ALS
FUNKTIE VAN DE TIJD

maatgevend getij

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1267

FIG. 22

p.o. box 177

delft

the netherlands