

waterloopkundig laboratorium

mosselopslag en -verwaterplaats bij de
Oosterscheldedam

onderzoek zoutgehalte ingelaten zeewater

verslag modelonderzoek

M 1234

januari 1975

mosselopslag en -verwaterplaats bij de
Oosterscheldedam

onderzoek zoutgehalte ingelaten zeewater

verslag modelonderzoek

M 1234

januari 1975

Bijvoegsel bij rapport M-1234

Mosselopslag en -verwaterplaats bij de Oosterscheldedam.
Onderzoek zoutgehalte ingelaten zeewater.

Rapport M-1234 beschrijft het modelonderzoek naar de invloed van zoetwaterlozingen uit de (afgesloten) Oosterschelde en het Veerse Meer op het zoutgehalte van het water in een kunstmatige mosselverwaterplaats achter de Oosterscheldedam.

De proeven werden uitgevoerd in het getijmodel M-1000. Dit model werd gebouwd t.b.v. de afsluiting van de Oosterschelde, hetgeen andere eisen aan het model stelt dan het hier beschreven onderzoek. De bezwaren van het gebruik van M-1000 voor dit onderzoek zijn:

- Waterstanden: Door het afsluiten van de Oosterschelde veranderen de waterstanden in het zeegebied enigszins.
T.p.v. de rand van M-1000 zijn deze veranderingen gering; t.p.v. de dam zijn de waterstanden, mede als gevolg van de waterstandsregeling in het model, niet geheel juist (zie bijv. fig. 12 en 13).
- Stromingen: De stroming in het zeegebied van het model is nooit geijkt. De rand wordt zo ingesteld dat de stroming t.p.v. het damtracé en in het bekken goed is. Bovendien is de invloed van de afsluiting op de stroming onbekend.
- Getijduur: In het model wordt een getijperiode van ca 25 uur (1 meetgetij en 1 tussengetij) opgelegd, die steeds herhaald wordt. Reststromen worden dan niet gereproduceerd. De invloed hiervan is niet bekend.
- Wind: In het model kan de windinvloed niet gereproduceerd worden. Deze is rekenkundig gesuperponeerd op de meetresultaten. (hfdst. 4)
- Lozingen vooraf: Zoetwaterlozingen elders (Haringvliet, Nieuwe Waterweg, Westerschelde) kunnen niet in het model gereproduceerd worden. In nota W-73.185 van de Waterloopkundige Afdeling wordt deze invloed behandeld.

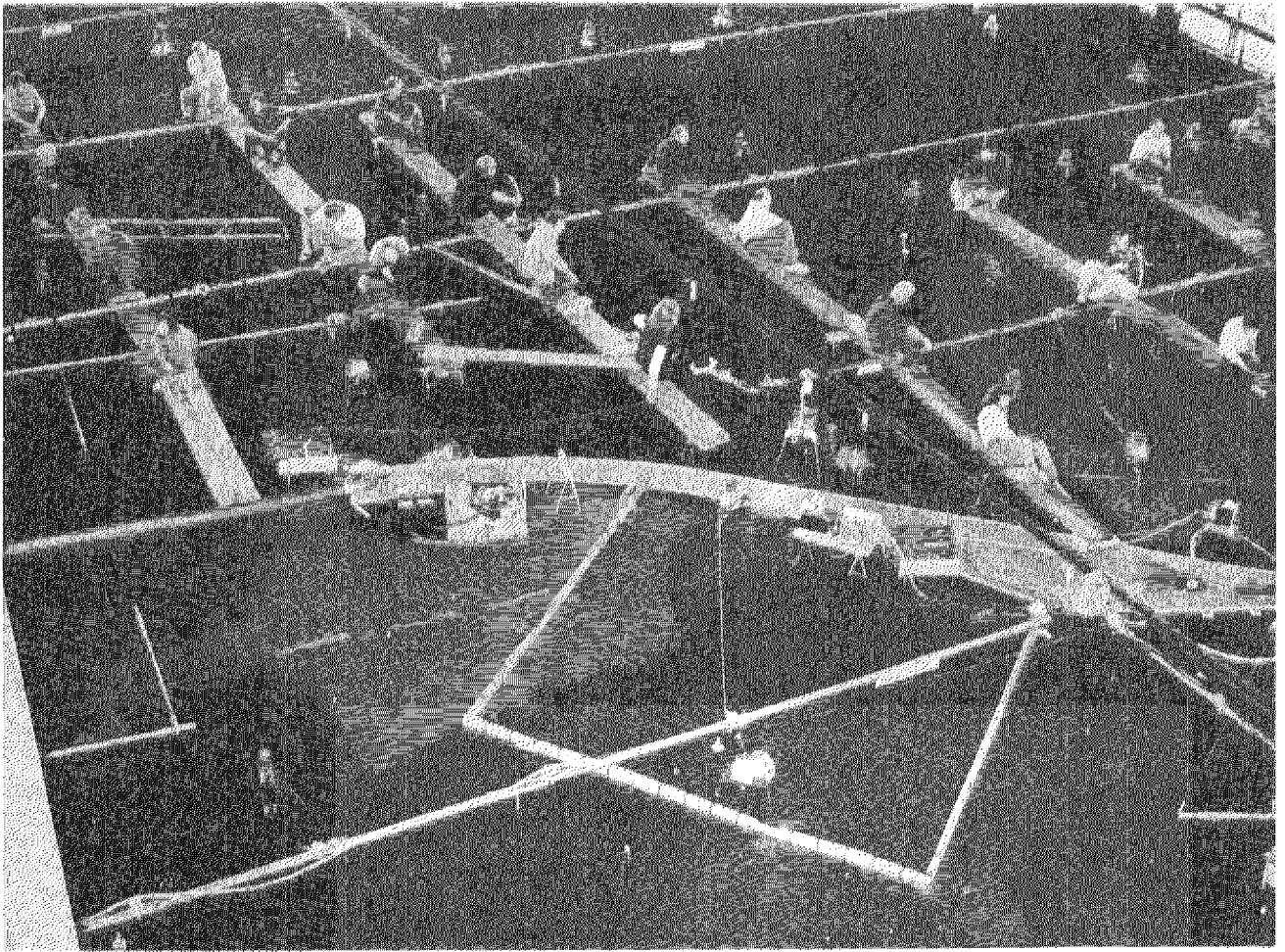
De konklusies op blz. 2 moeten dan ook tegen de achtergrond van bovengenoemde beperkingen gezien worden.

Wanneer de plannen voor een kunstmatige mosselverwaterplaats in een afgesloten zoete Oosterschelde in de toekomst vastere vormen aannemen, verdient het aanbeveling:

- Na te gaan of onderzoek, als hier beschreven, uitgevoerd kan worden in een 3-dimensionaal mathematisch model, waarin dichtheidsstromen en wind gereproduceerd kunnen worden.
- Indien dit niet mogelijk is; het onderzoek te herhalen in M-1000 en daarbij het stroombeeld in het zeegebied in te regelen op basis van gedetailleerde 2-dimensionale getijberekeningen.
- Het onderzoek te verrichten voor getijperioden van meer dan 25 uur.
- Nota W-73.185 uit te breiden met recentere gegevens.

Den Haag 24 mei 1975,

(ir G.J.Schiereck)



Overzicht van het model tijdens monsternamen aan het wateroppervlak in het zeegebied. De monsters werden gelijktijdig met de hand genomen in een 32-tal punten, zodat weer het ouderwetse beeld ontstond van de mens als opnemer op het model. Op de voorgrond de geschematiseerde op de Middelploot geplande mosselopslag en -verwaterplaats

INHOUD

	blz.
<u>1 Inleiding</u>	1
1.1 Opdracht.....	1
1.2 Conclusies.....	2
<u>2 Onderzoek in getijmodel</u>	3
2.1 Opzet en uitvoering modelonderzoek.....	3
2.2 Hulpmiddelen.....	5
2.3 Resultaten.....	6
2.4 Interpretatie resultaten.....	9
<u>3 Invloed diepteligging van het inlaatwerk op de concentratie van het ingelaten water</u>	11
3.1 Beschouwingen op grond van eerder uitgevoerd onderzoek.....	11
3.2 Onderzoek in getijmodel van de Oosterschelde.....	12
<u>4 Invloed van wind op de resultaten</u>	13
4.1 Algemeen.....	13
4.2 Windinvloed op een gelaagd systeem.....	13
4.3 Uitgangspunten voor de berekening.....	15
4.4 Berekening.....	17
4.5 Interpretatie uitkomsten berekening.....	19

Literatuur

TABELLEN

- 1 Overzicht van de uitgevoerde proeven
- 2 Dikte bovenlaag h_1 bij inlaatwerk Roggenplaat voor windsnelheid $v = 10 \text{ m/s}$
- 3 Kwaliteit ingelaten water $C_{in,max}$ bij inlaatwerk Roggenplaat voor windsnelheid $v = 10 \text{ m/s}$
- 4 Opladingstijd nodig om tot evenwichtssituatie met $C_{in,max}$ te kunnen komen (getij van 07.10.71, geforceerd spuien)
- 5 Invloed wind op kwaliteit ingelaten water bij inlaatwerk Roggenplaat als gevolg van lozingen dichtbij ($C_2 = 5 \text{ ‰}$)
- 6 Invloed wind op kwaliteit ingelaten water bij inlaatwerk Roggenplaat als gevolg van lozingen dichtbij ($C_2 = 10 \text{ ‰}$)

FIGUREN

1	Overzicht probleemgebied
2	Overzicht meetpunten
3	Dwarsdoorsneden inlaatwerken
4	Outillage lozing alcohol-watermengsel
5	Relatie saliniteit - dichtheid als functie van temperatuur
6	Relatie dichtheid - concentratie zoet water voor verschillende temperatuur
7,8	Debieten spuisluizen
9 ... 11	Debieten inlaatwerk
12 ... 14	Waterstanden
15 ... 19	Concentratie zoet water op het bekken nabij het inlaatwerk
20	T2, zoet-waterdebieten inlaatwerk
21 ... 27	T2, concentratieverdelingen aan weerszijden van het inlaatwerk
28 ... 34	T2, lijnen van gelijke concentraties zoet-water nabij het wateroppervalk
35	Invloed diepteligging inlaatwerk op concentratie ingelaten water; beschouwde gevallen
36 ... 38	Percentage ingelaten water afkomstig uit bovenlaag als functie van dikte bovenlaag en intern Froudegetal
39	Percentage ingelaten water afkomstig uit bovenlaag als functie van intern Froudegetal; $h_1 = 1,5$ m
40	Invloed van inlaatsnelheid en situatie inlaatwerk op percentage ingelaten water uit verzoete bovenlaag; $\Delta\rho = 4 \text{ kg/m}^3$
41	Definities windinvloed
42	Invloed menglaag op dikte bovenlaag
43 ... 51	Invloed van wind, menging en menglaag op kwaliteit ingelaten water bij diep gelegen inlaatwerk Roggenplaat

SYMBOLLEN

		dimensie
A	"diepte" van de zoetwatervang	m
B	afstand waarover opwaaiing plaats heeft	m
$C_{in,max}$	maximum zoetwater-concentratie ingelaten water	‰
C_o	achtergrondsverhoging van het zoetwatergehalte	‰
C_1	zoetwater-concentratie in bovenlaag	‰
C_2	zoetwater-concentratie in menglaag	‰
D	hoogte inlaatwerk (inwendig)	m
F_i	intern Froudegetal	-
μF	netto doorstroomopening	m ²
I_g	grensvlakverhang	-
I_w	waterspiegelverhang	-
K_i	verhangkracht op watermassa per eenheid van breedte	N/m
K_w	wrijvingskracht op waterspiegel per eenheid van breedte	N/m
Q	debiet	m ³ /s
$\bar{Q}_{spui}$	gemiddeld spuidebiet	m ³ /uur
S	mengfaktor, saliniteit	-
V	inhoud zoetwatervang	m ³
g	versnelling van de zwaartekracht	m/s ²
h	waterdiepte	m
h_g	afstand grensvlak tot onderzijde inlaatwerk	m
$h_o + s'$	gemiddelde waterdiepte ter plaatse van inlaatwerk	m
h_1	dikte bovenlaag	m
h_2	dikte menglaag	m
k_s	wrijvingscoëfficiënt lucht - water	-
s	verval waterspiegel van $x = B$ tot x ($x \leq B$)	m
t	tijd, opladingstijd	uur
u	stroomsnelheid	m/s
v	windsnelheid	m/s
x	afstand	m
z	afstand onderzijde inlaatwerk tot bodem	m
ρ	dichtheid	kg/m ³
ρ_a	dichtheid lucht	kg/m ³
$\Delta \rho$	dichtheidsverschil	kg/m ³
$\Delta \rho_o$	dichtheidsverschil zoetwater - zeewater	kg/m ³
$\Delta \rho_1$	dichtheidsverschil bovenlaag - onderlaag	kg/m ³
$\Delta \rho_2$	dichtheidsverschil menglaag - onderlaag	kg/m ³

MOSSLOPSLAG EN -VERWATERPLAATS BIJ DE OOSTERSCHELDEDAM

ONDERZOEK ZOUTGEHALTE INGELATEN ZEEWATER

1 Inleiding

1.1 Opdracht

In opdracht van B en W van de gemeente Reimerswaal heeft de Grontmij N.V. een onderzoek verricht naar de mogelijkheden van een mosselopslag en -verwaterplaats in Zeeland aan de binnenzijde van een volledig gesloten Oosterschelddedam. De resultaten van dit onderzoek zijn neergelegd in een rapport, dat in april 1973 is verschenen [1]. Uit het rapport bleek, dat de mogelijkheid tot het maken van bedoelde mosselopslag en -verwaterplaats in voldoende mate aanwezig is om een nader onderzoek te rechtvaardigen. De Deltadienst van de Rijkswaterstaat heeft de Grontmij N.V. opdracht gegeven tot een nader onderzoek, dat is uitgevoerd in samenwerking met de Deltadienst van de Rijkswaterstaat, het Rijksinstituut voor Visserij-onderzoek (RIVO) en het Waterloopkundig Laboratorium. Het onderzoek is gestart in juni 1973 en werd in december van hetzelfde jaar met een rapport van de Grontmij afgesloten [2].

De mogelijkheid van een mosselopslag en -verwaterplaats aan de binnenzijde van de Oosterschelddedam is ondermeer afhankelijk van het zoutgehalte van het ingelaten water. Door lozingen van zoet of brak water veraf (Haringvliet, spuisluis Brouwersdam en Westerschelde) en met name door lozingen dichtbij (spuisluis Veerse Gatdam en spuisluis Noordland) zou de kans bestaan, dat het in de mosselverwaterplaats ingelaten water te zoet is.

De invloed van de lozingen dichtbij is door het Waterloopkundig Laboratorium onderzocht en wordt in dit verslag gerapporteerd.

Naast het hier gerapporteerde onderzoek heeft het Waterloopkundig Laboratorium bovendien bijgedragen in het onderzoek met betrekking tot de inrichting van de mosselopslag en -verwaterplaats wat betreft de waterverversing (aanvoer van zuurstof) en de afmetingen van het bezinkbassin.

Het in dit verslag vermelde onderzoek bestaat uit twee delen, te weten: een onderzoek in het getijmodel van de Oosterschelde voor omstandigheden zonder wind en een beschouwing over de invloed van wind op de resultaten van het modelonderzoek.

Het modelonderzoek is uitgevoerd door ing. G. Hartsuiker en ir. N.J. van Wijngaarden. De beschouwing van de windinvloed is van de hand van ir. W.D. Eysink. Het verslag is samengesteld door ir. N.J. van Wijngaarden.

1.2 Conclusies

Uit het modelonderzoek blijkt, dat, gelet op de lozingen van zoet water door de spuisluis Veerse Gatdam en door de spuisluis Noordland op het zeegebied voor de mond van de Oosterschelde, bij windstil weer een lokatie van een mosselopslag en -verwaterplaats op de Middelpaat juist niet voldoet en op de Roggenplaat ruimschoots (zie de figuren 15 tot en met 19).

Een en ander is mede afhankelijk van de vorm en de afmetingen van het inlaatwerk van de mosselverwaterplaats, omdat de totale hoeveelheid ingelaten zoet water afneemt, wanneer (zie figuur 40):

- de maximum inlaatsnelheid wordt gereduceerd
- de bodem voor het inlaatwerk wordt verdiept
- de inlaatopening dieper wordt gelegd.

Berekeningen hebben aangetoond, dat bij aanwezigheid van wind en bij de gedane veronderstellingen ook bij de lokatie Roggenplaat ontoelaatbare concentraties zoet water kunnen optreden. Deze concentraties kunnen pas na lange tijd met ongunstige weersomstandigheden optreden en zullen van korte duur zijn. De situatie wordt gunstiger als in plaats van geforceerd, normaal wordt gespuid (tabel 5 en 6).

De invloed van de lozingen veraf (Haringvliet, spuisluis Brouwersdam en Westerschelde) kan voor zover aanwezig bij de beschouwde windrichting in rekening worden gebracht door de achtergrondverhoging van het zoetwatergehalte (C_o) bij de in de tabellen 5 en 6 gegeven waarden voor $C_{in, \max}$ op te tellen.

2 Onderzoek in getijmodel

2.1 Opzet en uitvoering modelonderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd in het getijmodel van de Oosterschelde. Dit model is gebouwd ten behoeven van het onderzoek naar de afsluiting van de Oosterschelde. Een beschrijving van het model wordt gegeven in het WL-verslag:

M1000, M1001 - Deel I [3] .

De zeerand van het model (figuur 1) is zodanig gekozen, dat deze gunstig is gesitueerd ten opzichte van het stroombeeld, zoals dat optreedt bij een open of gedeeltelijk gesloten Oosterschelde. Voor een geheel gesloten Oosterschelde, waarvan in het onderhavige onderzoek sprake is, verandert het stroombeeld ingrijpend. Voor dit geval is de zeerand niet ideaal gesitueerd, maar acceptabel. De afstand van de zeerand tot de Oosterscheldedam is groot genoeg om ook bij ver gevorderde afsluiting van de Oosterschelde de randvoorwaarden te kunnen gebruiken, die gelden voor geheel open Oosterschelde (het model wordt op waterstanden geregeld). Een twee-dimensionale getijberekening uitgevoerd door Rijkswaterstaat (Rand-Deltamodel) en een twee-dimensionale getijberekening uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium voor respectievelijk een doodtij en een springtij geven vertrouwen in de veronderstelling, dat ook voor een geheel gesloten Oosterschelde de instelgetijden voor een open Oosterschelde kunnen worden gebruikt.

Het getijmodel heeft een vaste bodem, die is gebaseerd op de peilingen van 1967. Aangenomen werd, dat na de afsluiting van de Oosterschelde in 1978 de bodemveranderingen in het zeegebied als gevolg van het veranderde stroombeeld langzaam verlopen. Deze aanname wordt gesteund door de ervaringen met de tot op heden uitgevoerde afsluitingen in het Deltagebied. Voor het onderzoek is derhalve de bodemligging van 1967 aangehouden.

Het getijmodel van de Oosterschelde heeft samengetrokken schalen (horizontale schaal 1:400, verticale schaal 1:100). Hierdoor wordt de uitstroming door de spuisluizen niet geheel juist weergegeven; er treedt initieel een iets te snelle verspreiding van het zoete water op. De invloed van deze afwijking in het model op de resultaten is naar verwachting gering, omdat de resultaten voornamelijk worden bepaald door

de accumulatie van zoet water (in de vorm van brak water) in het zeegebied voor de Oosterscheldedam. Een belangrijke voorwaarde waaraan in het model moet worden voldaan is, dat voldoende lang moet worden gestroomd om evenwicht te bereiken tussen de zoetwateraanvoer in het zeegebied via de spuisluizen en de zoetwaterafvoer uit het zeegebied via de regelrand van het model.

Omdat in het getijmodel het instelgetij (waterstandsverloop ter plaatse van de zeerand) cyclisch is gemaakt, zal de reststroom niet juist worden weergegeven. De invloed van de wind wordt echter ook niet in het model nagebootst. De fout in de reststroom is ondergeschikt aan de fout door het niet inbrengen van de windinvloed.

Nabootsing van wind in het getijmodel is in principe mogelijk door het hele zeegebied (1800 m^2) af te dekken en door tussen wateroppervlak en afdekking een luchtstroom in te voeren. De afstand tussen het wateroppervlak en de afdekking mag niet te gering zijn, waardoor de benodigde luchtstroom groot zal zijn. Het meten zal extra moeilijkheden opleveren, terwijl kabelgoten, Coriolis-tollen e.d. het windveld ernstig kunnen verstoren. De voorbereiding voor een dergelijk onderzoek zou te tijdrovend zijn en de verkregen informatie van beperkte nauwkeurigheid. Gezien de beschikbare tijd is volstaan met een theoretische beschouwing van de windinvloed op de verkregen modelresultaten (zie hoofdstuk 4).

Er zijn twee lokaties voor een mosselverwaterplaats onderzocht, te weten de lokatie Middelpaats en de lokatie Roggenpaats (zie de figuren 1 en 2).

De mosselverwaterplaats staat via een inlaatwerk door de Oosterscheldedam direkt in verbinding met de zee. Voor de oppervlakte (komberging) van de mosselverwaterplaats is (in navolging van het daarover in het rapport van de Grontmij gestelde) 250 ha aangehouden. De vorm is aangegeven op de figuren 1 en 2, maar is voor het onderhavige onderzoek niet essentieel. Het inlaatwerk is zodanig gedimensioneerd, dat het getijverschil op het bekken slechts weinig kleiner is, dan het getijverschil op zee. De dwarsdoorsneden over de inlaatwerken worden gegeven in figuur 3.

Met betrekking tot de lozingen wordt onderscheid gemaakt tussen geforceerd en normaal lozen. Geforceerd lozen komt gedurende een lange periode gemiddeld ongeveer één maal in de tien jaar voor. Het debiet bij normaal lozen is gemiddeld de helft van dat bij geforceerd lozen. De spuisluizen moeten zodanig

worden gedimensioneerd, dat bij gemiddeld getij $320 \text{ m}^3/\text{s}$ gemiddeld per etmaal wordt geloosd bij Noordland en $140 \text{ m}^3/\text{s}$ gemiddeld per etmaal bij de Veerse Gatdam. Deze debieten gelden voor de geforceerde lozing.

Voor het dichtheidsverschil tussen het zoete spuiwater en het zoute zeewater is 25 kg/m^3 aangehouden.

In verband met de gebruikte meetmethode wordt in het vervolg niet gesproken van het zoutgehalte, maar van het percentage zoet van het ingelaten zeewater.

Op de volgende plaatsen is het percentage zoet water gemeten:

- aan de zeezijde van het inlaatwerk continu in een aantal punten van de vertikaal beneden LW.
- aan de bekkenzijde van het inlaatwerk continu in een enkel punt direkt achter het inlaatwerk
- in het zeegebied voor de Oosterscheldedam in een 32-tal punten aan het wateroppervlak tijdens het laatste meetgetij om de 2 uur (prototype).

2.2 Hulpmiddelen

Voor een juiste reproductie van de verspreiding van het zoete spuiwater in het zoute zeewater is het noodzakelijk, dat het geloosde en het ontvangende water van verschillende dichtheid zijn (dichtheidsverschil 25 kg/m^3). Daar het getijmodel op hetzelfde waterreservoir is aangesloten als het detailmodel van de sluitgaten (M 1001) en het onderzoek in dit model normaal moest kunnen voortgaan, was het niet mogelijk voor het zeegebied gebruik te maken van zout water. Om toch het gewenste dichtheidsverschil te bereiken is het geloosde "zoete" water door toevoeging van gedenatureerde alcohol soortelijk lichter gemaakt. Teneinde het verspreidingsgebied van het geloosde water te kunnen vaststellen is het gemerkt met geringe doseringen Rhodamine-B en keukenzout.

Figuur 4 geeft een overzicht van de voor de lozing van het alcohol-watermengsel gebruikte outillage. De in vaten aangevoerde alcohol wordt met behulp van een explosievrije vatenpomp in een hoog opgesteld mengvat van ca. $2,5 \text{ m}^3$ gepompt. Aan het aldus gevormde mengsel (bestaande uit 21 % gedenatureerde alcohol en 79 % water) wordt per liter 2,5 gram keukenzout en 1×10^{-4} gram Rhodamine-B toegevoegd. Het geheel kan na het mengen vrij afstromen in een reservoir van ca. 14 m^3 . Het alcohol-watermengsel wordt vanuit het reservoir met een klokpomp opgepompt en via een regelbare driewegafsluiter naar beide

lozingspunten gevoerd. De regeling van de afsluiter geschiedt met behulp van een debietmeter, waarmee het debiet naar het model kan worden gemeten. Het signaal van de debietmeter wordt in de getij-installatie vergeleken met het signaal van de ponsband, waarop de spuikromme is geponst. Het verschil tussen beide signalen stuurt de afsluiter zodanig, dat het gevraagde debiet wordt geloosd. Het geregelde debiet is het totale debiet van beide lozingspunten. Ter plaatse van de lozingspunten wordt het debiet gesplitst in een constante verhouding. De spuikromme is gemaakt aan de hand van bij een proef zonder lozingen gemeten waterstanden aan de zeezijde van de spuisluizen en de in paragraaf 2.1 genoemde randvoorwaarden voor het spuien.

Registratie van het percentage zoet water vond op twee verschillende manieren plaats.

Aan de zeezijde van het inlaatwerk is met een bezo (bewegende zoutopnemer) gemeten (figuur 2). Dit instrument meet het verloop van de elektrische geleidbaarheid van het water over een vertikaal. Deze geleidbaarheid is een maat voor de plaatselijk in het water aanwezige concentratie van keukenzout. Aan de bekkenzijde van het inlaatwerk is met een continu-fluorimeter gemeten (figuur 2). Dit instrument meet de fluorescentie van het ingelaten water, nadat het in de inlaatkonstructie (grotendeels) is gemengd, alsook van het daarna weer geloosde water. De fluorescentie is een maat voor de in het water aanwezige concentratie van Rhodamine-B met behulp waarvan het zoetwatergehalte kan worden bepaald. In de 32 meetpunten in het zeegebied is het zoetwatergehalte eveneens met behulp van fluorescentie bepaald. Hier zijn op bepaalde tijdstippen monsters genomen aan het wateroppervlak, die achteraf met behulp van de fluorimeter zijn doorgemeten.

2.3 Resultaten

Er zijn vijf verschillende proeven uitgevoerd, waarbij de lokatie, de diepte van het inlaatwerk, het getij en het spuidebiet door de spuisluizen zijn gevarieerd. Tabel 1 geeft een overzicht van de gestroomde toestanden. De toestanden T1 en T2 betreffen de lokatie Middelpaat en de toestanden T3 tot en met T5 de lokatie Roggenplaat (figuur 2). Voor de toestanden T3 en T5 is behalve een ondiep gelegen sluis ook een diep gelegen sluis toegepast tijdens de achtste meetdag (proto-

type, figuur 3). Het in het model gereproduceerde getij van 07.10.71 is een springtij en het getij van 15.04.70 een doottij. De toestanden T1 tot en met T4 zijn gestroomd met een geforceerd spuidebiet en toestand T5 met een normaal spuidebiet. In tabel 1 is tevens het dichtheidsverschil aangegeven tussen het ge-loosde en het ontvangende water. Hierbij moet worden aangetekend, dat het dichtheidsverschil bij T1 te klein was. Hierdoor zal de verspreiding door dichtheidsstroming ten opzichte van de werkelijkheid enigszins te gering zijn, waardoor de gevonden resultaten iets te gunstig kunnen zijn.

De figuren 7 en 8 geven de debieten door de spuisluizen voor respectievelijk geforceerd en normaal spuien. Het gemiddelde debiet over 25 uur bij geforceerd spuien is voor het getij van 15.04.70 ongeveer gelijk aan dat voor gemiddeld getij (ontwerpgetij voor de spuisluizen bij geforceerd spuien), hoewel het getij van 15.04.70 een doottij is. Dit wordt veroorzaakt door de middenstandsverhoging van het gemiddeld getij, waarmee de doorstroomopening (μF) van de spuisluizen is berekend

De figuren 9 tot en met 11 geven per toestand de debieten door het inlaatwerk, zoals deze zijn berekend uit de gemeten waterstanden aan de zeezijde en bekkenzijde van het inlaatwerk. Uit de figuren blijkt, dat de gemiddelde inlaatdebieten bij het getij van 15.04.70 ongeveer tweederde van die van het getij van 07.10.71 bedragen.

De figuren 12 tot en met 14 geven per toestand de waterstand en aan de zeezijde en de bekkenzijde van het inlaatwerk.

De figuren 15 tot en met 19 geven de concentratie van het zoete water op het bekken nabij het inlaatwerk. De gegeven concentraties zijn bepaald met behulp van de meetresultaten van de fluorimeter achter het inlaatwerk. Er is onderscheid gemaakt tussen inlaten en uitlaten, waarbij voor het inlaten de maximum per meetdag (prototype) optredende concentratie en de minimum optredende concentratie is gegeven. Elke toestand is 7 meetdagen (prototype) lang voortgezet (de toestanden T3 en T5 zelfs 8 meetdagen in verband met de diep gelegen sluis) behalve toestand T4 (5 meetdagen) vanwege een tekort aan alcohol-watermengsel. De eerste dagen nemen de ingelaten concentraties

sterk toe, (opbouw evenwichtssituatie in het zeegebied voor de Oosterscheldedam) daarna (na de 5e of 6e dag) slechts weinig meer. De concentraties van het uitgelaten water zullen eveneens naar een evenwicht toegaan. Dit evenwicht is bereikt, als per getijcyclus gemiddeld evenveel zoet water naar buiten stroomt als er naar binnen gaat. Dit evenwicht wordt echter pas bereikt lange tijd nadat zich evenwicht heeft ingesteld in het zeegebied voor het inlaatwerk. Voor elke toestand is een schatting van dit evenwicht gemaakt aan de hand van de gemiddelde ingelaten concentratie, die wordt gevonden door de hoeveelheid ingelaten zoet water te delen door de totale hoeveelheid ingelaten water (zie ook figuur 20). Deze schatting is in de figuren 15 tot en met 19 aangegeven met de aanduiding "evenwicht". De fluorimeter heeft, zoals ieder meetinstrument, een beperkte nauwkeurigheid. Controle van de gevonden concentraties is voor het inlaten mogelijk met behulp van de concentratieverdeling aan de zeezijde van het inlaatwerk. De gemeten concentratie aan de bekkenzijde van het inlaatwerk zal ongeveer het gemiddelde van de concentratieverdeling aan de zeezijde zijn, rekening houdend met de snelheidsverdeling en aangenomen, dat van selectief aanzuigen geen sprake is. Zo beschouwd is de overeenkomst redelijk, maar komen hier en daar ook relatief grote afwijkingen voor. Over het algemeen geeft de fluorimeter bij hoge concentraties relatief grote waarden en bij lage concentraties relatief kleine waarden aan (zie ook de figuren 21 tot en met 27).

De in de figuren 20 tot en met 34 gegeven resultaten betreffen slechts één toestand en zijn bedoeld als een voorbeeld. Voor een interpretatie van de resultaten van het modelonderzoek kan immers worden volstaan met de figuren 15 tot en met 19. Als voorbeeld is gekozen toestand T2, omdat de daarbij gemeten concentraties groot zijn, waardoor een en ander duidelijk tot uiting komt.

Figuur 20 geeft de debieten zoet water door het inlaatwerk. De ingeschreven waarden geven de totale hoeveelheid in- en uitgelaten zoet water aan. De indruk bestaat, dat nog geen evenwicht is bereikt (zie ook figuur 16); zekerheid hierover is niet aanwezig daar een registratie over 25 uur niet beschikbaar is (cyclisch getij).

De figuren 21 tot en met 27 geven een voorbeeld van de concentratieverdelingen

aan weerszijden van het inlaatwerk. Met uitzondering van de tijdstippen $t = 7.30$ uur en $t = 8.00$ uur komt de gemiddelde concentratie aan de zeezijde goed overeen met de concentratie aan de bekkenzijde van het inlaatwerk (na menging in het inlaatwerk is de concentratie constant over de hoogte). Het betreft hier de resultaten van de 7^e meetdag (prototype). Het bovenste deel van de concentratieverdeling aan de zeezijde moest worden geschat. Hierbij is gebruik gemaakt van de figuren 28 tot en met 34.

De figuren 28 tot en met 34 geven de lijnen van gelijke concentraties van zoet water nabij het wateroppervlak. In de figuren zijn tevens aangegeven de op het beschouwde tijdstip optredende spuidebieten en het inlaatdebiet (respectievelijk uitlaatdebiet). Uit het patroon is op te maken, dat gedurende de periode van spuien de stroming langs de kust zuidwaarts is gericht. Dit is in overeenstemming met stroombeeldfoto's, die genomen zijn van het zeegebied. Pas wanneer het spuien wordt gestaakt keert de stroom noordwaarts. Dit is gunstig in verband met de lange mengweg, die het gespuide water hierdoor heeft tot voor de inlaat van de mosselverwaterplaats. In het patroon zijn duidelijk meerdere "vlekken" te onderscheiden, veroorzaakt door verschillende spuigangen.

2.4 Interpretatie resultaten

De norm, waaraan de resultaten moeten worden getoetst luidt: de saliniteit moet gemiddeld 25 ‰ bedragen, waarbij een dagelijkse schommeling van 5 ‰ is toegestaan met een absoluut minimum van $22,5 \text{ ‰}$.

Omgerekend geeft deze norm een maximum concentratie zoet water van $30,5 \text{ ‰}$ en een dagelijkse schommeling van 15 ‰ . Een en ander is weergegeven in de figuren 5 en 6, waarbij voor het zeewater een saliniteit van $32,5 \text{ ‰}$ is aangehouden (d.i. 18 ‰ Cl^1).

Getoetst aan deze norm blijkt uit de figuren 15 tot en met 19, dat de lokatie Middelpaat juist niet voldoet en de lokatie Roggenplaat ruimschoots. Tevens blijkt, dat het doottij (getij van 15.04.70) maatgevend is (vergelijk figuur 17 en 18). Bovendien geeft geforceerd spuien ongunstiger resultaten dan normaal spuien (vergelijk figuur 18 en 19).

Er moet nog worden opgemerkt, dat de gegeven concentraties zijn gemeten direct achter het inlaatwerk. Afhankelijk van de inrichting van het bekken en de plaats van de mosselopslag geeft dit een veiligheid, omdat tijdens het instromen, door menging in het bekken, het verschil tussen de concentratie van het instromende water en die van het water in het bekken (evenwichtsconcentratie) zal worden gereduceerd.

De resultaten gelden voor windstil weer. In hoofdstuk 4 zal de invloed van de wind op de resultaten worden behandeld.

3 Invloed diepteligging van het inlaatwerk op de concentratie van het ingelaten water

3.1 Beschouwingen op grond van eerder uitgevoerd onderzoek

Hierna wordt voor een drietal gevallen nagegaan in welke mate sprake is van selectief aanzuigen van water uit de onderlaag van een gelaagd systeem. De volgende gevallen worden beschouwd (figuur 35):

geval A: ondiep gelegen sluis, ondiepe bodem

geval B: diep gelegen sluis, diepe bodem

geval C: ondiep gelegen sluis, diepe bodem.

De figuren 36 tot en met 38 geven voor elk geval het percentage ingelaten water afkomstig uit de bovenlaag als functie van de dikte van de bovenlaag en het intern Froudegetal (F_i). Deze grafieken zijn gebaseerd op de resultaten van het systematisch onderzoek voor het zoutscherm van de spuisluis Noordland (M1204) en aangepast aan de geometrie van het beschouwde geval.

Figuur 39 geeft voor een dikte van de bovenlaag van 1,5 m ($h_1 = 1,5$ m) de relatie tussen het percentage ingelaten water afkomstig uit de bovenlaag en het intern Froudegetal. De relatie is afgeleid uit de figuren 36 tot en met 38. Indien het dichtheidsverschil tussen de onder- en bovenlaag bekend is, kan de F_i -schaal worden vertaald in een snelheidsschaal, die betrokken is op de gemiddelde (over het dwarsprofiel van de inlaatopening genomen) inlaatsnelheid.

Wanneer een snelheidsverloop over de tijd wordt aangenomen kan voor een bepaald dichtheidsverschil met behulp van figuur 39 het verloop van het percentage water afkomstig uit de bovenlaag worden bepaald. Voor een dichtheidsverschil van 4 kg/m^3 ($\Delta \rho = 4 \text{ kg/m}^3$) wordt een dergelijk verloop voor de gevallen A, B en C in figuur 40 gegeven.

Het blijkt, dat de totale hoeveelheid ingelaten water uit de verzoete bovenlaag afneemt, wanneer (figuur 40):

- de maximum inlaatsnelheid wordt gereduceerd (door verbreden van het inlaatwerk)
- de bodem voor het inlaatwerk wordt verdiept
- de inlaatopening dieper wordt gelegd.

De momentaan maximale hoeveelheid uit de bovenlaag meegezogen water kan slechts worden gereduceerd door verdieping van de bodem voor het inlaatwerk of door een ingrijpende verandering van het inlaatwerk zelf.

3.2 Onderzoek in getijmodel van de Oosterschelde

De proeven T3 en T5 zijn zowel met ondiep gelegen sluis als met diep gelegen sluis uitgevoerd (figuur 3). Het overschakelen van een ondiep naar een diep gelegen sluis vond plaats aan het eind van de zevende meetdag (prototype). De proef werd voortgezet tot en met de achtste meetdag.

Uit de figuren 17 en 19 blijkt, dat de maximum ingelaten concentratie afneemt bij de diep gelegen sluis. Dit is overeenkomstig de verwachtingen vermeld in de vorige paragraaf.

4 Invloed van wind op de resultaten

4.1 Algemeen

Het effect van wind over een wateroppervlak is in eerste instantie dat het water, ten gevolge van de *wrijvingskracht op het wateroppervlak* gaat stromen in dezelfde richting als de wind. Indien deze waterbeweging wordt belemmerd door de aanwezigheid van een kust, dan zal de component van de kracht tengevolge van de wind op het water die loodrecht op de kust staat worden gecompenseerd door een verhang in de waterspiegel. Wanneer er een windcomponent evenwijdig aan de kust bestaat zal de stroomrichting zich evenwijdig aan de kust instellen.

4.2 Windinvloed op een gelaagd systeem

Als er wind over een gelaagde watermassa waait, zal de kracht via het wateroppervlak op de bovenste laag werken en zal deze in beweging worden gezet. De onderlaag zal in dat geval behoudens een retourstroom vrijwel stil blijven staan. Als de bovenlaag tegengehouden wordt door een kust, zal er evenals bij homogeen water, een waterspiegelverhang worden opgebouwd om de wrijvingskracht op de waterspiegel te compenseren. Daar de onderlaag in rust blijft en de drukverdeling hydrostatisch zal zijn moet de druk op een bepaald niveau in deze onderlaag overal gelijk zijn. Dit is slechts mogelijk, wanneer het waterspiegelverhang wordt gecompenseerd door een grensvlakverhang (zie ook figuur 41 en 42):

$$l_g = - \frac{\rho - \Delta \rho}{\Delta \rho} l_w \quad (1)$$

waarin l_g : grensvlakverhang

l_w : waterspiegelverhang

ρ : dichtheid onderlaag

(kg/m³)

$\Delta \rho$: dichtheidsverschil tussen de lagen

(kg/m³)

De wrijvingskracht via de waterspiegel op de bovenlaag bedraagt per eenheid van breedte:

$$K_w = - k_s \rho_a v^2 dx \quad (2)$$

waarin K_w : wrijvingskracht op waterspiegel per eenheid van breedte (N/m)
 k_s : wrijvingscoëfficiënt lucht-water $-$
 v : windsnelheid (m/s)
 ρ_a : dichtheid van lucht (kg/m^3)

De verhangkracht bedraagt (figuur 41):

$$K_i = - (\rho - \Delta \rho) g \frac{\delta s}{\delta x} dx \cdot h + \Delta \rho g \frac{\delta (h_1 - s)}{\delta x} dx (h - h_1) \quad (3)$$

waarin K_i : verhangkracht op watermassa per eenheid van breedte (N/m)
 g : versnelling van de zwaartekracht (m/s^2)
 s : verval waterspiegel van $x = B$ tot x ($x \leq B$) (m)
 h_1 : dikte bovenlaag ($x \leq B$) (m)
 h : waterdiepte (m)

Uit de voorwaarde, dat de druk op een bepaald niveau in de onderlaag constant is, volgt:

$$s = \frac{\Delta \rho}{\rho} h_1 \quad (4)$$

Substitutie van vgl. (4) in vgl. (3) geeft:

$$K_i = - (\rho - \Delta \rho) g \frac{\delta s}{\delta x} dx \cdot h_1 \quad (5)$$

Wanneer de bovenlaag tegengehouden wordt door een kust, dan zal een evenwichtssituatie ontstaan, waarbij geldt:

$$K_w + K_i = 0 \quad (6)$$

Substitutie van vgl. (2), (4) en (5) in vgl. (6) geeft met een geringe benadering ($\Delta \rho \ll \rho$):

$$h_1 \frac{dh_1}{dx} = - k_s \frac{\rho_a}{\Delta \rho} \frac{v^2}{g} \quad (7)$$

Integreren van vgl. (7) en invoeren van de randvoorwaarde $h_1 = 0$ voor $x = B$ leidt tot:

$$h_{1g} = \sqrt{2 k_s \frac{\rho_a}{\Delta \rho} \frac{v^2}{g} (B - x)} \quad (8)$$

Uit deze vergelijking blijkt, dat de dikte van de bovenlaag, die zich onder windinvloed instelt, onafhankelijk is van de waterdiepte. Daarnaast blijkt uit een afleiding, gegeven in figuur 42, dat vgl. (8) niet wordt beïnvloed door het ontstaan van een menglaag tussen boven- en onderlaag, mits deze een constante dikte heeft onder de bovenlaag. Als het grensvlak tussen menglaag en onderlaag horizontaal zou staan, dan neemt h_1 toe, omdat dan $\Delta \rho$ in vgl. (8) afneemt van $\Delta \rho = \Delta \rho_1$ naar $\Delta \rho = \Delta \rho_1 - \Delta \rho_2$. De werkelijk optredende helling van het grensvlak tussen menglaag en onderlaag is afhankelijk van de voeding van de menglaag door het grensvlak tussen bovenlaag en menglaag en de afvoer van de menglaag door stroming en driftstroming via de afstroomstrook B-A (figuur 41).

4.3 Uitgangspunten voor de berekening

Voor de berekening van de dikte van de bovenlaag voor het inlaatwerk Roggenplaat (diep gelegen) en de zoetwaterconcentraties van het ingelaten water door dit inlaatwerk is van de volgende uitgangspunten uitgegaan:

Wrijvingscoëfficiënt lucht - water

Slechts windsnelheden tot 15 m/s of 54 km/uur zijn in aanmerking genomen, omdat verwacht mag worden dat grotere windsnelheden niet voldoende lang zullen voorkomen om maatgevend te kunnen zijn voor de grootte van k_s . Volgens Keulegan [4] kan worden gesteld, dat voor een wateroppervlak met golven en voor een windsnelheid van 10 à 15 m/s geldt:

$$k_s = 0,004 \quad (9)$$

Diepte zoetwatervang en afstroomstrook (figuur 41)

Onder de "diepte" van de zoetwatervang wordt verstaan de afstand tussen het inlaatpunt bij Roggenplaat en de lijn loodrecht op de windrichting rakend aan de landtong waarlangs het zoete water bij gevulde zoetwatervang weg kan lopen. Deze afstand is voor enkele windrichtingen respectievelijk:

$$\begin{array}{ll} \text{Windrichting W} & : A = 2500 \text{ m} \\ \text{WNW} & : A = 4500 \text{ m} \\ \text{NW} & : A = 7000 \text{ m} \end{array} \quad (10)$$

Aangenomen wordt, dat een evenwichtssituatie zal kunnen worden bereikt tussen de aangevoerde hoeveelheden zoet water door de spuisluizen en de afgevoerde hoeveelheden zoet water via een strook langs de kust (afstroomstrook), wanneer $h_1 = 0$ voor:

$$B = A + 1100 \text{ m} \quad \text{of} \quad (11a)$$

$$B = A + 1/2 A \text{ m} \quad (11b)$$

Dichtheden

De volgende basisdichtheden zijn bekend:

$$\begin{array}{ll} \rho_a = 1,29 \text{ kg/m}^3 & (\text{lucht}) \\ \rho = 1025 \text{ kg/m}^3 & (\text{zeewater}) \\ \Delta\rho_o = 25 \text{ kg/m}^3 & (\text{dichtheidsverschil zoet water en zeewater}) \end{array} \quad (12)$$

Hieruit en uit de modelresultaten voor de situatie zonder wind kan worden afgeleid:

$$\Delta\rho_1 = \Delta\rho_o / S \quad (13)$$

waarin $\Delta\rho_1$: dichtheidsverschil bovenlaag - onderlaag

S : mengfaktor, veroorzaakt door initiële menging bij het spuien en menging door wind en getij tijdens het transport van spuisluis naar inlaatwerk Roggenplaat. De grootte van S wordt geschat op 2,5 à 4 (dit betekent 40 à 25 % zoet)

$$\text{en } \Delta \rho_2 = 1,25 \text{ à } 2,5 \text{ kg/m}^3 \text{ (5 à 10 \%o) zoet)} \quad (14)$$

waarin $\Delta \rho_2$: dichtheidsverschil menglaag - onderlaag (zie figuur 42).

4.4 Berekening

Substitutie van de gegevens in vgl. (8) geeft:

$$(h_1)_{x=0} = 0,0321 \sqrt{\frac{B}{\Delta \rho}} \quad (15)$$

Bij de berekening is uitgegaan van een drie-lagen systeem met twee mogelijkheden ten aanzien van het verhang van het grensvlak tussen menglaag en onderlaag, namelijk:

$$l_{g,1} = l_{g,2} \quad (16a)$$

en

$$l_{g,2} = 0 \quad (16b)$$

Dit leidt respectievelijk tot:

$$(h_1)_{x=0} = 0,0321 \sqrt{\frac{B}{\Delta \rho_1}} \quad (17a)$$

en

$$(h_1)_{x=0} = 0,0321 \sqrt{\frac{B}{\Delta \rho_1 - \Delta \rho_2}} \quad (17b)$$

Met behulp van de vergelijkingen 17a en 17b is voor een windsnelheid van $v = 10 \text{ m/s}$ en voor verschillende waarden van S en B de dikte van de verzoete bovenlaag bij het inlaatwerk bepaald. De resultaten zijn gegeven in tabel 2. De bijbehorende maximum concentraties zoet water in het ingelaten water zijn berekend met de vergelijkingen:

$$C_{in,max} = C_2 + \frac{h_1}{h_o + s'} (C_1 - C_2) \quad (h_1 \leq h_o + s') \quad (18a)$$

of

$$C_{in,max} = C_1 \quad (h_1 > h_o + s') \quad (18b)$$

waarin $C_{in,max}$: maximum zoetwater-concentratie in ‰ in ingelaten water
 C_1 : zoetwater-concentratie in ‰ in bovenlaag (:: Δp_1)
 C_2 : zoetwater-concentratie in ‰ in menglaag (:: Δp_2)
 $h_o + s'$: gemiddelde waterdiepte ter plaatse van het inlaatwerk
 (N.B. - bij de berekening is de opwaaiing s' verwaarloosd, omdat deze voor een windsnelheid van 10 m/s relatief klein is).

De resultaten van deze berekening worden, eveneens voor een windsnelheid van 10 m/s, gegeven in tabel 3 en in een meer algemeen verband in de figuren 43 tot en met 51.

Met betrekking tot de figuren 43 tot en met 51 moet worden opgemerkt, dat deze alleen gelden voor een situatie, waarbij sprake is van wind, zodat vgl. (18a) mag worden toegepast. Voor de situatie zonder wind wordt verwezen naar de modelresultaten.

De aldus berekende ingelaten concentraties gelden voor de situatie, waarbij het waterspiegelverhang en het grensvlakverhang zich volledig hebben aangepast aan de windsnelheid en de "zoetwatervang" volledig is gevuld met water, dat de evenwichtsconcentratie heeft bereikt. Hiervoor is tijd nodig. Aangenomen wordt, dat de opladingstijd als volgt kan worden uitgedrukt:

$$t = \frac{V}{\bar{Q}_{spui} \times S} \quad (19)$$

waarin V : inhoud zoetwatervang in m^3
 $\bar{Q}_{spui}$: gemiddeld spuidebiet in m^3/uur
 S : mengfaktor

(N.B.: Bij deze aanname wordt een te lange t berekend, omdat bij windstil weer ook al een (relatief dunne) zoetwaterlaag aanwezig is. De reductie wordt geschat op 5 à 10 ‰. Bij kleine windsnelheden is de reductie groter).

De berekende opladingstijd t (afgerond op hele uren) wordt voor het getij van 07.10.71 (springtij) gegeven in tabel 4. Het gemiddelde spuivolume is berekend rekening houdend met de gemiddelde opwaaiing voor de dam en afwaaiing achter de dam. Door het in aanmerking nemen van grote windsnelheden is namelijk de opwaaiing en afwaaiing niet langer te verwaarlozen. Hierbij is gebruik gemaakt van Nota K-268 van de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst van Rijkswaterstaat [5] en berekeningen door deze dienst verricht. Voor de spuisluis is een μF -waarde aangehouden, die hoort bij geforceerd spuien. Dit houdt in, dat bij normaal spuien de opladingstijd t een faktor 2 groter is. De in tabel 4 gegeven frequenties van de windsnelheid per windrichting zijn eveneens afkomstig uit voornoemde nota. Een frequentie van 1 % komt overeen met 87,6 uur per jaar.

4.5 Interpretatie uitkomsten berekening

Een samenvatting van de uitkomsten van de berekening wordt gegeven in de tabellen 5 en 6. Tabel 5 geeft $C_{in,max}$ voor $C_2 = 5$ % (overeenkomstig resultaten modelonderzoek). Tabel 6 geeft $C_{in,max}$ voor $C_2 = 10$ % (rekening houdend met een sterkere menging onder invloed van de wind). De gepresenteerde waarden zijn gemiddelden voor de veronderstellingen van de breedte van de afstroomstrook ($B - A$) en de helling van het grensvlak tussen menglaag en onderlaag. De concentraties gemerkt met * zijn groter dan de in par. 2.4 als norm gegeven maximum concentratie (30,5 %). De beperking in de dagelijkse schommeling (maximum toelaatbare schommeling bedraagt 15 %) is in dit verband niet van toepassing, omdat bij wind sprake is van een opladingstijd, die veelal meerdere dagen bedraagt. Uit de tabellen 5 en 6 blijkt, dat gezien de opladingstijden en de frequentie van voorkomen windrichtingen tussen W en WNW het meest ongunstig zijn. De maximum concentraties, die dan volgens de tabellen kunnen optreden zijn 32 à 35 %.

Een nadere beschouwing van de niet toelaatbare gevallen leert, dat $C_{in,max}$ bereikt wordt in een opladingstijd, die meestal aanzienlijk groter is dan het totaal aantal uren, dat deze situatie gemiddeld per jaar kan optreden. Wanneer echter de wind tijdens een depressie draait, zal bij de beschouwde windrichting en -snelheid behorende opladingstijd moeten worden verminderd met de tijd, waarin bij de eerder optredende windrichting en -snelheid reeds oplading heeft plaats gehad. De grootte van de tijd, die in mindering moet worden gebracht hangt af van de duur van de eerder optredende windrichting en -snelheid.

Voor de interpretatie is tevens van belang de mengfaktor te kennen. Uit de resultaten van het modelonderzoek (par. 2.3) blijkt, dat voor het inlaatwerk Roggenplaat een mengfaktor $S = 3$ een redelijke benadering is. In dat geval is $C_{in,max}$ maximaal $33,3 \text{ ‰}$. Bij een mengfaktor $S = 2,5$ is $C_{in,max}$ maximaal 40 ‰ . Deze concentraties kunnen gezien de hiervoor genoemde overwegingen pas na een lange tijd met ongunstige omstandigheden optreden en zullen slechts van korte duur zijn. De situatie wordt gunstiger, als bij aanwezigheid van wind, in plaats van geforceerd, normaal wordt gespuid (opladings tijd t wordt een faktor 2 groter).

De invloed van de lozingen veraf kon voor zover aanwezig bij de beschouwde windrichting in rekening worden gebracht door de achtergrondsverhoging van het zoetwatergehalte (C_0) bij de in de tabellen 5 en 6 gegeven waarden voor $C_{in,max}$ op te tellen.

Literatuur

- 1 Grontmij N.V., "Onderzoek naar de mogelijkheden van een mosselopslag en mosselverwaterplaats achter de Oosterscheldedam in Zeeland, in opdracht van B en W van de Gemeente Reimerswaal", april 1973
- 2 Grontmij N.V., "Het plan Zeeland, rapport betreffende de aanleg van een mosselopslag en -verwaterplaats achter de Oosterscheldedam opgemaakt in opdracht van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat", december 1973
- 3 Waterloopkundig Laboratorium, "Afsluiting Oosterschelde, Getijmodel Zuidelijk Bekken en detailmodel sluitgaten, ontwerp en bouw modellen, M1000, M1001 - Deel I", juni 1971
- 4 Keulegan, "Wind tides in small closed channels", Journal of Research of the Nat. Bur. of Standards, Vol. 46, No. 5, May 1951
- 5 Rijkswaterstaat - Deltadienst, Waterloopkundige Afdeling, "Correlatie tussen de windwaarnemingen op lichtschip Goeree en het wind-effekt te Hoek van Holland, Statistieken van het windeffekt te Hoek van Holland", Nota K - 268, november 1965

Toestand	lokatie		diepte inlaatwerk		getij		spui-debiet		dichtheids- verschil in kg/m ³
	Middelplaat	Roggenplaat	diep	ondiep	07.10.71	15.04.70	geforceerd	normaal	
T1	X			X	X		X		17
T2	X			X		X	X		25
T3		X	X	X	X		X		25
T4		X		X		X	X		25
T5		X	X	X		X		X	25

Tabel 1 Overzicht van de uitgevoerde proeven

S		4				3				2,5			
C ₁ in ‰		25				33,3				40			
C ₂ in ‰		5		10		5		10		5		10	
Δp in kg/m ³		6,25	5	6,25	3,75	8,33	7	8,33	6	10	8,75	10	7,5
wind- richting	B (m)												
W	3600	7,70	8,61	7,70	9,95	6,68	7,28	6,68	7,86	6,09	6,51	6,09	7,03
	3750	7,86	8,79	7,86	10,15	6,80	7,43	6,80	8,02	6,21	6,64	6,21	7,18
WNW	5600	9,61	10,75	9,61	12,40	8,32	9,08	8,32	9,80	7,60	8,12	7,60	8,77
	6750	10,55	11,80	10,55	13,60	9,13	9,96	9,13	10,78	8,34	8,91	8,34	9,63
NW	8100	11,56	12,92	11,56	14,92	10,00	10,92	10,00	11,80	9,13	9,76	9,13	10,55
	10500	13,15	14,70	13,15	17,00	11,40	12,43	11,40	13,42	10,40	11,12	10,40	12,00

$$h_1 = 0,0321 \cdot \sqrt{\frac{B}{\Delta p}} \quad [\text{m}] \quad \text{met } \Delta p = \Delta p_1 \quad (l_{g1} = l_{g2})$$

$$\Delta p = \Delta p_1 - \Delta p_2 \quad (l_{g1} = 0)$$

Tabel 2 Dikte bovenlaag h₁ bij inlaatwerk Roggenplaat voor windsnelheid v = 10 m/s

S		4				3				2,5			
C ₁ in ‰		25				33,3				40			
C ₂ in ‰		5		10		5		10		5		10	
Δp in kg/m ³		6,25	5	6,25	3,75	8,33	7	8,33	6	10	8,75	10	7,5
wind- richting	B (m)												
W	3600	17,8	19,4	19,6	22,4	20,8	22,2	23,0	25,3	22,8	24,0	25,2	27,6
	3750	18,1	19,7	19,8	22,7	21,0	22,5	23,2	25,6	23,1	24,4	25,5	27,9
WNW	5600	21,0	22,9	22,0	25,0	24,6	26,4	26,2	29,0	27,2	28,7	29,0	31,9
	6750	22,6	24,7	23,2	25,0	26,6	28,5	27,7	30,9	29,3	31,0	30,8	34,1
NW	8100	24,3	25,0	24,5	25,0	28,6	30,8	29,4	32,9	31,6	33,4	32,8	36,4
	10500	25,0	25,0	25,0	25,0	31,9	33,3	32,1	33,3	35,3	37,4	36,0	40,0

$$C_{in,max} = C_2 + \frac{h_1}{12} (C_1 - C_2) \quad [‰] \quad \text{voor } h_1 \leq 12 \text{ m}$$

$$C_{in,max} = C_1 \quad [‰] \quad \text{voor } h_1 > 12 \text{ m}$$

Tabel 3 Kwaliteit ingelaten water C_{in,max} bij inlaatwerk Roggenplaat voor windsnelheid v = 10 m/s

wind- richting	B m	oppervlak km ²	wind- snelheid m/s	freq. o/o	spui-volume geforc. spuien 10 ⁶ m ³ /uur	S = 4		S = 3		S = 2,5	
						V 10 ⁶ m ³	t uur	V 10 ⁶ m ³	t uur	V 10 ⁶ m ³	t uur
W	3600	15	5	2,38	1,81	29	4	25	5	23	5
			10	2,19	1.54	58	9	50	11	46	12
			15	0,71	1.06	87	20	75	24	69	26
	3750	15	5	2,38	1.81	29	4	25	5	23	5
			10	2,19	1.54	58	9	50	11	46	12
			15	0,71	1.06	87	20	75	24	69	26
WNW	5600	50	5	1,79	1.79	116	16	100	19	92	21
			10	1,60	1.46	232	40	200	46	184	56
			15	0,53	0.95	348	92	300	105	276	116
	6750	60	5	1,79	1.79	162	23	140	26	128	29
			10	1,60	1.46	324	56	280	64	256	70
			15	0,53	0.95	486	128	420	147	384	162
NW	8100	100	5	1,19	1.75	290	42	250	48	230	52
			10	1,01	1.42	580	102	500	118	460	130
			15	0,37	0.86	870	253	750	290	690	321
	10500	125	5	1,19	1.75	435	62	375	72	340	78
			10	1,01	1.42	870	154	750	176	680	192
			15	0,37	0.86	1305	380	1125	436	1020	475

Tabel 4 Opladingstijd nodig om tot evenwichtssituatie met $C_{in,max}$ te kunnen komen (getij van 07.10.71, geforceerd spuien)

mengfaktor	windrichting	windsnelheid m/s	$C_{in,max}$	opladingstijd geforc. spuien uur	frequentie uur/jaar
4	W	5	12,0	4	208
		10	18,7	9	192
		15	25,0	20	62
	WNW	5	14,0	20	157
		10	23,0	48	140
		15	25,0	110	46
	NW	5	16,0	52	104
		10	25,0	128	88
		15	25,0	317	32
3	W	5	13,4	5	208
		10	21,7	11	192
		15	30,1	24	62
	WNW	5	15,7	23	157
		10	26,8	55	140
		15	33,3*	126	46
	NW	5	18,2	60	104
		10	31,4*	147	88
		15	33,3*	363	32
2,5	W	5	14,2	5	208
		10	23,6	12	192
		15	33,0*	26	62
	WNW	5	17,0	25	157
		10	29,2	63	140
		15	40,0*	139	46
	NW	5	19,5	65	104
		10	34,3*	161	88
		15	40,0*	398	32

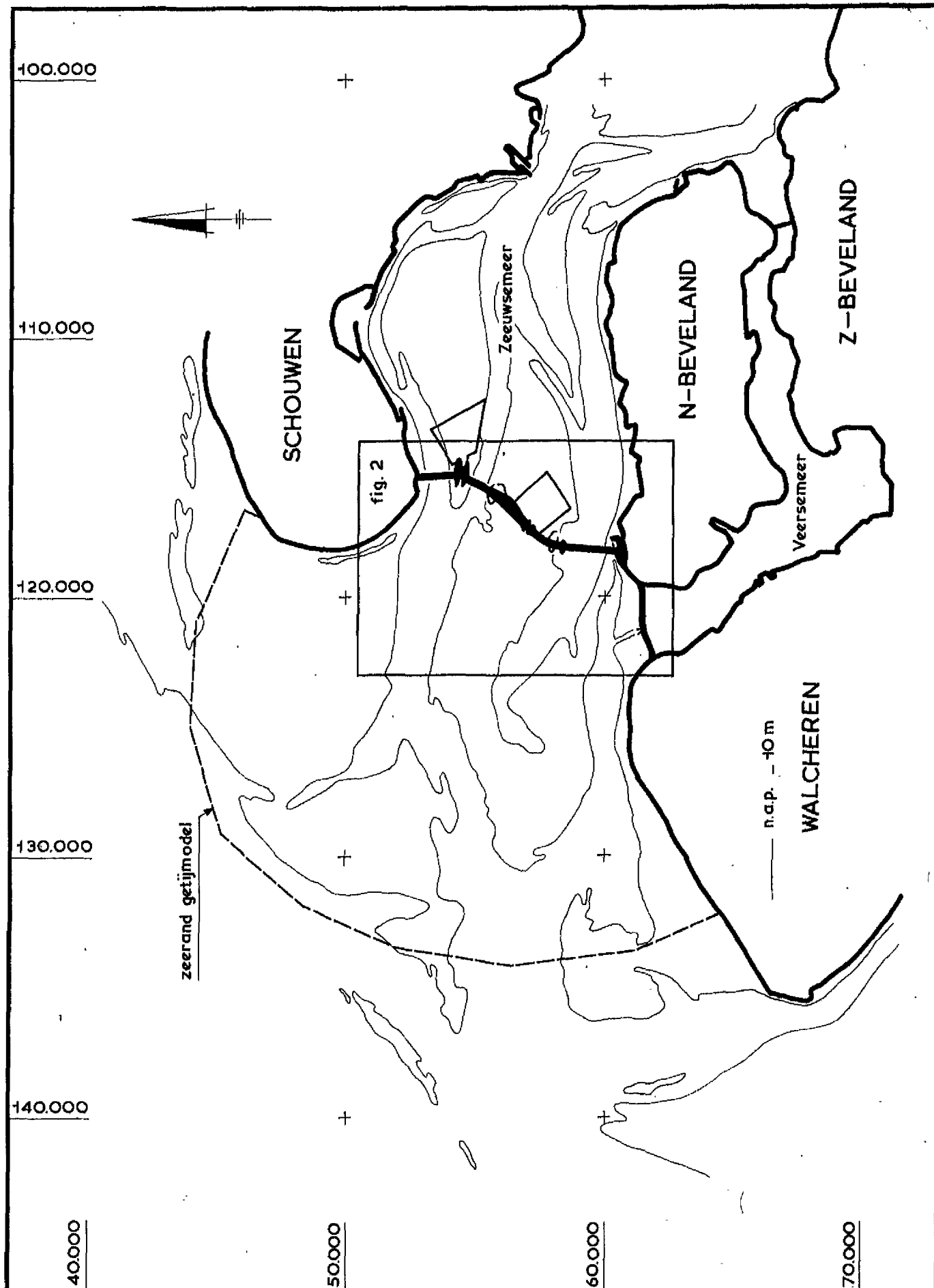
* Berekende waarde hoger dan de gestelde norm van 30,5 ‰

Tabel 5 Invloed wind op kwaliteit ingelaten water bij inlaatwerk Roggenplaat als gevolg van lozingen dichtbij ($C_2 = 5 ‰$)

mengfaktor	windrichting	windsnelheid m/s	$C_{in,max}$ ‰	opladingsstijd geforc. spuien uur	frequentie uur/jaar
4	W	5	15,5	4	208
		10	21,1	9	192
		15	25,0	20	62
	WNW	5	17,3	20	157
		10	24,6	48	140
		15	25,0	110	46
	NW	5	18,8	52	104
		10	25,0	128	88
		15	25,0	317	32
3	W	5	17,2	5	208
		10	24,3	11	192
		15	31,6*	24	62
	WNW	5	19,3	23	157
		10	28,6	55	140
		15	33,3*	126	46
	NW	5	21,2	60	104
		10	32,7*	147	88
		15	33,3*	363	32
2,5	W	5	18,3	5	208
		10	26,6	12	192
		15	34,9*	26	62
	WNW	5	20,7	25	157
		10	31,6*	63	140
		15	40,0*	139	46
	NW	5	23,0	65	104
		10	36,2*	161	88
		15	40,0*	398	32

* Berekende waarde hoger dan de gestelde norm van 30,5 ‰

Tabel 6 Invloed wind op kwaliteit ingelaten water bij inlaatwerk Roggenplaat als gevolg van lozingen dichtbij ($C_2 = 10$ ‰)



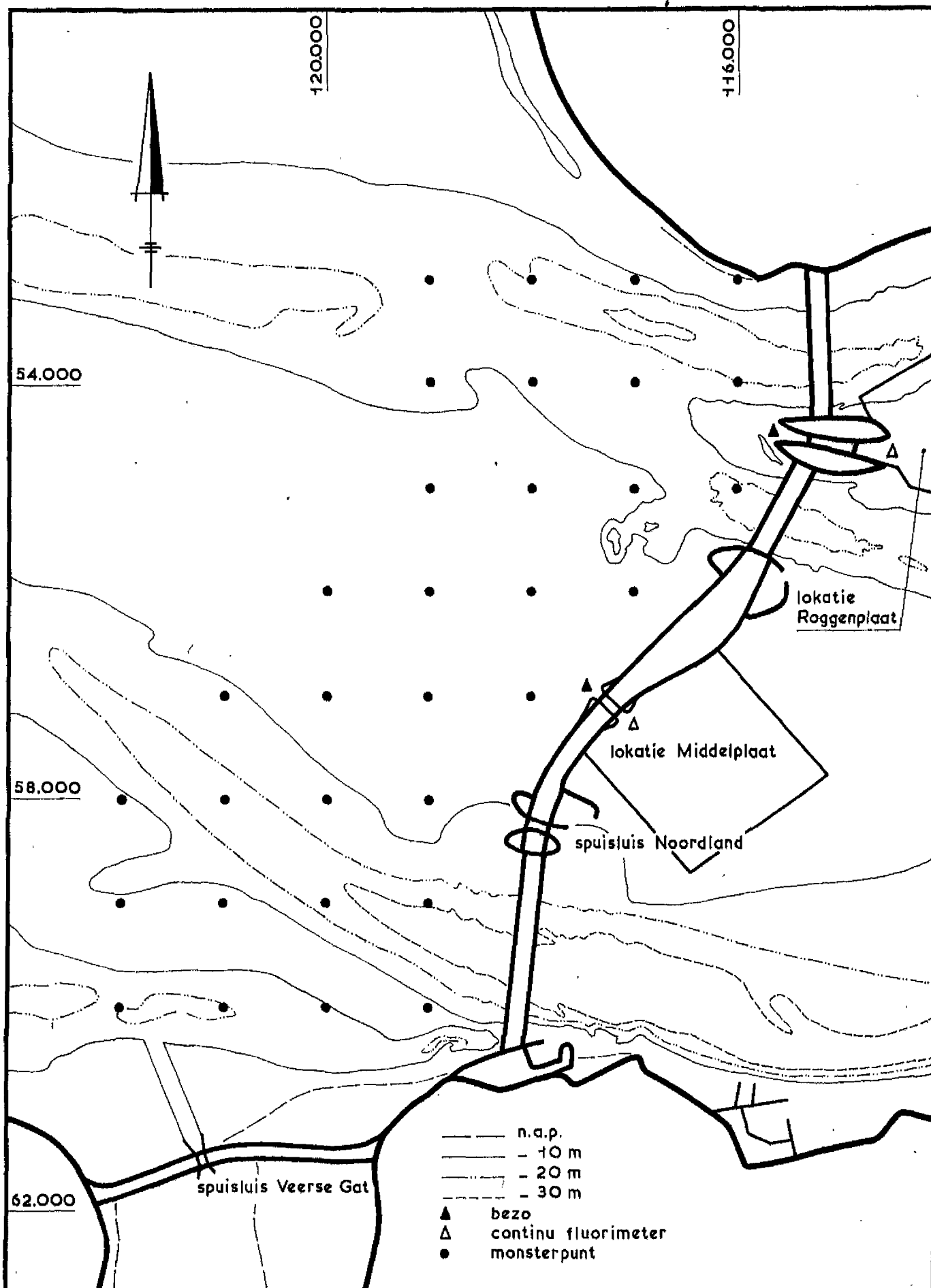
OVERZICHT PROBLEEMGEBIED

schaal 1 : 200.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 1



OVERZICHT MEETPUNTEN

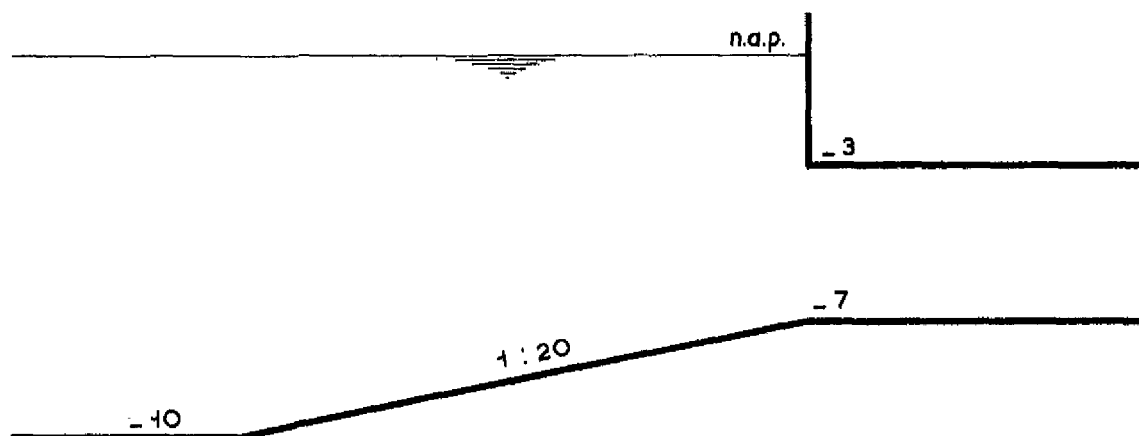
schaal 1 : 50.000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

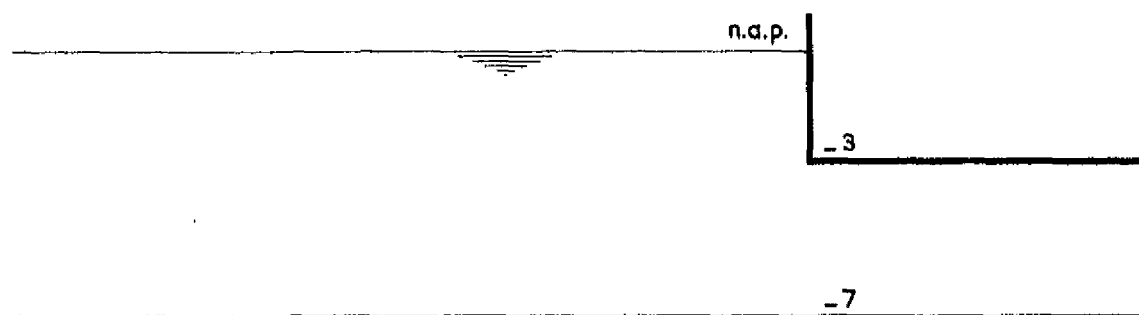
M. 1234

FIG. 2

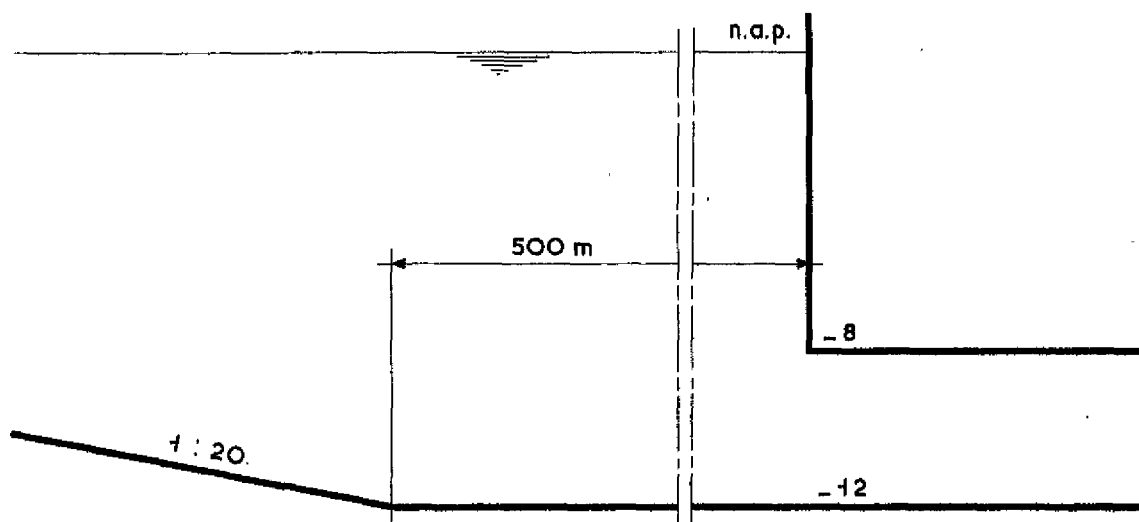
Middelplaat (zeezijde)



Roggenplaat ondiep (zeezijde)



Roggenplaat diep (zeezijde)

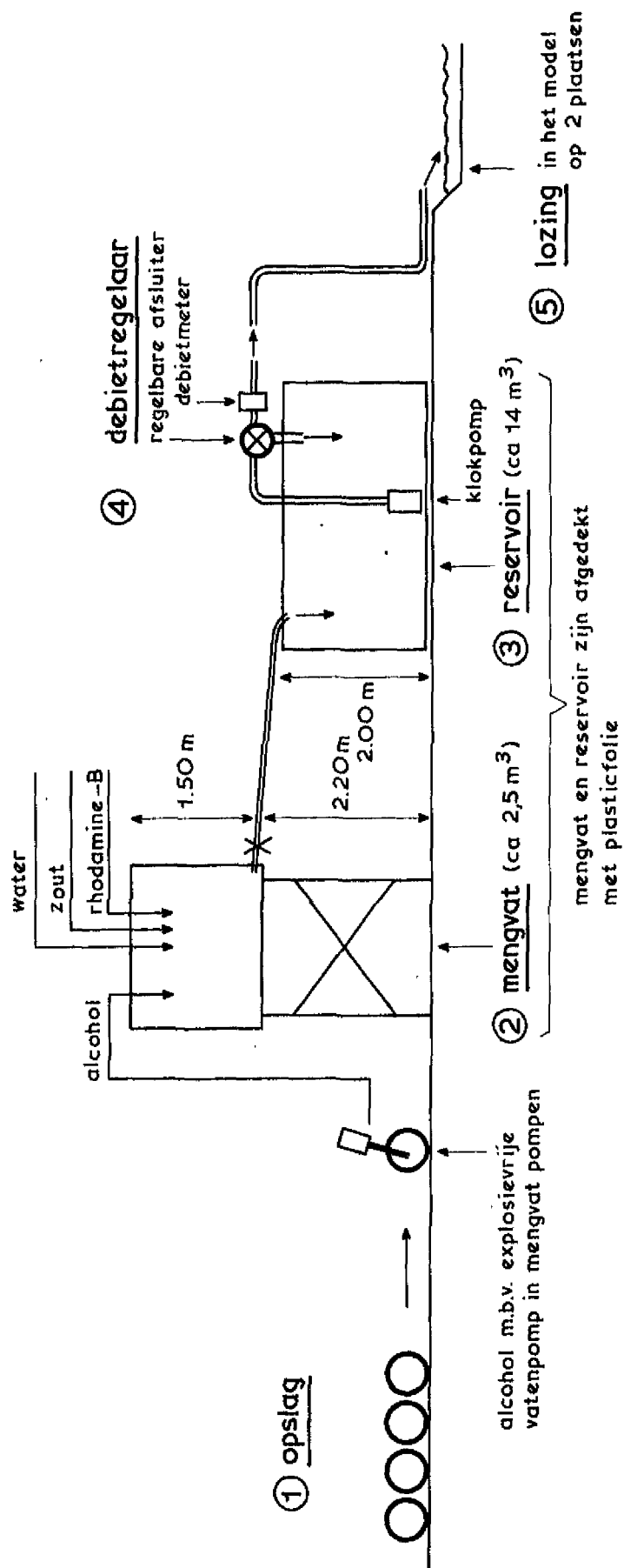


DWARSDOORSNEDEN INLAATWERKEN

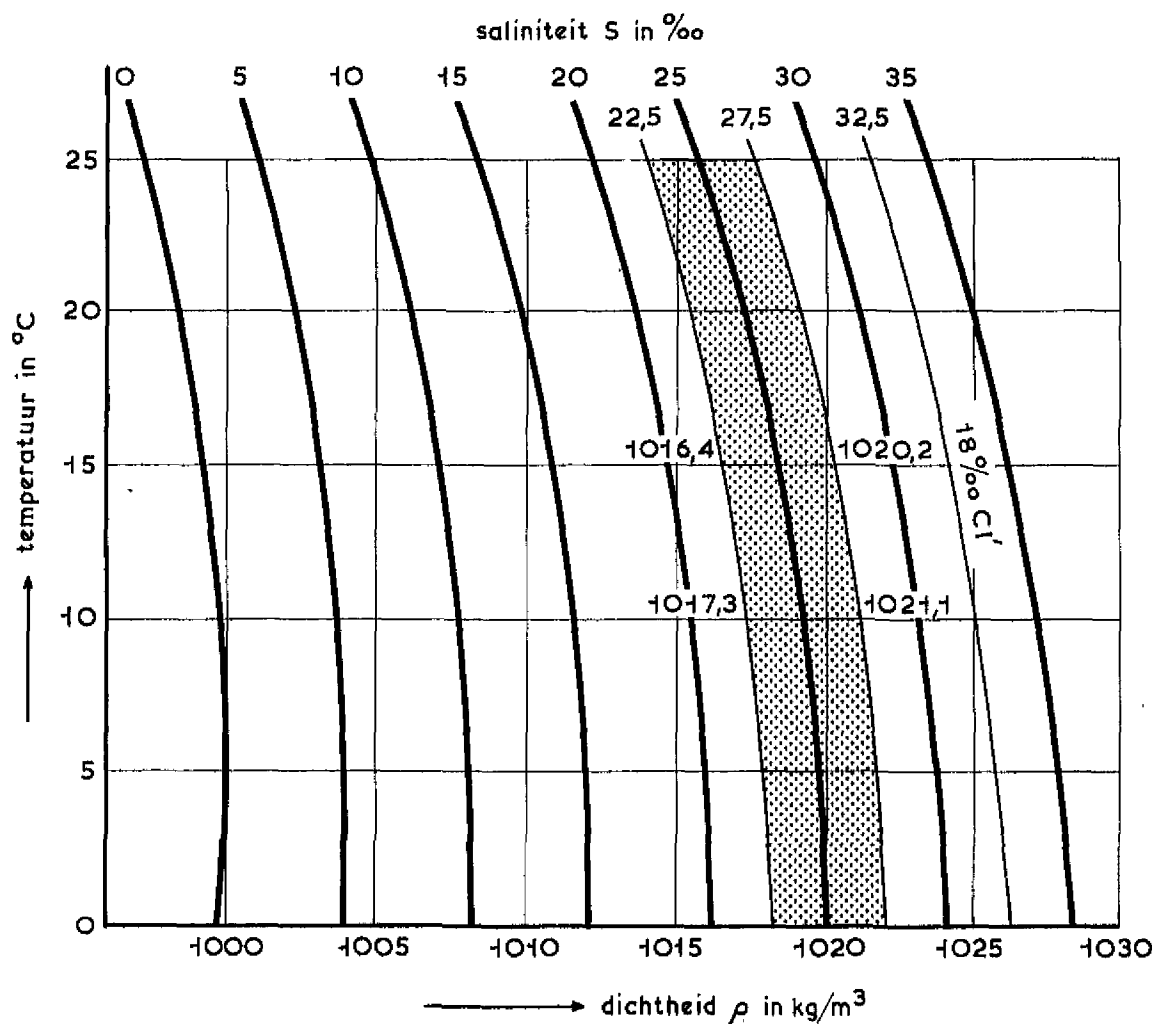
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 3



OUTILLAGE LOZING ALCOHOL-WATERMENGSEL



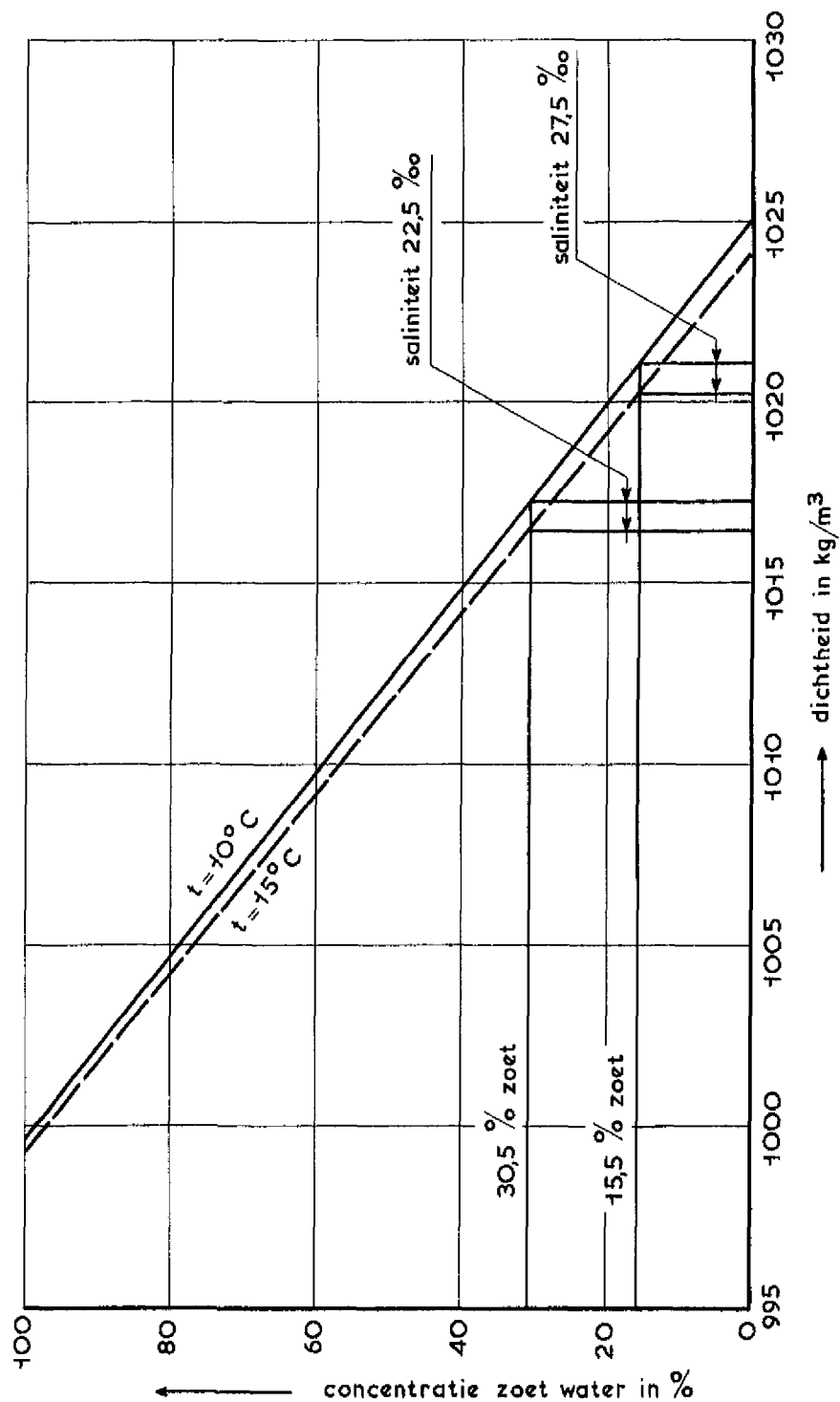
bron: Hydrographical tables van Knudsen, waarbij $S = 1,80655 \text{ Cl'}$

RELATIE SALINITEIT-DICHTHEID ALS FUNCTIE
VAN TEMPERATUUR

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

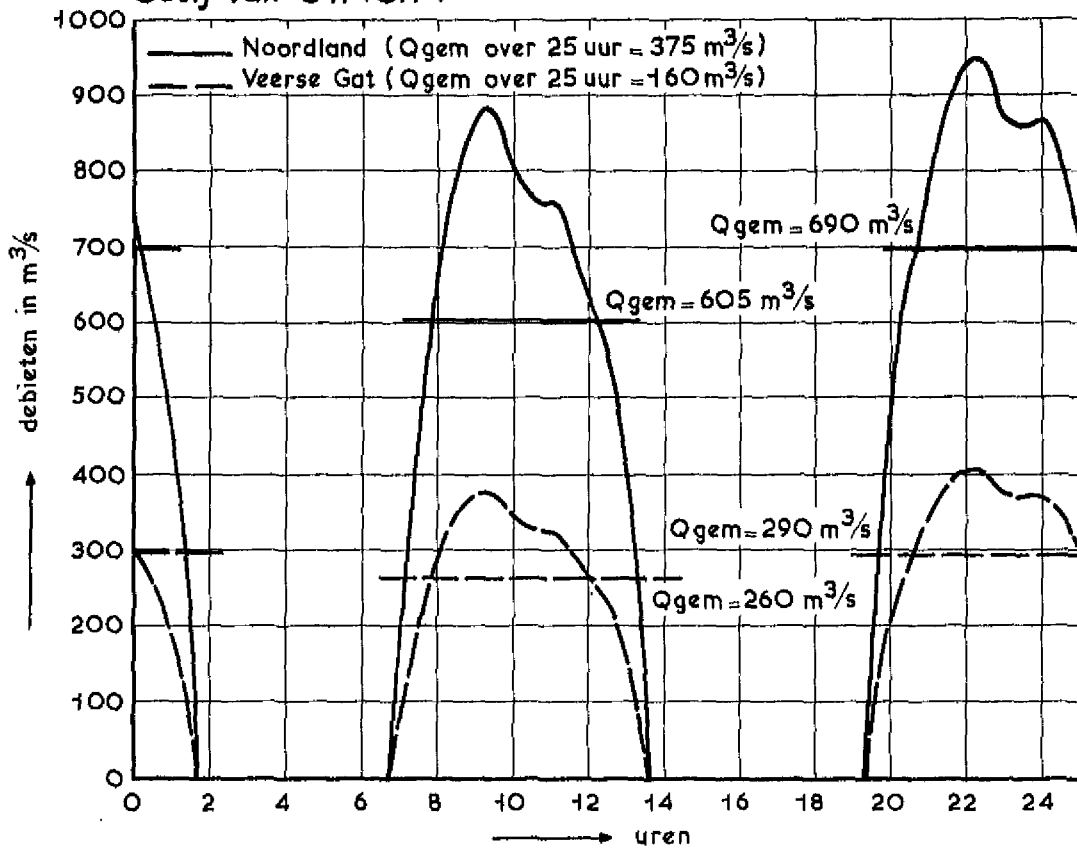
M. 1234

FIG. 5

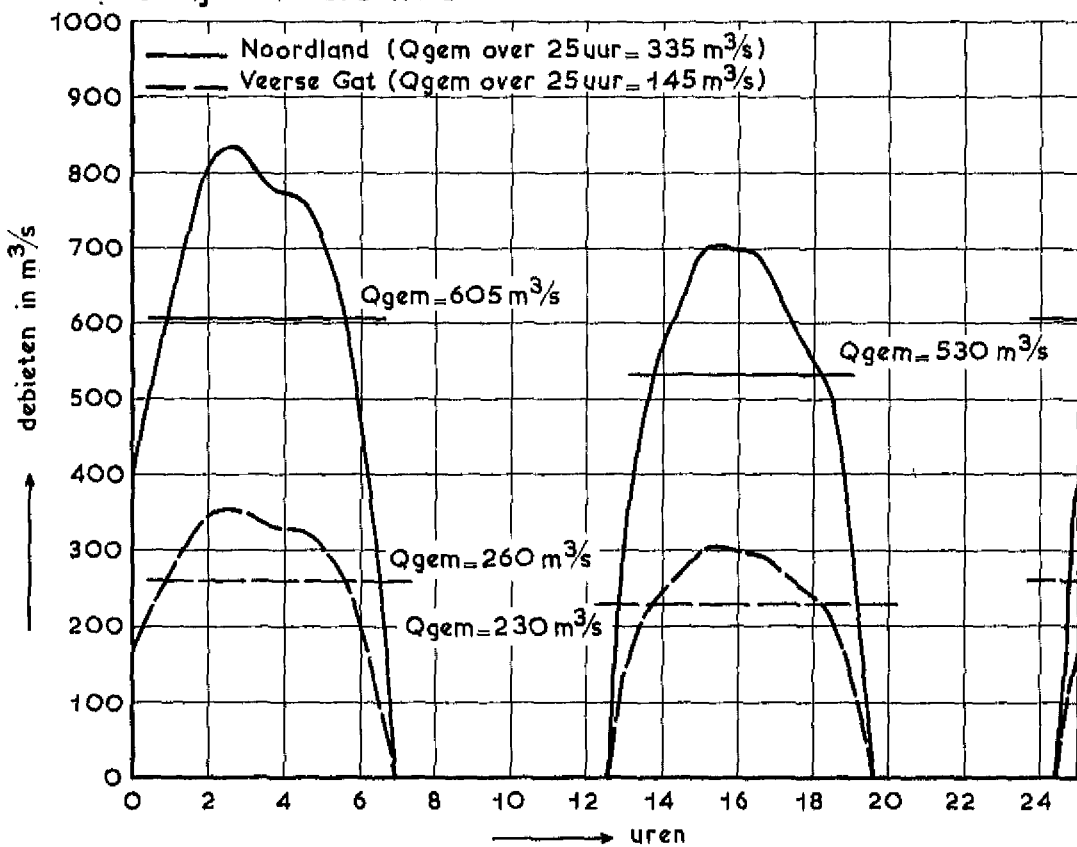


RELATIE DICHTHEID-CONCENTRATIE ZOET
WATER VOOR VERSCHILLENDE TEMPERATUUR

Getij van 07.10.71



Getij van 15.04.70



DEBIETEN SPUISLUIZEN

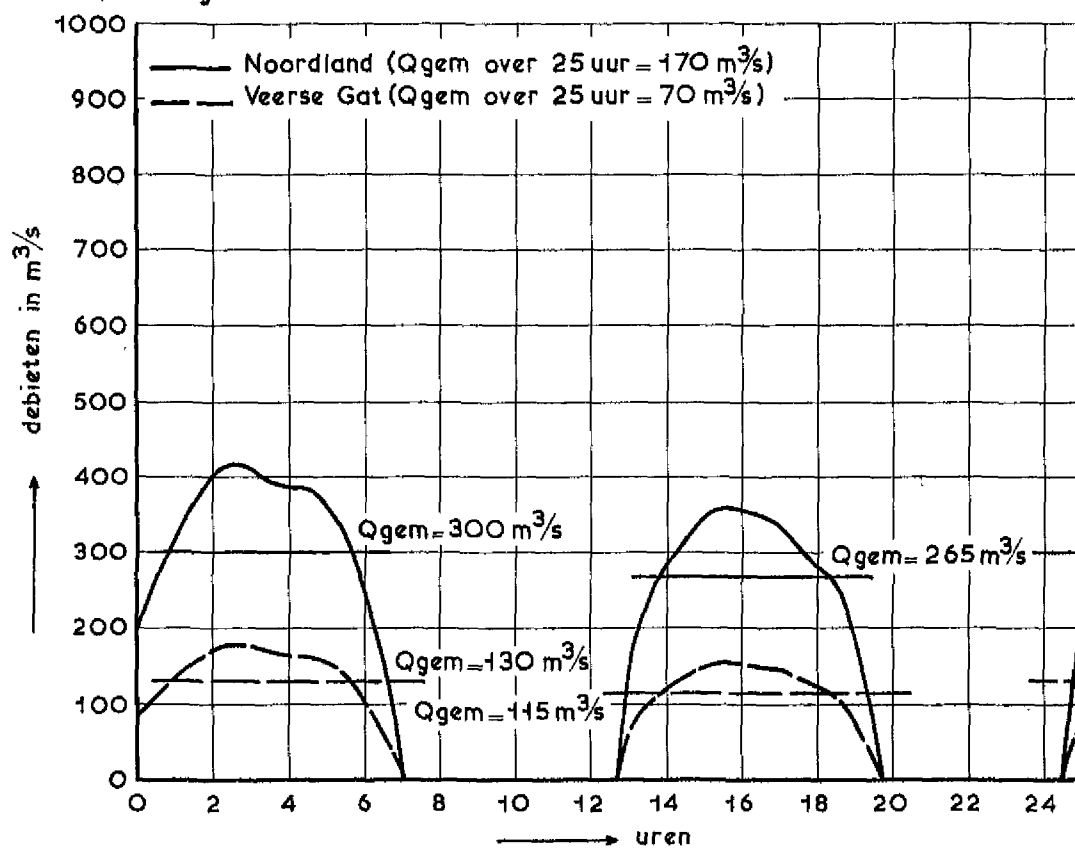
GEFORCEERD

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 7

Getij van 15.04.70



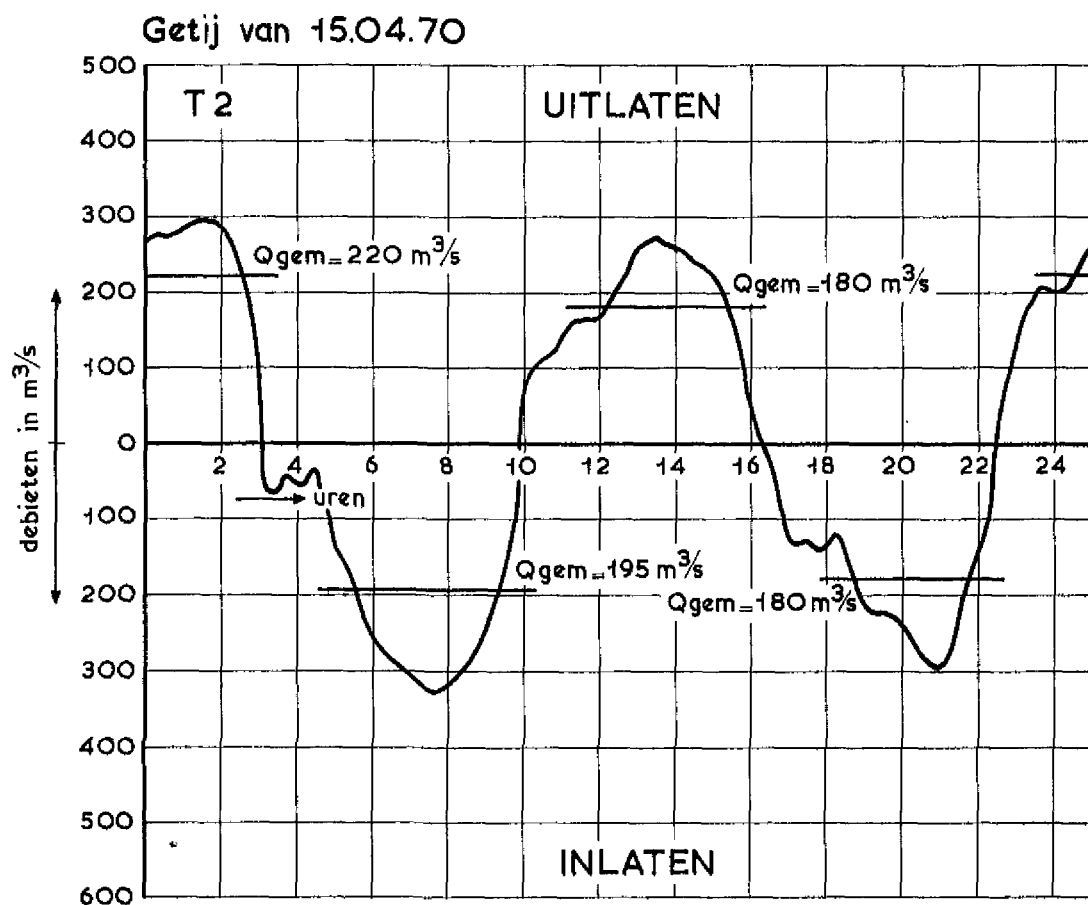
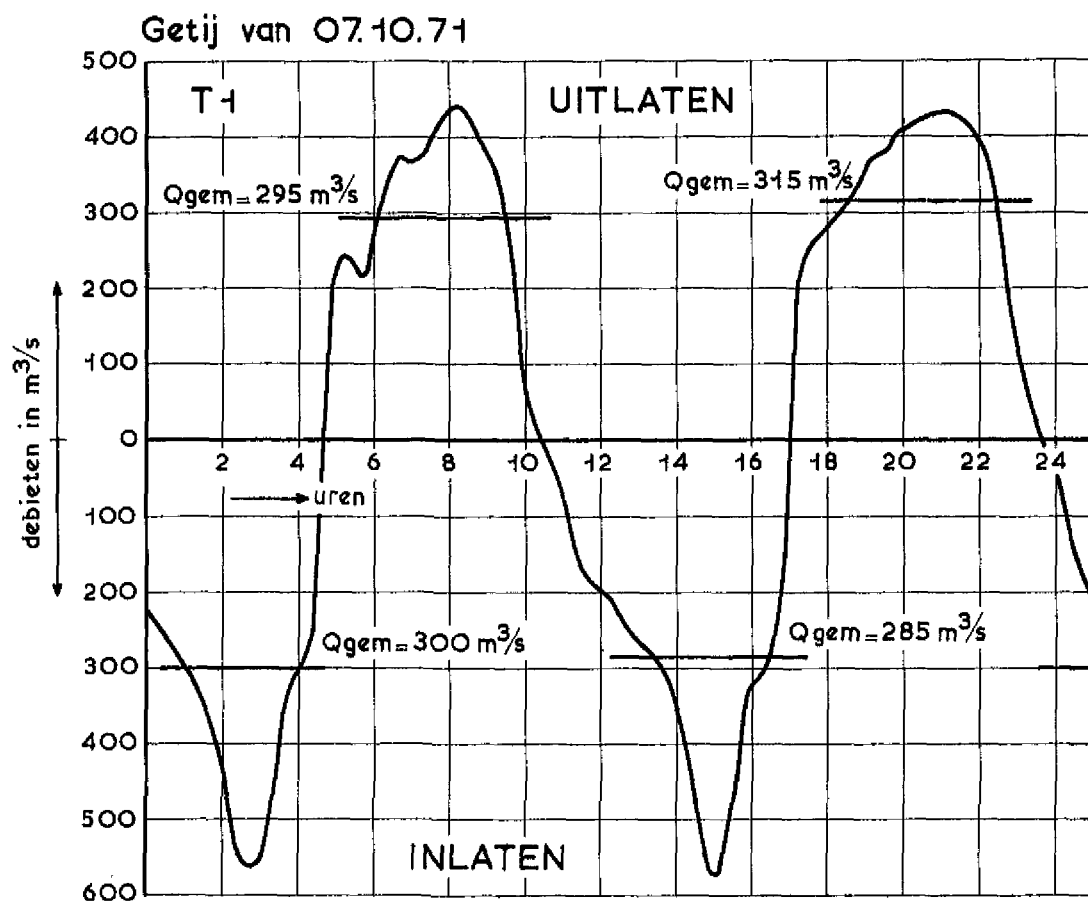
DEBIETEN SPUISLUIZEN

NORMAAL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 8



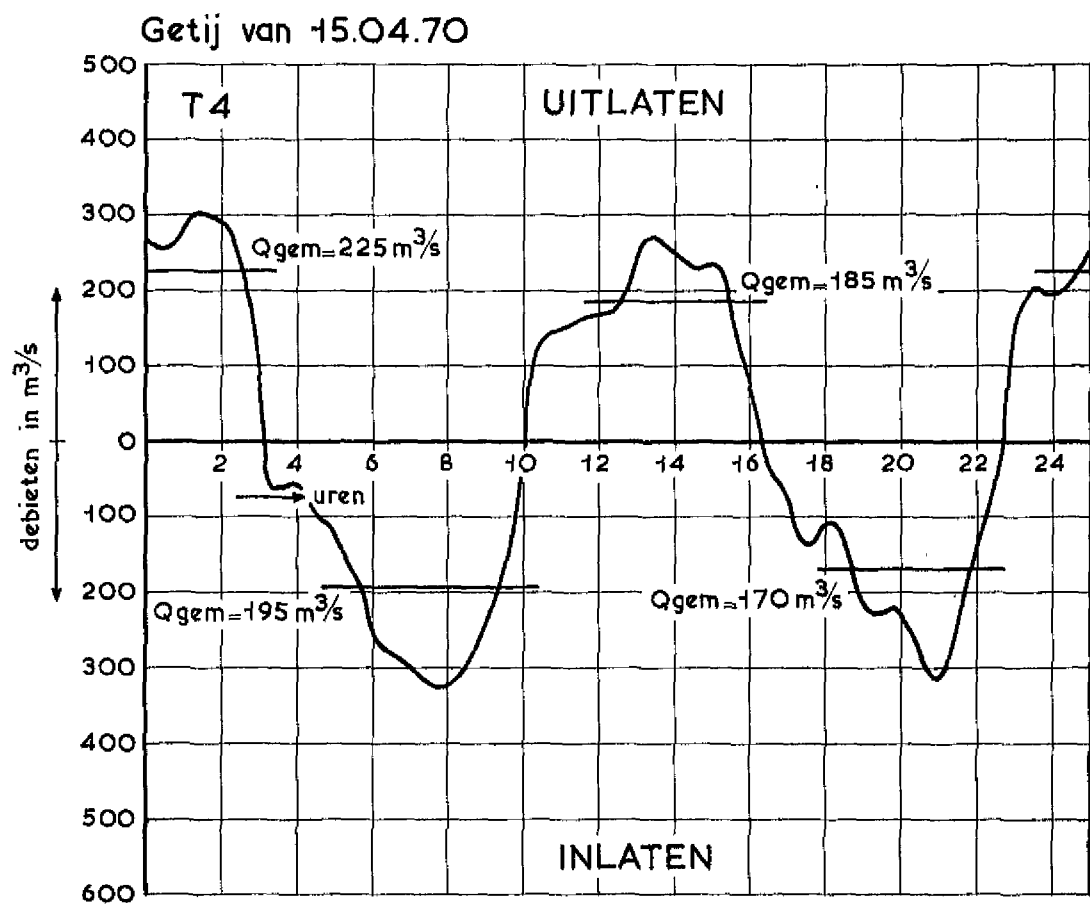
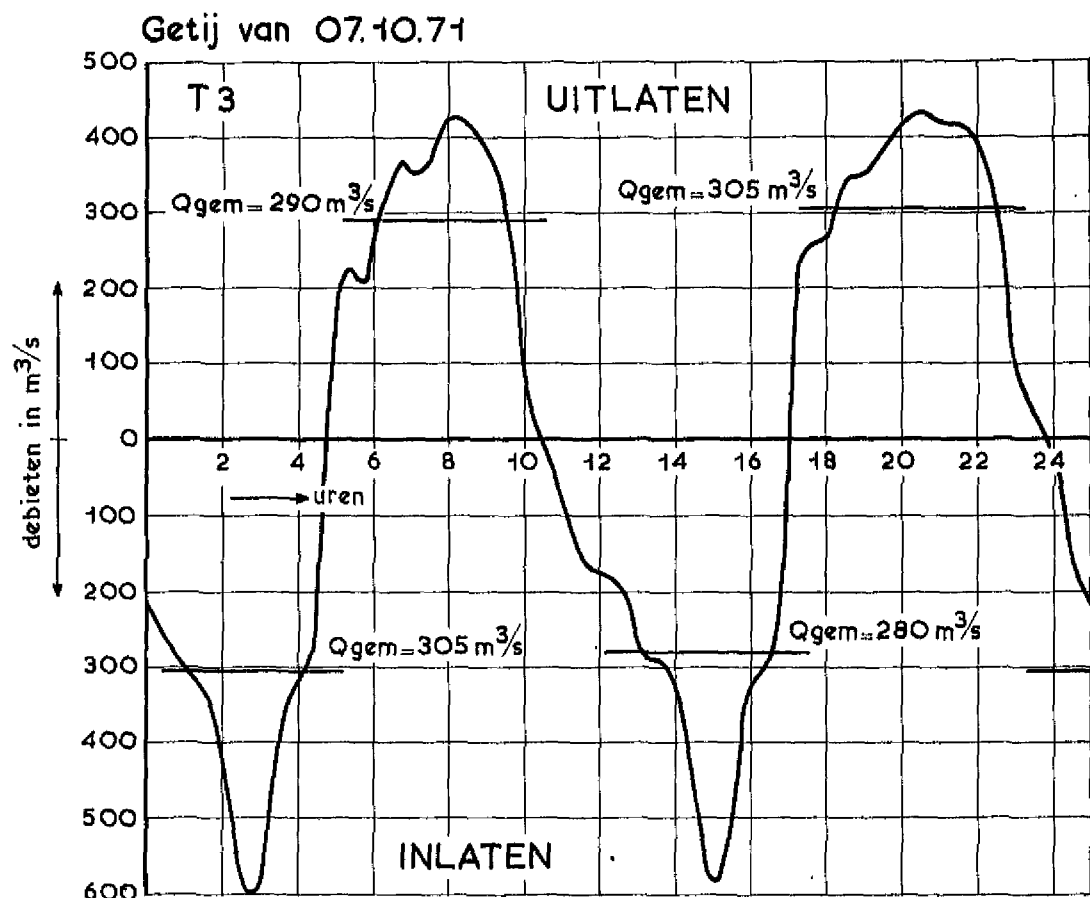
DEBIETEN INLAATWERK

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

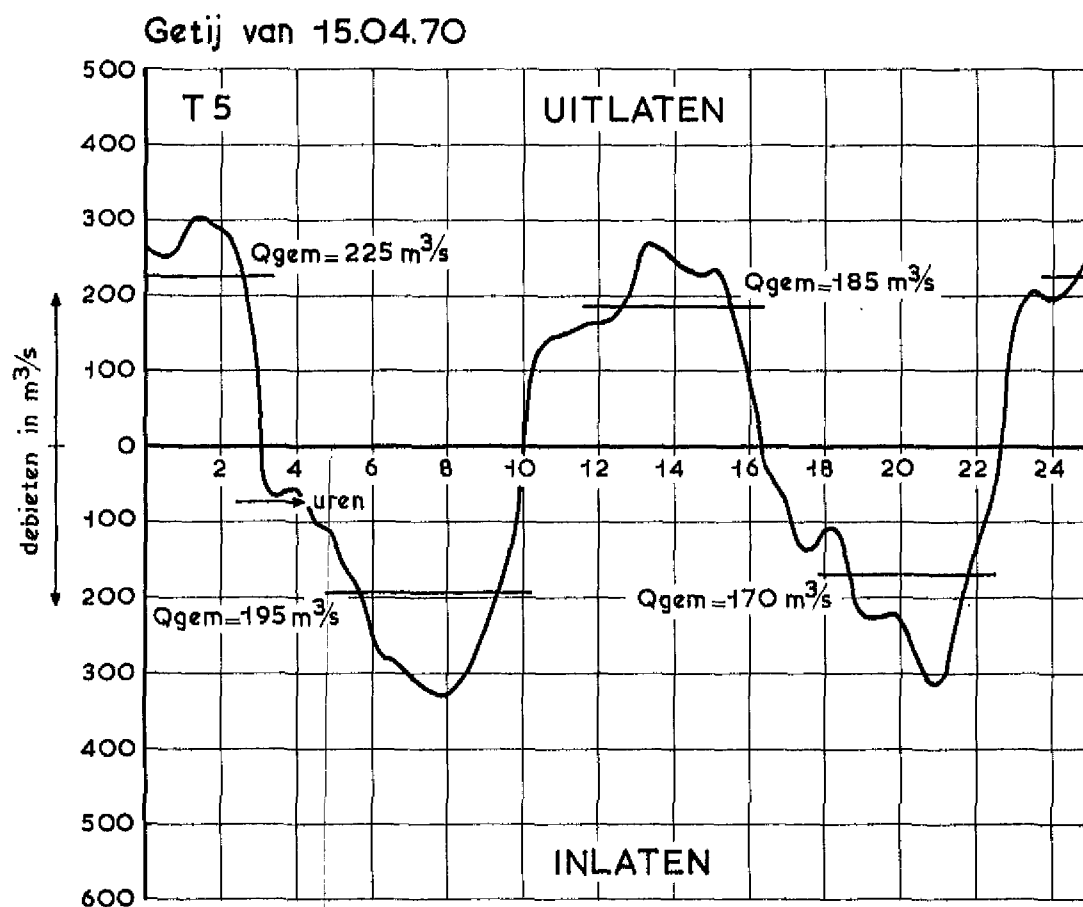
M. 1234

FIG. 9



DEBIETEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT



DEBIETEN INLAATWERK

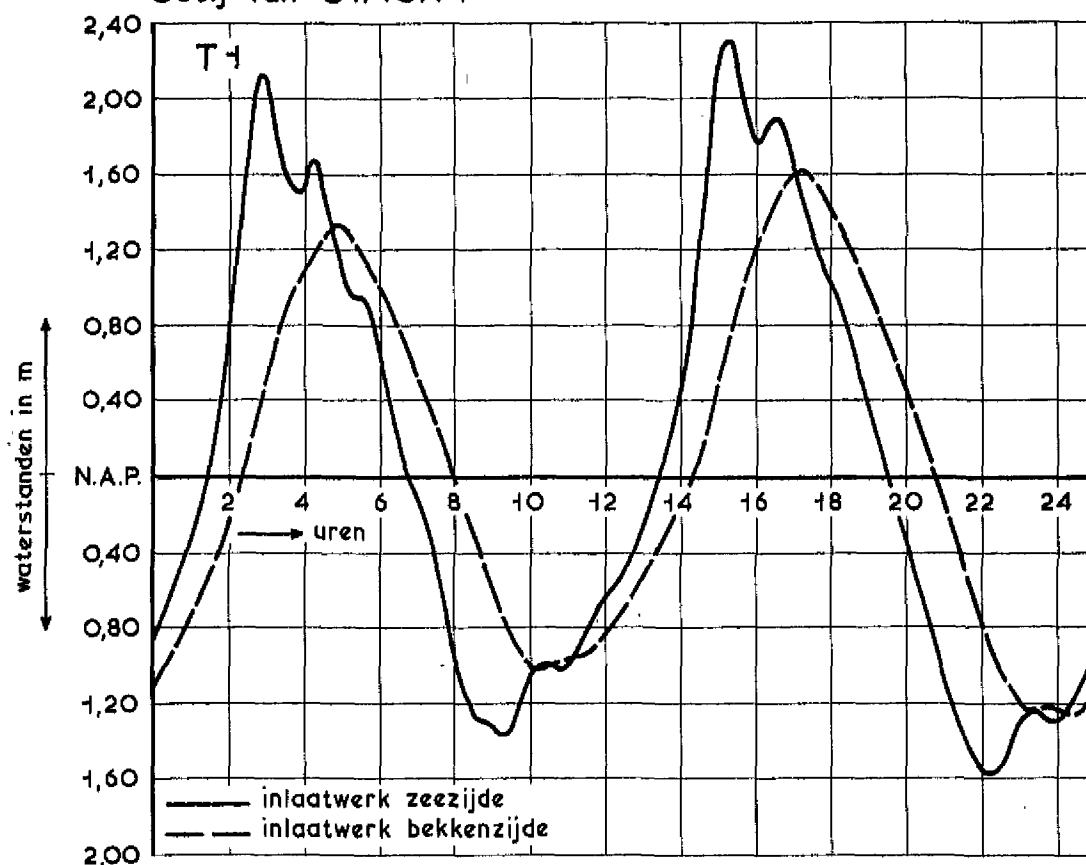
ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

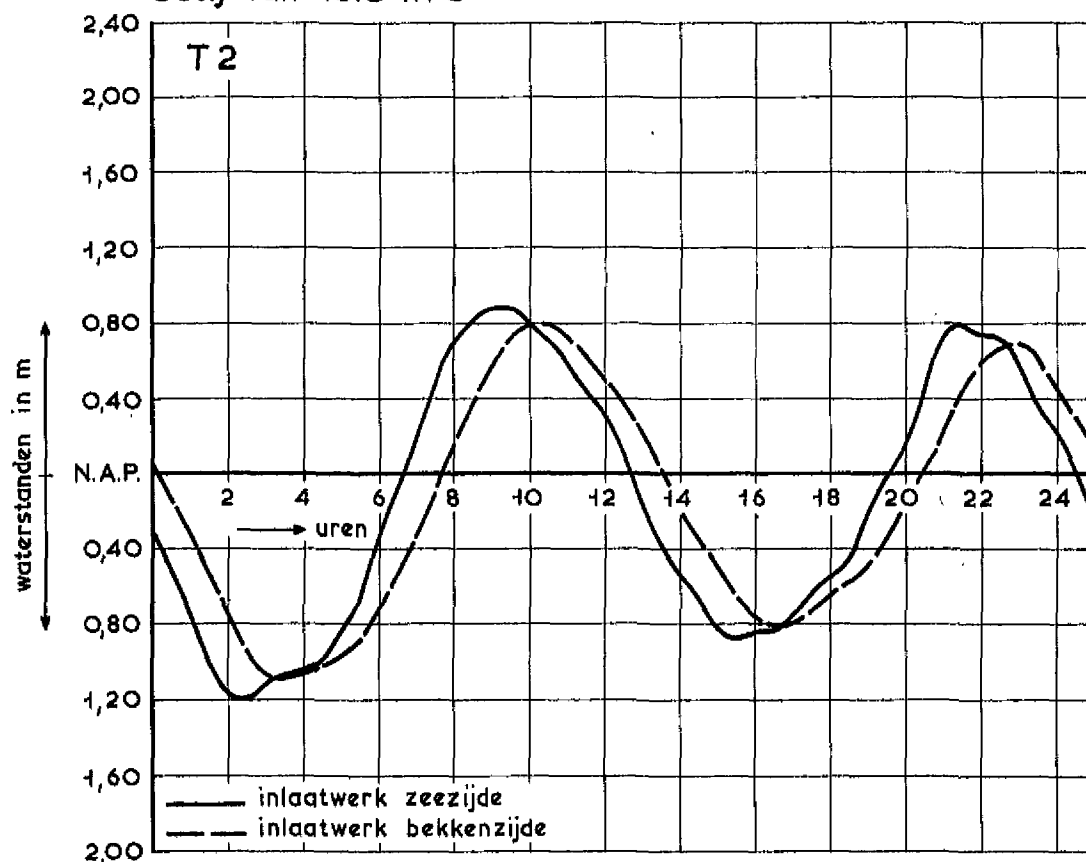
M. 1234

FIG. 11

Getij van 07.10.71



Getij van 15.04.70



WATERSTANDEN

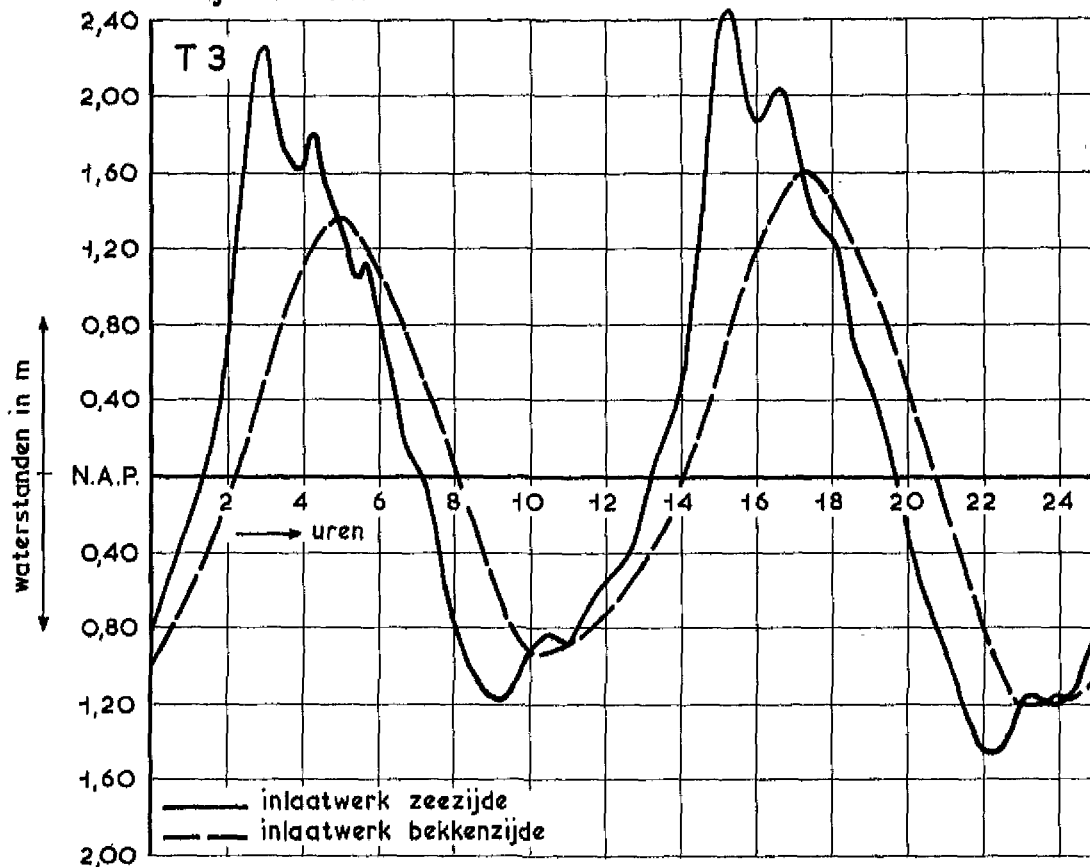
MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

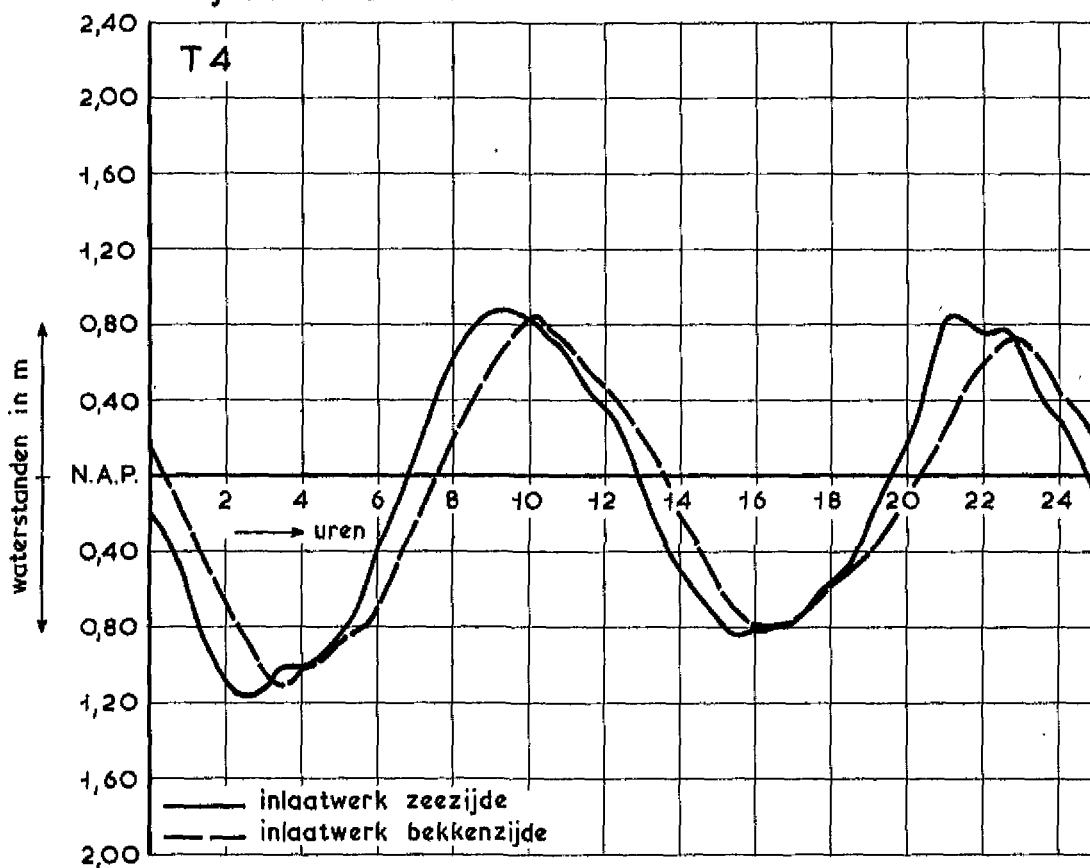
M. 1234

FIG. 12

Getij van 07.10.71



Getij van 15.04.70



WATERSTANDEN

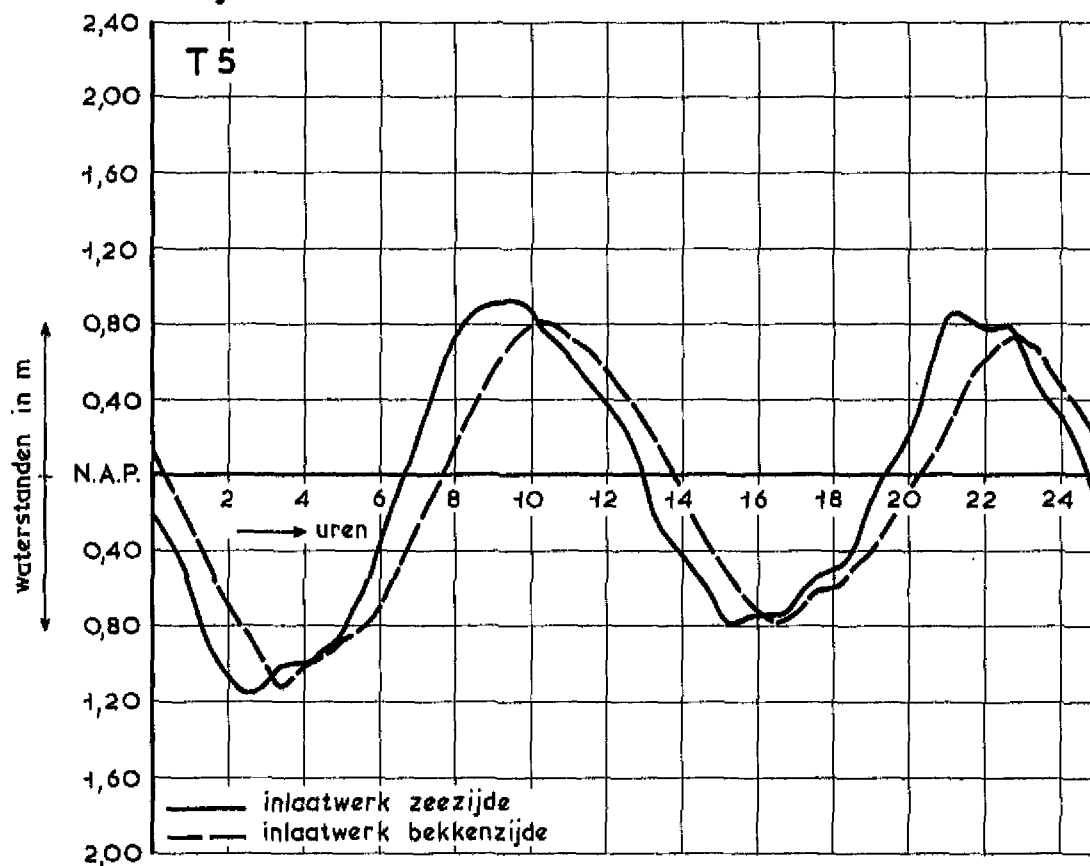
ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 13

Getij van 15.04.70



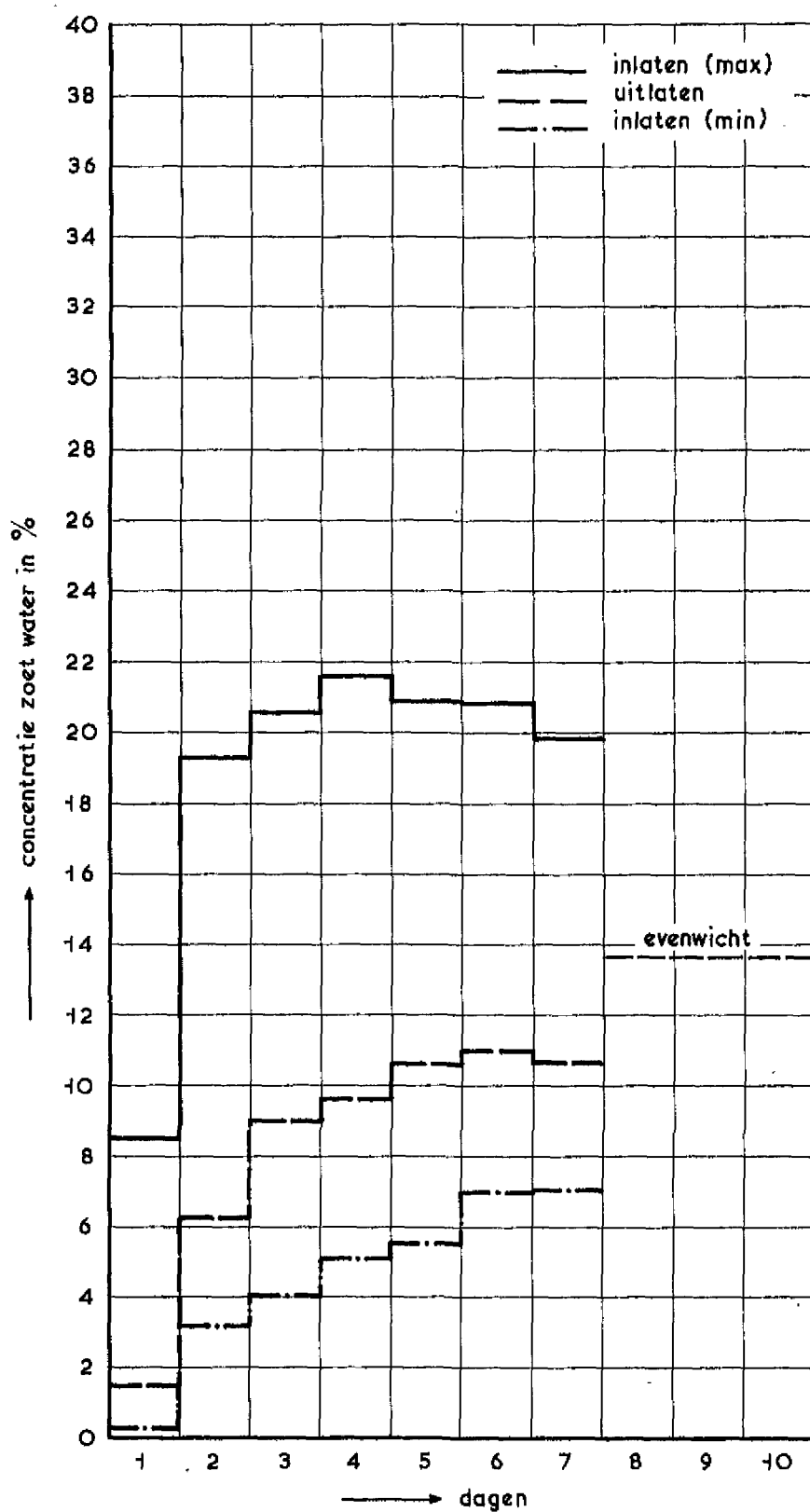
WATERSTANDEN

ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 14



CONCENTRATIE ZOET WATER OP HET BEKKEN
NABIJ HET INLAATWERK

T 1

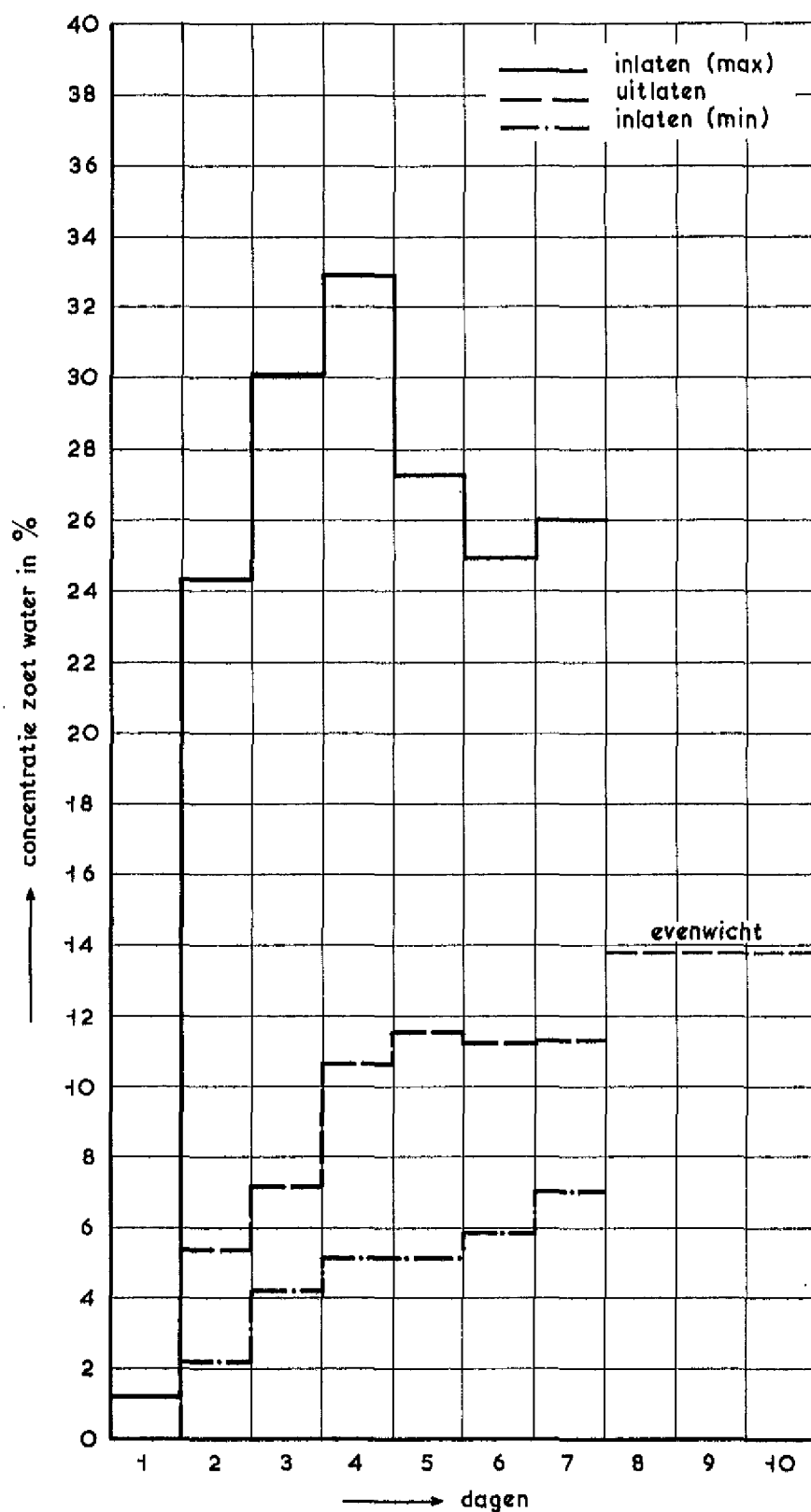
07.10.71

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 15



CONCENTRATIE ZOET WATER OP HET BEKKEN
NABIJ HET INLAATWERK

T 2

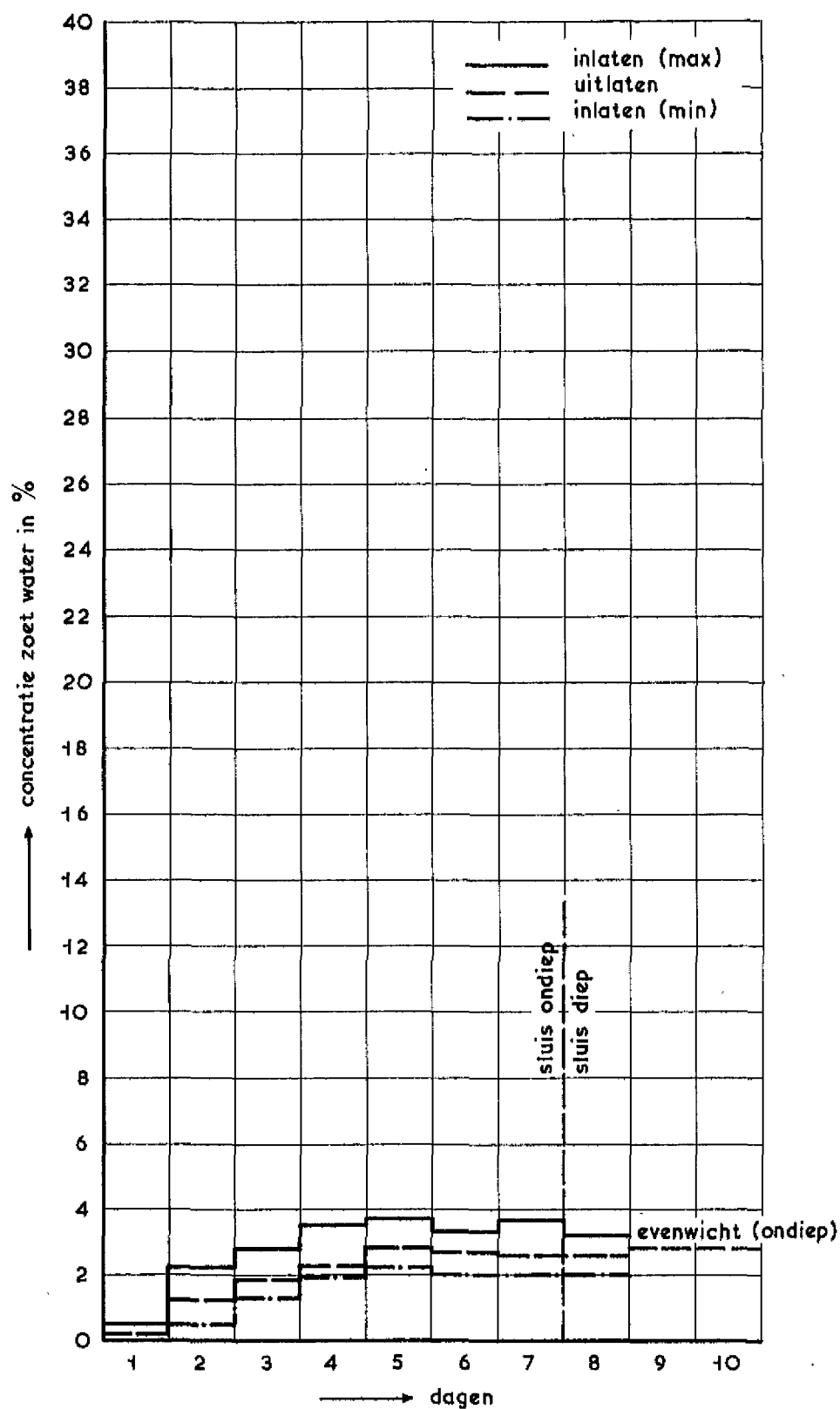
15.04.70

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 16



CONCENTRATIE ZOET WATER OP HET BEKKEN
NABIJ HET INLAATWERK

T 3

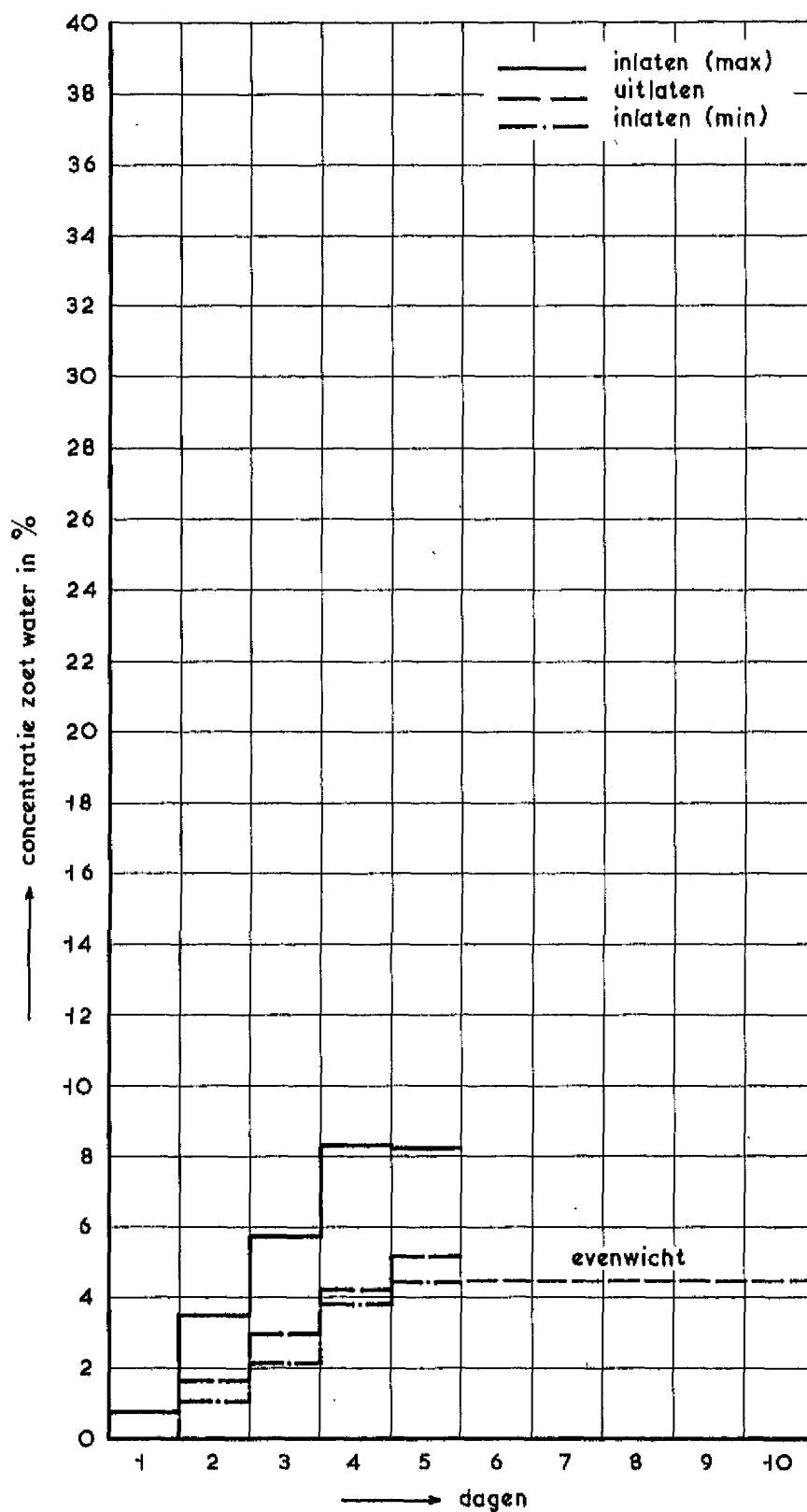
07.10.71

ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 17



CONCENTRATIE ZOET WATER OP HET BEKKEN
NABIJ HET INLAATWERK

T 4

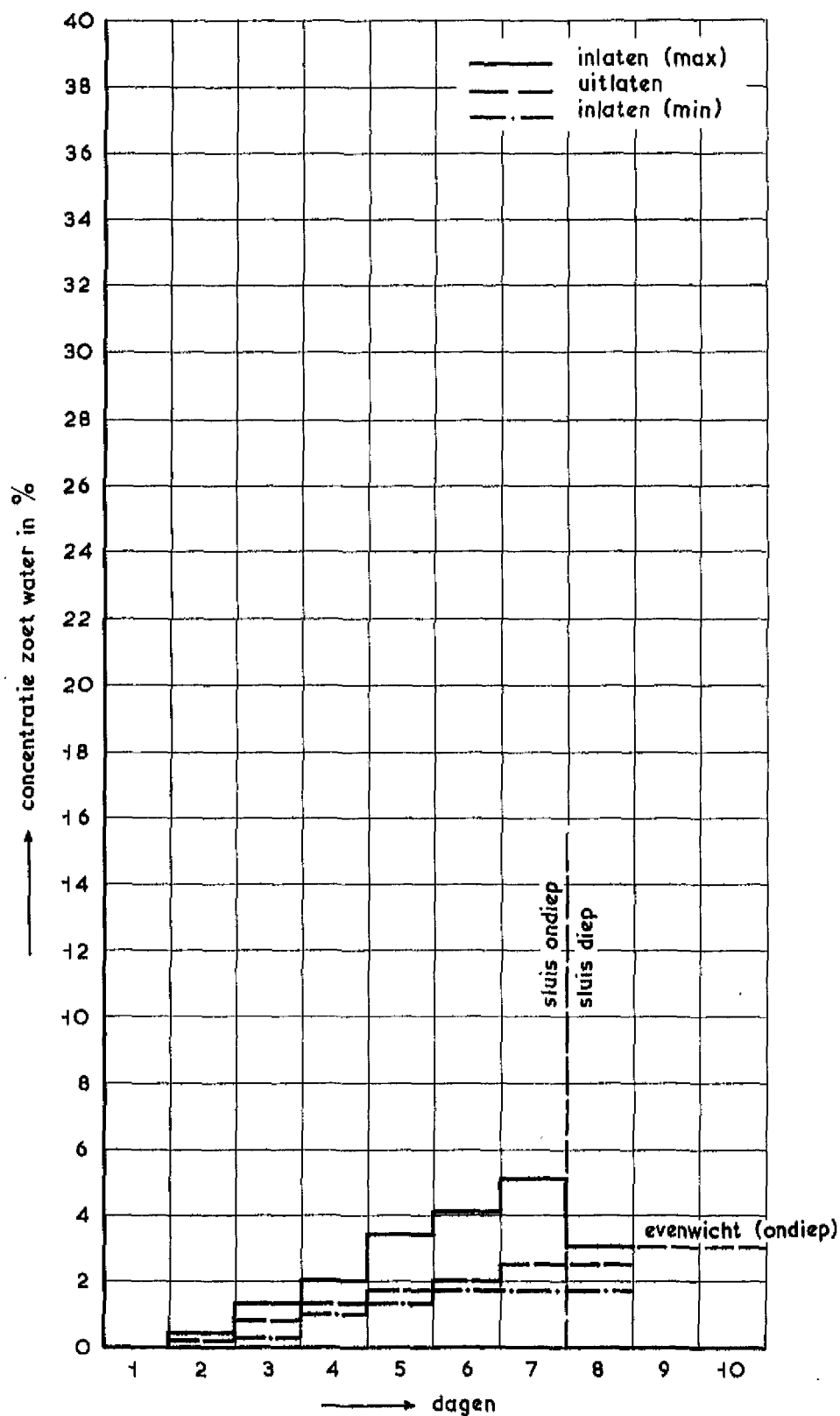
15.04.70

ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 18



CONCENTRATIE ZOET WATER OP HET BEKKEN
NABIJ HET INLAATWERK

T 5

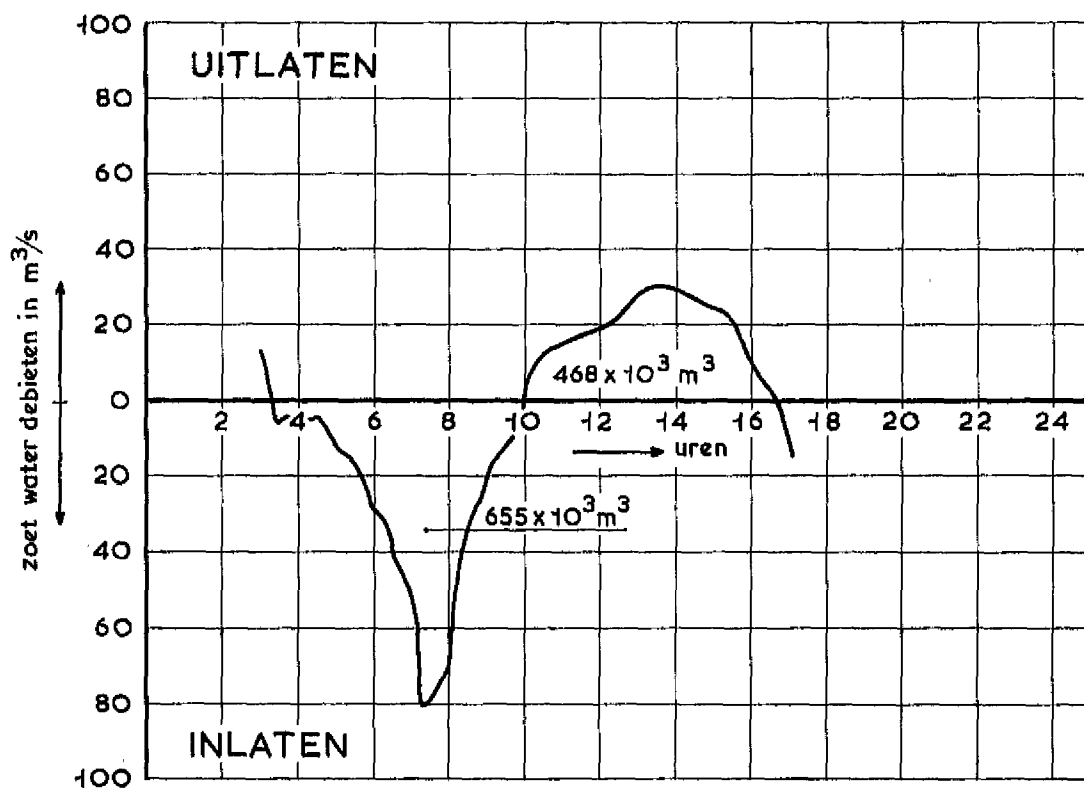
15.04.70

ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 19



ZOET-WATER DEBIETEN INLAATWERK

T 2

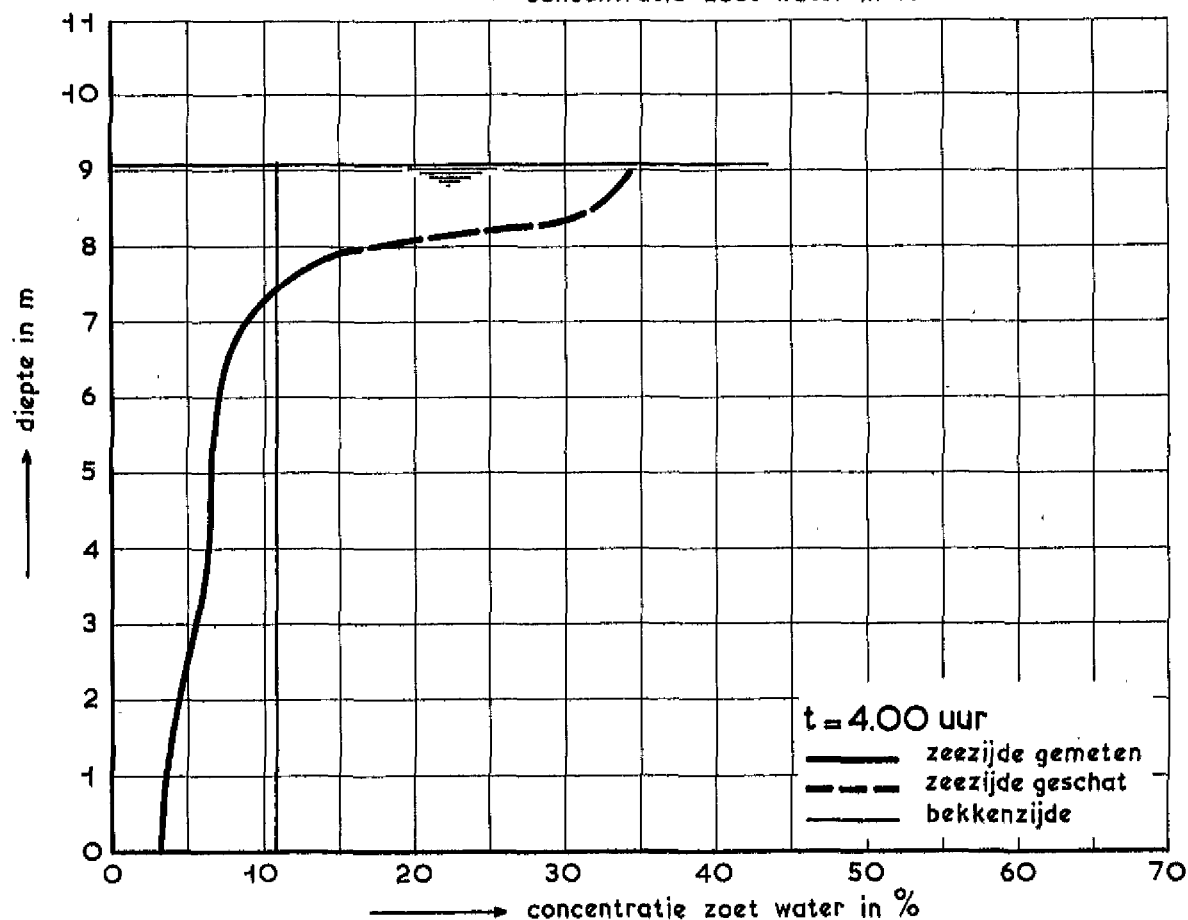
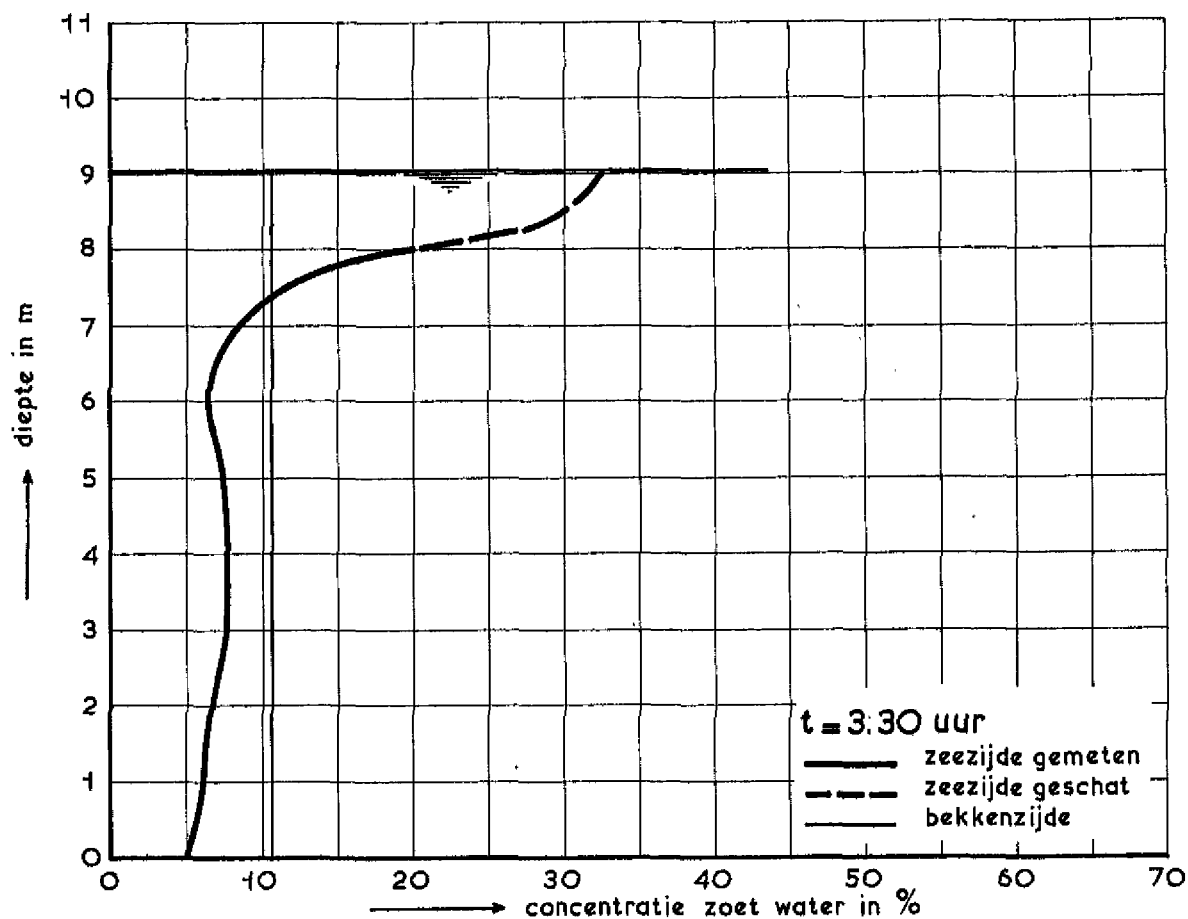
15.04.70

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 20



CONCENTRATIEVERDELINGEN AAN WEERS-
ZIJDEN VAN HET INLAATWERK

T 2

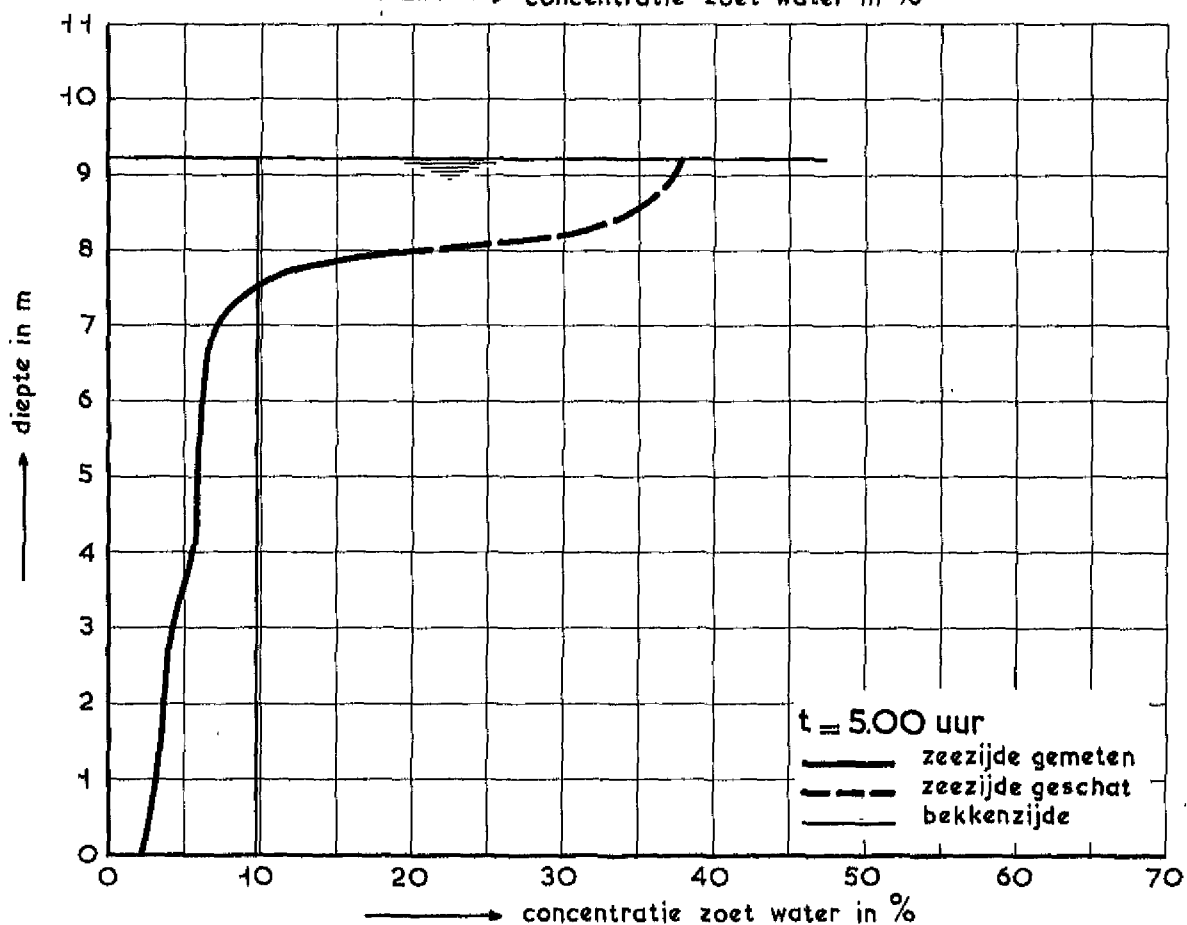
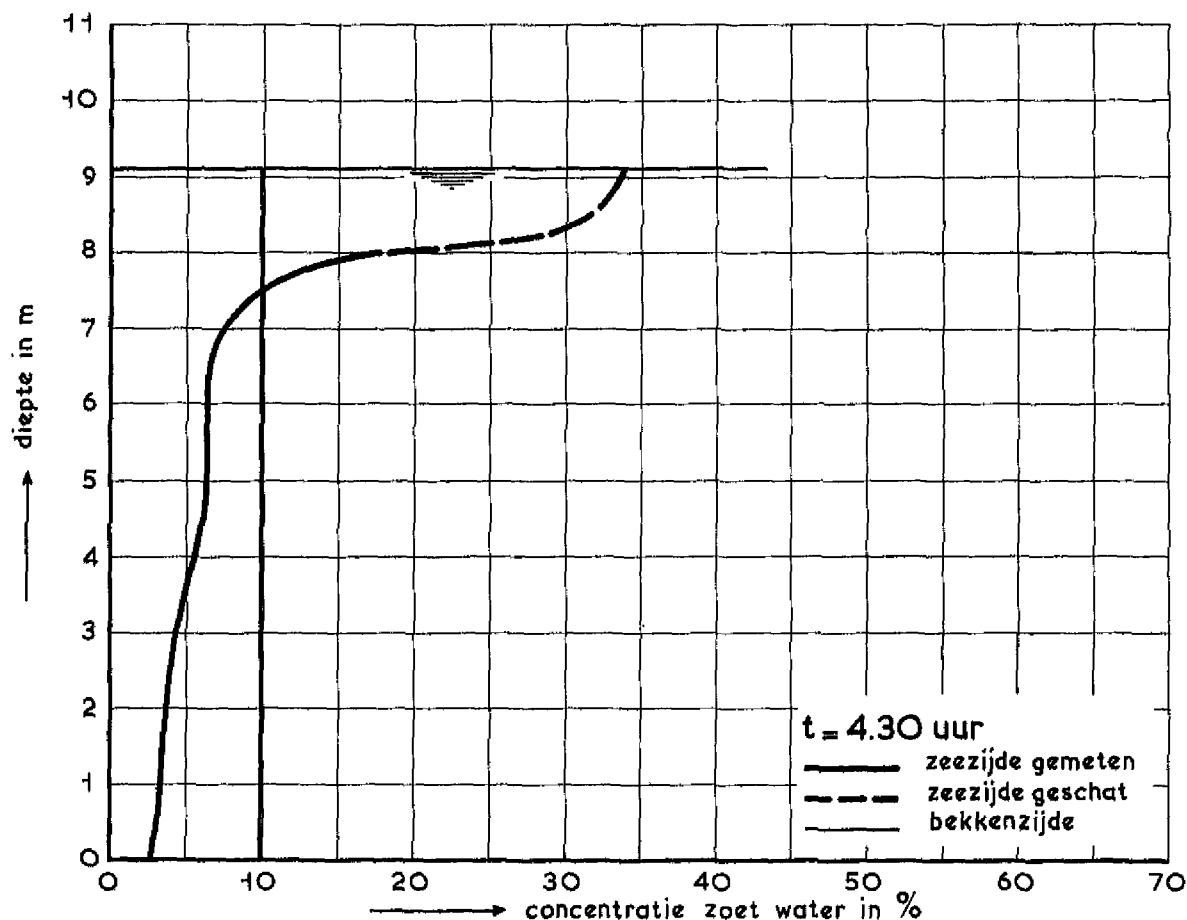
15.04.70

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 21



CONCENTRATIEVERDELINGEN AAN WEERS-
ZIJDEN VAN HET INLAATWERK

T 2

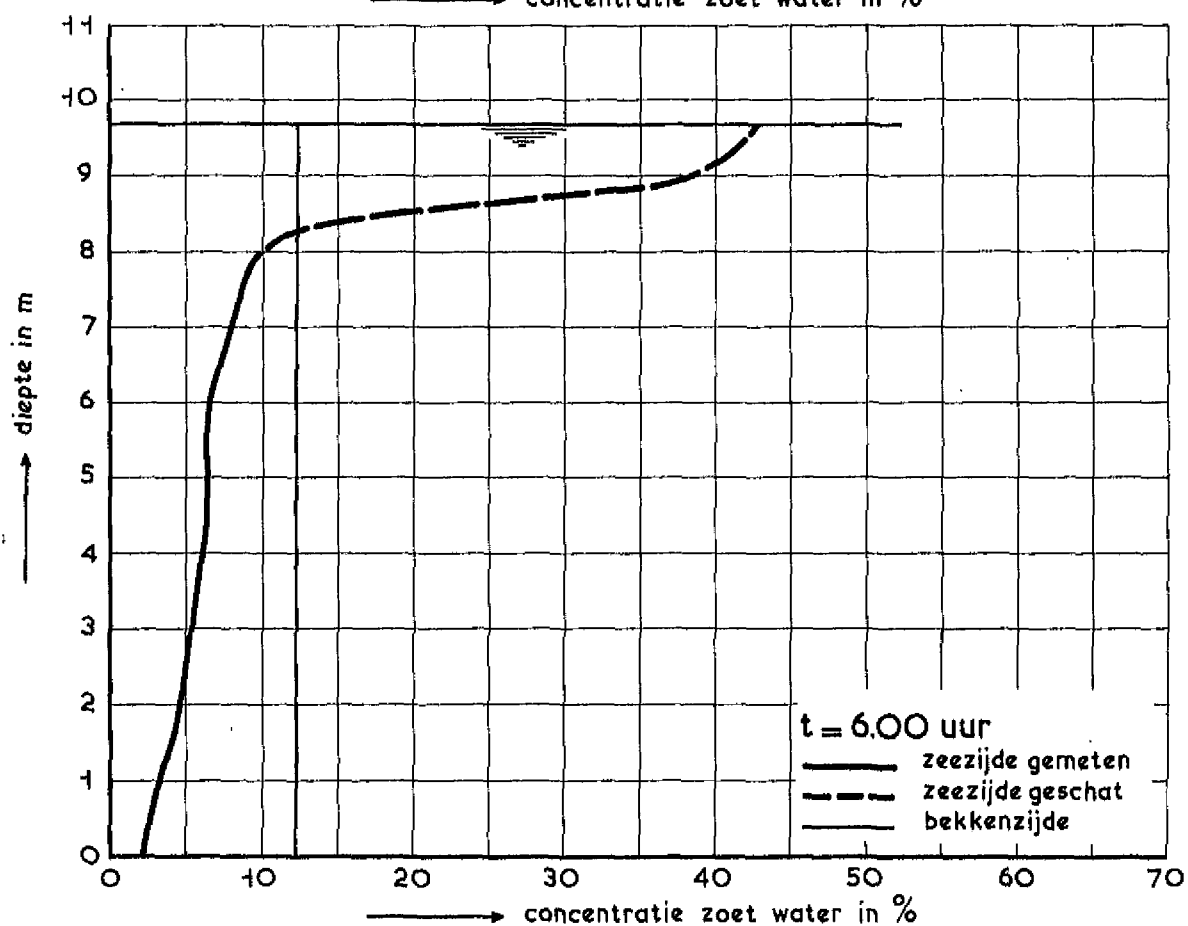
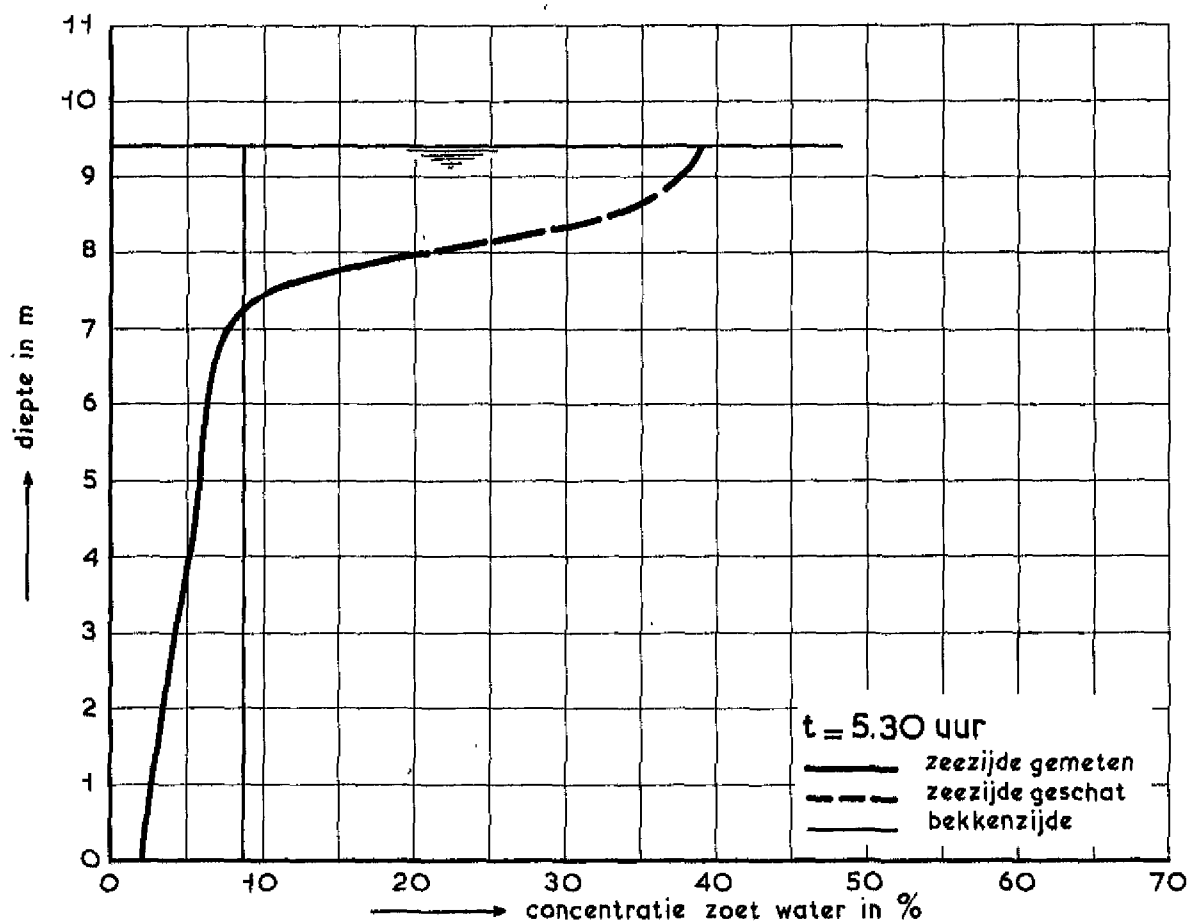
15.04.70

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 22



CONCENTRATIEVERDELINGEN AAN WEERS –
ZIJDEN VAN HET INLAATWERK

T 2

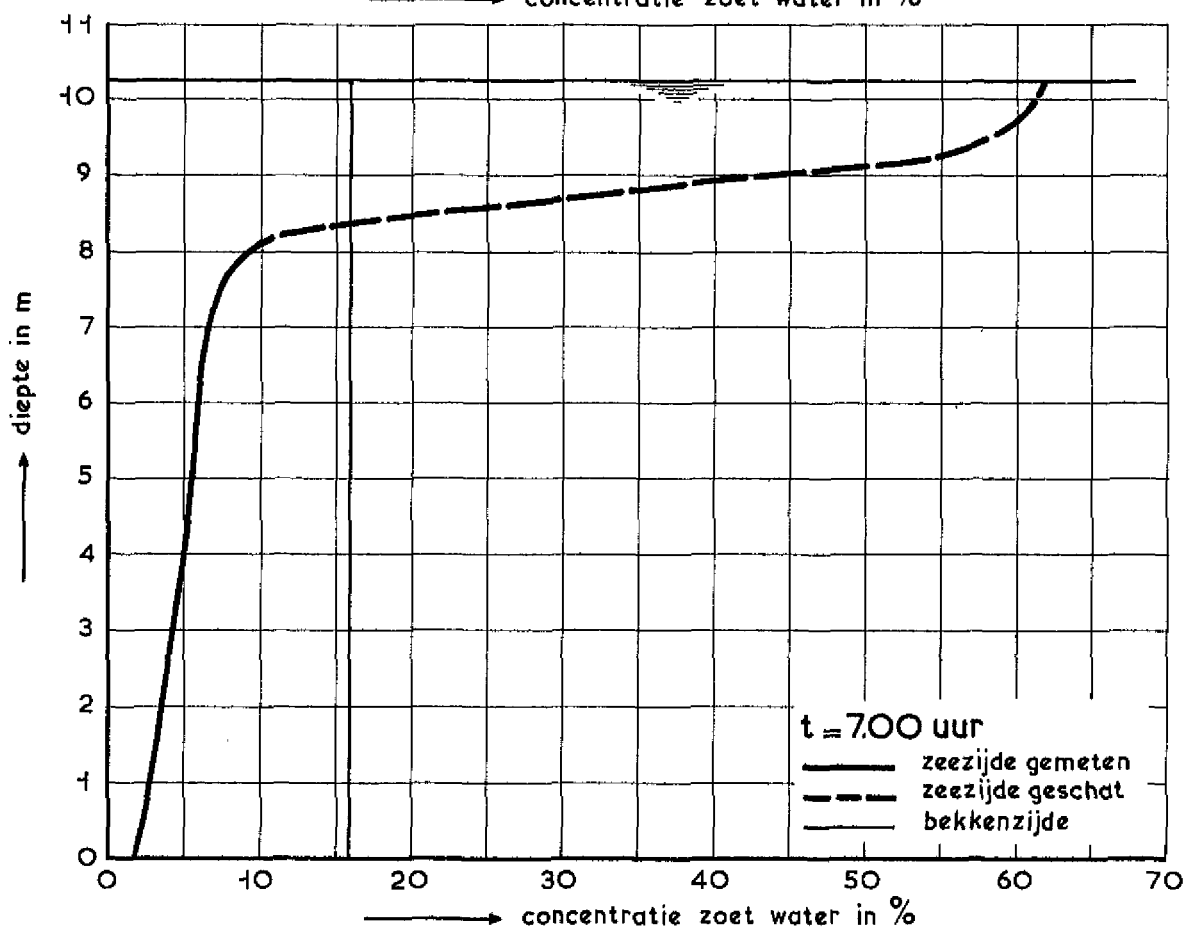
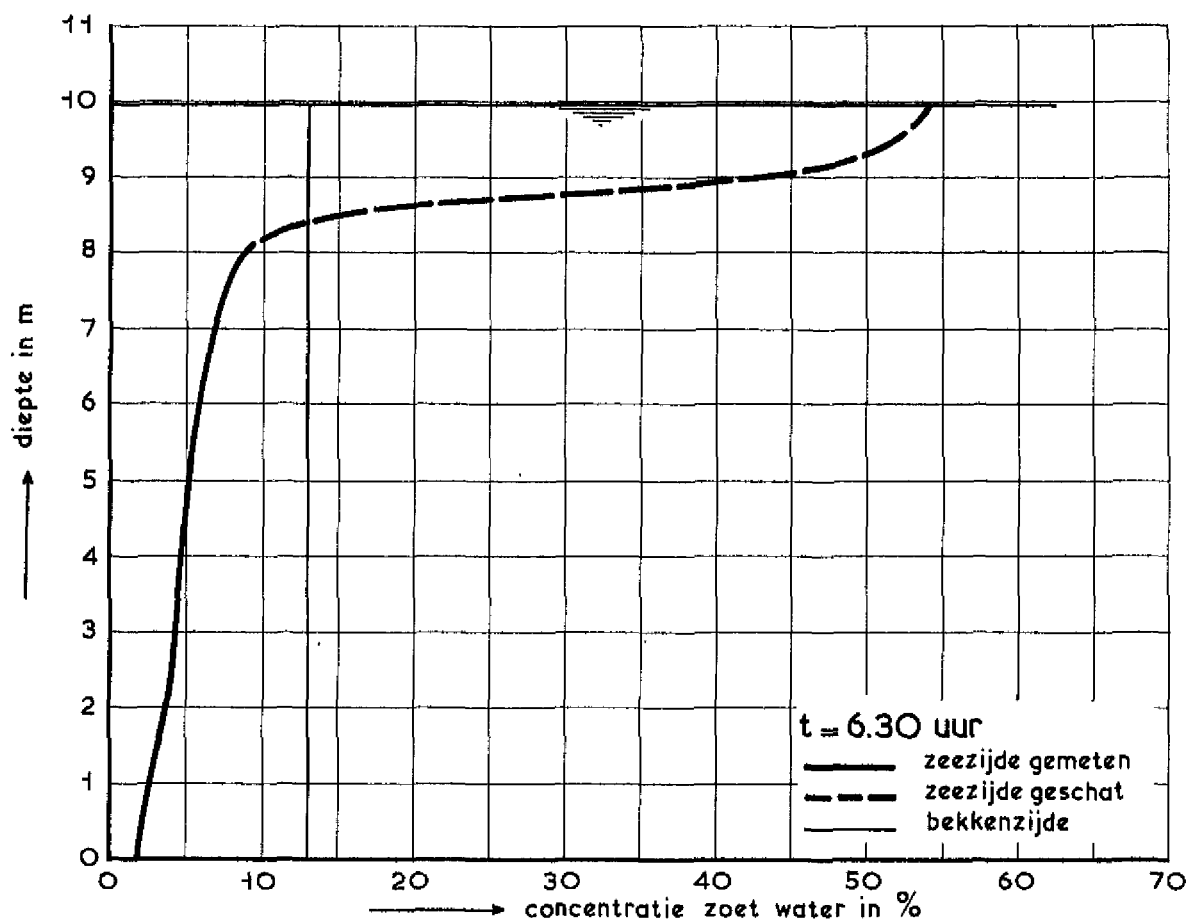
15.04.70

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 4234

FIG. 23



CONCENTRATIEVERDELINGEN AAN WEERS-
ZIJDEN VAN HET INLAATWERK

T 2

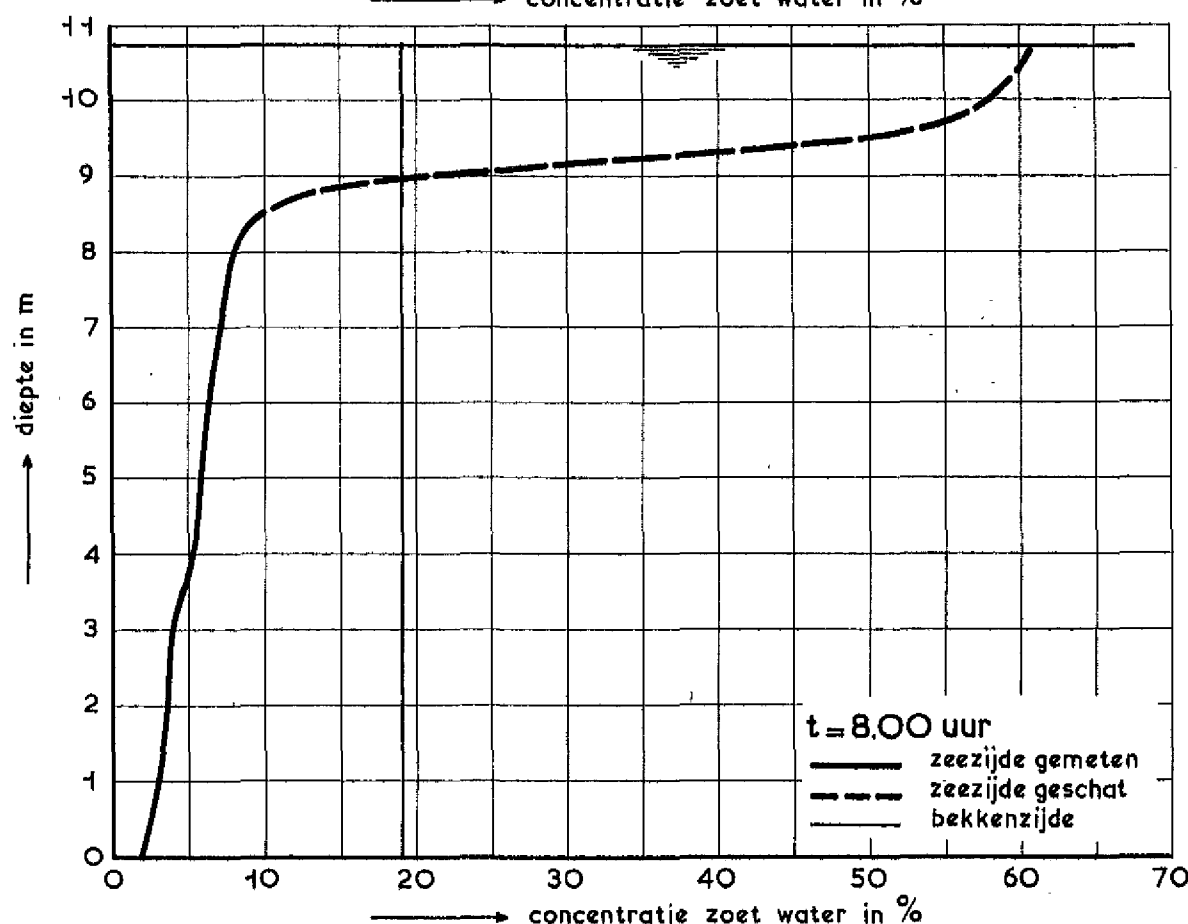
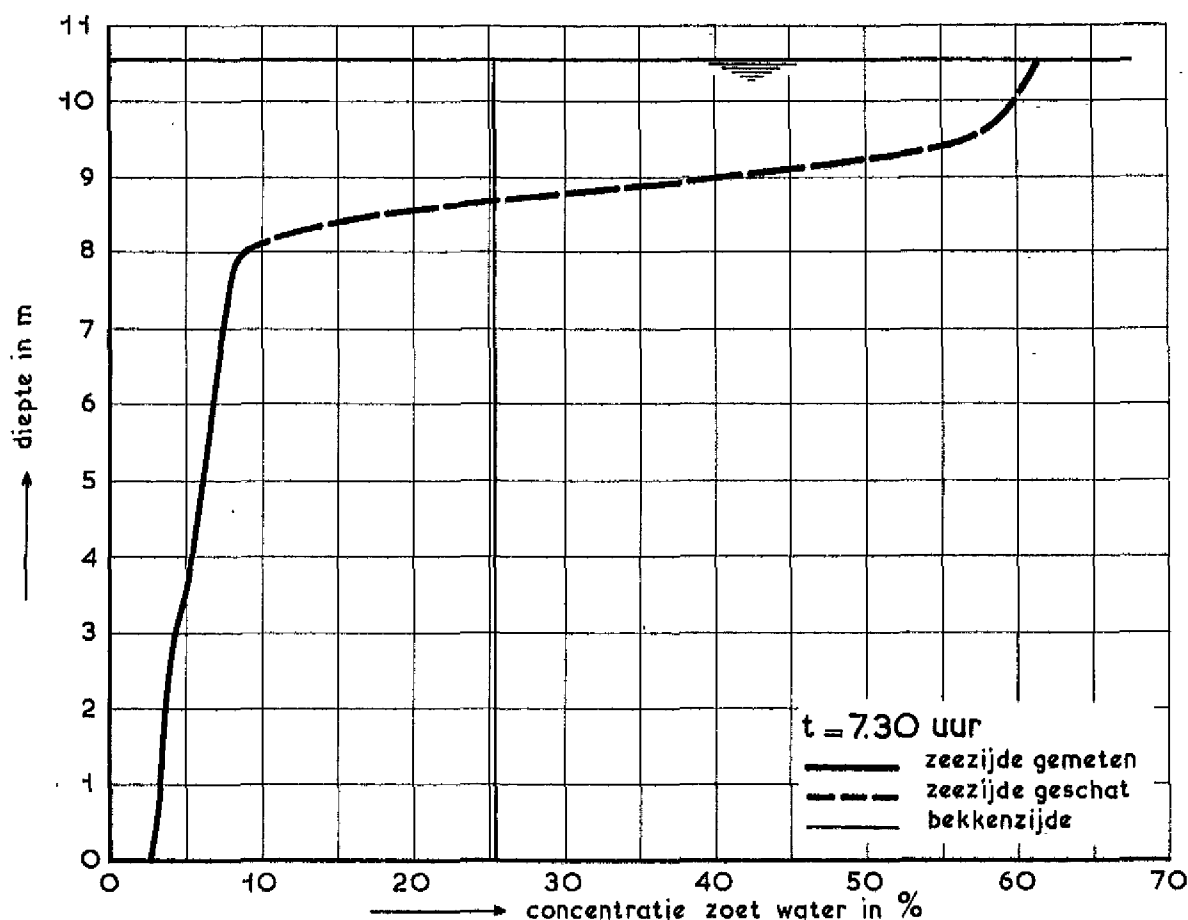
15.04.70

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 24



CONCENTRATIEVERDELINGEN AAN WEERS-
ZIJDEN VAN HET INLAATWERK

T 2

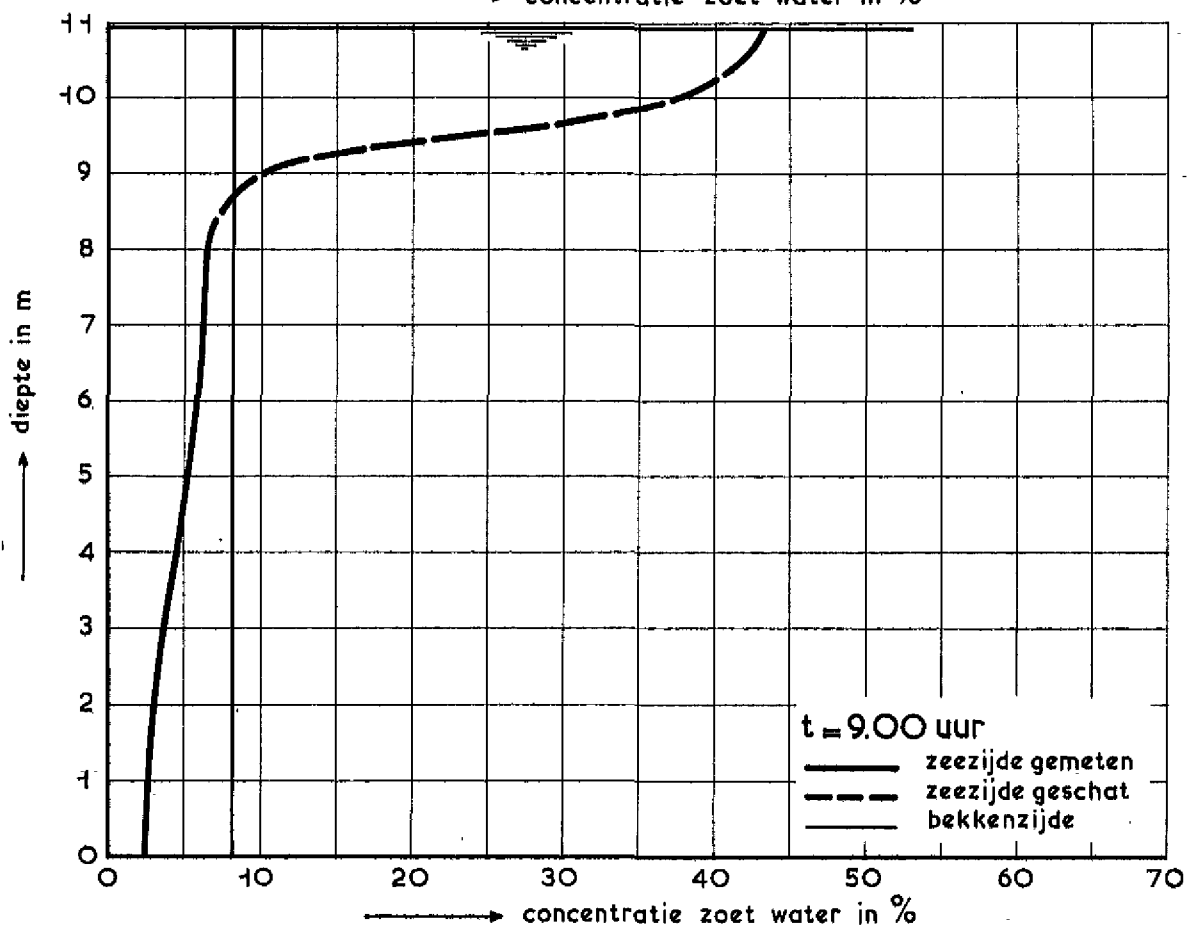
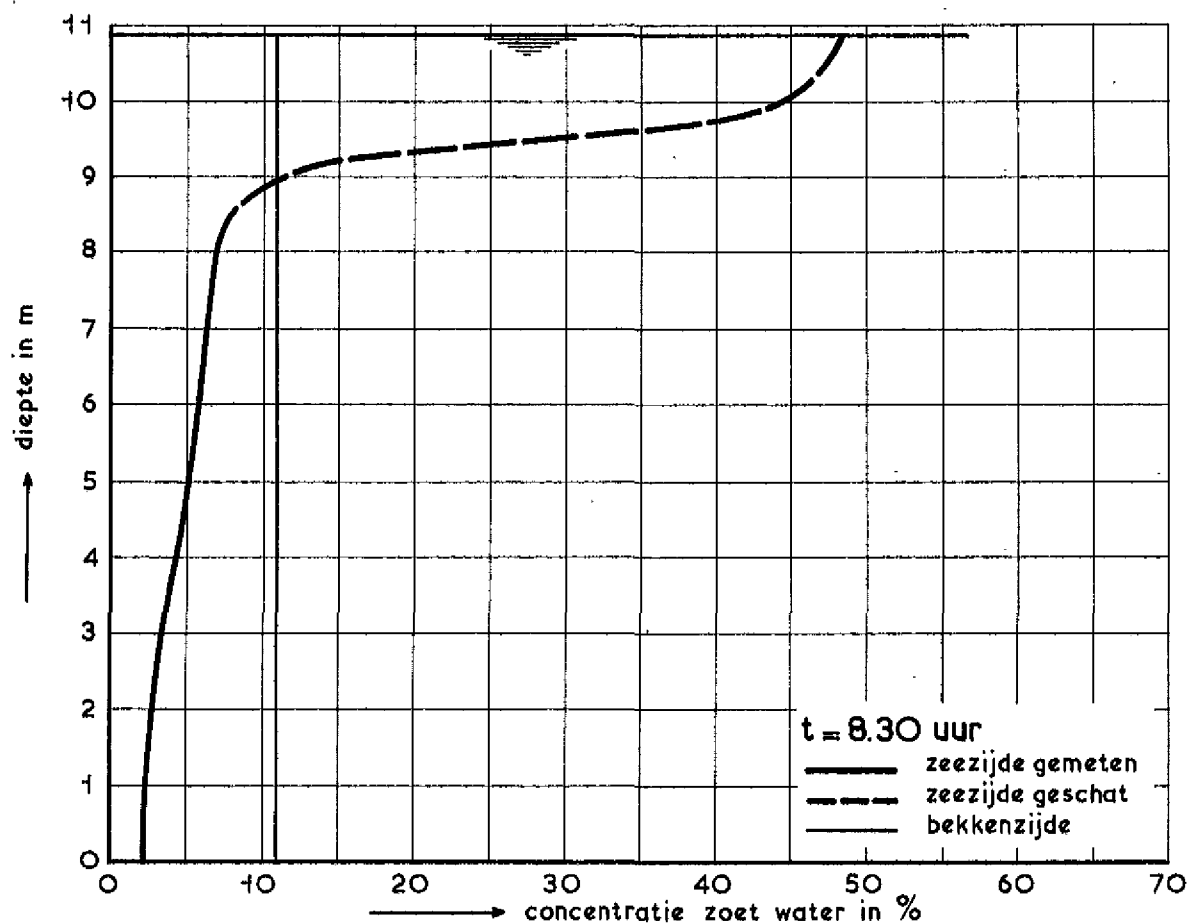
15.04.70

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 25



CONCENTRATIEVERDELINGEN AAN WEERS-
ZIJDEN VAN HET INLAATWERK

T 2

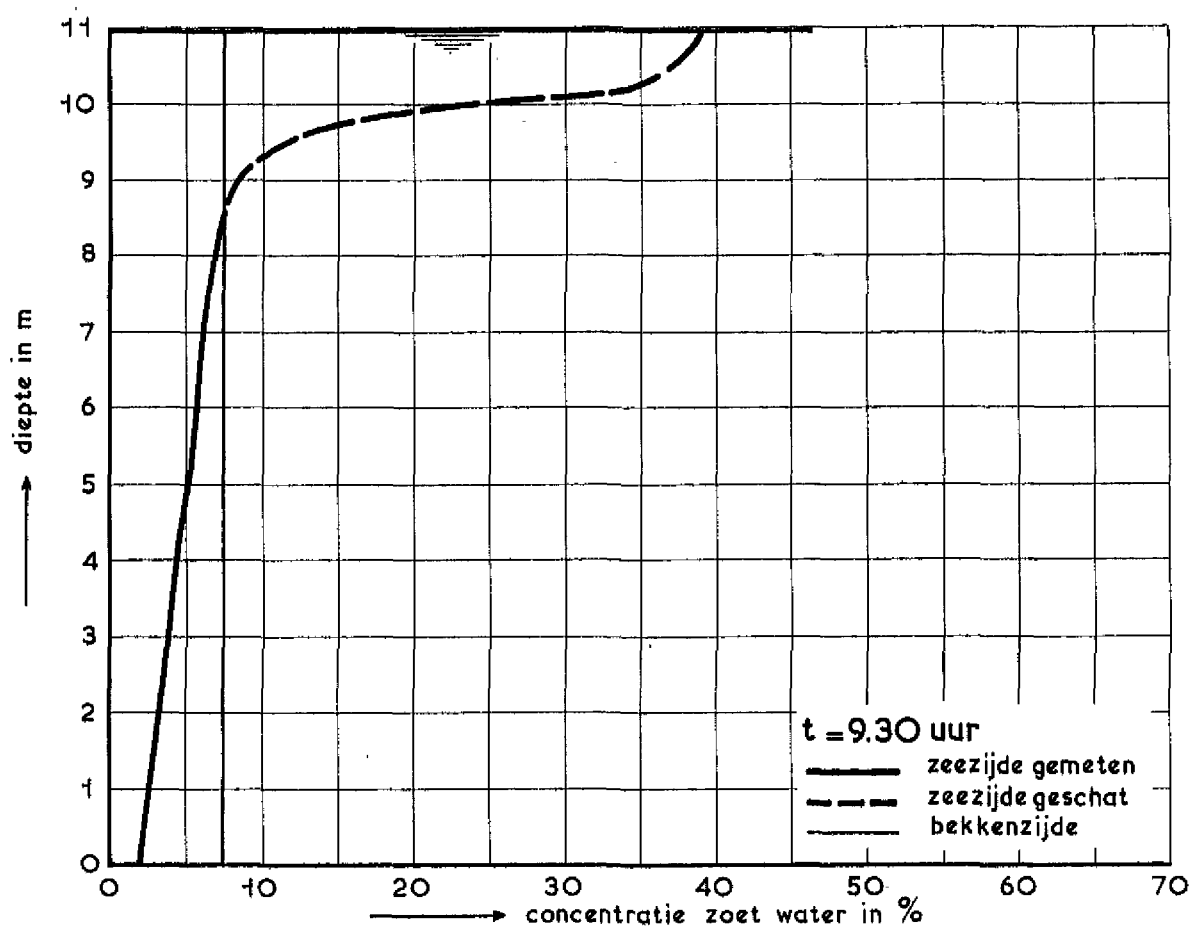
15.04.70

MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 26



CONCENTRATIEVERDELINGEN AAN WEERS-
ZIJDEN VAN HET INLAATWERK

T 2

15.04.70

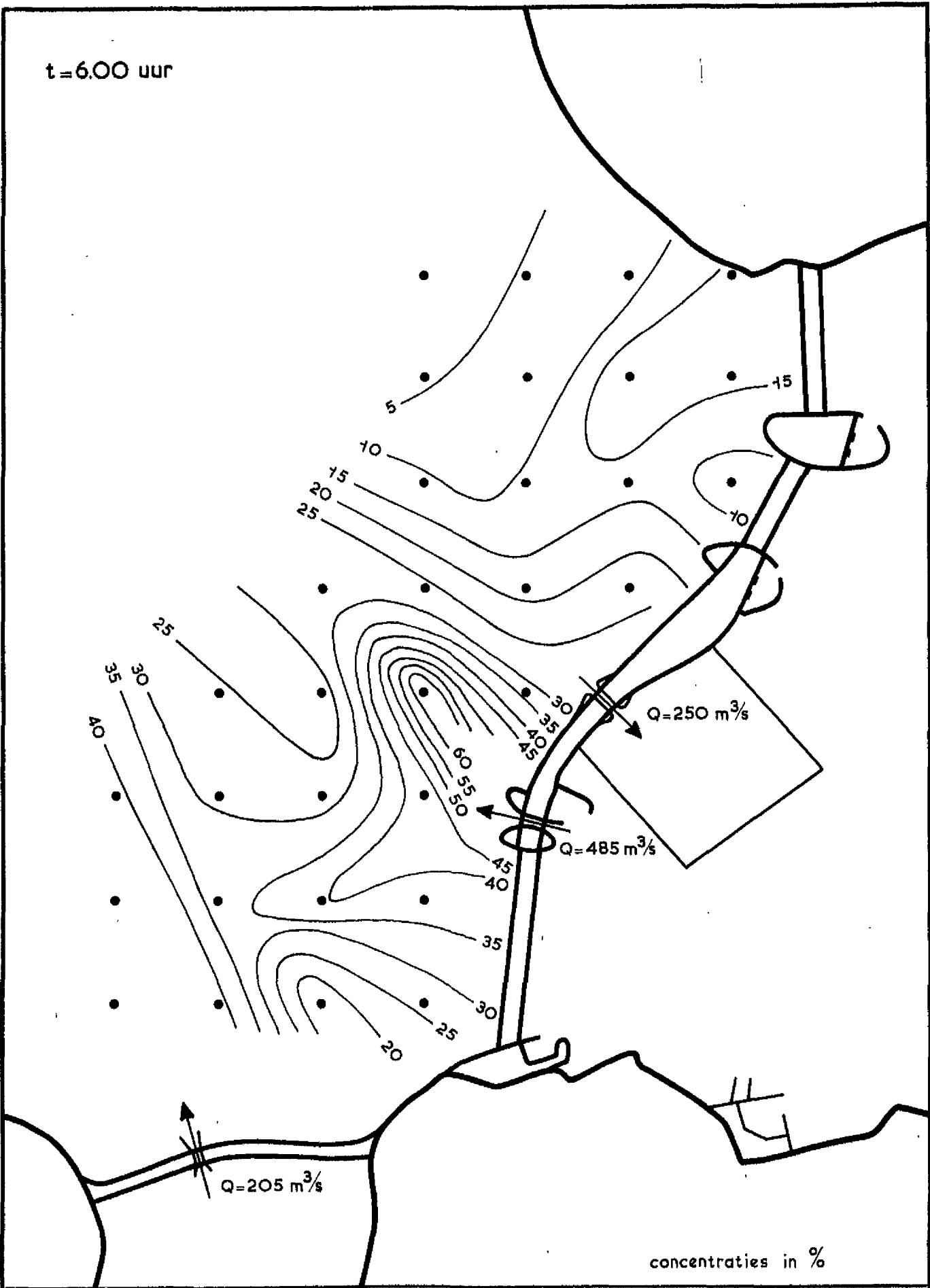
MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

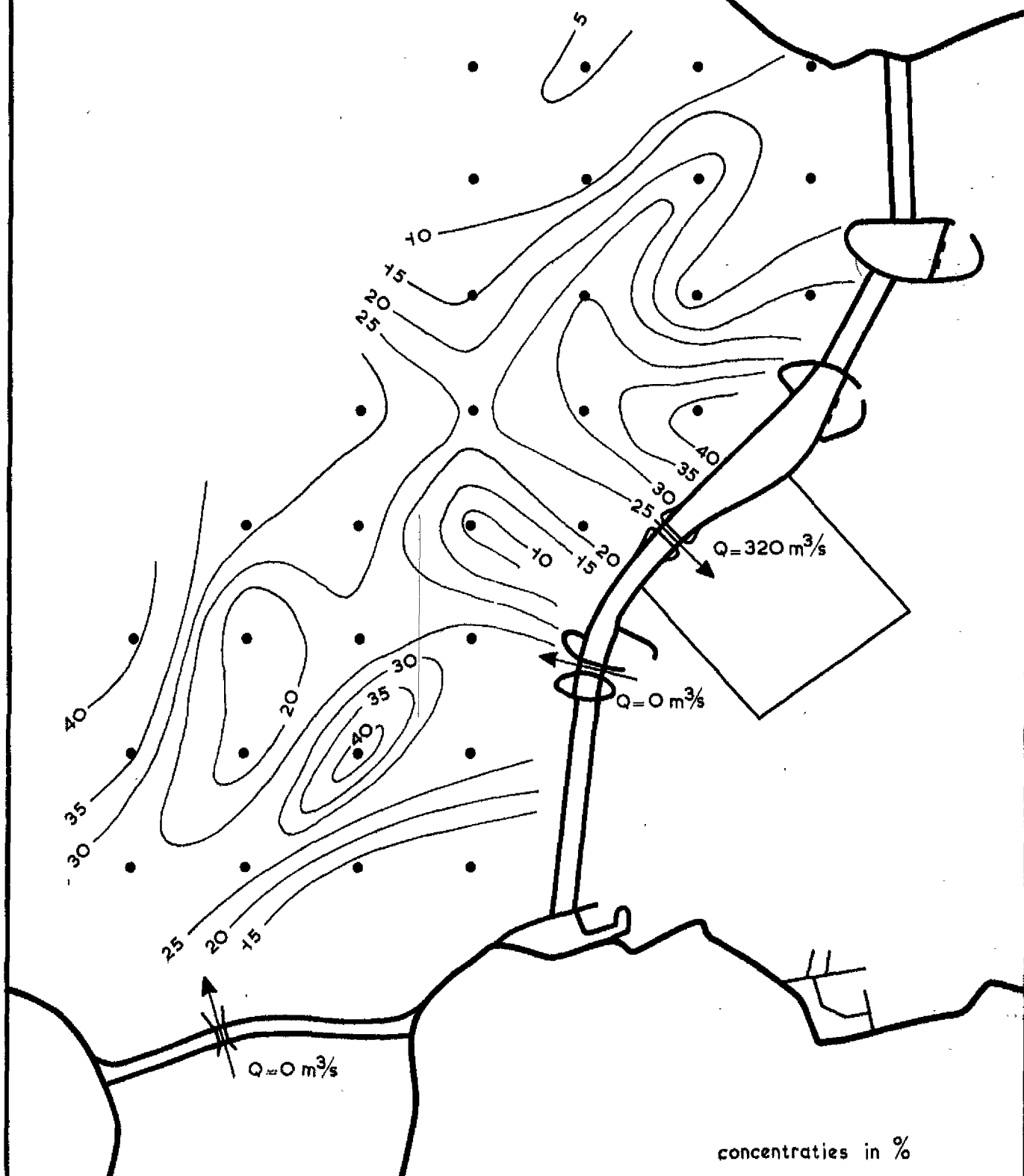
FIG. 27

t=6.00 uur



LIJNEN VAN GELIJKE CONCENTRATIES ZOET WATER NABIJ HET WATEROPPERVLAK	T 2	15.04.70
	MIDDELPLAAT	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 1234	FIG. 28

$t = 8.00$ uur



concentraties in %

LIJNEN VAN GELIJKE CONCENTRATIES ZOET
WATER NABIJ HET WATEROPPERVLAK

T 2

15.04.70

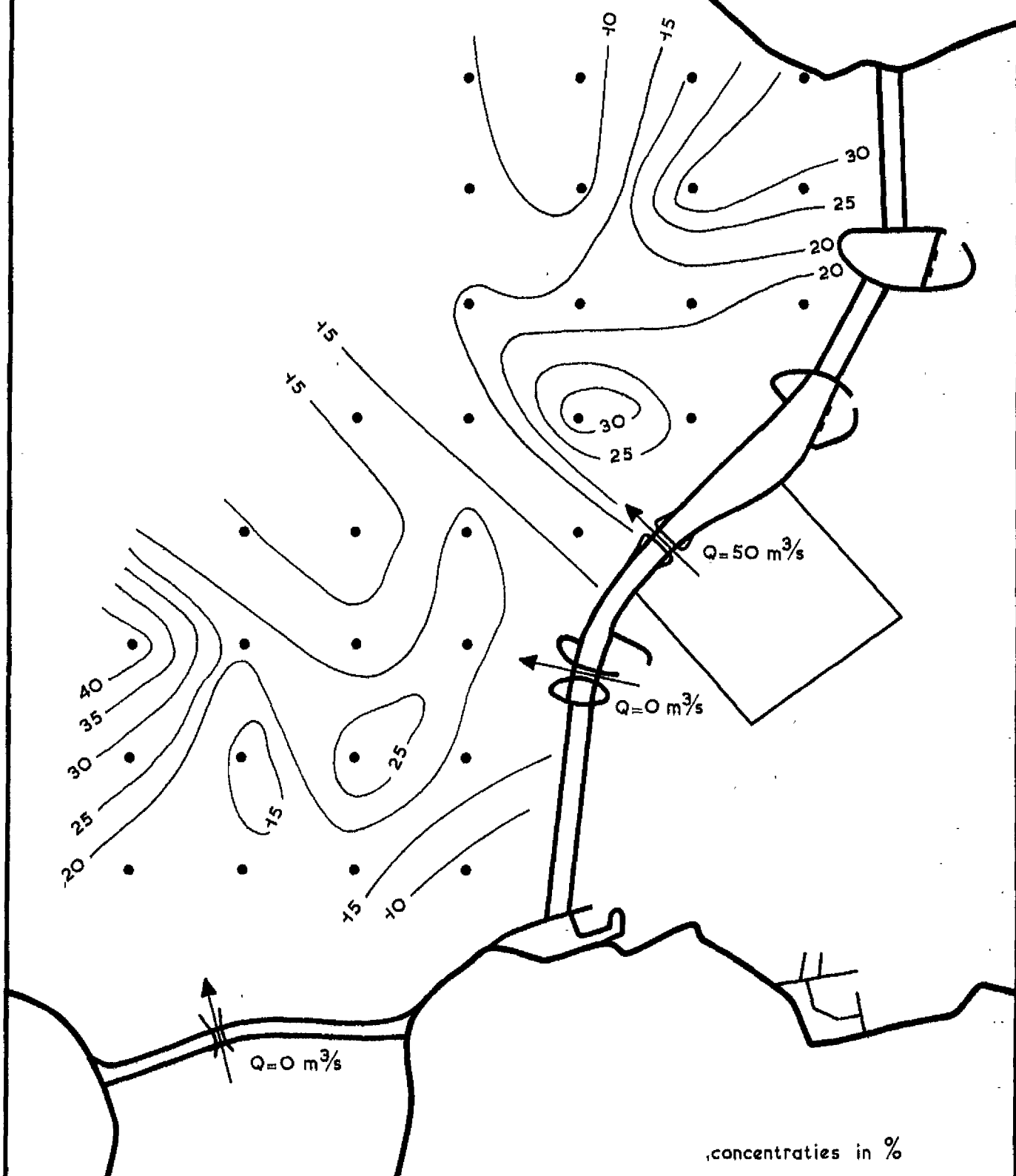
MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 29

$t=10.00$ uur



concentraties in %

LIJNEN VAN GELIJKE CONCENTRATIES ZOET
WATER NABIJ HET WATEROPPERVLAK

T 2

15.04.70

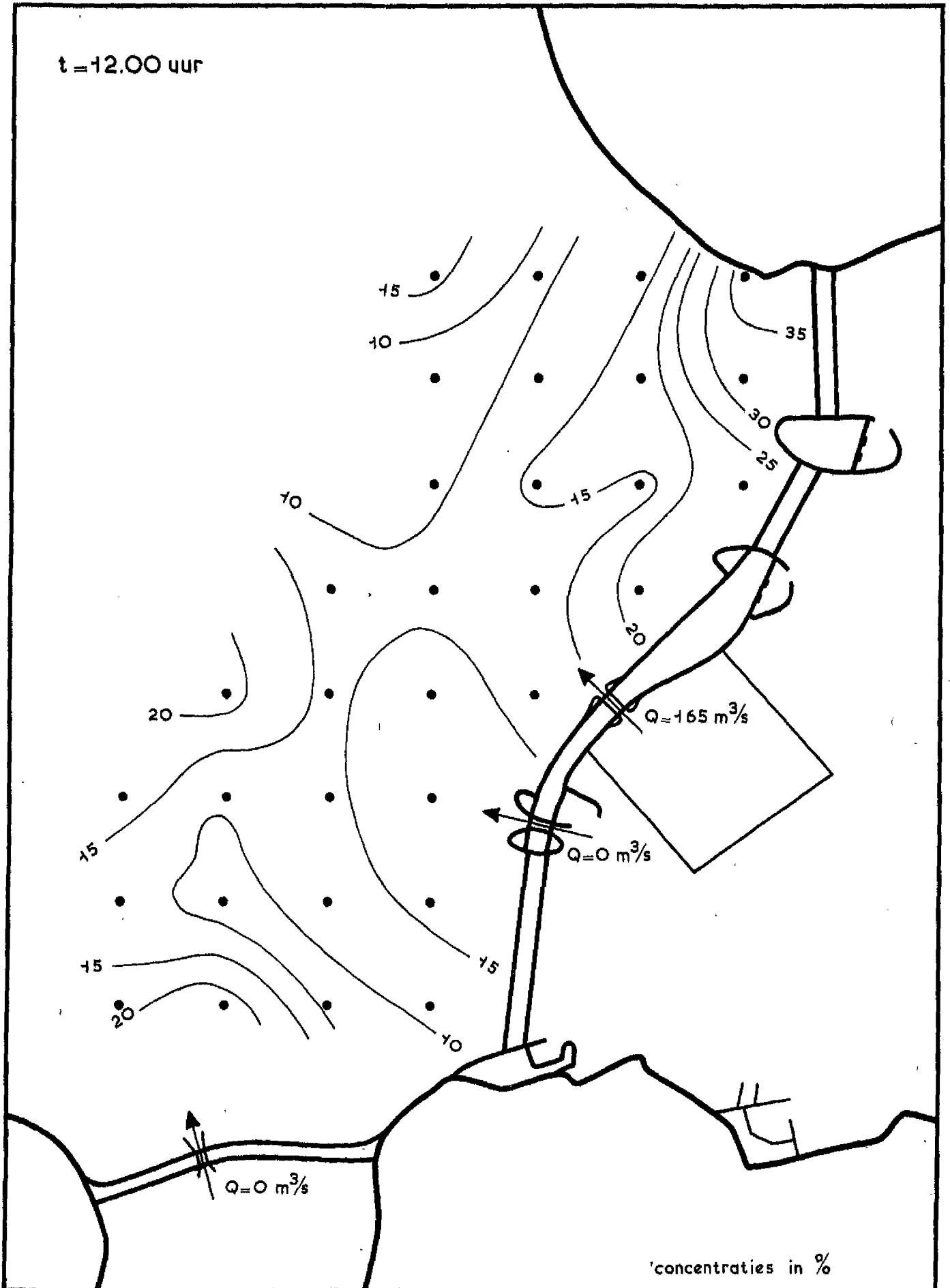
MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 30

t = 12.00 uur



LIJNEN VAN GELIJKE CONCENTRATIES ZOET
WATER NABIJ HET WATEROPPERVLAK

T 2

15.04.70

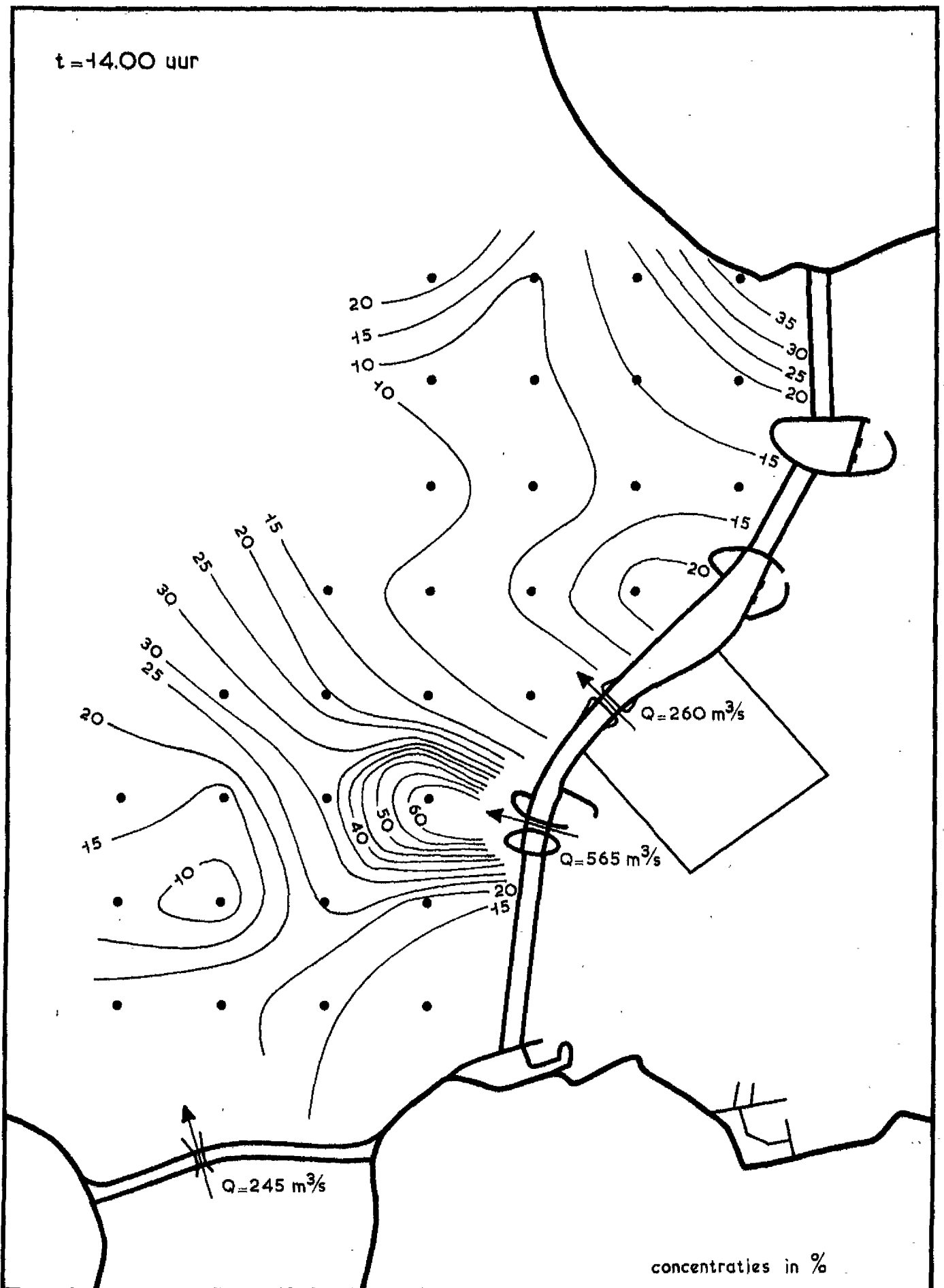
MIDDELPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 31

t = 14.00 uur



LIJNEN VAN GELIJKE CONCENTRATIES ZOET
WATER NABIJ HET WATEROPPERVLAK

T 2

15.04.70

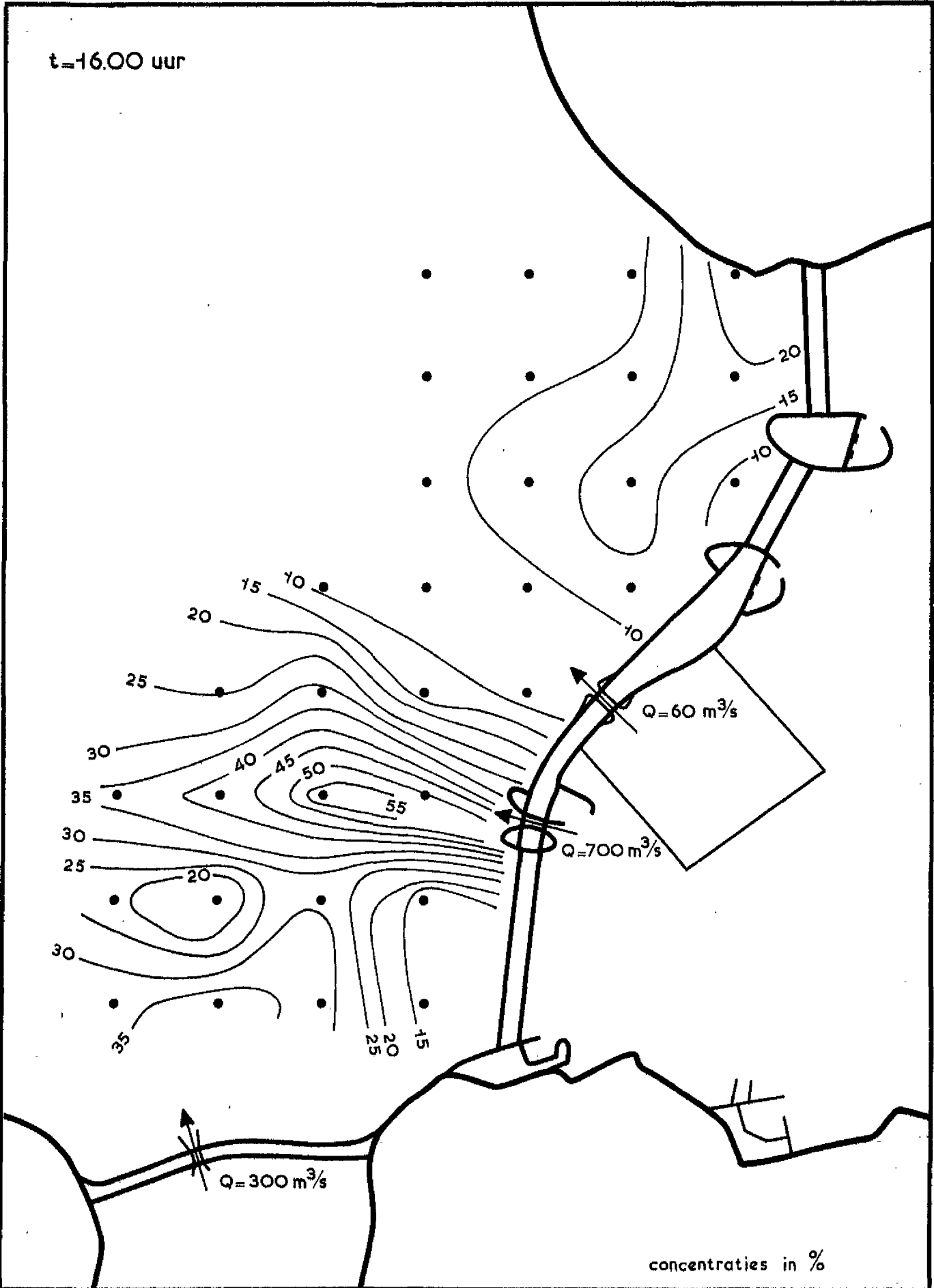
MIDDELPLAAT.

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 32

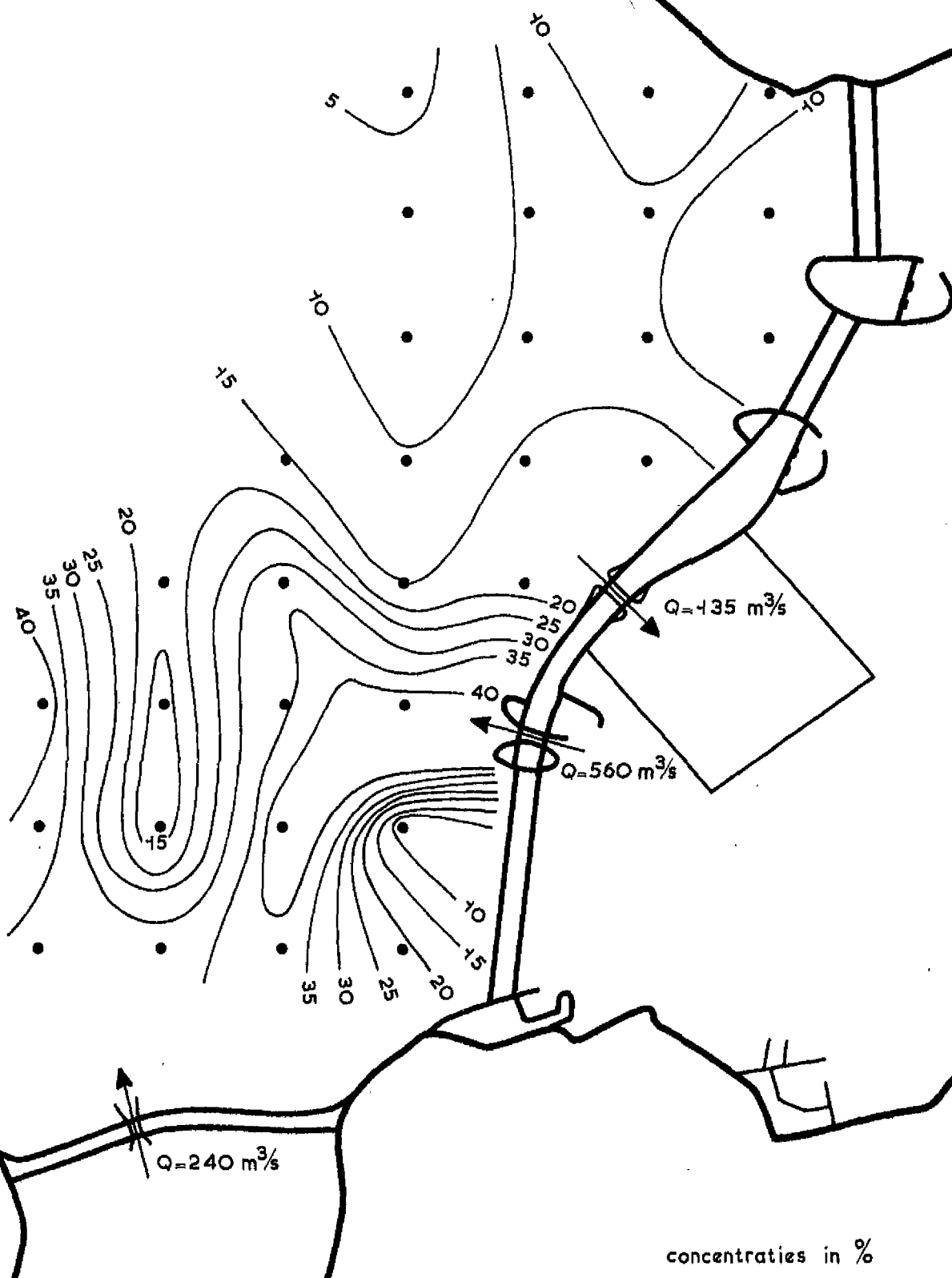
t=16.00 uur



concentraties in %

LIJNEN VAN GELIJKE CONCENTRATIES ZOET WATER NABIJ HET WATEROPPERVLAK	T 2	15.04.70
	MIDDELPLAAT	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	M. 1234	FIG. 33

t=18.00 uur



concentraties in %

LIJNEN VAN GELIJKE CONCENTRATIES ZOET
WATER NABIJ HET WATEROPPERVLAK

T 2

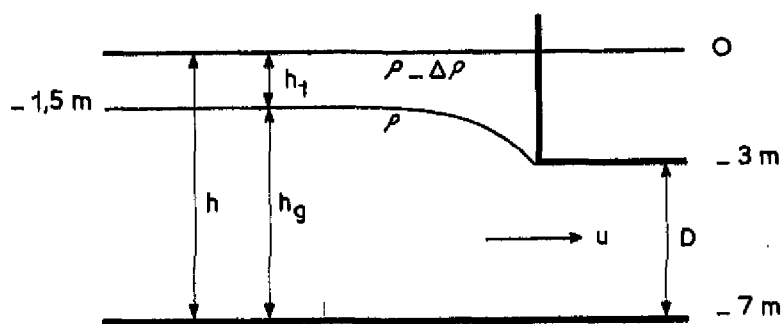
15.04.70

MIDDELPLAAT

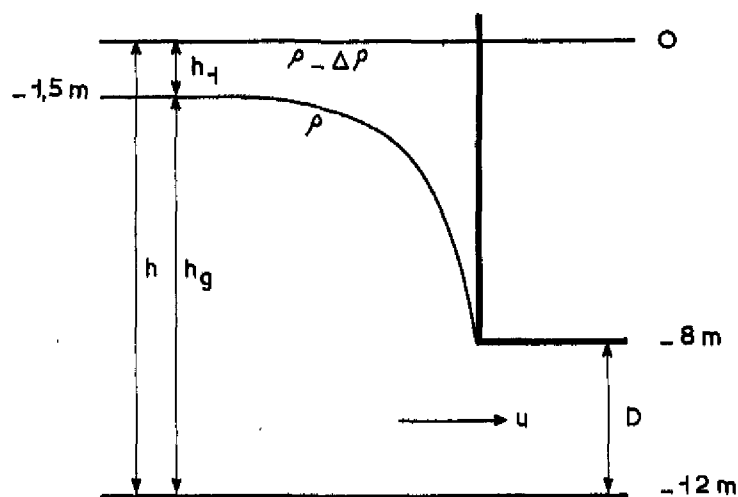
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

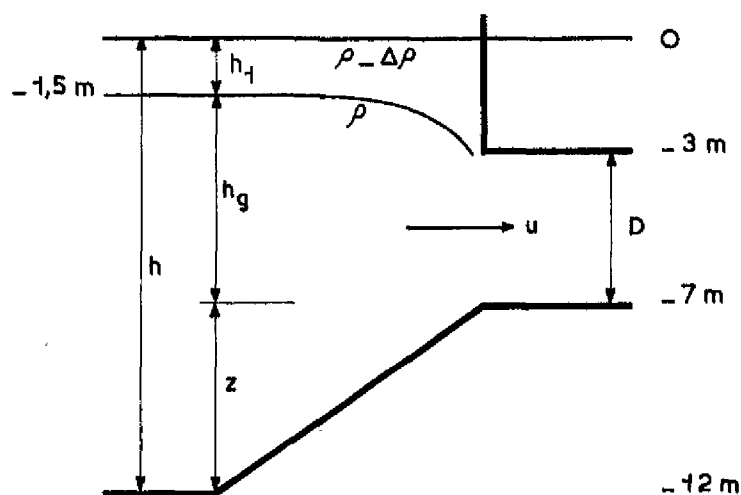
FIG. 34



Geval A ondiep gelegen sluis - ondiepe bodem

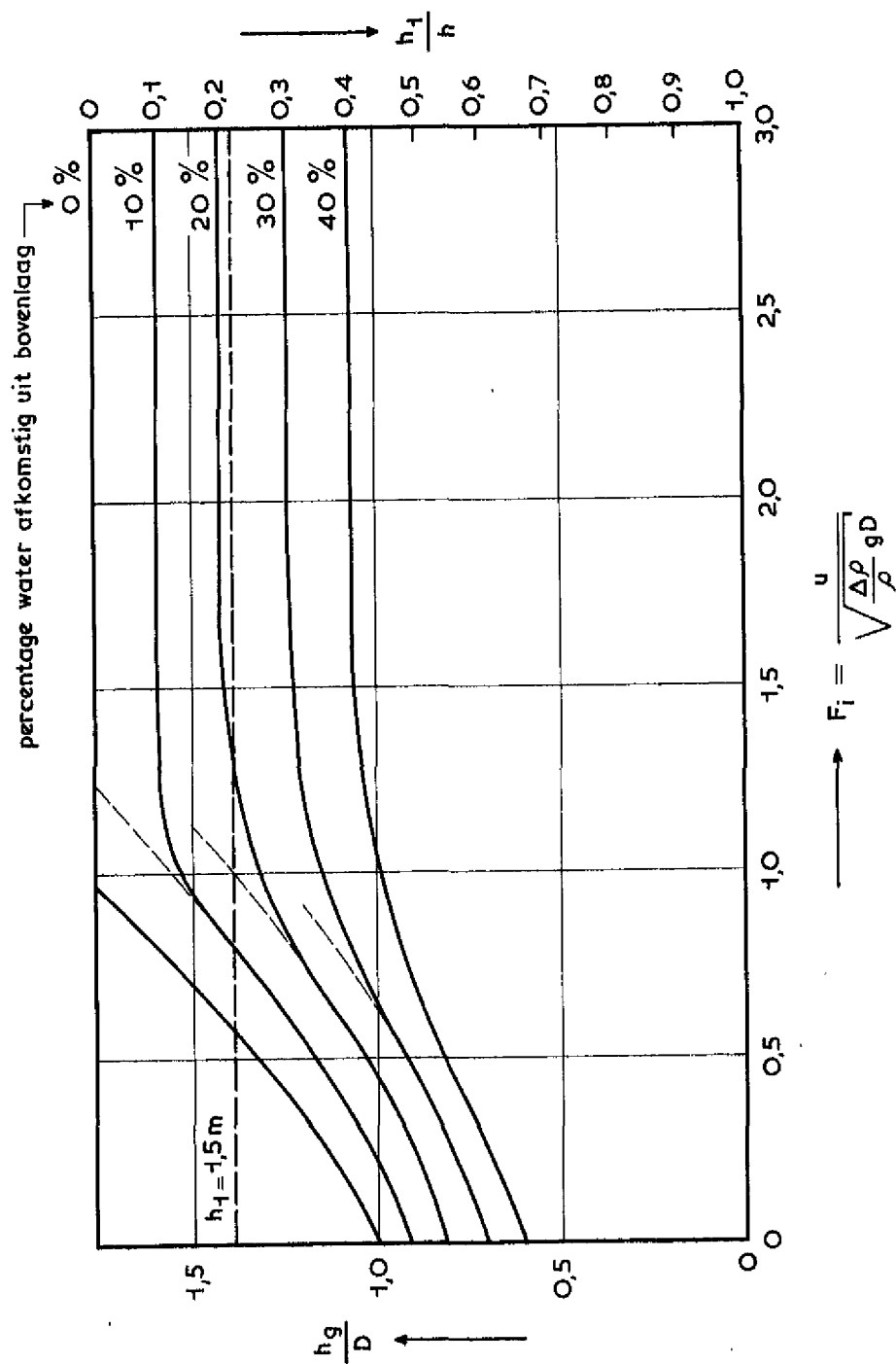


Geval B diep gelegen sluis - diepe bodem



Geval C ondiep gelegen sluis - diepe bodem

INVLOED DIEPTELIGGING INLAATWERK OP
CONCENTRATIE INGELATEN WATER.
BESCHOUWDE GEVALLEN



----- experimenteel bepaald
 ----- aangepast aan de natuurlijke, door de geometrie bepaalde bovengrenzen voor
 het percentage ingelaten zoet water uit de bovenlaag (verloop geschat)

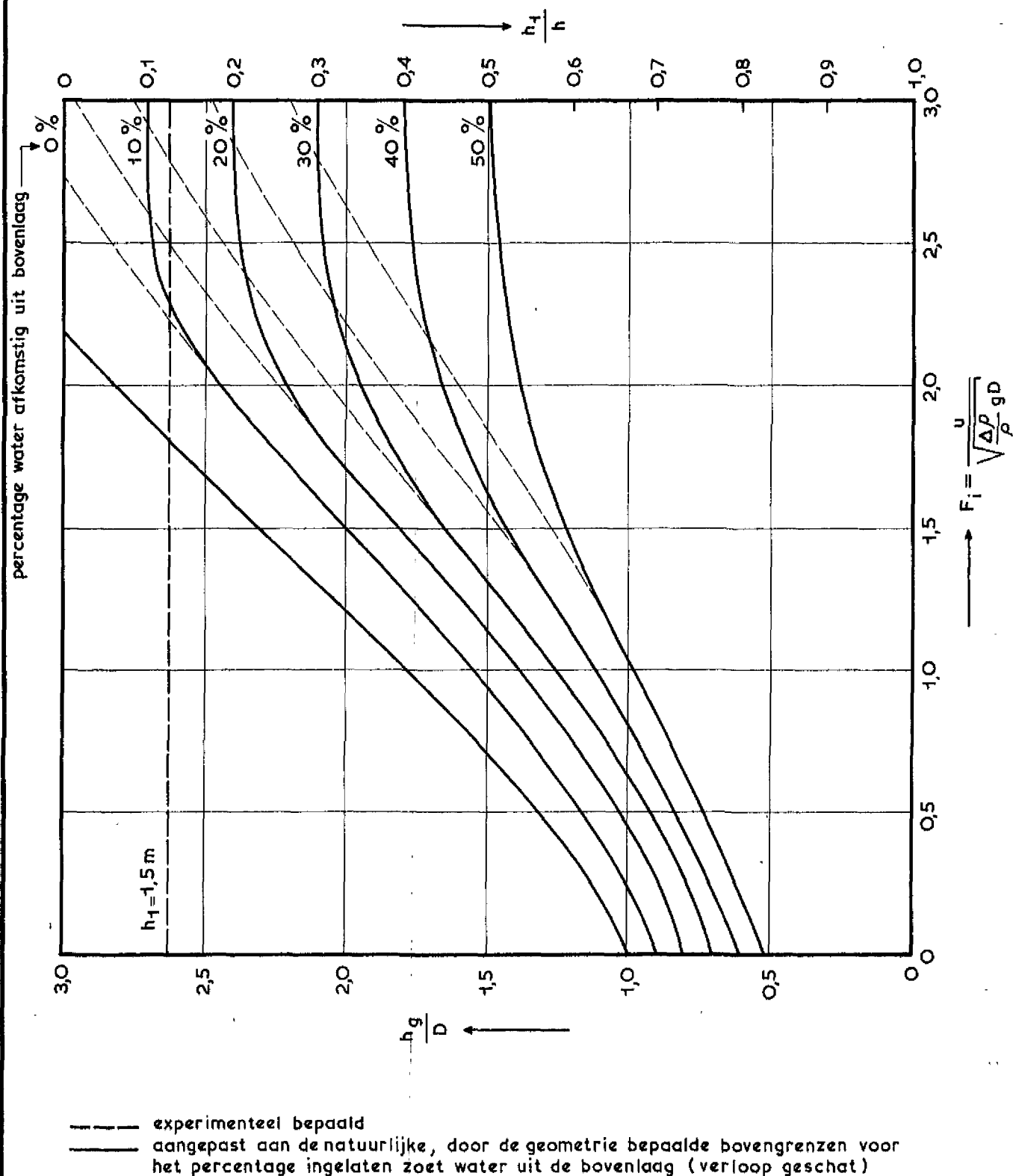
PERCENTAGE INGELATEN WATER AFKOMSTIG
UIT BOVENLAAG ALS FUNCTIE VAN DIKTE
BOVENLAAG EN INTERN FROUDEGETAL

GEVAL A

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 36



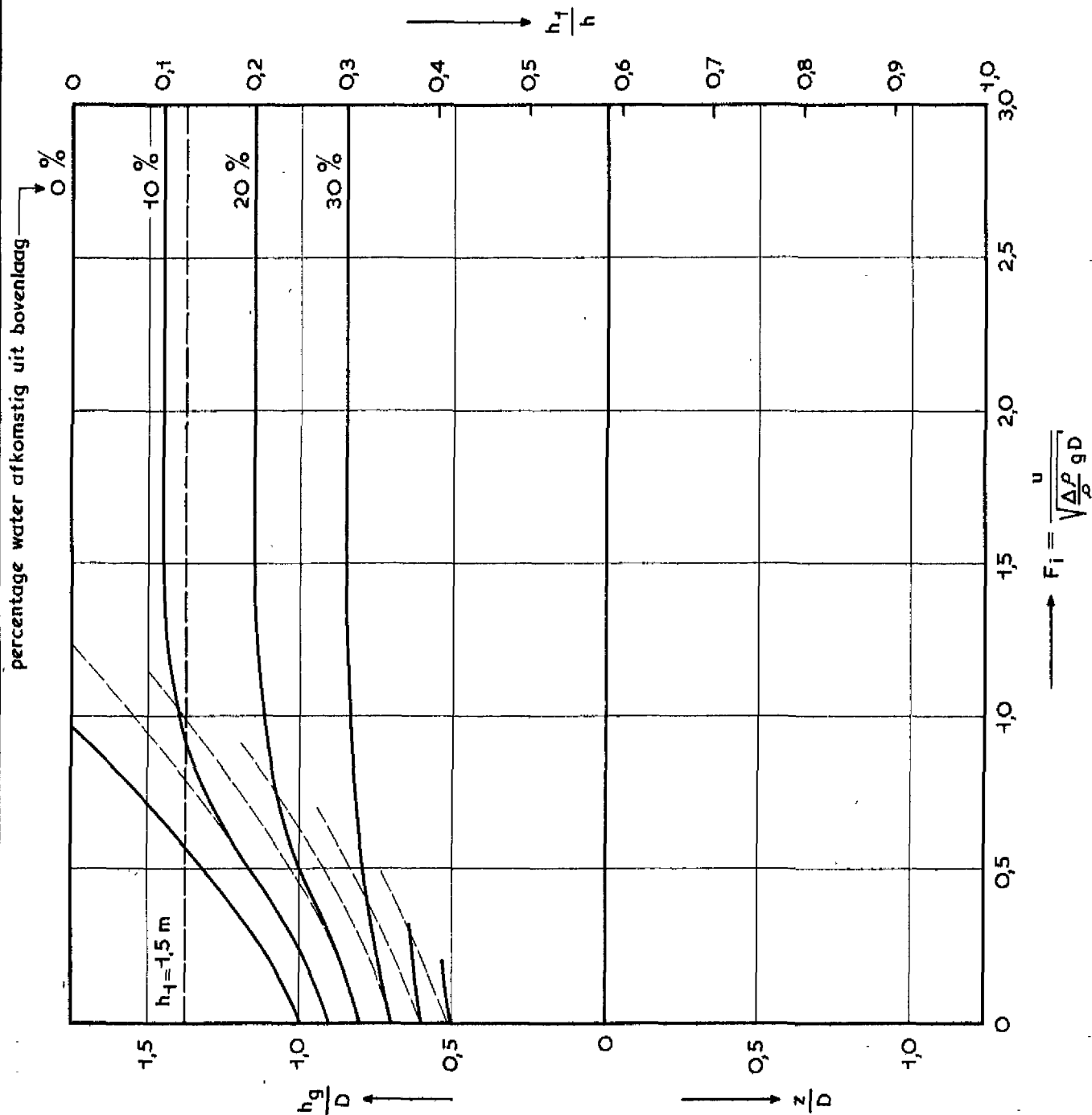
PERCENTAGE INGELATEN WATER AFKOMSTIG
 UIT BOVENLAAG ALS FUNCTIE VAN DIKTE
 BOVENLAAG EN INTERN FROUDEGETAL

GEVAL B

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 37



- experimenteel bepaald
- aangepast aan de natuurlijke, door de geometrie bepaalde bovengrenzen voor het percentage ingelaten zoet water uit de bovenlaag (verloop geschat)

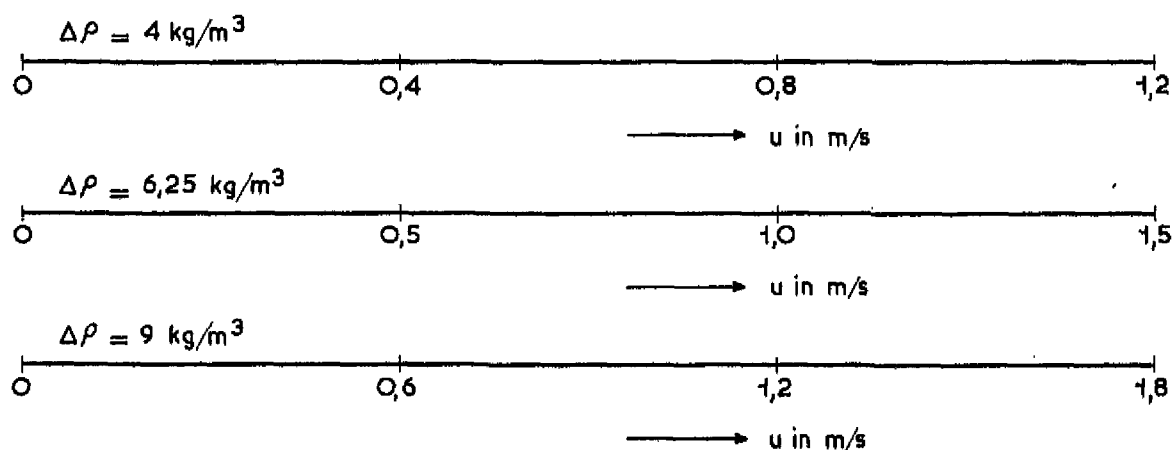
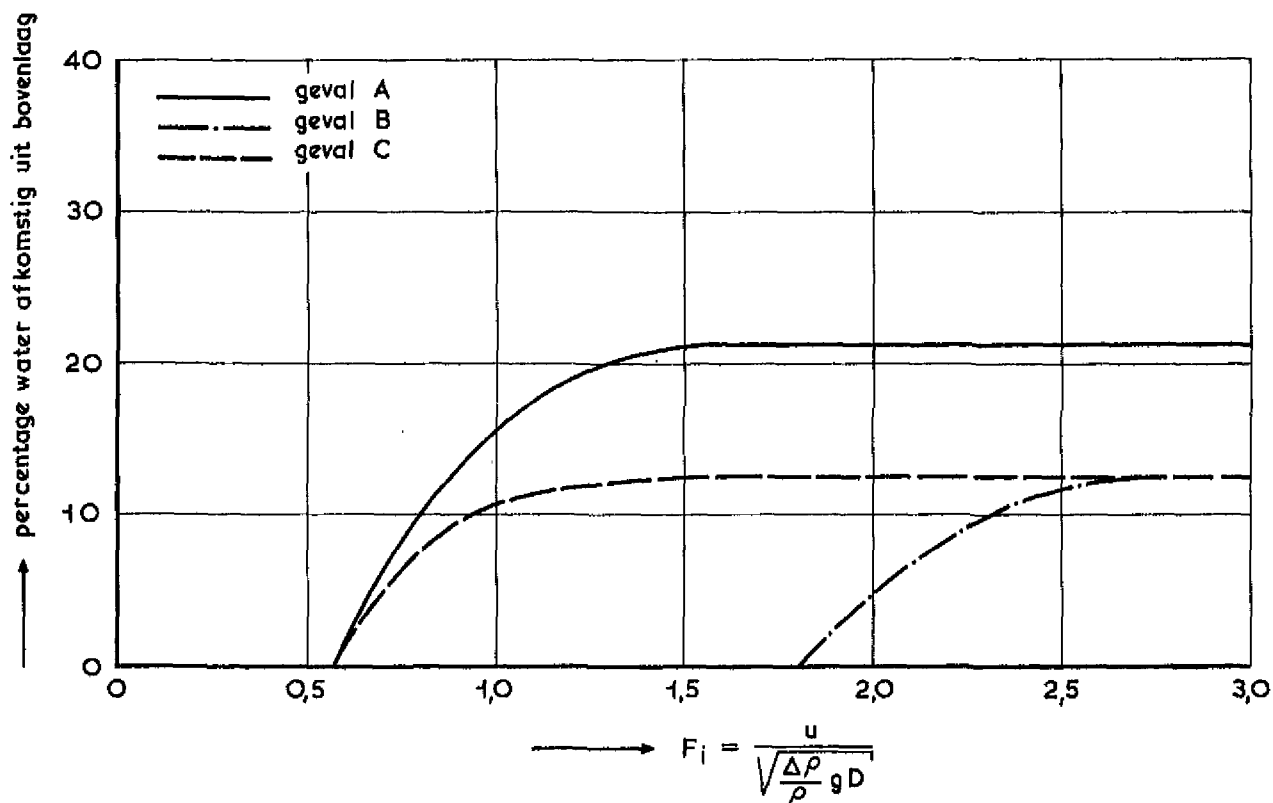
PERCENTAGE INGELATEN WATER AFKOMSTIG
UIT BOVENLAAG ALS FUNCTIE VAN DIKTE
BOVENLAAG EN INTERN FROUDEGETAL

GEVAL C

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 38



gebaseerd op de figuren 35, 36, 37 en 38

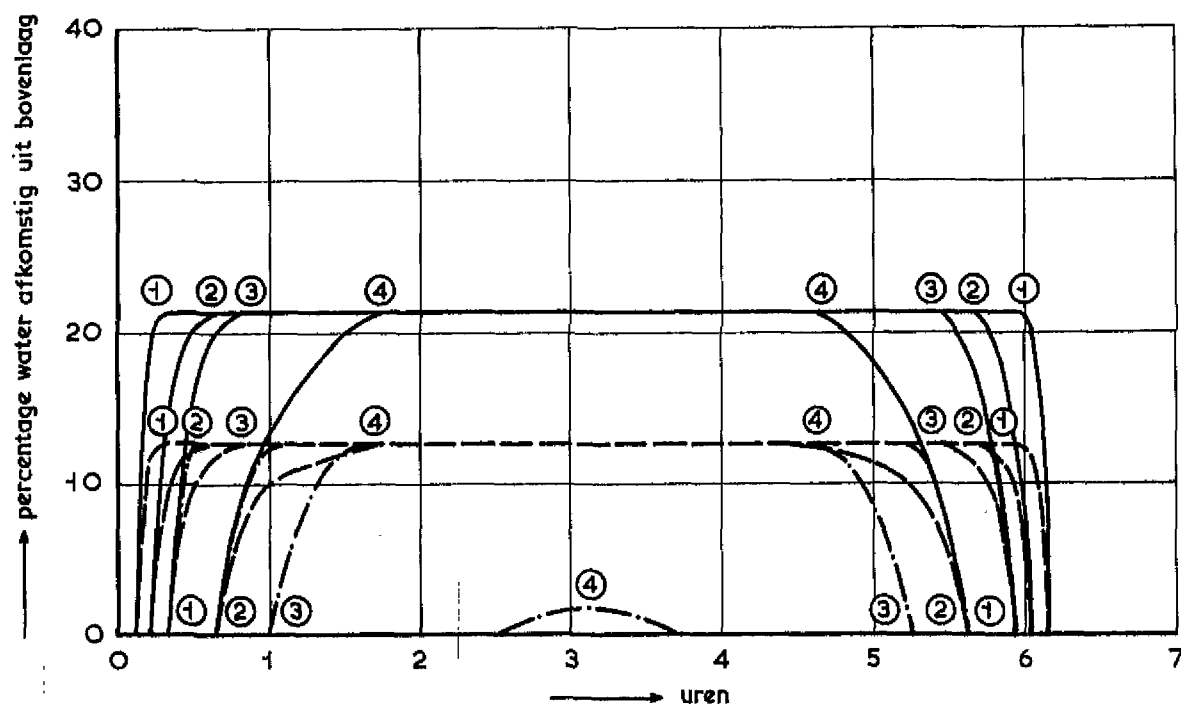
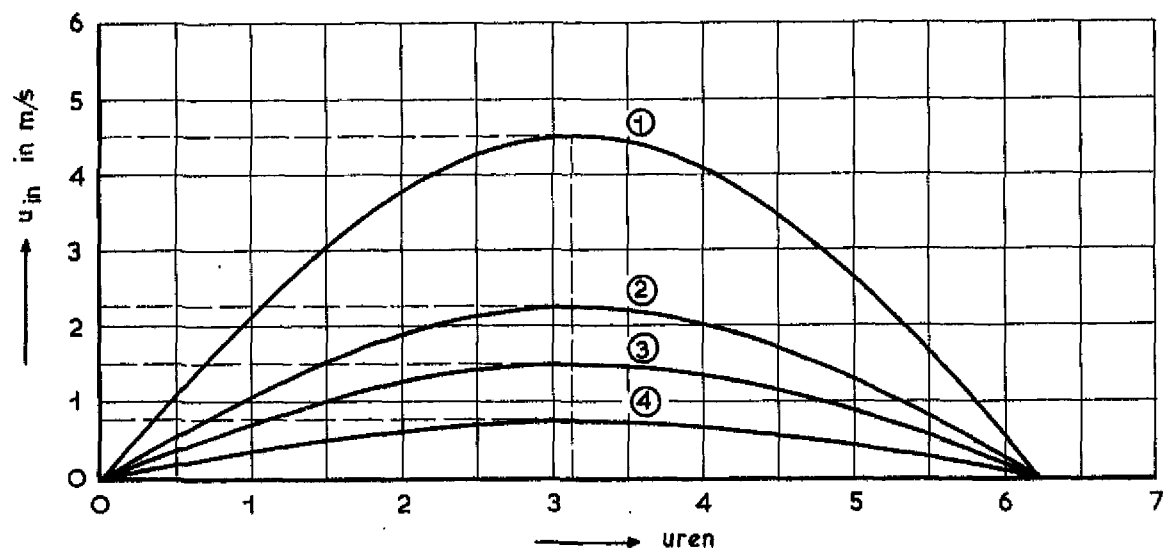
PERCENTAGE INGELATEN WATER AFKOMSTIG
UIT BOVENLAAG ALS FUNCTIE VAN INTERN
FROUDEGETAL

$h_1 = 1,5 \text{ m}$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 39



max. inlaatsnelheid

- ① 4,5 m/s
- ② 2,25 m/s
- ③ 1,5 m/s
- ④ 0,75 m/s

ligging inlaatsluis (zie fig. 35)

- geval A
- . — geval B
- - - - - geval C

gebaseerd op figuur 39

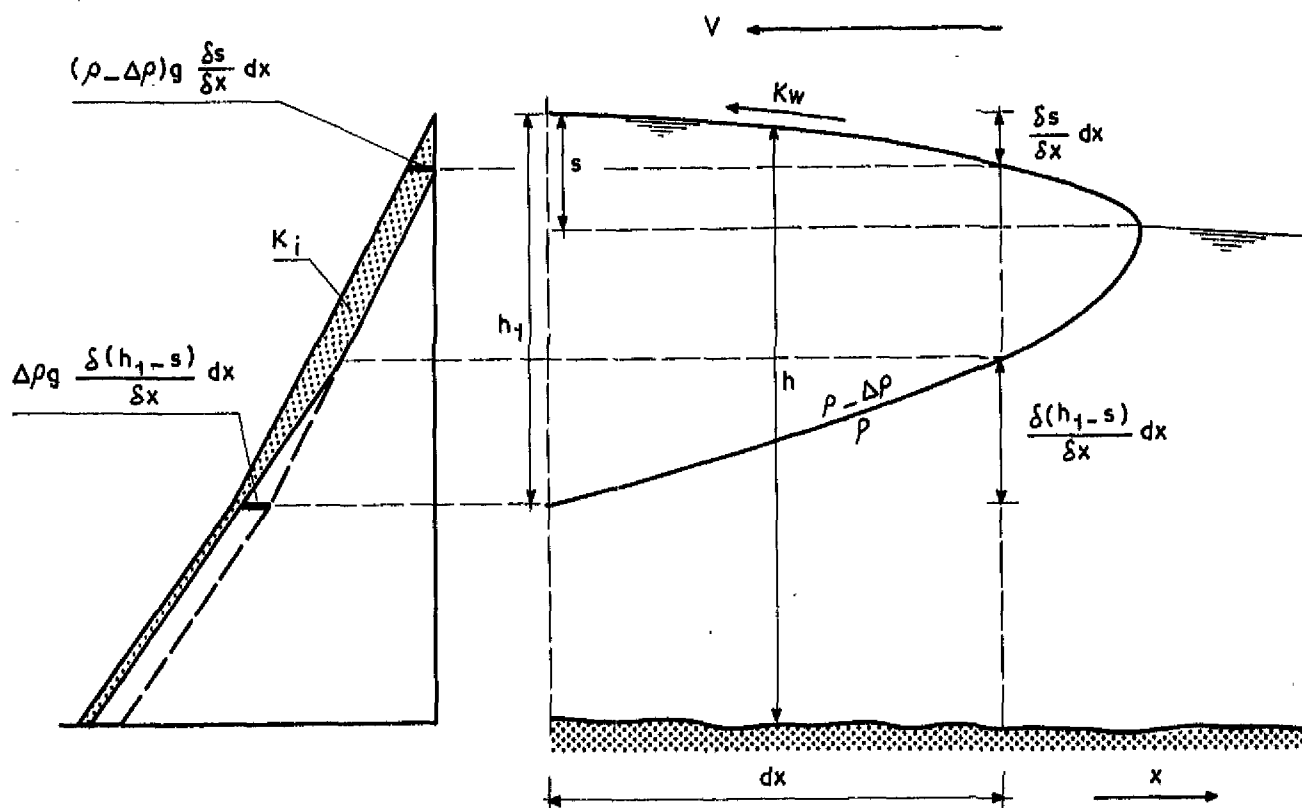
INVLOED VAN INLAATSNELHEID EN SITUATIE
INLAATWERK OP PERCENTAGE INGELATEN
WATER UIT VERZOETE BOVENLAAG

$\Delta \rho = 4 \text{ kg/m}^3$

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 40

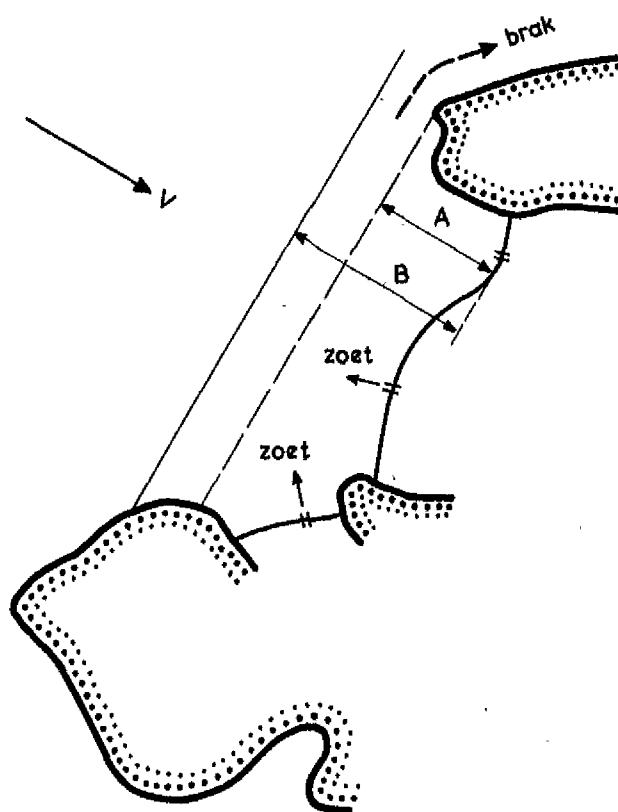


VERHANGKRACHT T.G.V. OPWAAIING

windrichting:

W : A = 2500 m
 WNW : A = 4500 m
 NW : A = 7000 m

W : B = 3600 à 3750 m
 WNW : B = 5600 à 6750 m
 NW : B = 8400 à 10500 m



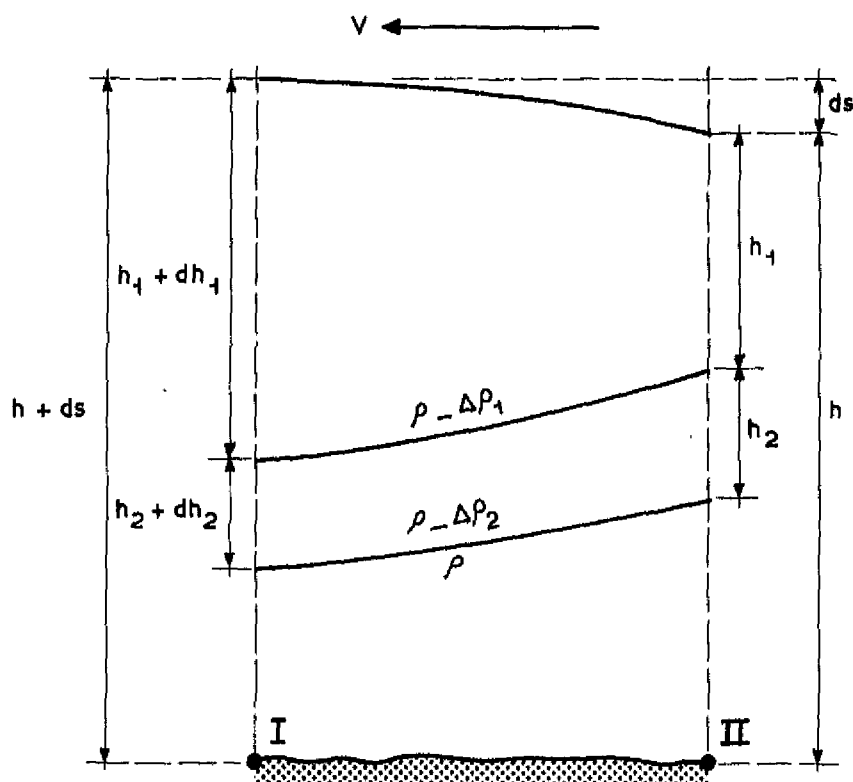
ZOETWATERVANG MET AFSTROOMSTROOK

DEFINITIES WINDINVLOED

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

M. 1234

FIG. 41



druk in I = druk in II

$$(h_1 + dh_1)(\rho - \Delta\rho_1)g + (h_2 + dh_2)(\rho - \Delta\rho_2)g + (h + ds - h_1 - dh_1 - h_2 - dh_2)\rho g =$$

$$h_1(\rho - \Delta\rho_1)g + h_2(\rho - \Delta\rho_2)g + (h - h_1 - h_2)\rho g$$

of

$$ds = \frac{\Delta\rho_1}{\rho} dh_1 + \frac{\Delta\rho_2}{\rho} dh_2$$

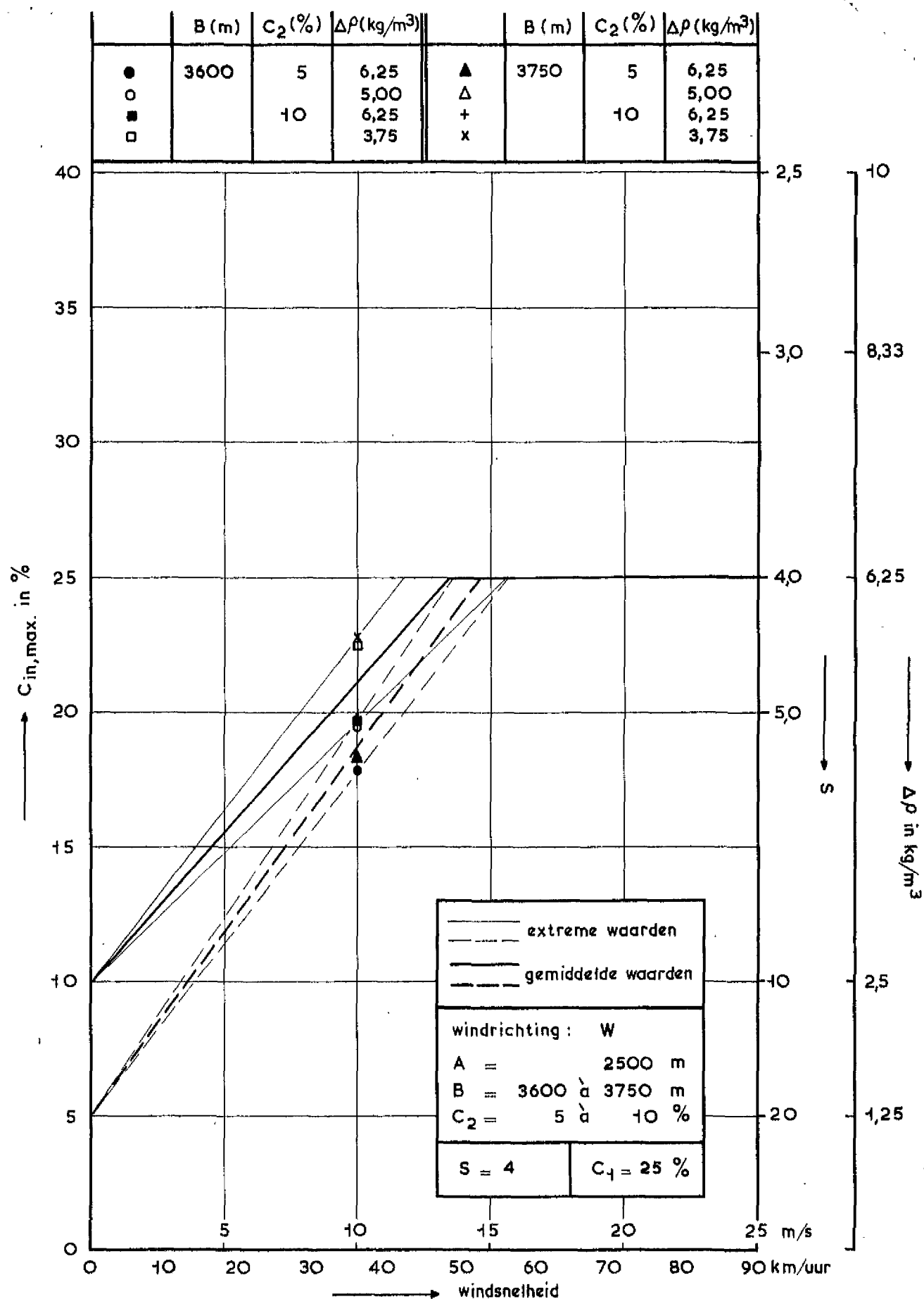
Voor $dh_2 = 0$

geldt : $ds = \frac{\Delta\rho_1}{\rho} dh_1$

Voor $dh_2 = -d(h_1 - s)$

geldt : $ds = \frac{\Delta\rho_1 - \Delta\rho_2}{\rho - \Delta\rho_2} dh_1 \approx \frac{\Delta\rho_1 - \Delta\rho_2}{\rho} dh_1$

INVLOED MENGLAAG OP DIKTE BOVENLAAG



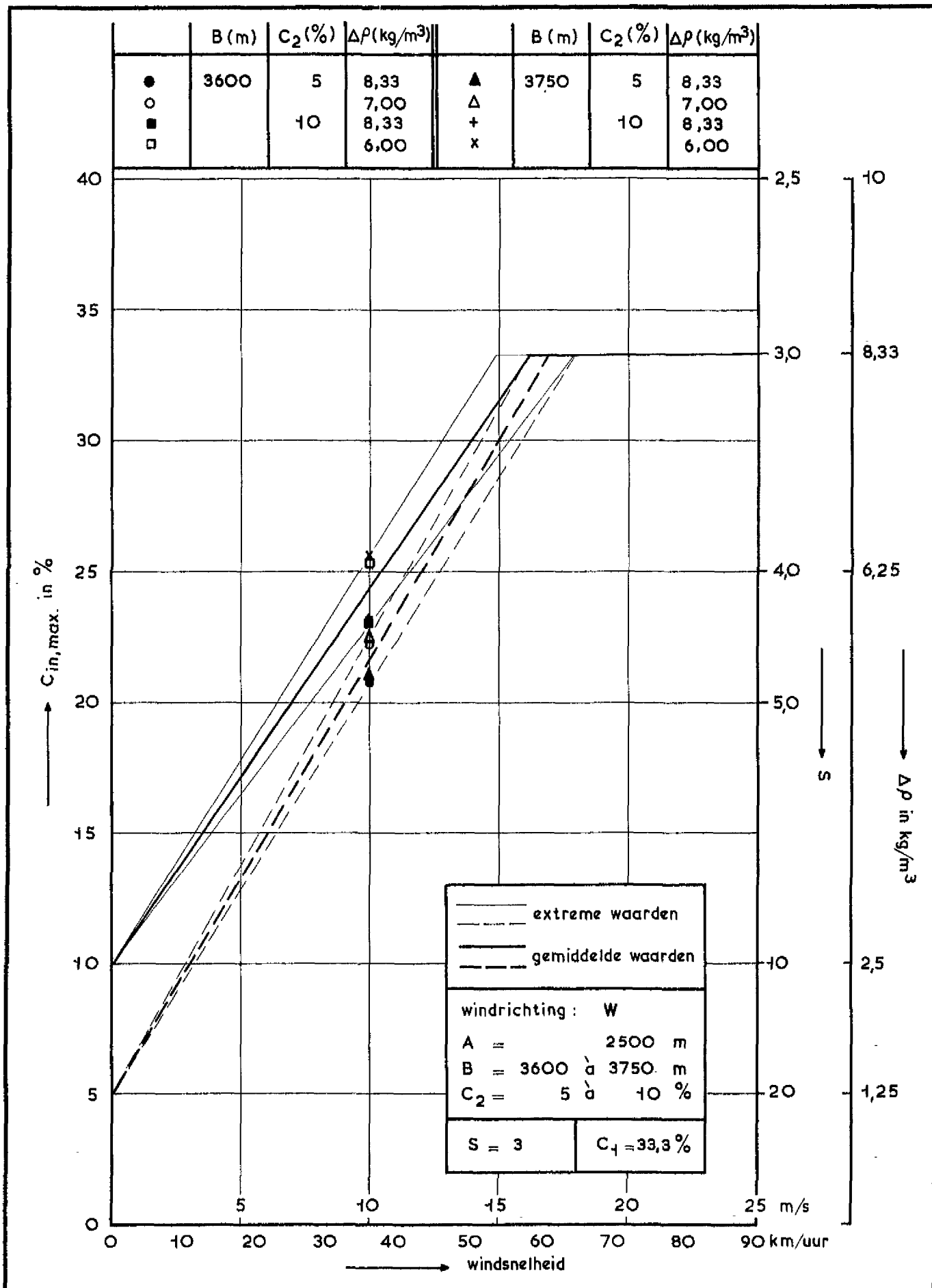
INVLOED VAN WIND, MENGING EN MENGLAAG
OP KWALITEIT INGELATEN WATER BIJ DIEP
GELEGEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

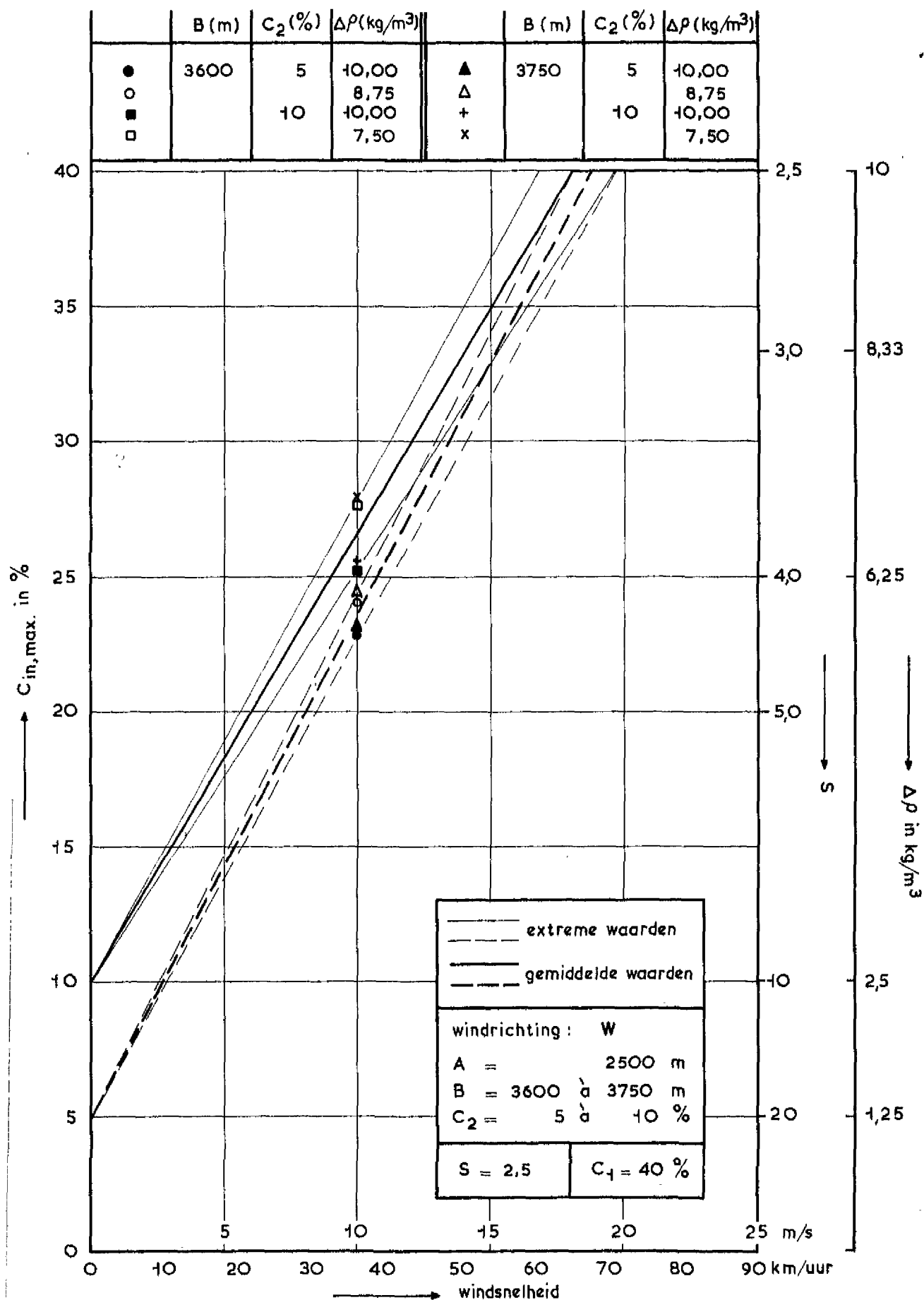
M. 1234

FIG. 43



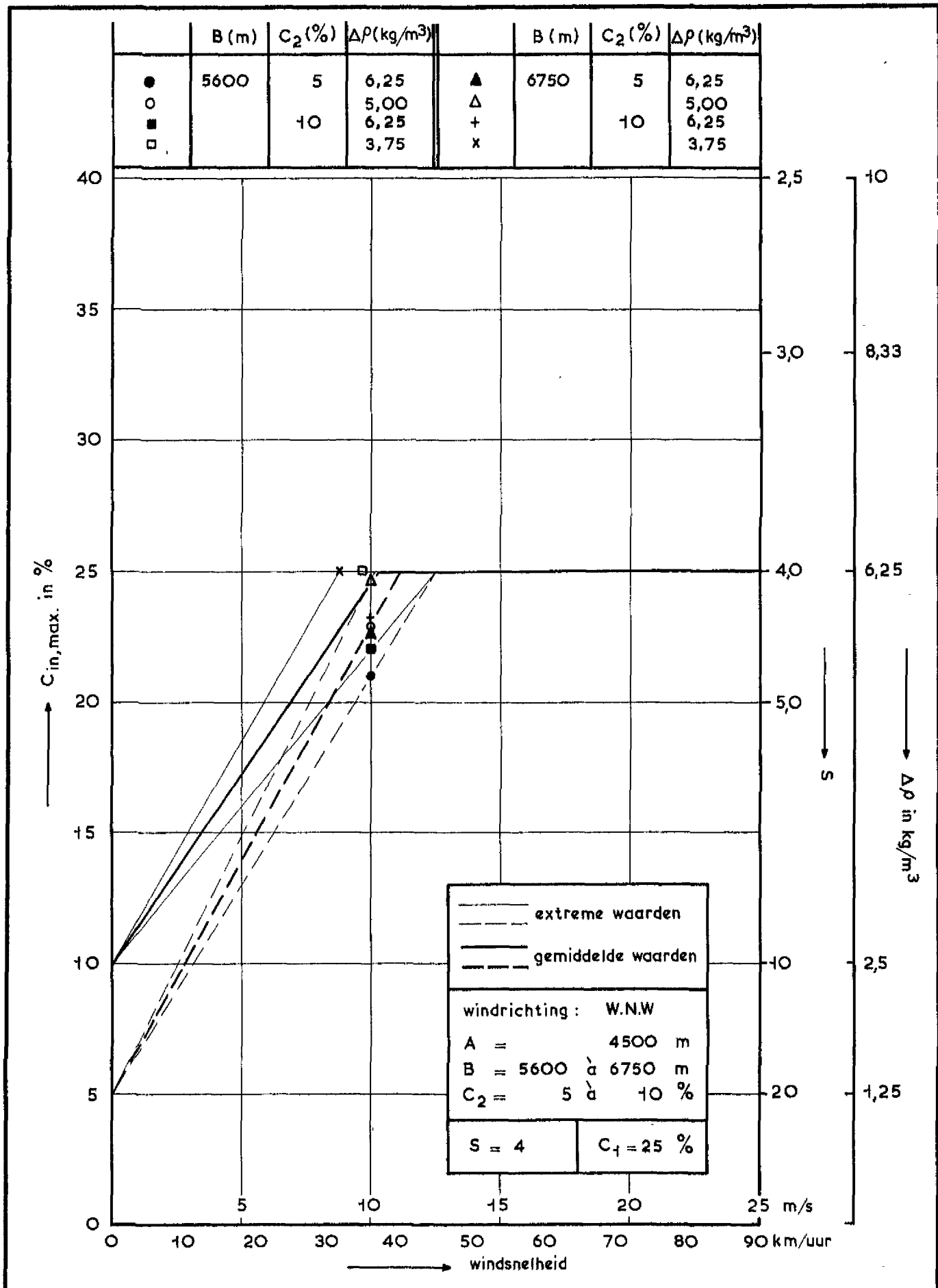
INVLOED VAN WIND, MENGING EN MENGLAAG
OP KWALITEIT INGELATEN WATER BIJ DIEP
GELEGEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT



INVLOED VAN WIND, MENGING EN MENGLAAG
OP KWALITEIT INGELATEN WATER BIJ DIEP
GELEGEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT



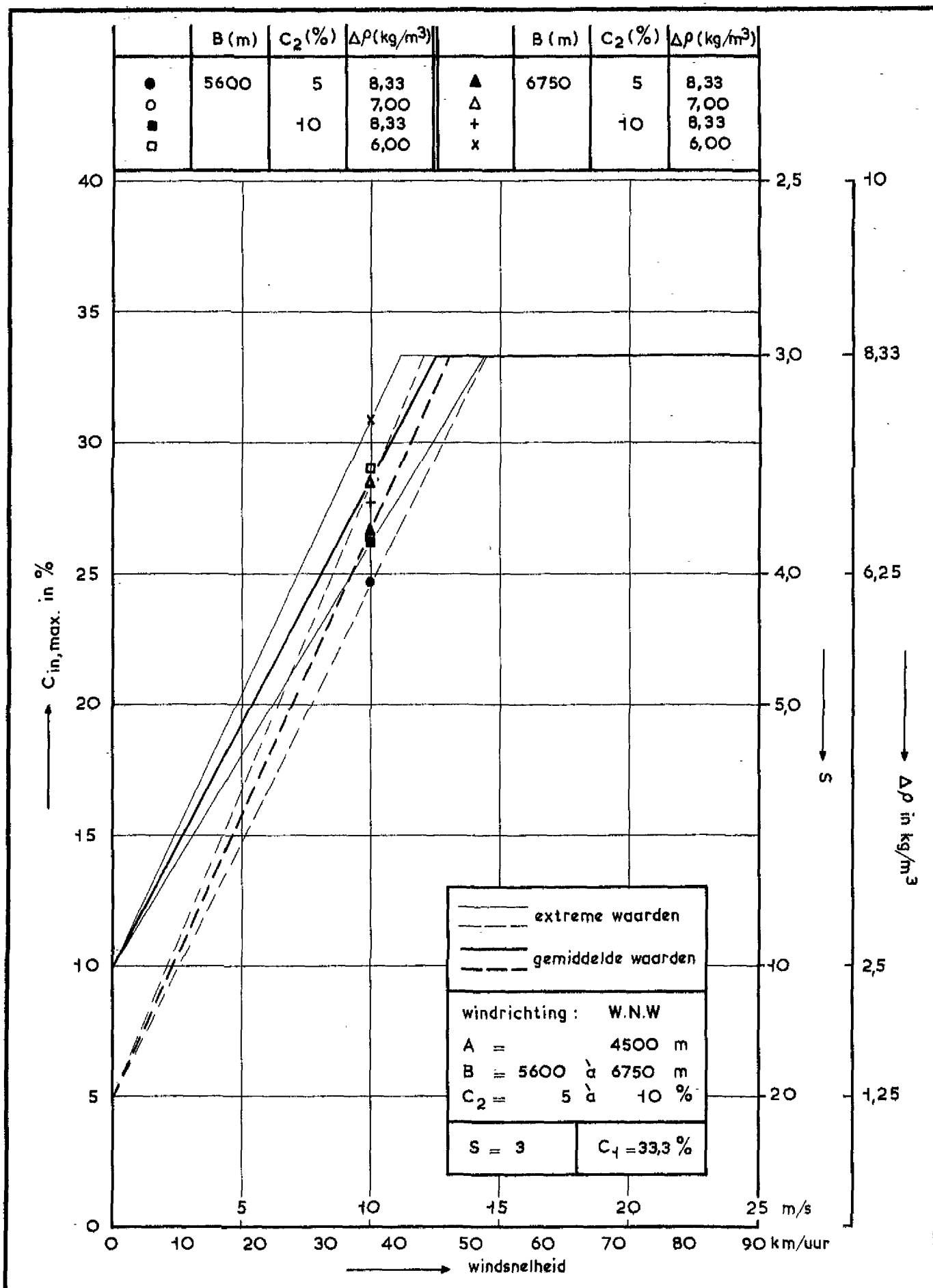
INVLOED VAN WIND, MENGING EN MENGLAAG
OP KWALITEIT INGELATEN WATER BIJ DIEP
GELEGEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

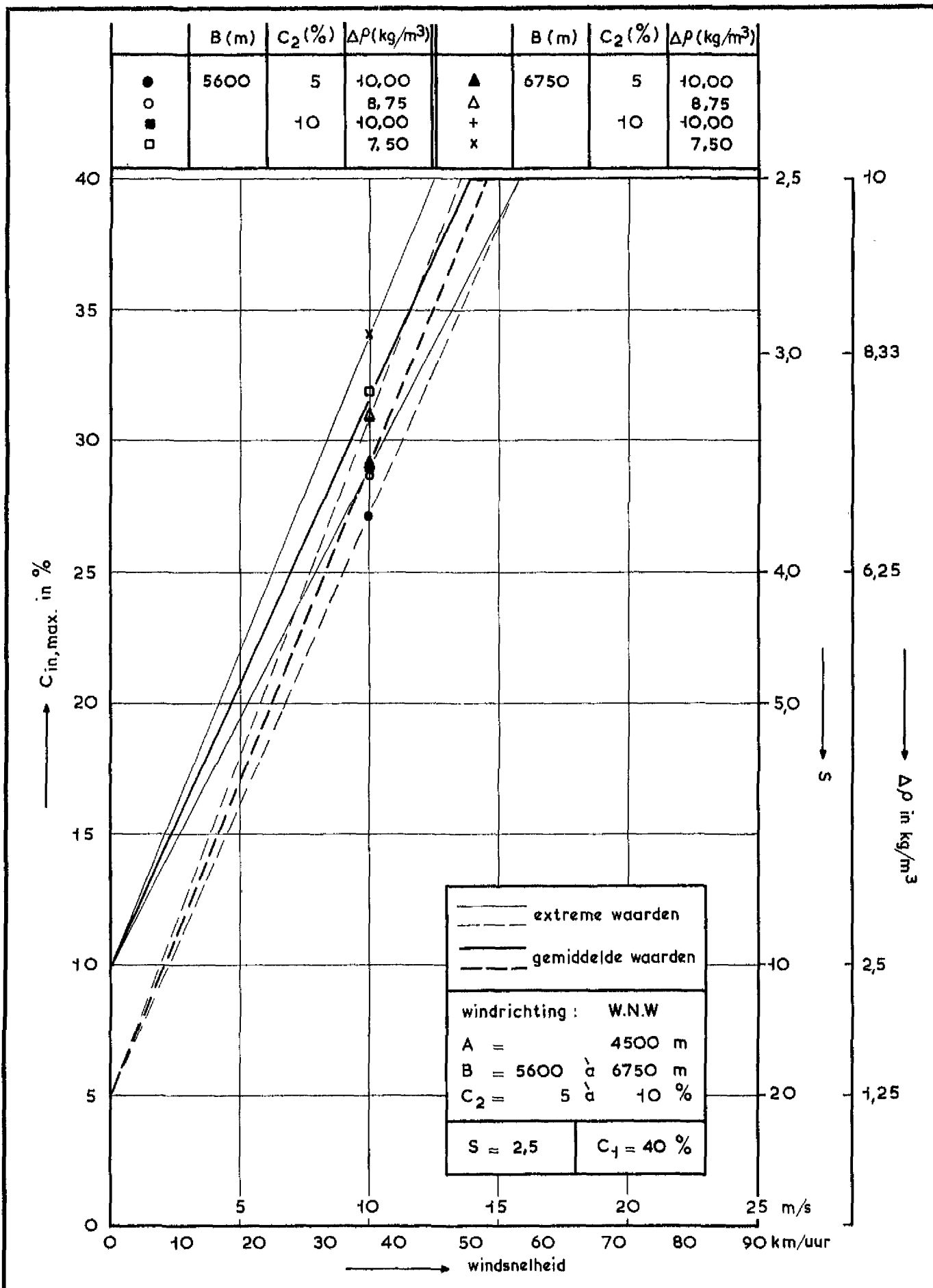
M. 1234

FIG. 46



INVLOED VAN WIND, MENGING EN MENGLAAG
OP KWALITEIT INGELATEN WATER BIJ DIEP
GELEGEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT



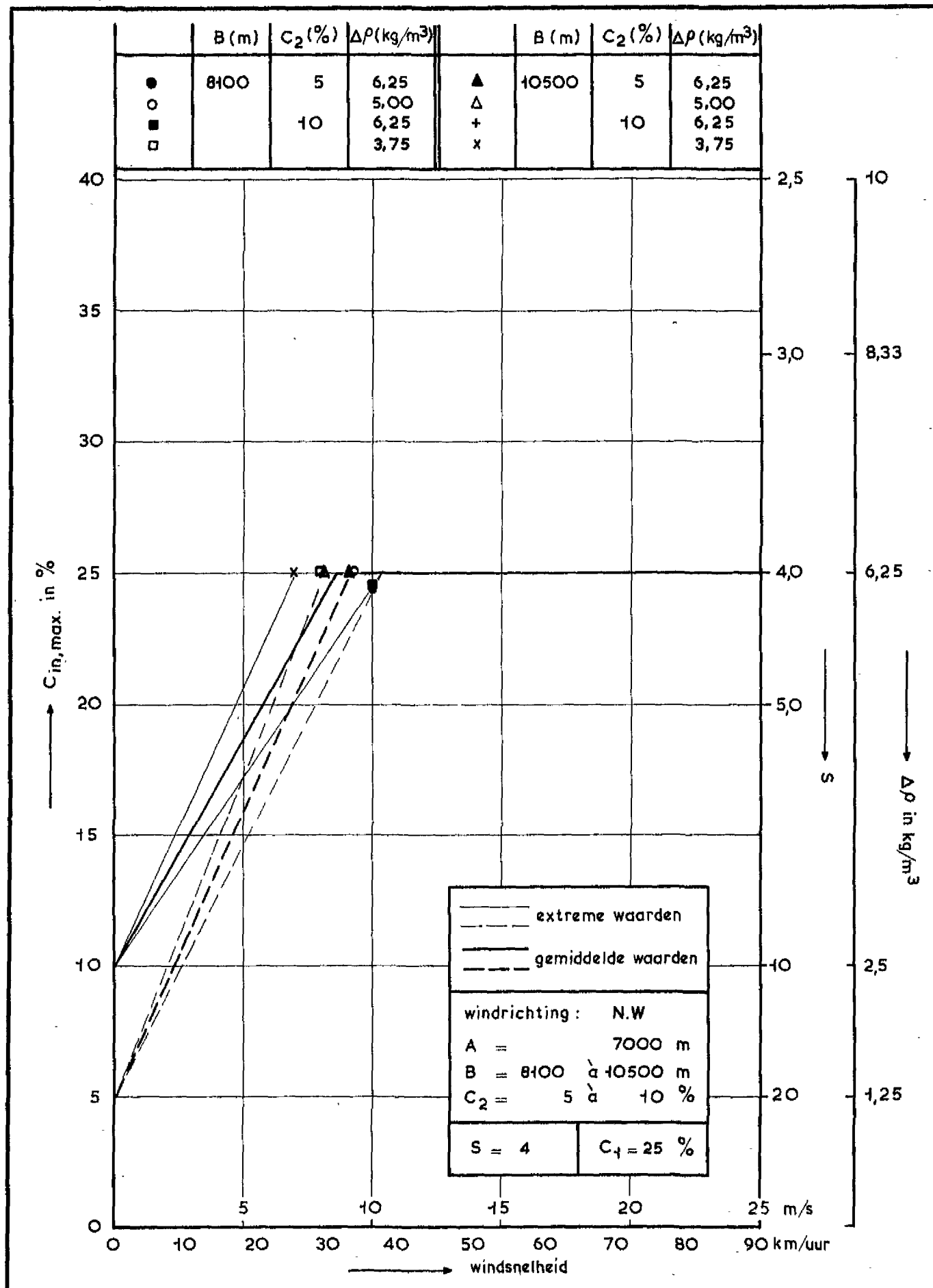
INVLOED VAN WIND, MENGING EN MENGLAAG
OP KWALITEIT INGELATEN WATER BIJ DIEP
GELEGEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

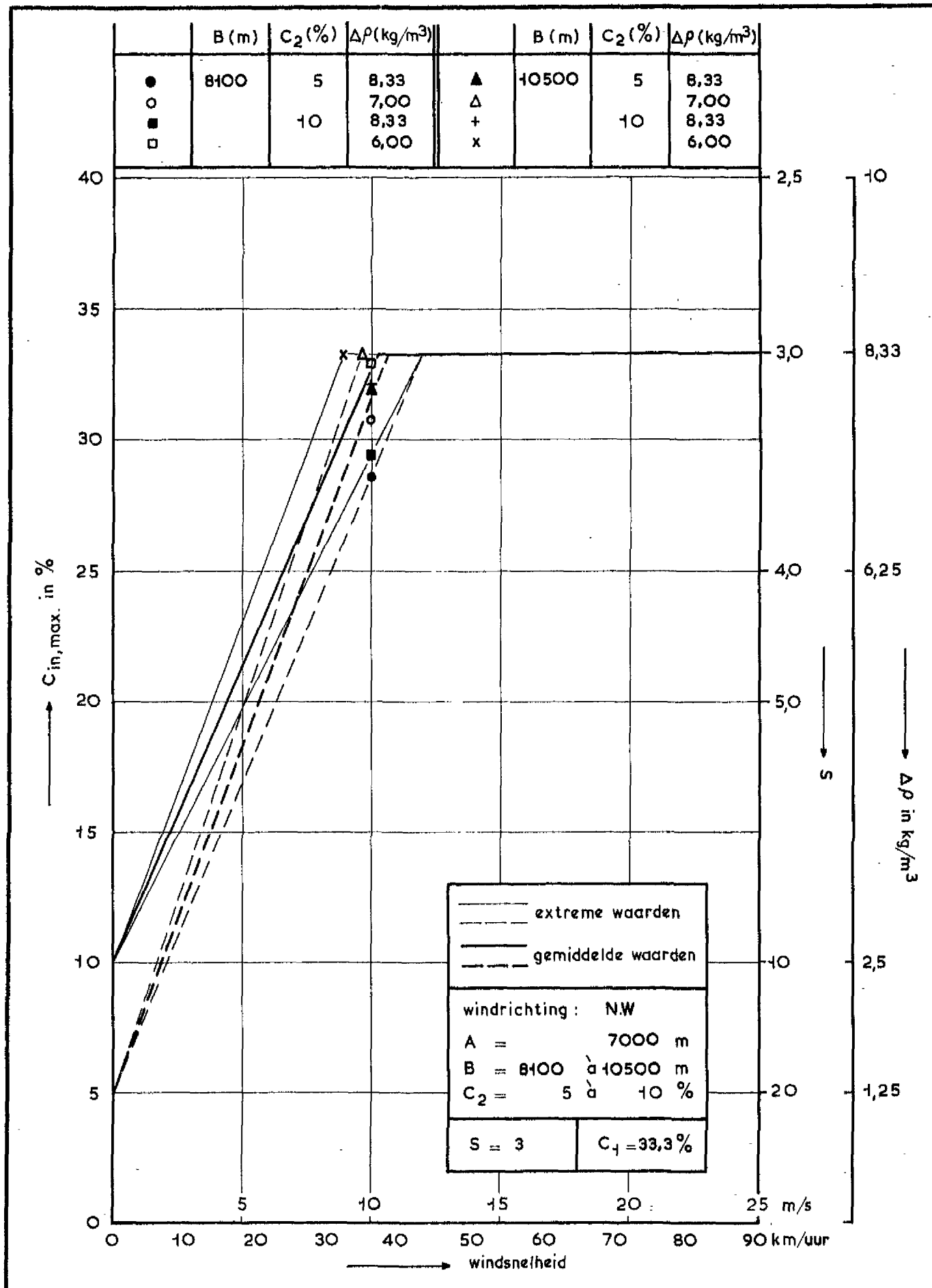
M. 1234

FIG. 48



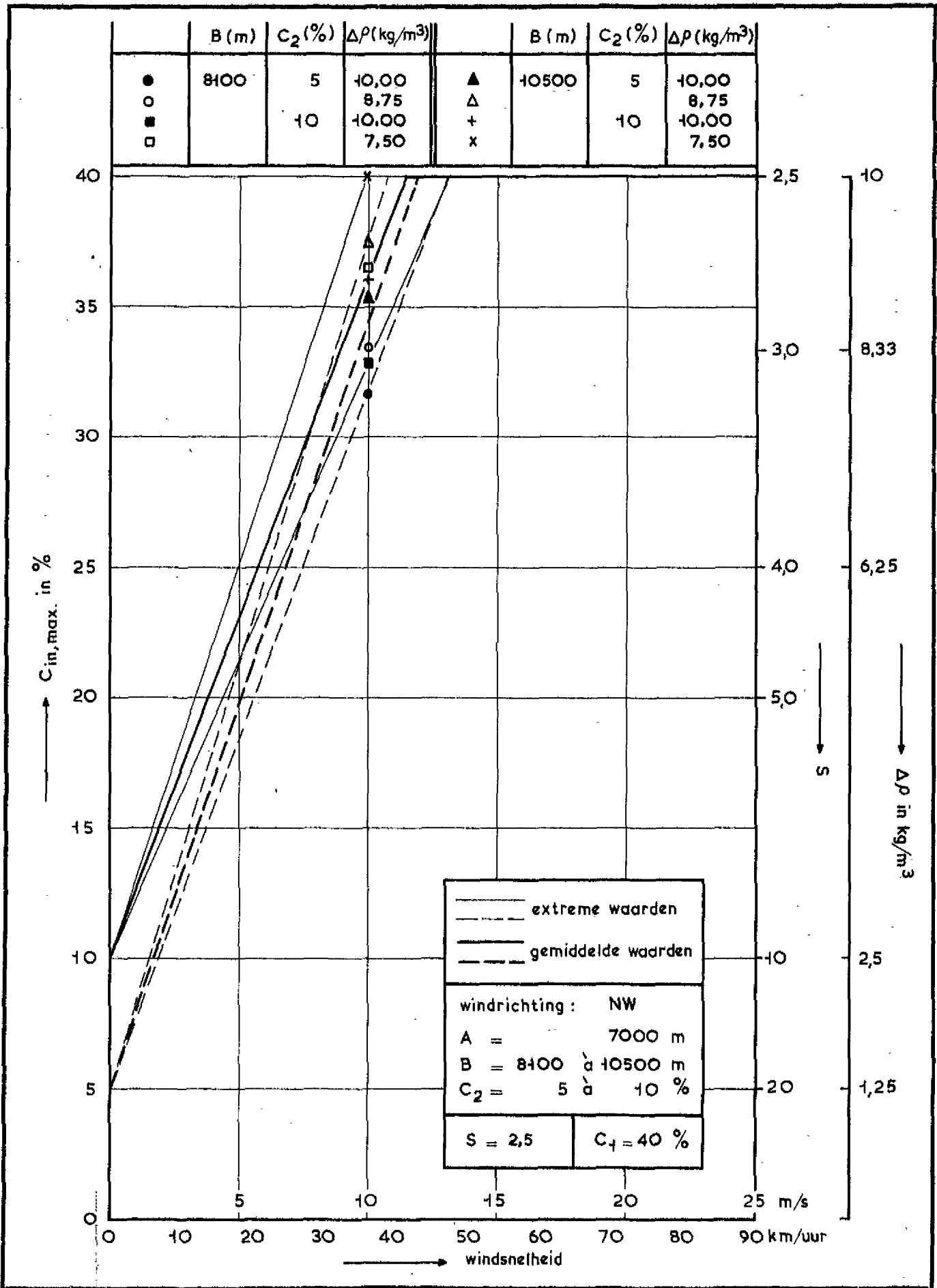
INVLOED VAN WIND, MENGING EN MENGLAAG
OP KWALITEIT INGELATEN WATER BIJ DIEP
GELEGEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT



INVLOED VAN WIND, MENGING EN MENGLAAG
OP KWALITEIT INGELATEN WATER BIJ DIEP
GELEGEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT



INVLOED VAN WIND, MENGING EN MENGLAAG
OP KWALITEIT INGELATEN WATER BIJ DIEP
GELEGEN INLAATWERK

ROGGENPLAAT

waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft