

NN31050.87-06

stora

87-06

Slibontwatering in lagunes

2. Procesparameters en bedrijfsvoering (praktijkonderzoek)

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

NR 315/1988

stora

postbus 414, 2280 AK rijswijk

☎ 070-99.11.33 stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

Slibontwatering in lagunes

2. Procesparameters en bedrijfsvoering (praktijkonderzoek)



0000 0635 7210

23 maart 1988

11.11.1988

	INHOUD	I - II
	Ten geleide	III
1	SAMENVATTING	1 - 2
2	INLEIDING	3
3	OPZET VAN HET ONDERZOEK	4 - 7
4	UITVOERING	8 - 13
4.1	Indikken	8 - 9
4.2	Vullen	9 - 11
4.3	Waarnemingen	11 - 13
4.3.1	<i>slibkarakteriseringen</i>	11 - 12
4.3.2	<i>waterafvoeren</i>	12 - 13
4.3.3	<i>klimaat</i>	13
5	BEREKENINGEN	14 - 17
5.1	Waterbalans	14 - 15
5.1.1	<i>algemeen</i>	14
5.1.2	<i>waterbalanstermen</i>	14 - 15
5.1.3	<i>watervolumereductiefactor</i>	15
5.2	Drogestofbalans	16
5.3	Verwerkingscapaciteit	16 - 17
6	RESULTATEN	19 - 33
6.1	Berekeningsresultaten	19 - 21
6.1.1	<i>verwerkingscapaciteit</i>	19 - 21
6.1.2	<i>watervolumereductiefactor</i>	21
6.1.3	<i>drogestofgehalte</i>	21
6.2	Interpretatie proefvariabelen	21 - 33
6.2.1	<i>waterdoorlatende versus dichte kade</i>	21 - 23
6.2.2	<i>dikke versus dunne lagen</i>	23 - 25
6.2.3	<i>eentrap- versus tweetrapssysteem</i>	25 - 26
6.2.4	<i>één keer versus twee keer per week doseren</i>	26
6.2.5	<i>schaalinvloed</i>	26 - 27
6.2.6	<i>visuele beoordeling</i>	27 - 33
6.2.7	<i>overige aspecten</i>	33
7	EVALUATIE	34 - 37
7.1	Verwerkingscapaciteit	34 - 35
7.2	Waterdoorlatendheid kaden	35
7.3	Laagdikte	35 - 36

7.4	Eéntraps-/tweetrapssysteem	36 - 37
7.5	Doseringsfrequentie	37
7.6	Schaalinvoer	37
8	CONCLUSIES	38
9	AANBEVELINGEN VOOR ONTWERP EN BEDRIJFSVOERING VAN EEN LAGUNEBEDRIJF	39 - 42
9.1	Dimensionering	39
9.2	Inrichting	39 - 40
9.3	Bedrijfsvoering	40
9.4	Kostenindicatie	40 - 42

Bijlagen:

1.	Proefopzet	43 - 50
2.	Slibkarakteriseringen	51 - 62
3.	Cumulatieve water- en slibbalans	63 - 98
4.	Consistentie	99 - 100
5.	Actuele verdamping	101 - 104
6.	Klimaat	105

Ten geleide

Eerder STORA-onderzoek* naar de optimalisering van ontwerp, inrichting en bedrijfsvoering van lagunes voor de ontwatering van zuiveringsslib, mondde uit in de aanbeveling tot vervolgonderzoek naar de invloed van drogestofgehalte, doseringsdikte en doseringsfrequentie van het te laguneren slib.

Dit onderzoek, op semi-praktijkschaal in proeflagunes uitgevoerd, werd door het algemeen bestuur van de STORA op advies van de OAC** opgedragen aan Heidemij Adviesbureau B.V. te Arnhem en namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit ing. J. Teerink (voorzitter), ing. J.P. Heijn, ir. H.M.M. Koppers, drs. A.A. Wismeijer, ir. R.J. Wittebrood en ir. P. Tessel.

Het resultaat, gegeven in dit rapport, is een rekenregel voor het bepalen van de verwerkingscapaciteit van sliblagunes als functie van bedrijfsomstandigheden.

Aan het zuiveringsschap Veluwe is de STORA dank verschuldigd voor het beschikbaarstellen van apparatuur, terrein op de rwzi Bennekom en de medewerking van personeel.

Rijswijk, april 1987.

De directeur van de STORA

drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff

*

STORA-rapport: "Slibontwatering in lagunes. 1. Systemen, technologie en ervaring (inventarisatie, 1983)"

**

De Onderzoekadviescommissie, die tot dit project adviseerde, bestond uit: prof.ir. A.C.J. Koot (voorzitter), drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff (secretaris) en ir. J. Boschlog, ir. R. den Engelse, prof.dr. P.G. Fohr, ir. R. Karper, drs. S.P. Klapwijk, dr. E.J.M. Kobus, ir. J.S. Kuyper, ir. Tj. Meijer, ir. H.M.J. Scheltinga, dr.ir. D.W. Scholte Ubing, drs. J. Verhaagen, drs. A.A. Wismeijer (leden).

SAMENVATTING

In de jaren 1981 en 1982 werd in opdracht van de STORA een literatuurstudie met inventarisatie van praktijkervaringen verricht inzake de slibontwatering door middel van lagunes. Op basis van de resultaten van deze studie werd besloten tot het verrichten van een proef op semi-praktijkschaal met als doelstelling het verkrijgen van inzicht in de dimensionering en bedrijfsvoering van lagunes voor de ontwatering van zuiveringsslib, en het opstellen van richtlijnen voor de inrichting van een lagunebedrijf. De volgende varianten zijn in de proef betrokken:

- de waterdoorlatendheid van de kaden;
- de laagdikte per slibdosering (0,75/0,03/0,015 m);
- het tussenschakelen van een extra indikfase (tweetrapsstelsel);
- de doseringsfrequentie (0,75 m² x per jr; 0,03 en 0,015 m¹ en 2 x per week);
- de slibsoort (aëroob en anaëroob gestabiliseerd slib).

De experimenten zijn uitgevoerd in proefvakken van 2 x 10 m. Constructie en bedrijfsvoering waren zodanig, dat zo goed mogelijk de praktijkomstandigheden zijn benaderd.

Het onderzochte slib werd betrokken van de direct naast het proefterrein gelegen rwzi Bennekom. Behalve in proefvakken is slib ook onderzocht in proefbakken van 1 x 1 m. In de proefvakken is alleen het aëroob gestabiliseerde slib van de rwzi Bennekom gebruikt, in de proefbakken zowel dit slib als anaëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Ede.

Het droogproces in de vakken en bakken is gevolgd door middel van het periodiek bepalen van het drogestofgehalte van het slib (zowel van het toegevoerde natte slib als van het slib in de vakken/bakken), de sliblaagdikte en de hoeveelheid afgevoerd water (via lozingskisten, via de kade en via de bodem). Uit deze gegevens is voor elk vak de waterbalans berekend, waarin de verdamping als sluitpost is opgenomen. Tevens is de drogestofbalans per vak berekend. Ter nadere karakterisering van de slibeigenschappen zijn bovendien de volgende parameters bepaald: gloei-rest, ontwateringskarakteristiek, volumieke massa, schuifweerstand en structuur. Deze factoren zijn voor de vastlegging van het droogproces als zodanig van ondergeschikte betekenis. Ze zijn wel van belang, bijvoorbeeld voor de beoordeling van de verwerkingsmogelijkheden van het gedroogde product.

Op basis van de resultaten van de proeven is de verwerkingscapaciteit berekend, in afhankelijkheid van de proefomstandigheden. De verwerkingscapaciteit wordt gedefinieerd als de te verwerken hoeveelheid slib in kg droge stof per m² netto lagune oppervlak per jaar. Zij is afhankelijk van de slibsoort, van het begindrogestofgehalte, van het gewenste einddrogestofgehalte en van de bedrijfsvoering. Het aëroob gestabiliseerde slib van de rwzi Bennekom is bij een drogestofgehalte van 20 à 25% redelijk verwerkbaar (steekvast).

Indien een dergelijk einddrogestofgehalte moet worden bereikt, bedraagt de verwerkingscapaciteit, bij toepassing van dikke lagen (0,75 m) voor-ingedikt slib met tussentijdse ruiming, 35-50 kg d.s./m².jr. Voor het anaëroob gestabiliseerde slib van de rwzi Ede is een verwerkingscapaciteit gevonden van 70-100 kg d.s./m².jr. Deze laatste waarden moeten met enige voorzichtigheid worden gehanteerd omdat dit slib alleen in proefbakken is onderzocht. Deze bakken zijn ongeschikt gebleken voor een juiste kwantitatieve beoordeling van het droogproces.

Toepassing van dunne laagjes (0,015-0,03 m) leidt tot een situatie waarbij niet binnen redelijke termijn een zodanig drogestofgehalte is te bereiken dat het slib redelijk te verwerken is.

De doorlatendheid van de kade speelt in het algemeen geen rol van betekenis. Alleen bij hoge belastingen, waarbij het vloeibare slib bij vrijwel elke vulling tot tegen de kade stroomt, levert de kade een substantiële bijdrage in de ontwatering.

De bodem van de lagunes dient te bestaan uit een goed doorlatende, gedraineerde zandlaag van minimaal 0,50 m. Percolatie van water uit het slib speelt namelijk een belangrijke rol bij de ontwatering. Gebleken is dat 40-60% van de totale afvoer via de bodem plaatsvond.

Vrijstaand water op het oppervlak moet worden afgevoerd door middel van lozingskisten. De lozingskist dient, wanneer in dikke lagen wordt gevuld, de mogelijkheid te hebben om tussenwater af te laten.

Bij toepassing van dikke lagen (0,75 m) met tussentijdse ruiming behoeven de kaden niet hoger te zijn dan 1,0 m. Ten behoeve van het ruimen kunnen op- en afritten worden gemaakt.

Hoog opgaande beplanting, direct naast de lagunes, dient te worden vermeden. Uitgaande van het toepassen van dikke lagen (0,75 m) als het meest effectieve lagunesysteem bedragen de globaal geraamde jaarlijkse kosten voor de droging van het slib van een carrousel met een capaciteit van 50.000 i.e., f 340,-- (tweetrapssysteem)/ f 385,-- (ééntrapsysteem) per ton droge stof. Deze bedragen zijn inclusief de ruimingskosten, exclusief B.T.W. en gebaseerd op prijspeil december 1986. Voor de grondaankoopprijs is uitgegaan van f 10,--/m². De verdere verwerking van het slib is niet in de kostenraming opgenomen.

In de jaren 1981 en 1982 werd in opdracht van de STORA een literatuurstudie met inventarisatie van praktijkervaringen verricht inzake de slibontwatering door middel van lagunes.

Deze studie maakte een aantal tendensen zichtbaar, die echter, zonder proefondervindelijke toetsing, te weinig houvast boden om concrete aanbevelingen te kunnen doen.

Omstandigheden en slibsoorten verschilden onderling te veel om een exacte vergelijking van de toegepaste droogsystemen mogelijk te maken. Daarom werd besloten tot het verrichten van een proef op semipraktijkschaal met als doelstelling het verkrijgen van inzicht in de dimensionering en de bedrijfsvoering van lagunes voor de ontwatering van zuiveringsslib, en het opstellen van richtlijnen voor de inrichting van een lagunebedrijf. Daarbij werd de aandacht gericht op die handelingen, die tot de snelste ontwatering zouden leiden en op de optimale verhouding van kosten en ontwateringseffect.

De te onderzoeken parameters werden onder meer ontleend aan de resultaten van de genoemde studie.

Het proefterrein is aangelegd in de herfst van 1983 op een terrein bij de rwzi Bennekom. De keuze daarvan is bepaald aan de hand van de eigenschappen van het slib en de beschikbaarheid van het terrein.

De metingen zijn verricht in de periode april 1984 tot november 1985. Dit rapport bevat de resultaten van het onderzoek en de wijze waarop deze tot stand zijn gekomen. Uitgaande van de te onderzoeken variabelen is de opzet van het onderzoek vastgesteld (hoofdstuk 3). Vervolgens zijn de proeven uitgevoerd (hoofdstuk 4). Voor de karakterisering van het droogproces is een aantal berekeningen verricht (hoofdstuk 5). Van elke variabele is de invloed op het droogproces vastgesteld (hoofdstuk 6) en geëvalueerd (hoofdstuk 7). De conclusies die hieruit konden worden getrokken (hoofdstuk 8) zijn vertaald in richtlijnen voor ontwerp en uitvoering van een lagunebedrijf (hoofdstuk 9) inclusief een kostenindicatie. De bijlagen bevatten details betreffende de proefinrichting en de meetresultaten en tevens de verantwoording van een aantal aspecten die in het rapport als gegeven worden opgevoerd.

Overeenkomstig de resultaten van de studie van 1981/1982 is de proef zodanig opgezet dat de volgende variabelen worden vergeleken:

- waterdoorlatende versus dichte kade
Indien de waterdoorlatendheid van de kade een wezenlijk aandeel in de ontwatering heeft, beïnvloedt dit de optimale verhouding lagune-oppervlakte/kadelengte;
- dikke versus dünne lagen
Door het toepassen van zowel eenmalig als laagsgewijs vullen wordt nagegaan in hoeverre laatstgenoemde methode tot een effectievere ontwatering leidt. Tevens wordt onderzocht of bij laagsgewijs vullen de laagdikte een belangrijke rol speelt;
- ééntraps- versus tweetraps-vullen
Een tweetraps-vullen bestaat hierin dat het slib gedurende een zekere tijd wordt losdikt in een indikkbekken en vervolgens in de drooglagune wordt gedroogd.
Nagegaan wordt of het losdrijven van dergelijk ingedikt slib leidt tot een verhoging van de droogcapaciteit (bij gelijkblijvende volumebelasting en hogere droogstofbelasting), in vergelijking met niet ingedikt slib;
- één keer versus twee keer per week doseren
De doseringfrequentie zou van invloed kunnen zijn op de effectiviteit van de verdamping en daarmee op de droogcapaciteit;
- proefvakken versus proefbakken
Onderzocht wordt welke de relatie (schaalinvloed) is tussen de proeven in vakken (1x10 m) en in bakken (1x1 m), met het doel te kunnen beschikken over een conventionele, goedkope methode voor vergelijkende proeven met een omvangrijk slib. Nagegaan wordt of de betrouwbaarheid van uitspraken over de dimensioneringscriteria voor een in proefvakken onderzocht slib op hetzelfde niveau is te brengen als voor een in (proef)bakken onderzocht slib;
- slibsoort
Er bestaan grote verschillen in de ontwaterbaarheid van slibben onderling. Deze worden veroorzaakt door verschillen in de aard van het afvalwater, in zuiveringsinrichting en in wijze van stabiliseren van het slib. Generaliserend gesproken is anaëroob gestabiliseerd slib beter ontwaterbaar dan aerob gestabiliseerd slib. In de proefvakken is aerob gestabiliseerd slib, afkomstig van de rwzi Bennekom, onderzocht; in de proefbakken zowel dit slib als anaëroob gestabiliseerd slib, afkomstig van de rwzi Ede.

Het meetprogramma zal vooral gericht op het bepalen van de water- en droogstofbalans van de proefvakken. Het effect van voornoemde variabelen op de verdamping, infiltratie en afvoercomponenten wordt gemeten.

- Deze componenten zijn:
- verdamping;
 - infiltratie in de bodem;
 - afvoer via de bodembekken;
 - afvoer via de kade.

De proefopzet is enkelvoudig (zonder herhalingen), wat uiteraard een beperking betekent ten aanzien van de statistische bewerking en interpretatie van de meetresultaten. De proefopzet is echter zodanig dat bepaalde maatregelen meermalen vertegenwoordigd zijn, waardoor een voldoende indruk van de reproduceerbaarheid wordt verkregen. Tabel 1 geeft een overzicht van het proefschema.

aantal vullingen per jaar	laagdikte per vulling in cm	ingedikt(i), niet ingedikt (o) slib	dichte(D), waterdoorlatende(W) kade	slib Bennekom (aëroob)		slib Ede (anaëroob)
				proefvak	proefbak	proefbak
2	75	i	D	I	I	I'E
2	75	i	W	II	-	-
2	75	o	W	III	-	-
104	3	o	D	IV	IV	IV'E
104	3	o	W	V	-	-
104	1,5	o	W	VI	-	-
104	1,5	i	W	VII	-	-
52	3	i	W	VIII	-	-
104	1,5	i	D	IX	-	-

Tabel 1. Overzicht van het proefschema.

Bij de opzet van de experimenten zijn tevens de onderstaande uitgangspunten gehanteerd:

- de proeven worden gedaan in vakken van een zodanige omvang dat zij een representatief deel vormen van een lagune (bijlage 1);
- door het gelijktijdig met de proefvakken uitvoeren van experimenten in proefbakken, waarin zowel goed als slecht ontwaterbaar slib wordt beproefd, zal worden getracht de resultaten van de vakkenproeven extrapolateerbaar te maken naar een zo breed mogelijk traject van ontwaterbaarheid;
- tevens wordt nagegaan of de ontwaterbaarheid van het slib, zoals deze op verschillende manieren in het laboratorium wordt bepaald, kan worden gerelateerd aan de resultaten van de experimenten in de proefvakken en proefbakken.

De proefvakken zijn aan drie zijden begrensd door een houten wand en aan één korte zijde door een kade. De lengte per vak bedraagt 10 m en de breedte 2 m. De houten wand is zodanig geconstrueerd dat deze met de sliblaag mee kan groeien respectievelijk mee kan zakken, om randeffecten in de vorm van schaduwwerking en verschillen in windbeïnvloeding tot een minimum te beperken (foto 1 en 2).

De bodem van de proefvakken bestaat uit draineerzand op folie. De folie ligt in een V-vorm met het laagste punt in de as van het proefvak (figuur 1).

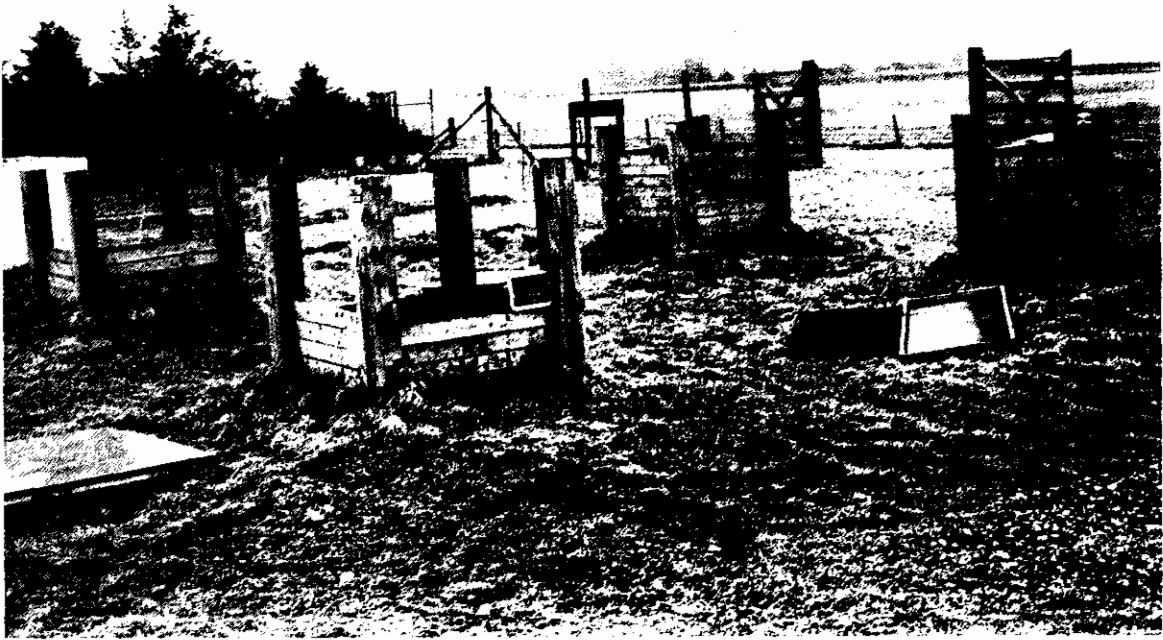


Foto 1. Overzicht van de proefbakken.

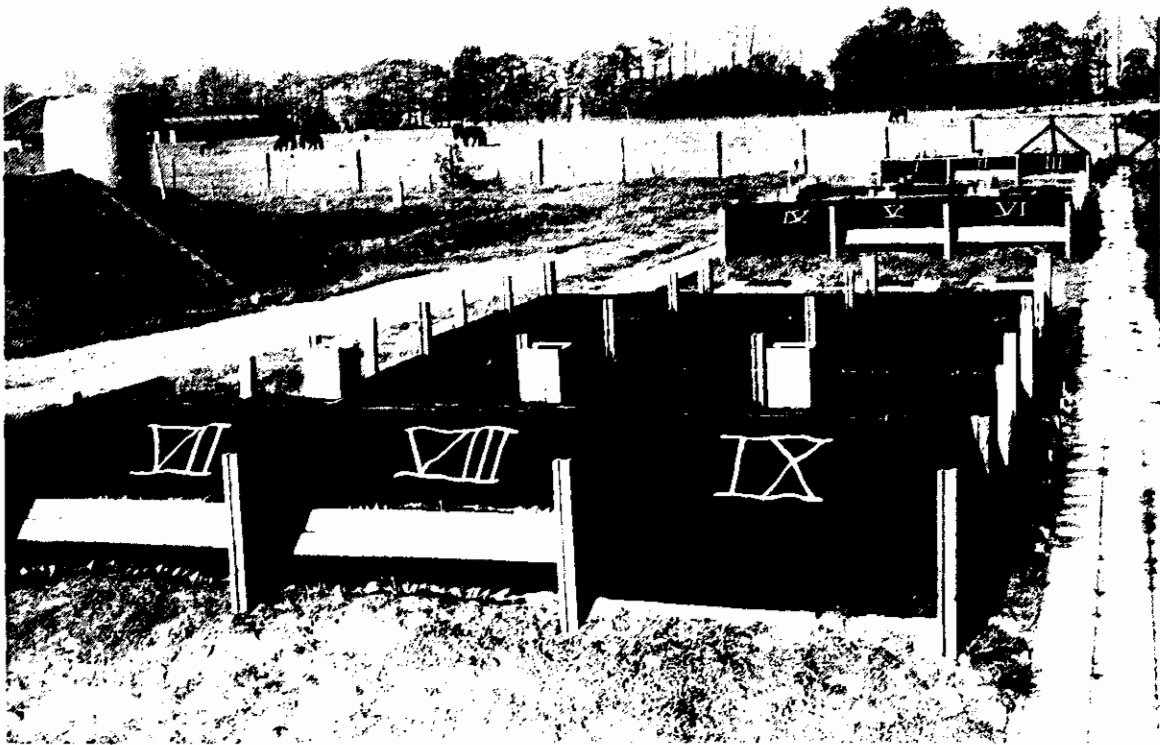
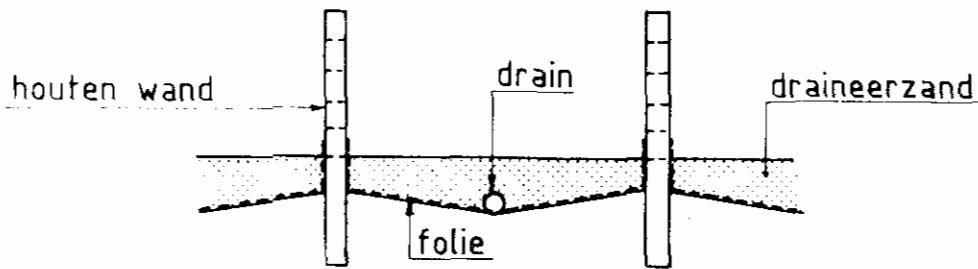


Foto 2. Overzicht van de proefvakken.



Figuur 1. Doorsnede proefvak.

De kaden die waterdoorlatend zijn, bestaan uit draineerzand en zijn aan de buiten- en onderzijden voorzien van folie. De kaden die dicht zijn, bestaan uit ter plaatse ontgraven grond en zijn aan de binnen- en buitenzijden voorzien van folie.

In de proefvakken en in de waterdoorlatende kaden ligt op de folie één draineerbuis. Door middel van een waterdichte constructie door de folie is deze aangesloten op een dichte afvoerleiding, die in een meetput uitmondt.

In elk der proefvakken bevindt zich een lozingskist. De afvoer hiervan geschiedt op identieke wijze als die van de draineerbuizen.

Het meten van de diverse afvoercomponenten vindt plaats door middel van de bepaling van het waterpeil in de meetputten (foto 9, p.12). Deze worden naar behoefte periodiek leeggepompt waarbij het water wordt afgevoerd naar de nabij gelegen rwzi.

De constructie van de proefbakken (1x1 m) benadert zo veel mogelijk die van de proefvakken met dien verstande, dat alle vier wanden uit hout bestaan. Ten behoeve van de afvoer van het vrije water aan de oppervlakte wordt een aangepaste lozingsconstructie aangebracht.

De hiervoor vermelde proefopzet is gerealiseerd op een proefterrein naast de rioolwaterzuiveringsinrichting van Bennekom.

Op het proefterrein zijn 9 proefvakken en 4 proefbakken ingericht met de benodigde meetputten.

De vulwijze (frequentie, laagdikte), slibsoort en kadeconstructie staan beknopt weergegeven in tabel 1.

De oriëntatie van de proefvakken is zoveel mogelijk noord-zuid met het oog op de gemiddelde zonnestand. Alle vakken profiteren daardoor in gelijke mate van de middagzon.

Voor het totaaloverzicht van de inrichting van het proefterrein wordt verwezen naar bijlage 1.

Voorafgaand aan het vullen zijn de proefvakken en proefbakken op waterdichtheid getest en waar nodig gerepareerd.

Op 2 april 1984 is de proef gestart. Een half jaar later, op 18 oktober, zijn de velden I, II en III volgens plan geruimd. Eind december 1984 viel de vorst in. Deze hield aan tot eind februari 1985. Gedurende die periode werden de slibvullingen gestaakt. De afvoermetingen gingen door.

Op 30 mei 1985 werd de laatste slibvulling verricht. De afvoermetingen en overige waarnemingen zijn tot 31 oktober 1985 doorgezet.

4.1 Indikken

Op het proefterrein zijn voor het indikken van slib aanwezig:

- een indikbekken (foto 3) met een inhoud van 60 m^3 voor het vullen van de proefvakken I en II (twee keer per jaar);
- een indiktank met een inhoud van 8 m^3 voor het vullen van de proefvakken VII t/m IX (twee keer per week);
- een indikvat met een inhoud van 2 m^3 voor het vullen van proefbak I'E (twee keer per jaar).



Foto 3. Homogenisering slib in het indikbekken.

Het indikbekken en de indiktank werden gevuld met aëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Bennekom.

Het indikvat werd gevuld met anaëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Ede.

Het aflaten van water tijdens het indikkingsproces geschiedde met de volgende hulpmiddelen:

- indikbekken: lozingskist van hetzelfde type als in de proefvakken;
- indiktank: aftapkraantjes in de wand van de tank met een onderlinge afstand van 0,20 m (foto 4);
- indikvat: lozingsconstructie van hetzelfde type als in de proefbakken.

Voor de indikkingsperiode is uitgegaan van een gemiddelde verblijftijd van 4 weken.

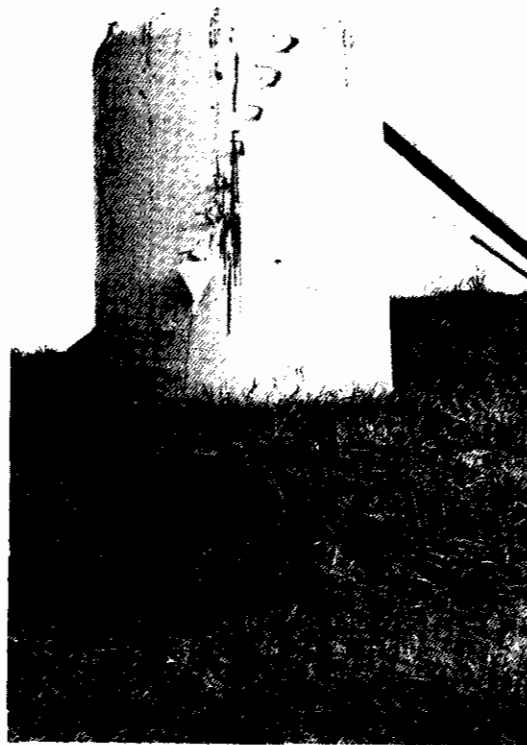


Foto 4. Indiktank met wateraflaatsysteem.

4.2 Vullen

Enkele dagen vóór de start van de proef zijn de zandbedden onder de proefvakken en proefbakken vol water gezet en zijn alle afvoerbuizen in de meetputten tot na de eerste vulling afgedicht.

Bij de berekeningen van de afvoeren is voor deze hoeveelheid water gecorrigeerd op de meetresultaten van de vakdrainafvoeren (V.D.A.'s). Gedurende de eerste vullingen zijn de zandbedden ter plaatse van het spuijpunt met folie beschermd tegen uitspoeling.

Het niet ingedikte aëroob gestabiliseerde slib van de rwzi Bennekom werd via een ondergrondse persleiding naar het proefterrein getransporteerd.

Een gedeelte ervan werd via een doseervat in de proefvakken IV t/m VI en in proefbak IV' gebracht. Aan de hand van de peildaling in het doseervat werd de hoeveelheid slib per vulling per vak bepaald.

Het andere gedeelte werd gebruikt voor aanvulling van de inhoud van de indiktank.

Vanuit deze indiktank werd het ingedikte aëroob gestabiliseerde slib in de proefvakken VII t/m IX gebracht.

Het meten van de exacte hoeveelheid slib per vulling per vak geschiedde op dezelfde wijze als bij het doseervat.

Bij het eenmalig vullen van de proefvakken I en II met het slib uit het indikbekken werd de benodigde hoeveelheid gemeten in de proefvakken zelf; zo ook bij de eenmalige vulling van proefvak III rechtstreeks vanuit de persleiding.

Ten behoeve van het periodiek vullen van de proefvakken IV t/m IX is

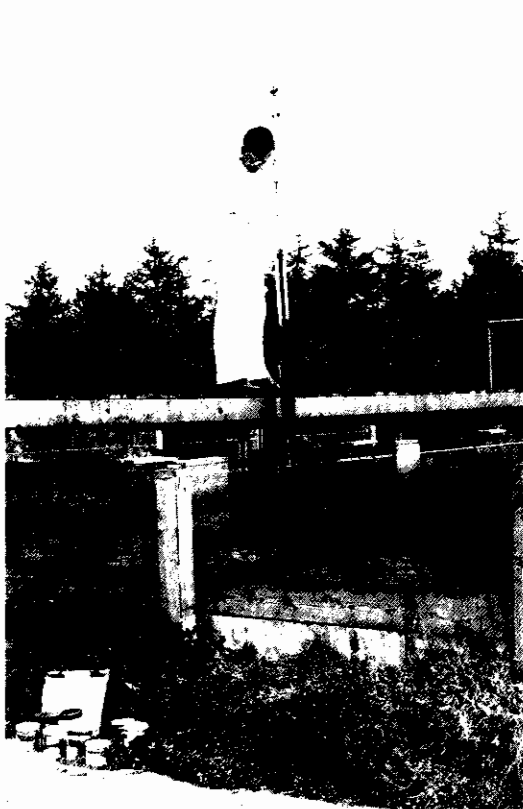


Foto 5. Monstername met de "Vrij-Wit-boor".

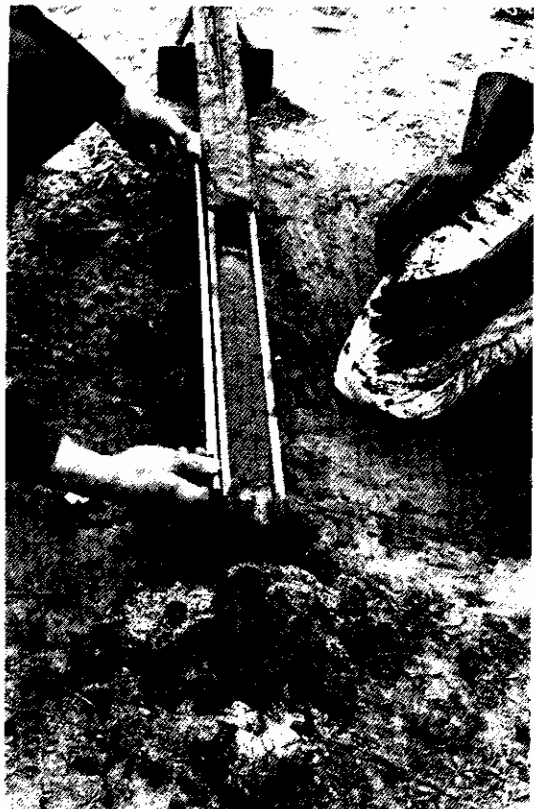


Foto 6. Verticale moot slib uit het proefvak.



Foto 7. Meting schuifweerstand.



Foto 8. Onderdelen "vin-apparaat".

aan het einde van de vulslangen een platte schop bevestigd, waardoor de vulstraal wordt gebroken en verspreid; het onderduiken van het aangevoerde slib onder de reeds aanwezige laag wordt hiermede tegengegaan.

4.3 Waarnemingen

De waarnemingen tijdens de proef zijn uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in de verschillende procesomstandigheden die in drie hoofdgroepen (slibkarakterisering, waterafvoeren en klimaat) zijn ondergebracht.

4.3.1 *slibkarakterisering*

Ten behoeve van het karakteriseren van de toegepaste slibsoorten zijn de volgende parameters gemeten:

- drogestofgehalte aangevoerd slib
- drogestofgehalte slib in de vakken/bakken
- sliblaagdikte
- gloeirest
- ontwateringskarakteristiek
- volumieke massa
- schuifweerstand
- structuur.

De drogestofgehalten van elke vulling (aangevoerd slib) van elk proefvak en elke proefbak zijn in het laboratorium bepaald volgens NEN 3235, par. 4.1.

Daarnaast zijn gemiddeld één keer per maand slibmonsters genomen uit de vakken en bakken zelf. Ook hiervan zijn de drogestofgehalten in het laboratorium vastgesteld.

Bij deze monsternamen is gebruik gemaakt van de zgn. "Vrij-Wit-boor". Met deze boor wordt een verticale kolom slib in situ gestoken (foto 5). De slibkolom wordt in lagen van maximaal 0,25 m onderverdeeld (foto 6). Per laag wordt een monster genomen. De Vrij-Wit-boringen zijn op drie plaatsen in de proefvakken uitgevoerd en wel evenredig verdeeld in afstand vanaf de vulzijde tot aan de kadezijde. In de proefbakken zijn de monsters op tenminste 0,20 m van de wanden gestoken. Bij aanwezigheid van een duidelijke korst op het sliboppervlak werd deze apart bemonsterd. Op alle monsterplaatsen zijn telkens de sliblaagdikten en korstdikten gemeten.

Op drie tijdstippen is de gloeirest (asgehalte) bepaald van het aangevoerde slib, nl. op 2 april 1984 (aanvang van de proef), op 8 oktober 1984 (einde van de eerste cyclus) en op 8 november 1984 (begin van de tweede cyclus, nieuwe vulling van de vakken I, II en III).

De gloeirest van het slib in de proefvakken en proefbakken is bepaald in september 1984 (na ongeveer een half jaar, kort voor het ruimen van de vakken I, II en III) en in oktober 1985 (aan het eind van de proef).

De proefvakken werden bemonsterd vanaf een speciaal voor dit doel geconstrueerde verrijdbare brug (foto 11, p.24) waardoor ieder gewenst punt in elk vak kon worden bereikt zonder dat dit tot verstoringen elders aanleiding gaf. Om de ontwateringseigenschappen van de gebruikte slibsoorten - het aëroob gestabiliseerde slib van de rwzi Bennekom en het anaëroob gestabiliseerde slib van de rwzi te Ede - onderling, maar ook ten opzichte van andere slibsoorten, te kunnen vaststellen zijn op vijf tijdstippen monsters genomen van de vers aangevoerde slibben, en wel in

september 1983, mei 1984, november 1984 en mei 1985 (vlak voor het beëindigen van de vullingen).

De eerste monstersserie is onderzocht op Afzuigtijd (75 ml), Capillary Suction Time (CST), Specifieke Filtratieweerstand en Afzuigtijd (60 ml) volgens de Modified Filtration Test (MFT). De overige monstersseries zijn onderzocht op verdampingssnelheid bij 80 °C.

Ten behoeve van het opstellen van een sluitende drogestofbalans is het nodig de volumieke massa van het slib te kennen.

Daartoe is in het laboratorium onderzoek verricht naar: volumieke massa nat monster, massapercentage droge stof, volumieke massa droge stof, gloei-rest in massapercentage op droge stof en volumieke massa van de as.

Omdat naar verwachting de verschillen in voorbehandeling van het slib (aëroob/anaëroob gestabiliseerd, niet/wel ingedikt) leiden tot verschillen in volumieke massa's zijn de volgende monsters genomen:

- niet gedroogd slib van de rwzi-Bennekom;
- gedeeltelijk ontwaterd slib van de rwzi-Bennekom uit proefvak IV;
- niet gedroogd slib van de rwzi-Ede;
- gedeeltelijk ontwaterd slib van de rwzi-Ede uit proefbak IV'E.

Deze monsters zijn op 29 juli 1985 genomen, ongeveer twee maanden na de laatste slibvulling.

De toestand van de proefvakken en proefbakken is periodiek vastgelegd door middel van notities en van foto's.

Aangezien de consistentie van het slib de bepalende eigenschap is voor de mogelijkheden van verdere verwerking, is viermaal in alle vakken en bakken in de korst en halverwege de sliblaag de schuifweerstand gemeten met het zogenaamde "vin-apparaat" (foto 7 en 8). De metingen hebben op de volgende tijdstippen plaatsgevonden: midden oktober 1984, begin juni 1985, eind juli 1985 en begin oktober 1985.

4.3.2 *waterafvoeren*

Per meetdag zijn de waterniveaus in alle meetputten geregistreerd (foto 9).

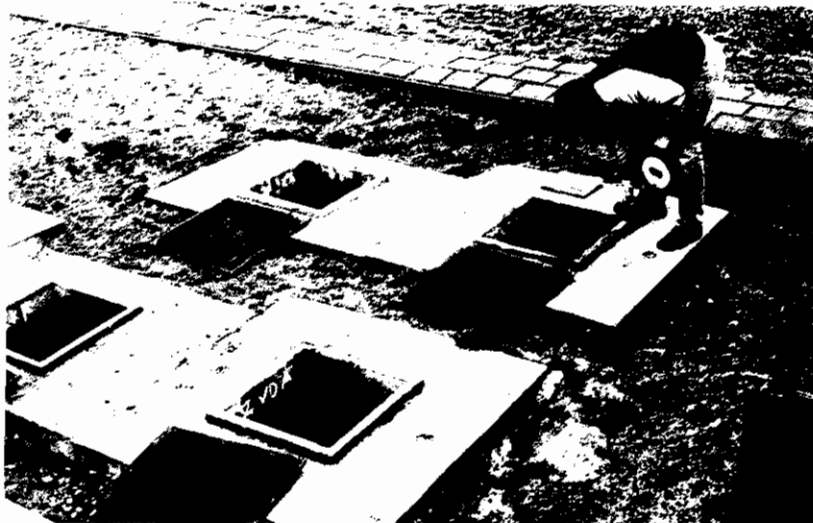


Foto 9. Meting waterniveau in meetput IV-VDA.

Het betreft de afvoeren van de vakdrains, de lozingskisten en de kadedrains. Uit de peilstijgingen zijn de debieten per meetinterval berekend.

Periodiek zijn de meetputten leeggepompt; via een bufferbassin werd het water gepompt naar de rwzi Bennekom.

4.3.3 *klimaat*

Voor de beoordeling van de experimenten en de resultaten zijn gegevens over neerslag en verdamping onontbeerlijk. De neerslag is ter plaatse geregistreerd. Op het proefterrein is een pluviograaf (regenschrijver) opgesteld voor continue neerslagregistratie. Daarnaast is een regenmeter geplaatst, waarin de neerslag per meetinterval is gemeten.

Voor wat betreft de verdampingsgegevens is gebruik gemaakt van de open-water-verdamping en van de verdamping van kort gras. Eerstgenoemde zijn verkregen bij het K.N.M.I. in De Bilt, laatstgenoemde bij de Landbouwuniversiteit Wageningen.

5 BEREKENINGEN

5.1 Waterbalans

5.1.1 *algemeen*

Voor de hoeveelheid water, die gedurende het ontwateringsproces in de vakken en bakken aanwezig is, is een waterbalans opgesteld. De waterbalansberekening heeft steeds betrekking op die dagen waarop de aanwezige hoeveelheid droge stof in de vakken en bakken met behulp van de Vrij-Witboor is bepaald. Bij de waterbalansberekening worden zowel de ingaande componenten (slibtoevoer en neerslag) als de uitgaande componenten (afvoer en verdamping) in beschouwing genomen.

Het doel van waterbalansberekeningen is inzicht te verschaffen in:

- de onderlinge verhouding zowel als de absolute grootte van de componenten: afvoer via de lozingskist, percolatie-afvoer via de zandbodem, afvoer via de kade en verdamping via het sliboppervlak. De actuele verdamping is niet rechtstreeks gemeten en is daarom alleen door middel van waterbalansbeschouwingen als sluitpost te bepalen. De verdamping is afhankelijk van het seizoen, terwijl de grootte van de andere afvoercomponenten vooral van de fase van het ontwateringsproces afhangt;
- de invloed van de meteorologische omstandigheden (zowel neerslag als verdamping) op het ontwateringsproces. Indien de neerslag relatief groot is ten opzichte van verdamping en afvoer, wordt het ontwateringsproces in ongunstige zin beïnvloed;
- storende invloeden tijdens de proefneming en in de betrouwbaarheid van de resultaten.

5.1.2 *Waterbalanswet*

Voor de balans is, op basis van de wet van behoud van massa, van toepassing: inkomende stroom water = uitgaande stroom water plus de geborgen hoeveelheid water.

Tot de inkomende stroom behoren:

W= ingekomen hoeveelheid water in het toegevoerde slib [mm]
N= neerslag [mm]

Tot de uitgaande stroom behoren:

V= afvoer via vakdrain [mm]
K= afvoer via kadedrain [mm]
L= afvoer via lozingskist [mm]
A= actuele verdamping via het slib-oppervlak [mm]
S= stochastische term, waarin lekverliezen en andere storende effecten zijn vertegenwoordigd [mm]

Verder geldt:

B= geborgen hoeveelheid water in het slib in de vakken en bakken [mm]

In formulevorm kan de waterbalans als volgt geschreven worden:

$$W + N = (V + K + L) + A + S + B$$

Van de acht waterbalanstermen worden er vier rechtstreeks gemeten, te weten de neerslag (N) en de afvoer via de bodem, de kade en de lozingskist. (V, K, L).

De term W is berekend met de formule:

$$W = \left(1 - \frac{1}{\rho} \frac{d.s.}{100}\right) H$$

waarin:

H	=	volume van het toegevoerde slib	[mm]
d.s.	=	drogestofgehalte van het toegevoerde slib	[massa %]
ρ	=	volumieke massa van de droge stof	[kg/l]

Indien, als voorbeeld, 1000 mm slib wordt toegevoerd met een drogestofgehalte van 3% en een volumieke massa van de droge stof van 1,5 kg/l, bedraagt de opgebrachte hoeveelheid water 979 mm.

De term B is berekend uit de metingen op de Vrij-Wit-boor-meetdagen. Deze metingen betreffen de laagdikten en drogestofgehalten van de onderscheiden sliblagen in de vakken en bakken.

De termen A en S behoren beide tot de sluitpost van de waterbalans. Op grafische wijze is de actuele verdamping (term A) bepaald (bijlage 5.). Bij deze uitwerking is tevens de grootte van de stochastische term S vastgesteld; in het algemeen betreft het kleine lekverliezen.

De diverse waterbalanstermen zijn behalve in tabelvorm, ook grafisch weergegeven zodat inzicht verkregen kan worden in het tijdsverloop en het relatieve belang van de diverse waterbalanstermen (bijlage 3).

5.1.3 *watervolumereductiefactor*

De effectiviteit van het ontwaterings- en droogstelsel is in één parameter verwerkt, die verder aangeduid wordt met watervolumereductiefactor. Deze is in dit onderzoek als volgt gedefinieerd:

$$VR = \frac{W+N-A-V-K-L}{W} \cdot 100$$

De watervolumereductiefactor geeft, als percentage, de verhouding weer van het volume water dat op een bepaald moment in het proefvak aanwezig is ten opzichte van het totale watervolume dat tot op dat moment met het toegevoerde slib in het proefvak terecht is gekomen. Als bijvoorbeeld geldt dat $VR=50\%$, betekent dit dat een watervolume gelijk aan de helft van het aangevoerde slibwater nog in het proefvak aanwezig is, terwijl een watervolume gelijk aan de andere helft plus de neerslag het proefvak al verlaten heeft door verdamping en door afvoer via de drains en de lozingskist.

Een geringe waarde van de watervolumereductiefactor correspondeert in het algemeen met een hoog drogestofgehalte in het proefvak.

In de watervolumereductiefactor zijn de meteorologische omstandigheden (neerslag en verdamping) meegewogen. Met behulp van deze factor kan bijvoorbeeld nagegaan worden of er in het winterhalfjaar (wanneer de neerslag de verdamping overtreft) nog wel effectief ontwaterd wordt.

5.2 Drogestofbalans

Voor de karakterisering van het droogproces en ter beoordeling van de effectiviteit van de toegepaste methode is het verloop van het drogestofgehalte gedurende de proef van belang. Voor een goed inzicht daarin is uit de metingen een drogestofbalans opgesteld voor de vakken en bakken. De cumulatieve aanvoer van droge stof via het aangevoerde slib is vergeleken met de hoeveelheid droge stof die aan het eind van de proef werd aangetroffen. Deze laatste hoeveelheid is berekend op basis van de laagdikte- en drogestofbepalingen op de laatste meetdag van de proef.

Uit de drogestofmetingen met de Vrij-Wit-boor is het gemiddelde drogestofgehalte berekend.

Bij deze (computer)berekeningen zijn de volgende stappen doorlopen:

- uit de laagdiktemetingen is het bruto slibvolume in de vakken en bakken berekend, waarbij rekening is gehouden met het schuine beloop van de kade van de proefvakken;
- in verband met de aanwezigheid van scheuren en poriën in de korst en de wijze van diktemeting van de korst is op het korstvolume een reductie van 50% toegepast;
- op basis van metingen is gebleken dat van de hele aanwezige slibmassa 2 vol % uit gas bestaat. Hiermee is het netto slibvolume berekend (bijlage 2);
- uit de netto-laagdikten en de bijbehorende gemeten drogestofgehalten is, na omrekening, tenslotte het gewogen gemiddelde drogestofgehalte berekend en grafisch, als functie van de tijd, weergegeven.

Er zijn eveneens computerberekeningen uitgevoerd om op basis van de watervolumereductiefactor een theoretisch drogestofgehalte in de vakken en bakken te berekenen.

Uit de watervolumereductiefactor is op elke meetdag te berekenen hoeveel water theoretisch in de vakken/bakken aanwezig zou moeten zijn. Gecombineerd met de aangevoerde massa droge stof is een theoretisch drogestofgehalte berekend (bijlage 3).

5.3 Verwerkingscapaciteit

De slibbelasting van een lagune kan zowel worden uitgedrukt in m³ nat slib per m² per jaar als in kg droge stof per m² per jaar. In dit rapport wordt de aldus weergegeven belasting de "verwerkingscapaciteit" (η) genoemd.

De verwerkingscapaciteit kan worden berekend, in afhankelijkheid van het gewenste einddrogestofgehalte, uit het verloop van de drogestofbalans gedurende de proef.

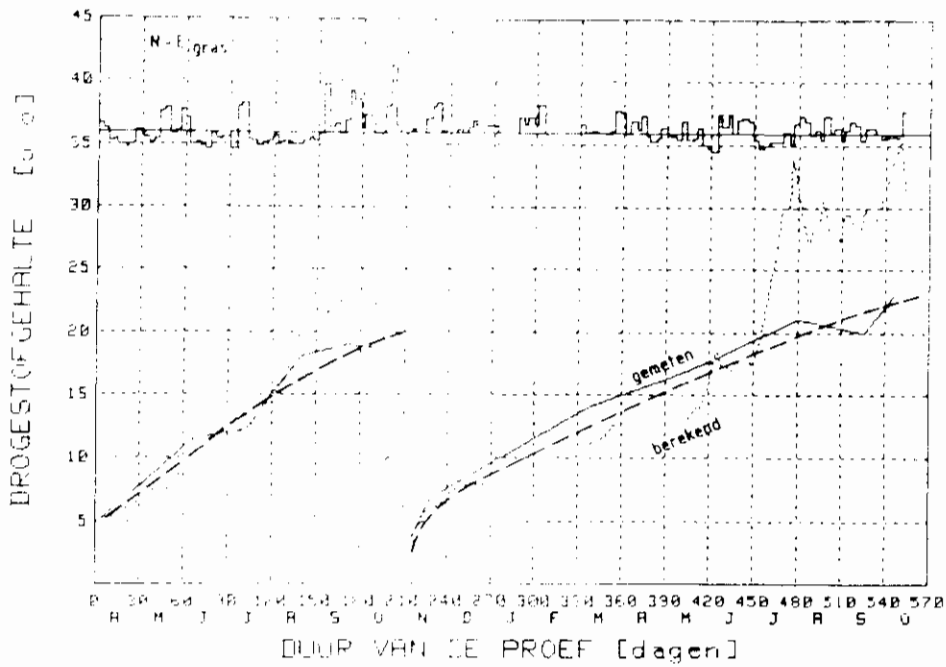
$$\text{In formule } \eta_x = \frac{d.s._0 * h_0 * \rho_0}{t_x} * 10 * 12$$

waarin:

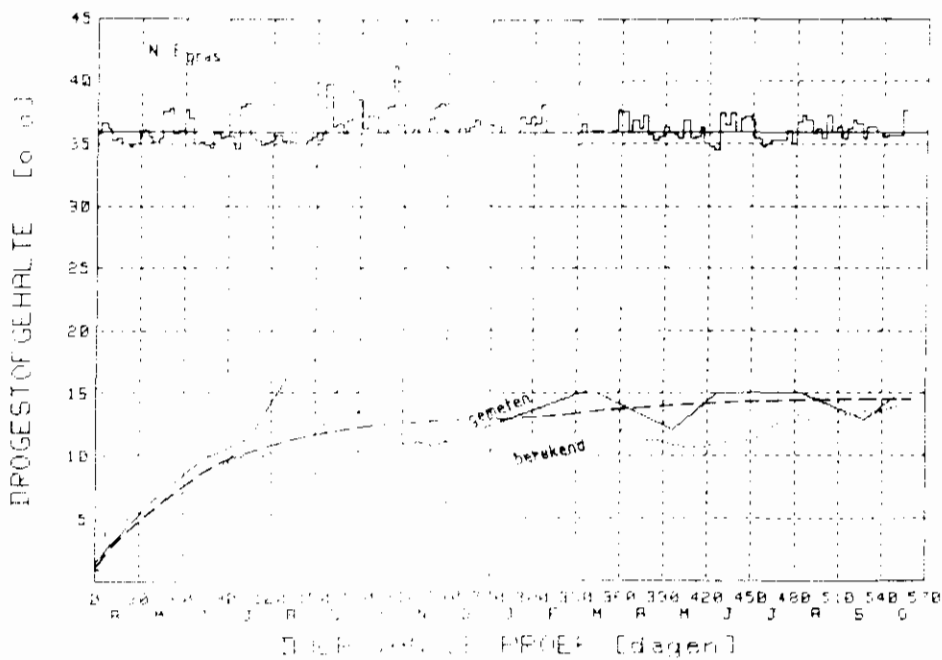
- η_x = de verwerkingscapaciteit van een bepaald vak, uitgedrukt in kg droge stof per m² per jaar bij een drogestofgehalte op het tijdstip van ruimen = x massa%;
- d.s.₀ = massa% droge stof bij de vulling van het betreffende vak;
- h_0 = cumulatieve laagdikte van de vullingen in m;

- ρ_0 = volumieke massa in kg/l van het natte slib;
 t_x^0 = tijdsduur in maanden, nodig om het drogestofgehalte = x
massa% te bereiken;
10 = omrekeningsfactor in verband met de dimensies van de diverse
grootheden;
12 = aantal maanden per jaar.

In 6.1.1 worden twee voorbeeldberekeningen gegeven.



Figuur 2. Verloop van het drogestofgehalte met de tijd in vak I
 (2 keer 0,75 m ingedikt slib; dichte kade);
 --- voor de berekeningen gebruikte lijn.



Figuur 3. Verloop van het drogestofgehalte met de tijd in vak VII
 (104 keer 1,5 cm ingedikt slib per jaar; waterdoorlatende
 kade);
 --- voor de berekeningen gebruikte lijn.

6 RESULTATEN

6.1 Berekeningsresultaten

6.1.1 *verwerkingscapaciteit*

Voor de berekening van de verwerkingscapaciteit uit de proefresultaten wordt gebruik gemaakt van de gegevens van het verloop van de drogestofgehalten met de tijd in combinatie met de vanuit de waterbalans berekende drogestofbalans. Deze gegevens zijn grafisch weergegeven in de figuren 2 en 3. Voor de verklaring van de verschillende aanduidingen in de grafieken wordt verwezen naar bijlage 3.

Als voorbeeld wordt de berekening van de verwerkingscapaciteit van de vakken I en VII gegeven.

- Vak I

Het drogestofgehalte van het slib was tijdens het vullen 4,8% bij de eerste keer en 3,7% bij de tweede keer. De laagdikte (h) per vulling bedroeg 0,81 m, respectievelijk 0,75 m. Als volumieke massa van het natte slib (ρ) wordt 1 kg/l aangehouden.

Voor t_x , de tijdsduur t in maanden, nodig om een drogestofpercentage x te bereiken, worden uit de grafiek de volgende waarden afgeleid:

	vulling 1	vulling 2
t_{10} :	2,2	2,2
t_{15} :	4,2	5,8
t_{20} :	8	9
t_{25} :	>14	>15

De waarde voor t_{25} wordt door extrapolatie verkregen. Aan de loop van de grafieken in dit traject is te zien dat het drogestofgehalte steeds meer beïnvloed wordt door de weersomstandigheden. De onzekerheid wordt daardoor over het verdere verloop steeds groter.

Gezien de diverse onnauwkeurigheden in de waarnemingen, zowel in de "berekende" als in de "gemeten" lijn is er geen aanleiding aan één van beide de voorkeur te geven. Vandaar dat voor de berekening van de verwerkingscapaciteit een visueel bepaalde, gemiddelde lijn is gekozen. Althans tot het traject waar de "berekende" lijn sterk boven de "gemeten" lijn uitstijgt. Daarna is gekozen voor de "gemeten" lijn. De berekende lijn wijkt hier sterk af, omdat geen rekening wordt gehouden met de afbraak van organische stof (bijlage 3).

Om bovengenoemde redenen dienen de berekende waarden dan ook niet al te absoluut te worden opgevat. De extrapolatie heeft zodanig plaatsgevonden dat de berekende verwerkingscapaciteiten als maximum moeten worden beschouwd.

Met behulp van de formule
$$\eta_x = \frac{d.s._o * h_o * \rho_o}{t_x} * 10 * 12$$

worden nu de volgende verwerkingscapaciteiten berekend:

	vulling 1	vulling 2	gemiddeld
η_{10} (kg/m ² .jr):	207	133	170
η_{15} " :	111	57	84
η_{20} " :	57	37	47
η_{25} " :	33	22	28

- Vak VII

Voor vak VII verloopt de berekening als volgt. In eerste instantie wordt uit de grafiek de tijdsduur, benodigd om een drogestofgehalte x te bereiken, bepaald:

$$t_{10}: 2,75 \text{ mnd}$$

$$t_{15}: 20 \text{ mnd}$$

Vervolgens worden de bij de betreffende periode behorende waarden voor het gemiddelde drogestofgehalte van het aangevoerde slib (d.s. η_0) en de totale laagdikte (h_0) bepaald:

proefvakken						
nr.	code ^x	η_{10}	η_{15}	η_{20}	η_{25}	η_{30}
I	2/75/1/D	170	84	47	~ 28	-
II	2/75/1/W	162	76	47	~ 32	-
III	2/75/o/W	115	53	34	~ 25	-
IV	104/3/o/D	61	~ 24	-	-	-
V	104/3/o/W	95	~ 35	-	-	-
VI	104/1,5/o/W	70	~ 25	-	-	-
VII	104/1,5/i/W	64	35	~ 20	-	-
VIII	52/3/i/W	64	32	~ 20	-	-
IX	104/1,5/i/D	58	26	~ 17	-	-
proefbakken						
I'	2/75/1/D	157	72	42	~ 27	-
I'E	2/75/1/D	493	194	113	71	~ 47
IV'	104/3/o/D	62	41	26	-	-
IV'E	104/3/o/D	85	83	64	~ 43	-

Tabel 2: Verwerkingscapaciteiten (η) voor de verschillende proefomstandigheden;

~ deze getallen zijn door extrapolatie bepaald;

x voor verklaring code zie tabel 1 (p.5).

	d.s. _o	h _o
Na 2,75 mnd:	4,0 %	0,36 m
Na 20 mnd:	3,8 %	1,54 m

Uitgaande van een volumieke massa van het natte slib van 1 kg/l worden met behulp van eerder genoemde formule de volgende waarden voor de verwerkingscapaciteit berekend:

$$\eta_{10}: 64 \text{ kg/m}^2.\text{jr.}$$

$$\eta_{15}: 35 \text{ kg/m}^2.\text{jr.}$$

In tabel 2 zijn de verwerkingscapaciteiten in afhankelijkheid van de proefomstandigheden weergegeven.

6.1.2 *watervolumereductiefactor*

De watervolumereductiefactor (VR) is berekend voor alle vakken en bakken en voor alle meetmomenten. Het verloop van VR met de tijd is grafisch uitgezet. Deze gegevens zijn weergegeven in bijlage 3.

De figuren 4 en 5 geven, als voorbeeld, het verloop van VR weer van respectievelijk vak I en vak VII. VR daalt direct na het vullen sterk, na enkele maanden wordt de daling geleidelijker, tenslotte treedt een min of meer stabiele situatie in, waarbij de fluctuaties duidelijk verband houden met de weersomstandigheden (neerslag/verdamping). Voor de nadere uiteenzetting van de verschillen tussen vak I en ook VII wordt verwezen naar 6.2.2.

6.1.3 *drogestofgehalte*

Het verloop van de drogestofgehalten met de tijd, zowel op basis van de bemonsteringen als berekend uit de waterbalans, zijn grafisch uitgezet en weergegeven in bijlage 3. Als voorbeeld voor dit verloop wordt verwezen naar de figuren 2 en 3 (pagina 18).

De gemeten en uit de waterbalans berekende drogestofgehalten komen vrij goed overeen, met uitzondering van de situatie na de tweede vulling van vak I. Aan het eind van de rijpingsperiode worden duidelijk hogere drogestofgehalten berekend dan gemeten, wat verklaard kan worden uit een verlies aan droge stof door oxydatie.

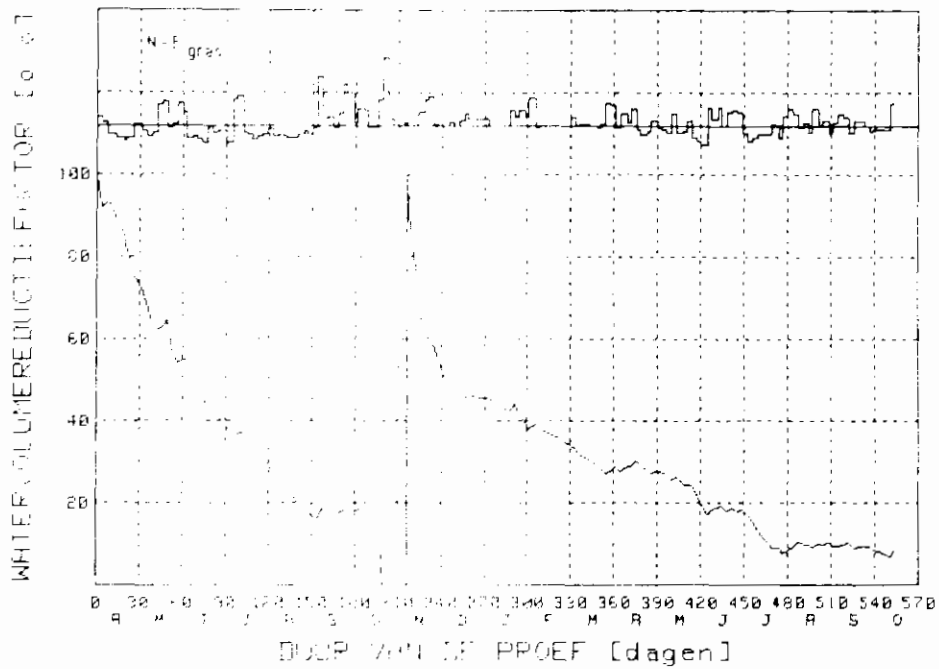
Dit gaat zich duidelijk manifesteren op het moment dat er aëratie van het materiaal optreedt (krimpscheuren en poriën door biologische activiteiten). Voor een nadere bespreking van de verschillen wordt verwezen naar 6.2.2.

6.2 Interpretatie proefvariabelen

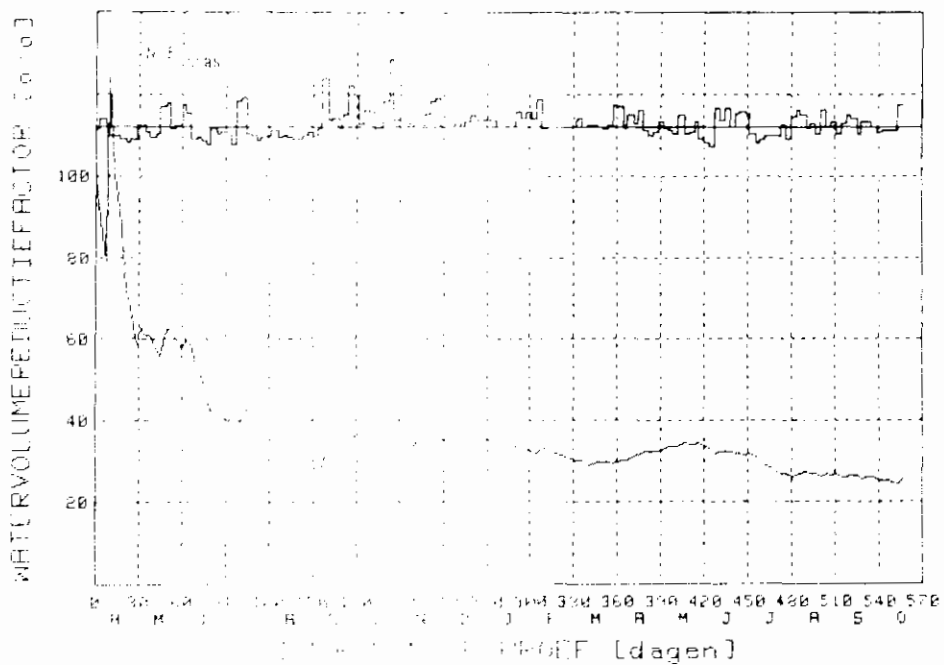
6.2.1 *waterdoorlatende versus dichte kade*

De invloed van de kadeconstructie is direct af te leiden uit de grootte van de kadedrainafvoer. Deze wordt hieronder vergeleken voor de verschillende vakken die alle proefomstandigheden, behalve de kadeconstructie, gelijk hebben. Ook de watervolumereductiefactor en de verwerkingscapaciteit worden in de vergelijking betrokken.

- dikke lagen, ingedikt slib, lage doseringsfrequentie (I t.o.v. II)
De kadedrainafvoer van vak II is verwaarloosbaar klein. Het verloop van de watervolumereductiefactor en de grootte van verwerkingscapaciteit van beide vakken vertonen praktisch geen verschillen;



Figuur 4. Verloop van de watervolumereductiefactor met de tijd in proefvak I (2 keer 0,75 m ingedikt slib; dichte kade).



Figuur 5. Verloop van de watervolumereductiefactor met de tijd in proefvak VII (104 keer 1,5 cm ingedikt slib per jaar; waterdoorlatende kade).

- dunne lagen, niet ingedikt slib, hoge doseringsfrequentie
(IV t.o.v. V)

De kadedrainafvoer van vak V bedraagt 10,6% van de totale waterafvoer via de vakdrain, de kadedrain en de lozingskist. Dit komt zowel in de watervolumereductiefactor als in de verwerkingscapaciteit tot uiting. De watervolumereductiefactor bedraagt op het moment van stoppen met het vullen 33% in vak IV en 29% in vak V. Na circa 5,5 maand rijpen bedragen deze waarden respectievelijk 24% en 22%. Het verschil in verwerkingscapaciteit is relatief groter (tabel 2). Gezien de geringe kadedrainafvoer kan deze hogere waarde voor de verwerkingscapaciteit niet alleen aan de kadeconstructie worden toegeschreven;

- dunne lagen, ingedikt slib, hoge doseringsfrequentie (VII en IX)

De kadedrainafvoer van vak VII bedraagt slechts enkele procenten van de totale waterafvoer. De watervolumereductiefactor bedraagt op het moment van stoppen met vullen 33% in vak VII en 38% in vak IX. Na ca. 5,5 maand rijpen bedragen deze waarden respectievelijk 22% en 26%.

Het relatieve verschil in verwerkingscapaciteit is nog groter (tabel 2). Voor beide grootheden geldt dat de verschillen groter zijn dan uit de kadedrainafvoer kan worden verklaard.

Ook in de andere gevallen met waterdoorlatende kade (III en VIII) draagt de kadedrainafvoer slechts in zeer geringe mate bij aan de totale waterafvoer.

6.2.2 *dikke versus dunne lagen*

In de eerste plaats is onderscheid gemaakt in vulling met "dikke lagen" (foto 10), namelijk 0,75 m twee maal per jaar met tussentijdse ruiming (I en III), tegenover de vulling in kleine stapjes, waarbij één of twee keer per week een "dunne laag" is opgebracht.

Bij de wekelijkse vullingen met "dunne lagen" (foto 11) is verschil gemaakt in de standaardvulling (3 cm per week; VII en IX) en het dubbele ervan (IV en V).

De invloed van de verschillen in vulmethode wordt bepaald aan de hand van het verloop van de watervolumereductiefactor, het drogestofgehalte en de verwerkingscapaciteit.

- watervolumereductiefactor

In alle gevallen daalt de watervolumereductiefactor binnen 2,5 à 3 maanden tot ongeveer 40%. Na 5 maanden worden bij de 0,75 m dikke lagen waarden bereikt van circa 20%, althans bij de eerste vulling die voor de zomer plaatsvond. Bij vulling vlak voor de winter is de factor na 5 maanden nog duidelijk hoger (25-28%). Na het vullen treedt gedurende de zomer een daling op tot waarden beneden 10%.

Bij de dunne lagen wordt het verloop na 4 à 5 maanden duidelijk anders dan bij de dikke. De watervolumereductiefactoren dalen dan gedurende de vulperiode niet meer, maar blijven ongeveer constant, afgezien van geringe seizoensschommelingen. Gedurende deze periode worden geen lagere waarden bereikt dan 25 à 28%. Na het vullen treedt tijdens de zomer een geleidelijke daling op. In geen van de gevallen worden echter lagere waarden bereikt dan 20-25%;



Foto 10. Vulling met "dikke lagen".



Foto 11. Vulling met "dunne lagen".

- drogestofgehalte
Een overeenkomstig beeld valt af te lezen uit het verloop van de drogestofgehalten. De vakken I, II en III laten een doorgaande stijging van het drogestofgehalte met de tijd zien, met hier en daar een incidentele stijging of daling als gevolg van klimaatsinvloeden. Gedurende de rijpingsfase (laatste half jaar van iedere vullingsperiode) wordt tenminste 20% d.s. in alle drie gevallen bereikt. De andere vakken vertonen na een aanvankelijke stijging, een slechts zeer geringe toename van het drogestofgehalte, dat nergens meer dan 15% wordt;
- verwerkingscapaciteit
De vakken I, II en III tonen vergelijkenderwijs hoge verwerkingscapaciteiten, ongeveer een factor 2 à 3 maal groter dan de proefvakken met dunne lagen. De dubbele dosering (6 cm/week in de vakken IV en V) levert geen hogere verwerkingscapaciteit op dan de dosering van 3 cm/week. De totale duur van de proef zou te kort geweest kunnen zijn om een eventueel voordeel van een hogere dosering uit te laten komen. In feite zijn alle vakken met "dunne lagen" onvoldoende gedroogd in de proefperiode. De schuifweerstand, gemeten met het "vin-apparaat", geeft dit ook aan. In geen van de vakken met dunne lagen wordt een schuifspanning van 2,5 kN/m² bereikt. Bij deze waarde kan het slib als steekvast worden beschouwd (bijlage 4).

6.2.3 *ééntraps- versus tweetrapsstelsel*

De proef biedt twee vergelijkingsmogelijkheden ter beoordeling van het effect van indikking van het slib, voorafgaand aan de vulling. De vakken II en III geven het effect van indikken voor dikke lagen weer, de vakken VI en VII doen dit voor dunne lagen. De vergelijkingen worden gemaakt aan de hand van de volgende parameters:

- watervolumereductiefactor
Voor de vakken II en III verloopt het verband watervolumereductiefactor/ tijd ongeveer gelijk. Bij de dunne lagen zijn er verschillen; bij vak VI (niet ingedikt) worden lagere watervolumereductiefactoren bereikt;
- drogestofgehalte
De drogestofgehalten bij dikke lagen komen in het eerste halfjaar uit op hogere waarden voor niet-ingedikt slib (vak III), in het tweede halfjaar geldt dit echter voor ingedikt slib (vak II). Het indikken bij de eerste vulling verliep echter niet optimaal, waardoor slechts een gering verschil in drogestofgehalte werd bereikt voor beide vakken. Gezien het zeer duidelijke verschil na de tweede droogperiode, mag geconcludeerd worden dat indikken een positief effect heeft op het droogresultaat.

Voor de dosering van het slib in dunne lagen verschillen de drogestofgehalten van de al dan niet ingedikte slibben niet meer dan gemiddeld slechts 0,7%. De stijging van het drogestofgehalte in de vakken tijdens de proef is gering, met een iets gunstiger beeld voor het ingedikte slib;

- verwerkingscapaciteit

De verwerkingscapaciteit geeft een vrij duidelijk indikkingseffect te zien bij dikke lagen. Vak II bezit een verwerkingscapaciteit die ongeveer 1,5 maal zo hoog ligt als die van vak III. Bij de vakken VI en VII (dunne lagen) zijn de verwerkingscapaciteiten vrijwel gelijk.

6.2.4 *één keer versus twee keer per week doseren*

In de totale proefopzet is, binnen dezelfde totale laagdikte van 1,50 m per jaar, onderscheid gemaakt tussen het vullen met twee maal 1,5 cm per week en éénmaal 3 cm per week. De vakken VII en VIII zijn in dit opzicht vergelijkbaar. Wat betreft de watervolumereductiefactor, het drogestofgehalte en de verwerkingscapaciteit, blijken er tussen de vakken VII en VIII geen verschillen te bestaan.

6.2.5 *schaalinval*

Naast de proefvakken met afmetingen van 2,00 m bij 10,00 m zijn vier proefbakken met afmetingen van 1,00 m bij 1,00 m in de experimenten betrokken.

Twee bakken zijn gevuld met aëroob gestabiliseerd slib en twee zijn gevuld met anaëroob gestabiliseerd slib.

Uit de meetresultaten blijkt dat er een groot verschil is tussen het ontwateringsverloop van de proefbakken enerzijds en de proefvakken anderzijds. Op basis van de, uit het verloop van het drogestofgehalte berekende, verwerkingscapaciteit zijn schaalfactoren berekend. De schaalfactor geeft aan met welke factor de uit de proefresultaten berekende verwerkingscapaciteit moet worden vermenigvuldigd om de werkelijke situatie te benaderen. Uitgangspunt bij de berekening is dat de verwerkingscapaciteiten voor de bakken en de vakken onder gelijke omstandigheden in principe dezelfde waarden moeten hebben.

In formule:
$$S = \frac{n \text{ vak}}{r \text{ bak}}$$

Voor de vergelijking is r_{15} gekozen; r_{20} geeft een te grote onzekerheid, gezien het feit dat het slib in vak IV binnen de proefperiode al geen drogestofgehalte van 15% heeft bereikt.

Voor de schaalfactoren van de bakken I'E en IV'E (anaëroob gestabiliseerd slib) kunnen dezelfde schaalfactoren worden aangehouden als voor I' respectievelijk IV'. In tabel 3 zijn deze schaalfactoren vermeld.

Code *	aëroob gestabiliseerd		anaëroob gestabiliseerd	
	bak	S	bak	S
2/75/1/D	I'	0,8	I'E	0,8
104/3/0/D	IV'	0,6	IV'E	0,6

Tabel 3. Schaalfactoren voor de omrekening van de resultaten van de proefbakken naar die van de proefvakken;
* voor verklaring code zie tabel 1 (p.5).

De keuze van het drogestofgehalte waarbij de schaalfactor wordt berekend is van grote invloed op de uitkomst. De schaalfactoren variëren sterk gedurende de proefperiode, hetgeen betekent dat de vertaling van de proefresultaten van de bakken naar de praktijk problematisch is, en deze opzet geen betrouwbare vertaalsleutel heeft opgeleverd.

6.2.6 visuele beoordeling

Bij de visuele beoordeling zijn de volgende twee parameters in de beschouwing betrokken:

- structuur van het slib

Kort na de vulling is de slibmassa structuurloos en ontwikkelen zich gasbellen. In de zomermaanden droogt het oppervlak sterk uit en er ontwikkelt zich een korst, die met het dikker worden grotere scheuren vertoont (foto 12 t/m 20). Gedurende langdurige neerslag vullen zich eerst deze scheuren met water, waarna de stevigheid en de dikte van de korst afnemen. Dit beeld geldt met name voor de in één keer aangebrachte dikke lagen.

Bij de proefvakken met "dunne" lagen wordt aan de vulzijde telkens vers slib ingebracht, waardoor de vorming van de korst ter plaatse van het vulgebied ver achterblijft bij de rest van het vak. Hetzelfde verschijnsel treedt op in de proefbakken (foto 30 t/m 33);

- vegetatie

In 1984 is sporadisch wat opslag van onkruid en van cultuurplanten (tomaat) aanwezig. Deze heeft geen invloed op het droogproces.

De vegetatie komt alleen halverwege de proefvakken IV t/m IX (het meest droge gedeelte) voor en in proefbak I'E.

In 1985 is de begroeiing veel weelderiger en komt dan in alle proefvakken voor; bij de "dikke" lagen homogeen verspreid over de gehele vakken en bij de "dunne" lagen weer plaatselijk op de meest droge gedeelten (foto 21 t/m 29). De bedekkingsgraad bij proefvak III blijft ver achter bij die van de vakken I en II. De vegetatie heeft in deze periode (foto 38, p. 36) een positieve bijdrage geleverd aan het droogproces.

Bij de weergave van de visuele beoordeling is naast eerdergenoemde parameters ook het gewogen gemiddelde drogestofgehalte vermeld in tabel 4. Uit deze tabel blijkt het volgende:

- . in het zomerhalfjaar 1984 is de korstontwikkeling in alle vakken/bakken het sterkst na 4,5 maand; deze wordt veroorzaakt door een zeer droge periode vanaf midden juli tot begin september. Hierna loopt de korstvorming terug door veel regen in september en oktober. Het gemiddelde drogestofgehalte in de vakken/bakken met "dunne" lagen loopt eveneens terug, terwijl deze in de bakken/vakken met "dikke" lagen op eenzelfde niveau blijft. Wat de vegetatie betreft komt plaatselijk enige opslag voor in de vakken met "dunne" lagen;
- . in het winterhalfjaar 1984/1985 zijn tijdens de vorstperiode (eind december tot begin maart) alle vakken/bakken bevroren. Na deze periode is het sliboppervlak rul van structuur; het drogestofgehalte is aanzienlijk gestegen, met name in de proefbakken;



I (2/75/3/0)



II (2/75/3/3)



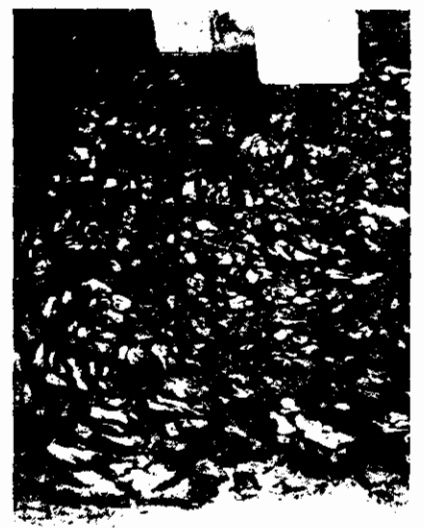
III (2/75/6/3)



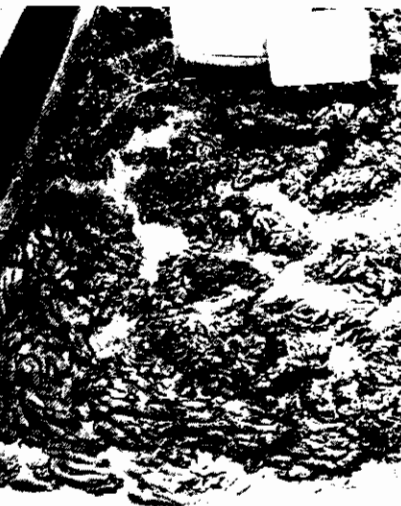
IV (104/3/6/3)



V (104/3/6/8)



VI (104/1,5/6/8)



VII (104/1,5/1/3)



VIII (2/75/1/3)



IX (104/1,5/1/3)

Foto 12 t/m 20. Sliboppervlak in de proefvakken tussen kade en lozingskist (zomer 1984).



I (2/75/i/D)



II (2/75/i/W)



III (2/75/o/W)



IV (104/3/o/D)



V (104/3/o/W)



VI (104/1,5/o/W)



VII (104/1,5/i/W)



VIII (52/3/i/W)



IX (104/1,5/i/D)

Foto 21 t/m 29. Sliboppervlak in de proefvakken tussen kade en lozingskist (zomer 1985).



I' (2/75/i)



I'e (2/75/i)



IV' (104/3/o)



IV'e (104/3/o)

Foto 30 t/m 33. Sliboppervlak in de proefbakken (zomer 1984).



I' (2/75/i)



I'E (2/75/i)



IV' (104/3/o)



IV'E (104/3/o)

Foto 34 t/m 37. Sliboppervlak in de proefbakken (zomer 1985).

periode	zomerhalfjaar 1984			winterhalfjaar 1984/1985			zomerhalfjaar 1985														
	2,5 mnd	4,5 mnd	6,5 mnd	0,5 mnd	2 mnd	4 mnd	6 mnd	9 mnd	11 mnd												
code X	s	v	d.s.	s	v	d.s.	s	v	d.s.	s	v	d.s.									
vak/bak*																					
I	+++	-	11,5	++++	-	18,0	+++	-	6,7	-	13,9	++	++	16,5	++	+++	21,1	++	+++	23,0	
II	+++	-	10,5	++++	-	16,4	+++	-	6,3	vorst	-	13,5	++	++	15,2	++	+++	20,3	++	+++	24,0
III	+++	-	11,0	++++	-	22,3	+++	-	4,9	-	-	13,0	+++	+	12,8	+	+	14,7	++	+++	19,7
I'	+++	-	13,7	++++	-	19,2	+++	-	6,3	+	-	20,3	+++	+	17,8	++	++	26,9	+++	+++	39,0
I'E	+++	-	13,7	++++	+	21,5	+++	+	8,9	++	-	26,1	++	-	25,7	++	++	28,0	+++	+++	37,2
tijdsduur	2,5 mnd	4,5 mnd	6,5 mnd	7,2 mnd	9 mnd	11 mnd	13 mnd	16 mnd	18 mnd												
code X	s	v	d.s.	s	v	d.s.	s	v	d.s.	s	v	d.s.	s	v	d.s.	s	v	d.s.	s	v	d.s.
vak/bak																					
IV	++	-	8,7	+++	+ ^P	11,7	+ ^P	+ ^P	11,5	-	-	12,4	-	-	10,2	++	+ ^P	12,0	++	+ ^P	13,3
V	++	-	8,4	+++	+ ^P	12,0	+ ^P	+ ^P	10,5	-	-	12,2	-	-	9,5	++	+ ^P	11,5	++	+ ^P	11,7
VI	++	-	9,3	+++	+ ^P	14,7	+ ^P	+ ^P	10,1	+ ^P	-	13,2	+ ^P	-	10,3	++	+ ^P	12,9	++	+++ ^P	12,3
VII	++	-	9,5	+++	-	18,6	+ ^P	+ ^P	12,1	+ ^P	+ ^P	15,3	-	-	12,1	++	+ ^P	15,0	++	+ ^P	15,1
VIII	++	-	8,8	+++	-	15,0	+ ^P	+ ^P	12,5	+ ^P	+ ^P	13,8	+ ^P	-	13,1	++	+ ^P	13,5	++	+++ ^P	14,6
IX	++	-	9,2	+++	-	15,1	+ ^P	+ ^P	11,8	+ ^P	+ ^P	14,0	-	-	11,8	++	+ ^P	12,3	++	+ ^P	13,9
IV'	++	-	8,8	++	-	9,8	-	-	7,2	+	-	10,7	-	-	12,6	++	-	14,2	++	-	15,0
IV'E	++	-	9,1	+++	-	13,7	-	-	10,3	+	-	13,1	-	-	12,6	++	-	14,9	+++	++	21,3

Tabel 4. Ontwikkeling structuur (s)/vegetatie (v)/ gemiddeld drogestofgehalte (d.s.);
 - geen + gering ++ matig +++ goed ++++ zeer goed p plaatselijk;
 * deze vakken/bakken zijn na 6,5 maand geruimd en daarna opnieuw gevuld;
 x voor verklaring code zie tabel 1 (p.5).

- . in het zomerhalfjaar 1985 verloopt de korstontwikkeling geleidelijker. De korst wordt minder dik en droogt minder uit dan in het zomerhalfjaar 1984. Er is meer neerslag en de intensieve begroeiing, met name in de vakken/bakken met "dikke" lagen, remt het uitdrogen van de korst.

6.2.7 overige aspecten

Naast de hiervoor vermelde resultaten zijn nog de volgende resultaten te melden:

- "verdichte" laag
In de vakken I t/m III met de dikke lagen vormt zich onder in de sliblaag op de overgang naar het zandbed een "verdichte" laag ter dikte van 2-4 mm, die remmend werkt op het verticale watertransport;
- watertussenlagen
In de vakken I t/m III ontstaan afhankelijk van de weersgesteldheid watertussenlagen in de slibmassa. Meestal bevinden deze zich onder in de slibmassa;
- lozingskisten
De houten lozingskisten met schotbalkjes hebben goed gefunctioneerd. Naast het oppervlakkig toestromende water over het slib hebben deze ook de watertussenlagen afgevoerd. Bij de lozingskisten in de vakken VI t/m IX (dunne lagen onder helling) dient de openingszijde van de kisten naar de kade toe gericht te zijn;
- gasontwikkeling
Er treedt gasvorming op in de vakken IV en V en de bakken IV' en IV'E vanaf eind september 1984 tot aan de vorstperiode (eind december 1984). Na deze periode zet de gasvorming zich voort tot de eerste korstvorming in mei 1985 en is daarna visueel niet meer waar te nemen;
- stank
Naast een geringe mate van stank bij vulling en ruiming van de proefvakken is alleen op warme dagen enige stank (H_2S , NH_3) opgetreden bij de vakken IV t/m VI (dunne lagen, niet ingedikt, 2x per week);
- erosie
Voor de kaden is hetzelfde zand gebruikt als voor de bodem. Zoals verwacht is dit materiaal erosiegevoelig gebleken; onder invloed van regen is wegspoeling van zand opgetreden.

7 EVALUATIE

7.1 Verwerkingscapaciteit

Bij het opzetten van het onderzoeksprogramma gold als één van de uitgangspunten een belasting van de drooglagunes met $1,50 \text{ m}^3$ nat slib per m^2 per jaar, als een voor Nederlandse omstandigheden gebruikelijke waarde.

Bij de verwerking van de meetresultaten van de proeven is het begrip "verwerkingscapaciteit" (η) ingevoerd, uitgedrukt in kg d.s. per m^2 per jaar, aangevoerd als nat slib.

Ten behoeve van het vergelijken van het oorspronkelijke uitgangspunt met de uitkomsten van de proeven is naast deze verwerkingscapaciteiten ook de bijbehorende slibbelasting van de lagune (b) bij de gewenste gemiddelde drogestofgehalten in tabel 5 aangegeven. De lagunebelastingen (b) zijn uitgedrukt in m^3 nat slib per m^2 per jaar.

vak	code ^x	gewenst gemiddeld drogestofgehalte							
		10 %		15 %		20 %		25 %	
		b	η	b	η	b	η	b	η
I	2/75/i/D	3,99	170	1,85	84	1,10	47	~0,65	~28
II	2/75/i/W	4,32	162	2,02	76	1,25	47	~0,86	~32
III	2/75/o/W	3,46	115	1,39	53	1,01	34	~0,76	~25
IV	104/3/o/D	1,99	61	~0,78	~24	-	-	-	-
V	104/3/o/W	3,0	95	~1,13	~35	-	-	-	-
VI	104/1,5/o/W	2,24	70	~0,85	~25	-	-	-	-
VII	104/1,5/i/W	1,66	64	0,91	35	~0,53	~20	-	-
VIII	52/3/i/W	1,92	64	0,98	32	~0,62	~20	-	-
IX	104/1,5/i/D	1,48	58	0,68	26	~0,43	~17	-	-

Tabel 5. lagunebelasting (b) en verwerkingscapaciteit (η);
 ~ deze waarden zijn door extrapolatie bepaald;
 x voor verklaring code zie tabel 1 (p.5).

Uit tabel 5 blijkt, dat bij een belasting met $1,50 \text{ m}^3$ nat slib/ m^2 per jaar onder geen van de onderzochte omstandigheden een gemiddeld drogestofgehalte van 20% wordt bereikt. Voor het aëroob gestabiliseerde slib van de rwzi Bennekom is een dergelijk drogestofgehalte gewenst, wil het steekvast zijn. Daarbij dient te worden aangetekend dat dit slib, in vergelijking tot andere slibsoorten, matig ontwaterbaar is.

De verwachting is echter gerechtvaardigd, dat de meeste Nederlandse zuiveringsslibben bij een lagunebelasting van $1,50 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jr.}$ niet tot steekvast (20% d.s.) zullen indrogen.

Uit de proeven in de bakken kan worden geconcludeerd (tabel 2, p. 20), dat voor het anaëroob gestabiliseerde slib uit Ede bij de genoemde belasting wel het gewenste resultaat kan worden behaald. Geheel zeker is dit echter niet gezien het feit, dat het droogproces in de bakken duidelijk anders verloopt dan in de vakken. Met name is sprake van een

veel grotere verdamping, vermoedelijk door een relatief grote invloed van het opwarmen door de wanden.

Behalve dat tussen slibben, afkomstig van verschillende zuiveringsinrichtingen, grote verschillen in eigenschappen bestaan, bestaan ook variaties binnen één slibsoort. Het gemiddelde drogestofgehalte per vak van het niet ingedikte slib varieerde bijvoorbeeld van 3,07 - 3,33% en van het ingedikte slib van 3,31 - 4,27%. Overeenkomstige variaties zijn gevonden voor de gloeirest.

Dit soort variaties is er mede oorzaak van dat niet alle geconstateerde verschillen in verwerkingscapaciteit in verband kunnen worden gebracht met één van de onderzochte factoren.

7.2 Waterdoorlatendheid kaden

De invloed van de waterdoorlatendheid van de kade is bij de normale belasting van 1,50 m/jr gering tot vrijwel nihil. De kadedrain van de vakken II en VII heeft slechts een geringe afvoer opgeleverd. In de praktijk zal deze afvoer relatief nog minder zijn omdat lagunes op praktijkschaal een ongunstiger oppervlakte/kadelengte-verhouding hebben. De resultaten zijn niet van dien aard, dat ernaar gestreefd moet worden deze verhouding in de praktijk te wijzigen.

Het verschil in verwerkingscapaciteit tussen de vakken VII en IX moet worden toegeschreven aan toevallige omstandigheden, waaronder de eerder genoemde variaties in eigenschappen binnen één slib. Anders ligt het bij de dubbele belasting (vakken IV en V). De kadedrain van vak V heeft ruim 10 % van de totale afvoer voor zijn rekening genomen. De verwerkingscapaciteit van vak V is ook duidelijk hoger dan van vak IV, zij het dat dit verschil niet geheel uit de afvoer van de kadedrain is te verklaren. Ook hier spelen de eerder genoemde toevallige omstandigheden een rol.

De oorzaak voor deze substantiële afvoer via de kade moet worden gezocht in het feit, dat het frequente vullen met wat dikkere laagjes tot gevolg heeft, dat zich telkens weer vers slib tegen het kadeprofiel bevindt. Bij het ingedikte slib en bij lagere belasting stroomt het slib lang niet bij iedere vulling tot aan de kade door.

7.3 Laagdikte

Het toepassen van "dikke lagen" (0,75 m) met tussentijdse ruiming van het slib levert belangrijk hogere verwerkingscapaciteiten dan het toepassen van dunne laagjes (factor 2 à 3). Het verschil in ontwateringsverloop wordt duidelijk gedemonstreerd in het verloop van de watervolumereductiefactor.

Het stabiliseren van de verhouding inkomend/uittreidend water bij de dunne lagen komt ook tot uitdrukking in het feit dat het verdubbelen van de totale belasting (vakken IV en V) niet leidt tot verschillen in verwerkingscapaciteit.

Dit houdt in, dat er bij het vullen in dunne lagen een grote marge bestaat ten aanzien van de belasting zonder dat dit een duidelijke invloed heeft op het drogestofgehalte aan het eind van de proefperiode. Dit blijkt ook uit het verloop van de drogestofgehalten.

Alleen in de vakken I, II en III wordt een gemiddeld drogestofgehalte van 20% (steekvast) bereikt.

Een mogelijke verklaring voor de gunstige werking van de dikke ten opzichte van dunne lagen moet worden gezocht in het feit dat de structuurverbetering die optreedt aan de oppervlakte bij de dunne lagen, telkens

weer teniet wordt gedaan. De krimpscheuren lopen weer vol en het gedroogde slib neemt weer water op vanuit het verse slib. Bovendien krijgt ook de begroeiing, die een duidelijk positief effect heeft gehad op de droging, bij dikke lagen de kans zich te ontwikkelen (foto 38). Hetzelfde geldt voor de micro- en macrofauna.

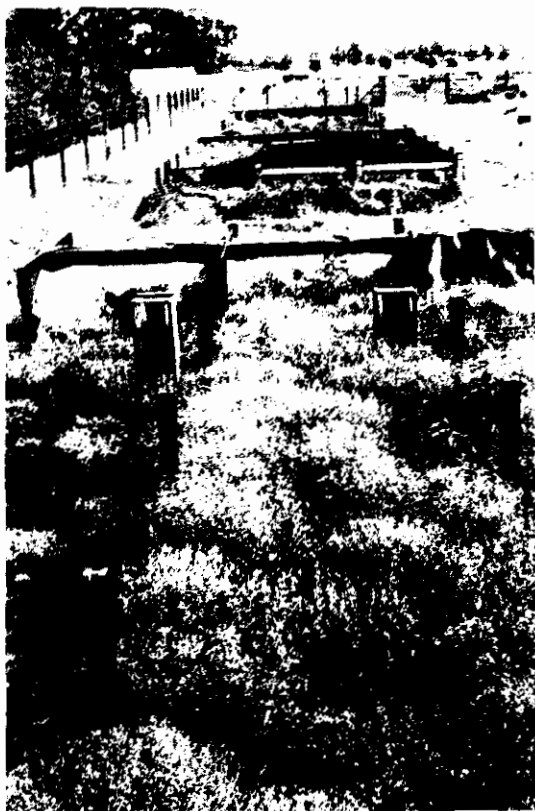


Foto 38. Overzicht begroeiingsgraad (zomer 1985).

7.4 Eéntraps-/tweetrapssysteem

De verwerkingscapaciteit bij toepassing van dikke lagen vooringedikt slib is duidelijk hoger dan bij niet ingedikt slib in dikke lagen. Voorindikken heeft in dit geval een positief effect. Dat wordt bevestigd door het verloop van het drogestofgehalte na de tweede vulling. Na de eerste vulling loopt weliswaar het gemeten drogestofgehalte bij niet ingedikt slib hoger op; dit kan echter worden toegeschreven aan een niet optimale indikking bij de eerste vulling, waardoor er weinig verschil in drogestofgehalte tussen wel en niet ingedikt slib was. Verder spelen waarschijnlijk toevallige variaties als gevolg van de bemonstering een rol omdat het berekende en het gemeten drogestofgehalte na de eerste vulling van de vakken I t/m III sterker uiteen lopen dan in alle andere gevallen (gemeten drogestofgehalte hoger dan berekend). Bij het vullen in dunne lagen is geen duidelijk effect van voorindikken op de verwerkingscapaciteit aantoonbaar, hoewel het verloop van het drogestofgehalte bij het ingedikt slib wel iets gunstiger is; het hogere begindrogestofgehalte van het ingedikte slib leidt tot een versterking van het effect van de onder "laagdikte" genoemde factoren (handhaving structuurverbetering, ontwikkeling begroeiing en micro- en macrofauna).

7.5 Doseringsfrequentie

De doseringsfrequentie op zich blijkt geen invloed te hebben op de werkingscapaciteit, noch op het verloop van het drogestofgehalte of de watervolumereductiefactor. Het droogproces verloopt bij de vakken VII en VIII vrijwel gelijk. De doseringsfrequentie kon alleen worden beoordeeld voor wat betreft ingedikt slib, waarbij de verdeling van het slib per vulling over het vak zeer onregelmatig was. De verdampingssnelheid was, ook in de zomer, niet hoog genoeg om de totale hoeveelheid opgebracht slib per dosering tot een enigszins consistente massa uit te drogen.

Beide factoren samen vormen de vermoedelijke oorzaak van het ontbreken van een duidelijke invloed van de doseringsfrequentie.

7.6 Schaalinvloed

De bakken geven een te optimistisch beeld ten opzichte van de vakken terwijl de gevonden schaalfactoren nog afhankelijk blijken te zijn van de vulwijze en het gewenste einddrogestofgehalte. De bakken zijn te klein waardoor het randeffect relatief groot is. De bakken zijn derhalve niet geschikt voor de karakterisering van het droogproces.

CONCLUSIES

Samenvattend worden hieronder de conclusies uit het onderzoek weergegeven, zowel wat betreft de bedrijfsvoering als de inrichting van drooglagunes.

Bedrijfsvoering

- de toepassing van dikke (circa 0,75 m) lagen vooringedikt slib met ruiming van elke laag geeft de beste resultaten. Het onderzochte, aëroob gestabiliseerde slib is met deze methode in te drogen tot steekvast (circa 20%) bij een lagunebelasting van 1,10 - 1,25 m vooringedikt slib per jaar;
- het frequent opbrengen van dunne lagen zonder tussentijdse ruiming binnen de proefperiode geeft geen drogestofgehalten van meer dan 15%. Het slib is dan nog niet droog te ruimen;
- bij dunne lagen hebben de frequentie van opbrengen en de belasting (1,5 m of 3 m per jaar) geen duidelijke invloed op de verwerkingscapaciteit;
- de toepassing van het tweetrapssysteem leidt alleen bij dikke lagen (0,75 m) tot een verhoging van de verwerkingscapaciteit; bij dunne lagen (0,015 en 0,03 m) heeft voorindikken geen invloed;
- begroeiing met gewassen bevordert de rijping.

Inrichting

- het toepassen van waterdoorlatende kaden levert alleen bij hoge lagunebelasting met dunne lagen een substantiële bijdrage aan de waterafvoer;
- een gedraineerde zandbodem levert een belangrijke bijdrage aan het droogproces. In alle gevallen bestaat de ontwatering voor 40 à 60% uit afvoer via de gedraineerde bodem en voor het overige uit afvoer via de lozingskist (5 à 15%) en verdamping (35 à 45%). Hoewel geleidelijk de afvoer afnam, heeft het drainagesysteem tot het eind van de proefperiode gewerkt;
- het aanbrengen van een afvoermogelijkheid voor vrij water aan de oppervlakte en in tussenlagen is essentieel. De totaal afgevoerde hoeveelheid is relatief weliswaar gering, maar vrijstaand water op het sliboppervlak wordt daardoor voorkomen.

9 AANBEVELINGEN VOOR ONTWERP EN BEDRIJFSVOERING VAN EEN LAGUNEBEDRIJF

9.1 Dimensionering

De benodigde netto-oppervlakte van lagunes wordt berekend door de totale slibproductie die op de betreffende lagunes moet worden verwerkt te delen door de verwerkingscapaciteit.

De verwerkingscapaciteit van een slibdrooglagune is afhankelijk van de slibsoort, van het begindrogestofgehalte, van het gewenste einddrogestofgehalte en van de bedrijfsvoering. Het aëroob gestabiliseerde slib van de rwzi Bennekom is bij een drogestofgehalte van 20 à 25% redelijk verwerkbaar (steekvast).

Indien een dergelijk einddrogestofgehalte moet worden bereikt, bedraagt de verwerkingscapaciteit, bij toepassing van dikke lagen (0,75 m) voor-ingedikt slib met tussentijdse ruiming, 35-50 kg d.s./m².jr.

Voor het anaëroob gestabiliseerde slib van de rwzi Ede is door middel van proefbakken (1x1 m) een verwerkingscapaciteit gevonden van 70-100 kg/m².jr (tabel 2, p. 20).

Deze laatste waarden moeten echter, vanwege de schaalinvloed van de proefbakken, met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd.

Toepassing van dunne laagjes leidt tot een situatie waarbij niet binnen redelijke termijn een zodanig drogestofgehalte is te bereiken dat het slib redelijk te verwerken is.

9.2 Inrichting

Inrichtingsaspecten die verband houden met de ontwateringen waarover op basis van deze proeven uitspraken gedaan kunnen worden, zijn:

- het streven naar een zo groot mogelijke doorlatendheid van de kaden heeft in het algemeen geen zin. Indien zandkaden worden toegepast moeten maatregelen tegen erosie worden genomen, bijv. in de vorm van een doorlatend doek;
- de bodem dient te bestaan uit een goed doorlatende, gedraineerde zandlaag ter dikte van minimaal 0,50 m. Deze dikte is niet zo zeer bepaald door hydrologische voorwaarden (de laag zou wat dat betreft dunner kunnen zijn) als wel door het feit dat de drains niet door ruimingswerkzaamheden mogen worden verstoord. Het drainagewater dient in het algemeen te worden afgevoerd naar de rwzi. De drainafstand vormde geen proefvariabele. Een onderlinge afstand van 5 m tussen de drains kan als ruim voldoende worden beschouwd;
- lozingskisten zijn essentieel; niet alleen voor de afvoer van het water van het oppervlak als zodanig, maar vooral omdat de verdamping wordt bevorderd bij afwezigheid van plassen op het sliboppervlak. De lozingskist dient, wanneer in dikke lagen wordt gevuld, de mogelijkheid te hebben om tussenwater af te laten. Dit is het geval bij de zgn. Frieslandkist, hoewel ook de in de proef gebruikte constructie (met schotbalkjes) in dit verband goed heeft voldaan. De kist dient te worden geplaatst met de open zijde naar de kade gericht;
- bij toepassing van dikke lagen met tussentijdse ruiming behoeven de kaden niet hoger te zijn dan circa 1,0 m. Ten behoeve van het ruimen,

dat bij dit systeem relatief vaak plaats vindt, kunnen op- en afritten worden gemaakt;

- hoog opgaande beplanting direct naast lagunes dient te worden vermeden in verband met de luwte die een duidelijk negatieve invloed heeft op het droogresultaat.

9.3 Bedrijfsvoering

Het beste resultaat wordt bereikt bij het vullen met circa 0,75 m dikke lagen vooringedikt slib, met ruiming van elke gedroogde laag. Het verdient aanbeveling tegen het einde van de droogperiode regelmatig het drogestofgehalte en/of de schuifweerstand te meten en zo snel mogelijk te ruimen wanneer het gewenste resultaat is bereikt. Dit in verband met het feit dat het slib neerslag weer kan opnemen en een eenmaal bereikt voldoende hoog drogestofgehalte weer kan afnemen. Met name is dit van belang, wanneer het eind van de droogperiode aan het einde van de zomer valt.

Het regelmatig controleren (en bevorderen) van de afvoer van vrij water aan de oppervlakte via de lozingskisten is van groot belang in verband met het bevorderen van de verdamping. Op een "droge" oppervlakte kan zich ook begroeiing ontwikkelen, wat de verdamping eveneens bevordert. Afhankelijk van het tijdstip van vullen ten opzichte van de groeiperiode van gewassen kunnen voor het bevorderen van verdamping vochtminnende gewassen (bijv. moerasandijvie) worden gezaaid, in afhankelijkheid van de latere toepassing. Indien het slib na droging wordt verbrand is het inzaaien van gewassen niet aan te bevelen.

9.4 Kostenindicatie

In de voorbeeldberekeningen voor de kostenindicatie is uitgegaan van sliblagunedroging voor een carousel van 50.000 i.e. met een drogestofproductie van 20 kg d.s./i.e.jr.

Variante I

Bedrijfsvoering: voorindikken, dikke lagen, tussentijdse ruiming. Begindrogestofgehalte 2,5%; gewenst einddrogestofgehalte 20%. Dit betekent een aanvangshoeveelheid van 40.000 m³ nat slib. Aangenomen wordt, mede op basis van de proefresultaten, dat dit slib in zes weken zal indikken tot 4% d.s. wat resulteert in een hoeveelheid slib van 25.000 m³ die op de drooglagunes moet worden verwerkt. De gewenste hoeveelheid indik-volume is:

$$\frac{\text{aantal "indikweken"}}{\text{aantal weken/jaar}} \times \frac{\text{volume niet-ingedikt} + \text{volume ingedikt}}{2}$$

$$\text{In dit geval } \frac{6}{52} \times \frac{40.000 + 25.000}{2} = 4.000 \text{ m}^3$$

Bij een vulhoogte van 2 m bedraagt de benodigde netto-oppervlakte 2.000 m².

Volgens tabel 5 (p.34) bedraagt de verwerkingscapaciteit voor het slib van de rwzi Bennekom 47 kg d.s./m².jr. Stel dat het onderhavige slib wat minder goed ontwaterbaar is: $\gamma_{20} = 45 \text{ kg d.s./m}^2 \text{.jr.}$

De benodigde netto laguneoppervlakte bedraagt:

$$\frac{20 \times 50.000}{45} = 22.500 \text{ m}^2.$$

De totaal benodigde netto-oppervlakte voor indik- en drooglagunes bedraagt dus 24.500 m².

Het gemiddelde aantal keren ruimen bedraagt:

$$\frac{\text{d.s. hoeveelheid per jaar}}{\text{d.s. hoeveelheid per vulling}} = \frac{1.000.000}{0,75 \times 40 \times 22.500} = 1,5$$

Voor het ramen van de investeringen is rekening gehouden met:

- | | |
|--------------------------|--------------------------|
| <u>zes drooglagunes</u> | - kaden 1,0 m hoog |
| | - gedraineerde zandbodem |
| | - 1,5 mm dik folie |
| | - slibaanvoer |
| | - lozingskisten |
| <u>twee indiklagunes</u> | - kaden 2,5 m hoog |
| | - 1,5 mm dik folie |
| | - Frieslandkisten |
| | - rondpompsysteem |
| <u>infrastructuur</u> | - wegen |
| | - afvoer drainwater. |

Voor wat betreft de jaarlijkse kosten is rekening gehouden met:

- een afschrijvingsperiode van 20 jaar;
- een rentepercentage van 8;
- bediening 0,25 mensjr;
- onderhoud 0,5% van de investeringen;
- berekende aantal keren ruimen (excl. transport naar bestemming);
- brandstof en energie.

Variant II

Bedrijfsvoering: rechtstreekse aanvoer surplus-slib, dikke lagen, tussentijdse ruiming.

Begindrogestofgehalte 2,5%, dus 40.000 m³ nat slib per jaar; gewenst einddrogestofgehalte 20%.

Volgens tabel 5 (p.34) bedraagt de verwerkingscapaciteit voor het slib van de rwzi Bennekom bij deze bedrijfsvoering 34 kg/m².jr. Ook in dit geval wordt een wat lagere verwerkingscapaciteit gekozen: 32 kg/m².jr. De benodigde netto-oppervlakte bedraagt:

$$\frac{20 \times 50.000}{32} = 32.000 \text{ m}^2.$$

Het gemiddelde aantal keren ruimen bedraagt (zie bij variant I):

$$\frac{1.000.000}{0,75 \times 25 \times 32.000} = 1,7.$$

Voor het ramen van de investeringen is rekening gehouden met dezelfde randvoorwaarden als bij variant I, met dien verstande dat er geen indiklagunes worden aangelegd. Hetzelfde geldt voor de jaarlijkse kosten. Alleen de bediening is wat lager ingeschat (0,15 mensjr.).

De resultaten van de berekeningen voor carrousel-slib zijn in tabel 6 weergegeven, tezamen met de basisgegevens.

	variant I	variant II
slibproductie/jaar	1.000.000 kg	1.000.000 kg
d.s. gehalte surplus-slib	2,5%	2,5%
voorindikken	ja	nee
begin d.s. gehalte op drooglagune	4%	2,5%
verwerkingscapaciteit	45 kg d.s./m ² .jr.	32 kg d.s./m ² .jr.
netto-opp. indiklagune	2.000 m ²	---
netto-opp. drooglagune	22.500 m ²	32.000 m ²
totaal netto-opp.	24.500 m ²	32.000 m ²
bruto-opp.	43.000 m ²	56.000 m ²
aantal keren ruimen (gem.)/jaar	1,5	1,7
bediening	0,25 mens/jr.	0,15 mens/jr.
grondaankoop	f 430.000,--	f 560.000,--
totaal investeringen	f 2.200.000,--	f 2.300.000,--
jaarlijkse kosten:		
- grond	f 35.000,--	f 45.000,--
- constructies	f 225.000,--	f 235.000,--
- bedrijfsvoering	f 30.000,--	f 25.000,--
- ruimen	f 50.000,--	f 80.000,--
- totaal	f 340.000,--	f 385.000,--
jaarlijkse kosten per ton d.s.	f 340,--	f 385,--

Tabel 6: Kostenindicatie met basisgegevens.

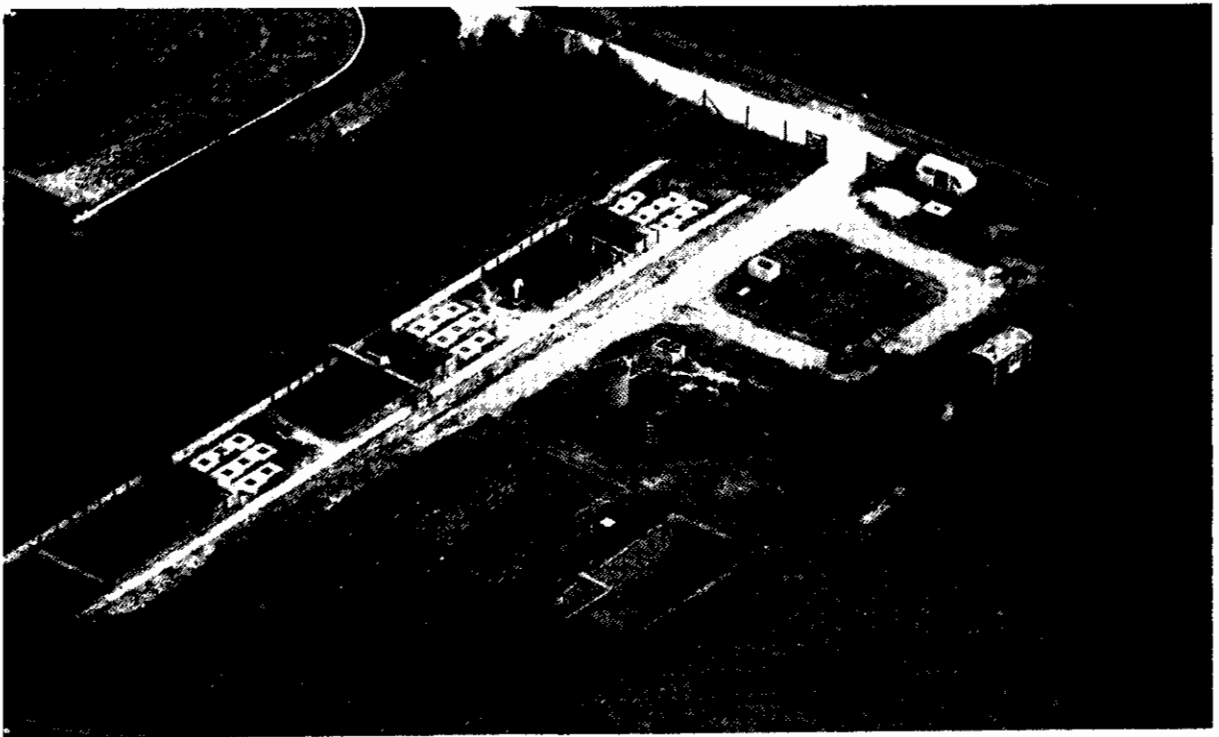
De investeringen blijken bij beide varianten weinig te verschillen. Bij variant I worden de aanlegkosten van de indiklagunes ruimschoots gecompenseerd door de geringere kosten voor de aanleg van de drooglagunes (kleiner oppervlakte).

Het verschil in jaarlijkse kosten ontstaat door de hogere ruimingskosten (vaker en een grotere oppervlakte). De bedragen zijn exclusief B.T.W. en gebaseerd op prijspeil december 1986.

BIJLAGEN

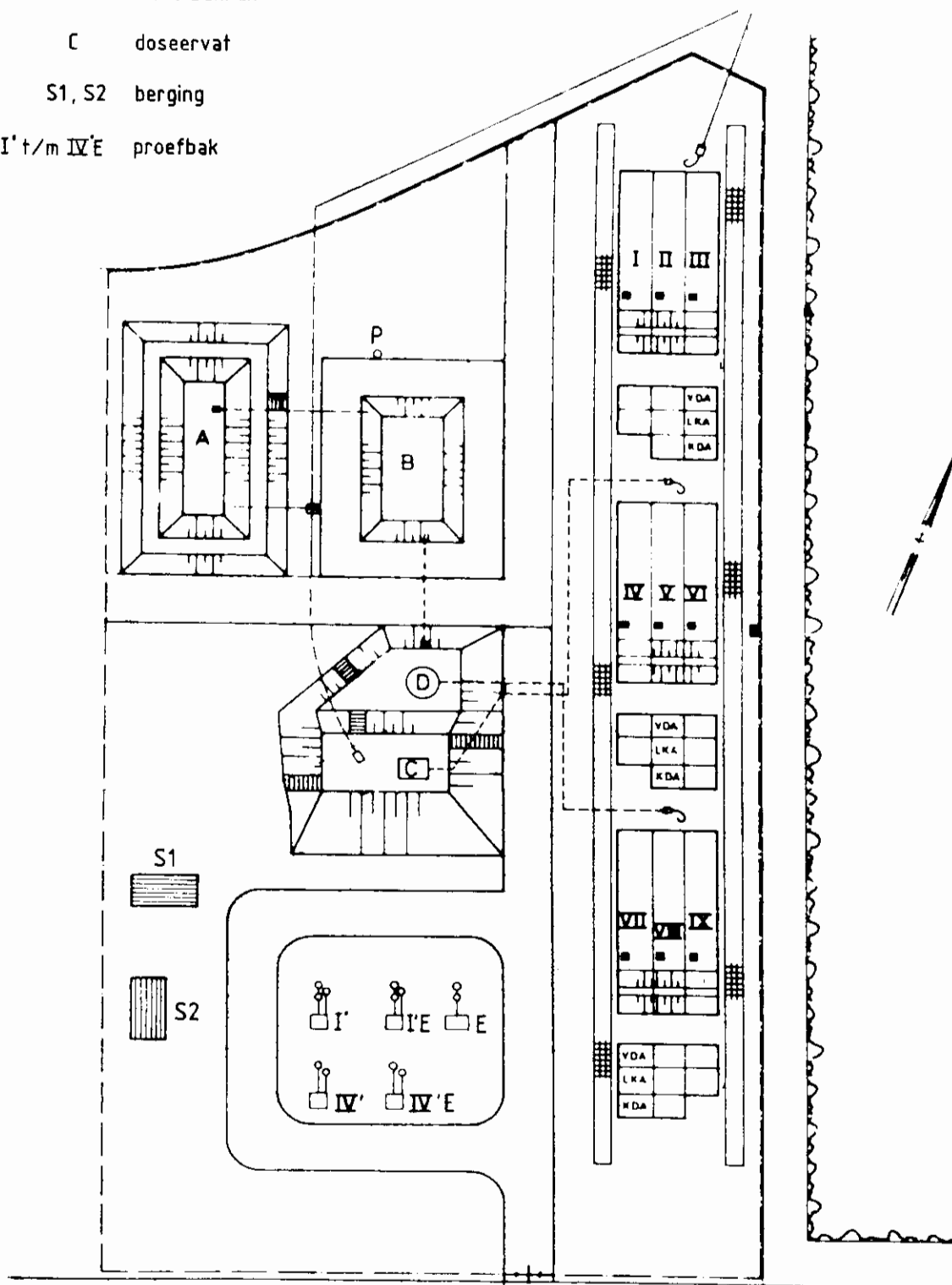
- 1 INRICHTING PROEFTERREIN
 - 1.1 Proefvakken
 - 1.2 Proefbakken
 - 1.3 Slibaanvoersysteem
 - 1.4 Doseervat
 - 1.5 Indikvoorzieningen
 - 1.6 Meetputten
 - 1.7 Waterbekken
 - 1.8 Pluviograaf
 - 1.9 Bergingen

- 2 PROEFVARIABLEN



LEGENDA

- | | | | |
|-------------|------------------|---------------|----------|
| P | pluviograaf | I t/m IX | proefvak |
| A, D, E | indikvoorziening | VDA, LKA, KDA | meetpunt |
| B | waterbekken | | |
| C | doseervat | | |
| S1, S2 | berging | | |
| I' t/m IV'E | proefbak | | |



Figuur 6. Inrichting proefterrein.

1 INRICHTING PROEFTERREIN

Het proefterrein ter grootte van gemiddeld 40 m x 70 m (figuur 6) is gelegen ten westen van de rwzi te Bennekom.

Het terrein is aanvullend gedraineerd, omrasterd en van een ontsluitingsweg voorzien.

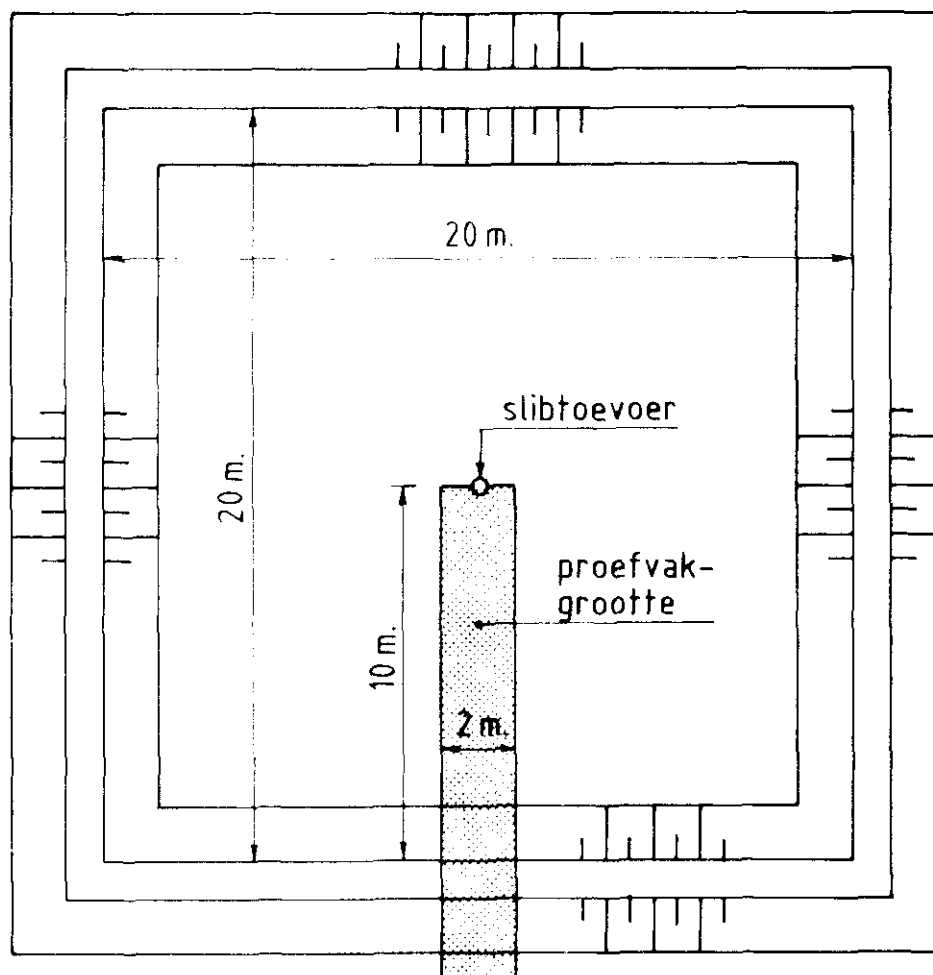
De voor de proef benodigde voorzieningen staan in de volgende hoofdstukken omschreven.

1.1 Proefvakken (I t/m IX)

Langs de lange zijde van het proefterrein zijn negen proefvakken in drie series van drie achter elkaar geplaatst. Hierdoor zijn zij bemonsterbaar vanaf een verrijdbare meetbrug (foto 11, p.24). De proefvakken zijn noord-zuid gericht.

De vorm en afmetingen van de proefvakken zijn zo gekozen, dat de praktijksituatie zowel qua constructie als qua bedrijfsvoering zo goed mogelijk wordt benaderd.

Uitgangspunt vormde daarbij een vanuit het midden te vullen lagune met afmetingen van 20x20 m. Voor het simuleren van het droogproces onder praktijkomstandigheden kan worden volstaan met proefvakken die een gedeelte uit een lagune vormen zoals in figuur 7 is aangegeven.



Figuur 7. Relatie proefvak/drooglagune

De proefvakken worden aan drie zijden begrensd door een gecreosoteerde vurehouten wand en aan één korte zijde door een kade. De lengte per vak bedraagt 10,00 m (gemeten tot de kruin van de kade), de breedte 2,00 m en de hoogte 1,00 m.

De houten wand bestaat uit verticale, van sponningen voorziene palen met daartussen horizontaal liggende planken. Door het aanbrengen of verwijderen van planken kan de houten wand met de sliblaag meegroeien respectievelijk meedalen.

De wanden zijn zo goed mogelijk waterdicht gemaakt door het aanbrengen van siliconenkit in de naden en het teren van de planken zelf.

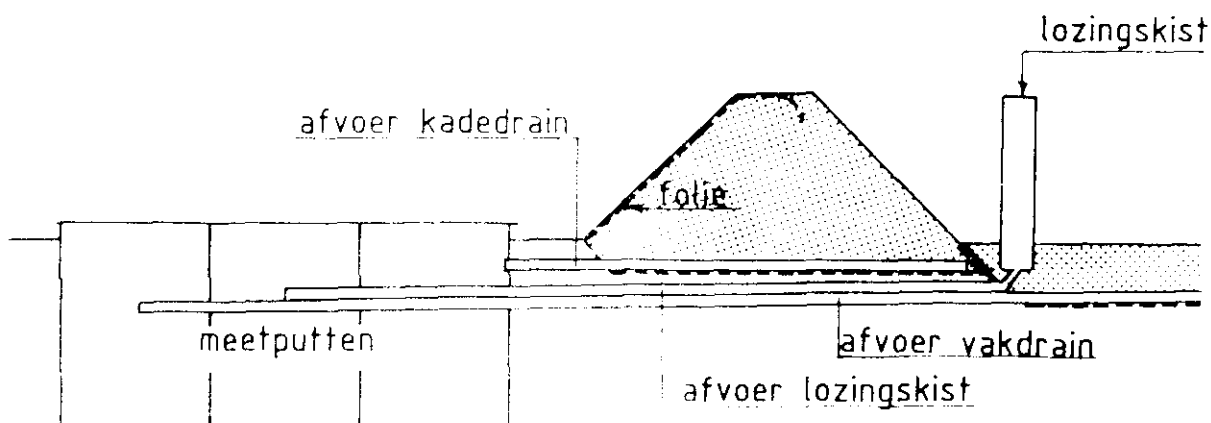
De bodem van de vakken bestaat uit draineerzand op folie. De zandlaag heeft aan de randen een dikte van 0,20 m en in het midden van 0,40 m. Het zand heeft een M-63-cijfer van 437 µm en voldoet ruimschoots aan de "Eisen 1978" van de Rijkswaterstaat voor "Draineerzand". In het midden ligt één draineerbuis op de folie.

Als folie is LDPE (Texaleen, dik 0,6 mm*) toegepast. Deze folie heeft gunstige eigenschappen wat betreft mechanische sterkte, weerbestendigheid, waterdichtheid en resistentie tegen chemische inwerking.

Sommige proefvakken hebben een waterdoorlatende kade en andere een dichte kade. De waterdoorlatende kaden zijn gemaakt van draineerzand met onderin een draineerbuis en aan de buiten- en onderzijde folie. De dichte kaden zijn gemaakt van grond en aan de binnenzijde bekleed met folie.

In elk der proefvakken bevindt zich een houten lozingskist, afm. 0,30 x 0,30 x 1,20 m. De inlaatzijde kan worden afgesloten met uitneembare schotbalkjes, afm. 22 x 50 x 290 mm, voorzien van krammetjes. Hierdoor is het mogelijk om door middel van optillen van de schotbalkjes op elk gewenst niveau een spleetopening te creëren tussen twee schotbalkjes ten behoeve van het aflaten van tussenwater.

De afvoerbuizen van de vakdrains, de kadedrains en de lozingskisten monden in afzonderlijke meetputten uit (figuur 8).



Figuur 8. Doorsnede waterdoorlatende kade met afvoersysteem

In de praktijk worden bovendien ookgesteld dat voor deze proef
 noodzakelijk is, zand te gebruiken.

1.2 Proefbakken (I', I'E, IV', IV'E)

De constructie van de proefbakken benadert zo veel mogelijk die van de proefvakken met dien verstande, dat alle vier wanden uit hout bestaan. De afmetingen zijn 1,00 m x 1,00 m x 1,00 m.

Ten behoeve van de afvoer van vrij water aan de oppervlakte is een aangepaste lozingsconstructie aangebracht, bestaande uit inschuifbare pvc-buisstukjes, diam. 75 mm, met een werkende lengte van 50 mm.

1.3 Slibaanvoersysteem

Er zijn twee slibsoorten aangevoerd (bijlage 2):

- slib a: niet gedroogd surplusslib van de rwzi Bennekom (aëroob gestabiliseerd) voor de proefvakken en proefbakken via een persleiding;
- slib b: niet gedroogd surplusslib van rwzi Ede (anaëroob gestabiliseerd) voor de proefbakken (per auto).

Slib a is gebruikt voor:

- rechtstreekse vulling van proefvak III;
- rechtstreekse vulling van de proefvakken IV t/m VI en proefbak IV' na volumebepaling in doseervat C;
- vulling van de proefvakken I en II en proefbak I' na indikking in bekken A;
- vulling van de proefvakken VII t/m IX na indikking en volumebepaling in tank D.

Slib b is gebruikt voor:

- rechtstreekse vulling van proefbak IV'E;
- vulling van proefbak I'E na indikking in vat E.

Voor het transport van het slib naar de proefvakken zijn ondergrondse leidingen aangebracht, die uitmonden in verdeelputten aan de vulzijde (noordzijde) van de proefvakken.

In de verdeelputten bevinden zich afsluiters en flexibele vulslangen. De uiteinden van de vulslangen zijn voorzien van een platte schop, waardoor de vulstraal wordt gebroken en verspreid (foto 11, p.24).

Het meten van de hoeveelheden aangevoerd slib per vuldatum per proefvak/proefbak is als volgt uitgevoerd:

- proefvakken/proefbakken met "dikke laag"-vullingen: meting laagdikte in proefvak/proefbak;
- proefvakken met "dunne laag"-vullingen niet ingedikt slib: meting peildaling in doseervat C (40 cm peildaling in het doseervat komt overeen met 3 cm vulhoogte in het proefvak);
- proefvakken met "dunne laag"-vullingen ingedikt slib: meting peildaling in tank D (20 cm peildaling in de tank komt overeen met 3 cm vulhoogte in het proefvak);
- proefbakken met "dunne laag"-vullingen: 3 emmervullingen komen overeen met 3 cm vulhoogte in de proefbak.

1.4 Doseervat (C)

Om de exacte hoeveelheid niet ingedikt slib voor de proefvakken met dunne lagen (IV t/m VI) per dosering te kunnen meten, is doseervat C in het slibaanvoersysteem opgenomen. Dit doseervat bestaat uit een bovengrondse betonput zonder afdekking met een inhoud van 2 m³.

Op elke vuldatum wordt de benodigde hoeveelheid slib via de persleiding in het doseervat gepompt. De benodigde hoeveelheid slib per proefvak wordt tijdens het vullen gemeten aan de hand van de peildaling in het doseervat.

1.5 Indikvoorzieningen (A, D, E)

Ten behoeve van het indikken van het slib van de rwzi Bennekom, bestemd voor de halfjaarlijkse vullingen, is het grote indikbekken A aangelegd.

Bekken A wordt gevormd door vier kaden met folie op de binnentaluds en de bodem, en heeft een inhoud van 60 m³. Het bij het indikproces vrijgekomen water wordt via een lozingskist afgevoerd naar waterbekken B.

Om het slib van de rwzi Bennekom, dat bestemd is voor de wekelijkse vullingen, in te dikken is de stalen tank D geplaatst. Deze heeft een inhoud van 8 m³. Het bij het indikproces vrijgekomen water verdwijnt via aftapkraantjes in de wand van de tank met een onderlinge afstand van 0,20 m (foto 4, p.9) in een putje met een ondergrondse leiding naar waterbekken B.

Ten behoeve van het indikken van het slib uit de rwzi Ede, bestemd voor de halfjaarlijkse vullingen, is het indikvat E geplaatst. Dit indikvat bestaat uit een bovengrondse betonput zonder afdekking met een inhoud van 2 m³. Hier is dezelfde wateraflaat-constructie toegepast als in de proefbakken.

Het homogeniseren van het ingedikte slib is op verschillende wijzen uitgeprobeerd voordat tot vulling is overgegaan.

- indikbekken A:

- . "karnen" met behulp van een plank aan een stok: geen resultaat;
- . rondpompen met behulp van een slibpomp: matig resultaat;
- . mengen met behulp van een gierwagen: goed resultaat (foto 3, p.8);

- indiktank D:

- . "karnen" met behulp van een plank aan een stok: matig resultaat;
- . rondpompen met behulp van een slibpomp: goed resultaat.

- indikvat E:

- . "karnen" met behulp van een plank aan een stok: goed resultaat;
- . rondpompen met behulp van een slibpomp: goed resultaat.

1.6 Meetputten

Per proefvak zijn afhankelijk van de doorlatendheid van de kadeconstructie 2 dan wel 3 meetputten aangebracht. Deze bestaan uit betonputten met afdekking en een inhoud van 2 m³. Zij dienen ter opvang van de afvoeren van de vakdrain (VDA), de lozingskist (LKA) en de kadedrain (KDA). De meetputten van de proefbakken bestaan uit ijzeren vaten met afdekking en een inhoud van 0,2 m³.

1.7 Waterbekken (B)

Om het overtollig water, dat teruggepompt moet worden naar de rwzi Bennekom, tijdelijk te bufferen is het waterbekken B gemaakt. Dit bekken bestaat uit een ingraving, waarvan de taluds en de bodem zijn

bekleed met folie; het heeft een inhoud van 50 m³.

1.8 Pluviograaf (P)

Aan de noordzijde van waterbekken A is een pluviograaf (regenschrijver) opgesteld. Hierdoor is continue registratie van de neerslag mogelijk.

1.9 Bergingen (S1, S2)

Aan de westzijde van het proefterrein bevinden zich twee bergingen voor materialen.

PROEFVARIABLEN

De proef is zodanig van opzet dat de volgende variabelen vergeleken kunnen worden:

- waterdoorlatende versus dichte kade
Van zes proefvakken is de kadeconstructie waterdoorlatend (II, III, V, VI, VII en VIII); drie proefvakken hebben een dichte kadeconstructie (I, IV, IX);
- dikke versus dunne lagen
In drie proefvakken en twee proefbakken wordt het slib in een dikke laag - circa 75 cm per vulling - aangebracht (I, II, III, I' en I'E). In drie proefvakken en twee proefbakken wordt het slib in dunne lagen - 3 cm per vulling - aangebracht (IV, V, VIII, IV' en IV'E).
In drie proefvakken wordt het slib eveneens in dunne lagen - 1,5 cm per vulling - aangebracht (VI, VII en IX);
- ééntraps-versus tweetrapssysteem
In vier proefvakken en twee proefbakken wordt niet ingedikt slib toegevoerd (III t/m VI, IV' en IV'E).
In vijf proefvakken en twee proefbakken wordt ingedikt slib toegevoerd (I, II, VII, VIII, IX, I' en I'E);
- doseringsfrequentie
In drie proefvakken en twee proefbakken vindt twee keer per jaar slibtoevoer plaats (I, II, III, I' en I'E).
In vijf proefvakken en twee proefbakken vindt twee keer per week slibtoevoer plaats (IV t/m VII, IX, IV' en IV'E).
In één proefvak vindt één keer per week slibtoevoer plaats (VIII);
- proefvakken versus proefbakken
Er zijn vier proefbakken, waarvan de vulwijze met twee proefvakken correspondeert (I' en IV');
- slibsoort
Er worden twee proefbakken met anaëroob gestabiliseerd slib aangevuld op eenzelfde wijze als de twee andere proefbakken met aëroob gestabiliseerd slib (I'E en IV'E).

SLIBKARAKTERISERINGEN

- 1 KARAKTERISERINGEN VOORAF
- 1.1 Metingen aan niet-geconditioneerd slib
- 1.2 Karakteriseringsonderzoek
- 1.3 Verklaring termen
- 1.4 Resumé

- 2 KARAKTERISERINGEN TIJDENS DE PROEF
- 2.1 Drogestofgehalten toegevoerd slib
- 2.2 Drogestofgehalten aanwezig slib
- 2.3 Gloeirest
- 2.4 Verdampingssnelheid
- 2.5 Volumieke massa
- 2.5.1 *slib*
- 2.5.2 *korst*

1 KARAKTERISERINGEN VOORAF

Door TNO Delft zijn in september 1983 laboratoriumbepalingen uitgevoerd aan aëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Bennekom en in november 1983 aan anaëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Ede ter vaststelling van de ontwaterbaarheid van beide slibsoorten.

1.1 Metingen aan niet-geconditioneerd slib

Bij drogestofgehalten van 15 en 30 g/l zijn de afzuigtijd, capillary suction time (CST) en de specifieke filtratieweerstand gemeten. De resultaten hiervan zijn, tezamen met gelijksoortige bepalingen door TNO aan slibben van andere rwzi's, weergegeven in de tabellen 7 en 8.

rwzi	d.s. (g/l)	afzuigtijd (s) 75 ml	C.S.T. (s)	spec. filtra- tieweerstand (m/kg)
Bunnik	13	81	22	1,8
Katwijk	14	140	28	3,2
Delft(TNO)	15	170	27	4,6
Bennekom	15	690	59	15
Bodegraven	30	600	80	10
Nieuwveen	30	3200	170	42
Bennekom	30	3600	145	34

Tabel 7. Laboratoriumbepalingen van de ontwaterbaarheid van diverse monsters aëroob gestabiliseerd slib.

Het niet-geconditioneerde slib van de rwzi Bennekom heeft vrij matige ontwateringseigenschappen. Dit zal zich eveneens uiten bij de ontwatering op een droogbed. Overigens mag niet worden vergeten dat de ontwateringseigenschappen van niet-geconditioneerd, aëroob gestabiliseerd slib sterk over het jaar kunnen verschillen.

rwzi	d.s. (g/l)	afzuigtijd (s) 75 ml	C.S.T. (s)	spec. filtra- tieweerstand (m/kg)
Utrecht	15	>6000	380	200
Zeist	15	>7500	1200	230
Ede	15	8200	720	120
Gouda	30	>2800	400	35
Ede	30	12650	860	90

Tabel 8. Laboratoriumbepalingen van de ontwaterbaarheid van diverse monsters anaëroob gestabiliseerd (uitgegist) slib.

Het niet-geconditioneerde uitgegistte slib van de rwzi Ede heeft voor dit type slib geen uitzonderlijke eigenschappen met betrekking tot de snelheid van ontwatering. Dit zal zich eveneens uiten bij de ontwatering op een droogbed.

1.2 Karakteriseringsonderzoek

Een algemene uitspraak over het slib kan worden verkregen door karakterisering van slib na conditionering met Praestol 444k. Het onderzoek is verricht conform de door TNO in opdracht van de STORA opgestelde handleiding voor de MFT-test (Modified Filtration Test).

De meetresultaten zijn vermeld in de tabellen 9 en 10.

p.e.- dosering (g/kg d.s.)	2,5	5	7,5	10
roertijd	afz.tijd.MFT (s) (%d.s) 60 ml	afz.tijd.MFT (s) (%d.s) 60 ml	afz.tijd.MFT (s) (%d.s) 60 ml	afz.tijd.MFT (s) (%d.s) 60 ml
2 s	90 13,0			
5 s	20 13,8	600 5,3		
10 s	25 12,3	90 15,7	24 16,8	
20 s	30 11,5	23 15,4	20 17,9	45 17,2
35 s	42 14,3	42 14,3	23 16,1	19 18,4
50 s			31 16,6	22 16,9
110s				42 15,4

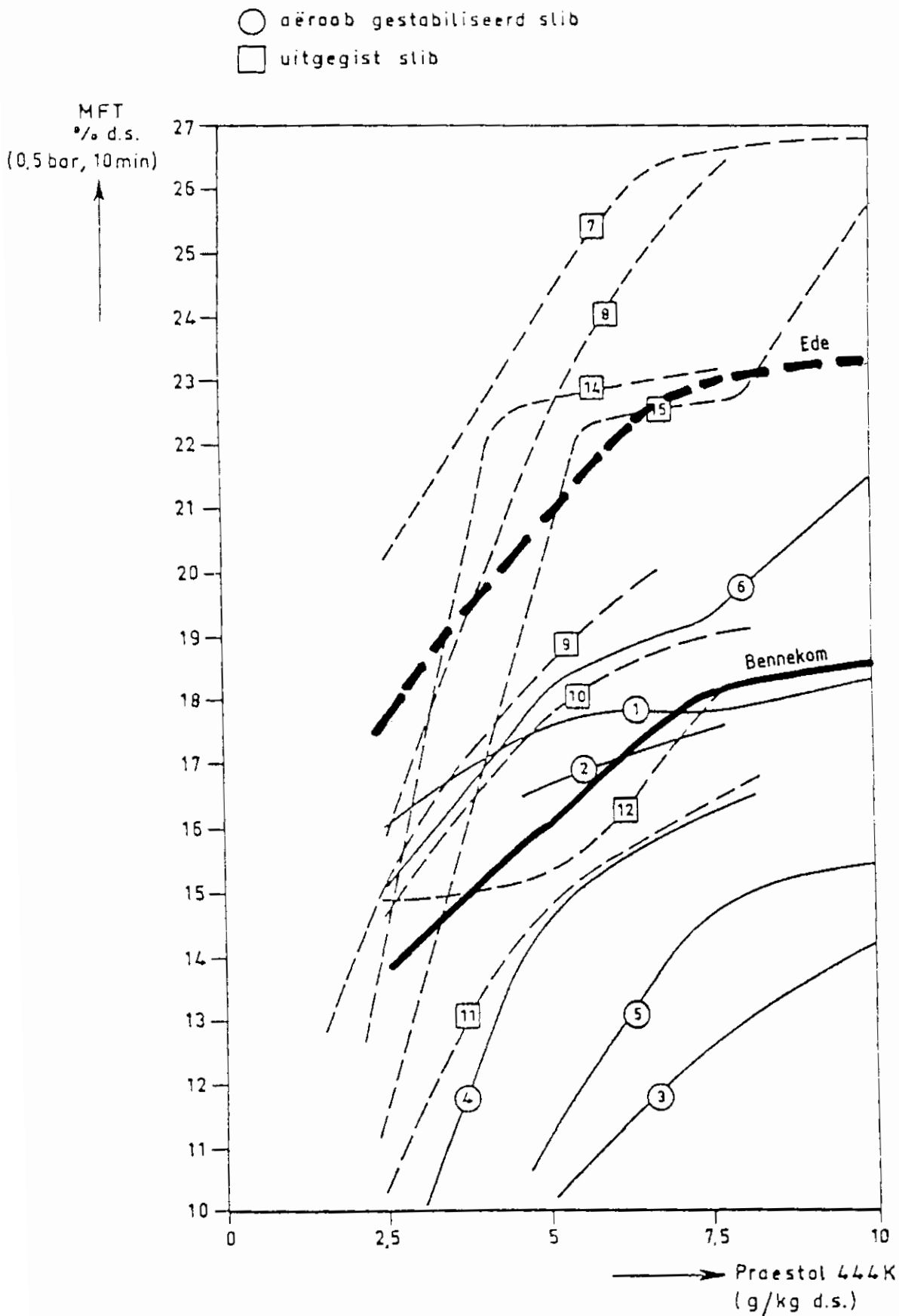
Tabel 9. Karakterisering slib van de rwzi Bennekom.

Het slib van de rwzi Bennekom vertoont een normale reactie op het conditioneren met Praestol 444k. De M.F.T. -waarden bij optimale roertijd zijn in figuur 9 uitgezet.

Het slib van de rwzi Bennekom heeft vrij goede ontwateringseigenschappen na conditionering met polyelektrolyten, wanneer het vergeleken wordt met aëroob gestabiliseerd slib. Ten opzichte van uitgegiste slibben heeft het vrij matige ontwateringseigenschappen.

p.e.- dosering (g/kg d.s.)	2,5	5	7,5	10
roertijd	afz.tijd.MFT (s) (%d.s) 60 ml	afz.tijd.MFT (s) (%d.s) 60 ml	afz.tijd.MFT (s) (%d.s) 60 ml	afz.tijd.MFT (s) (%d.s) 60 ml
2 s	95 15,2			
4 s	90 14,1	15 20,9		
5 s	55 17,5	13 21,0	19 20,0	
10 s	130 14,8	23 20,7	16 22,8	275 18,8
15 s		53 18,3	11 20,6	- -
20 s			16 21,3	51 22,9
30 s				13 22,7
50 s				19 22,6

Tabel 10. Karakterisering slib van de rwzi Ede.



Figuur 9. Karakterisering van slibben.

Het slib van de rwzi Ede vertoont de gebruikelijke sterke verbetering van de ontwateringseigenschappen na conditionering met Praestol 444k. De MFT-waarden bij optimale roertijd zijn in figuur 9 uitgezet.

Het slib van de rwzi Ede heeft vrij goede ontwateringseigenschappen na conditionering met polyelektrolyten, wanneer het vergeleken wordt met andere uitgegiste slibben. Het verschil ten opzichte van het slib van de rwzi Bennekom (aëroob gestabiliseerd slib) is vrij gebruikelijk zoals figuur 9 laat zien. Aëroob gestabiliseerde slibben zijn na conditionering veelal minder goed ontwaterbaar dan uitgegiste slibben.

1.3 Verklaring termen

Afzuigtijd (NEN 6689)

De tijd waarin onder beschreven proefomstandigheden 75 ml filtraat wordt verkregen uit 125 ml slib.

Capillary Suction Time (CST-waarde) (NEN 6690)

De tijd die het vloeistoffront in het filtreerpapier nodig heeft om de afstand (d) af te leggen tussen 16 mm en 22,5 mm, gerekend vanaf het midden van de metalen slibhouder.

Specifieke filtratieweerstand (NEN 6685)

De weerstand die, onder de beschreven proefomstandigheden, door uit het slib gevormde filterkoek wordt geboden aan de verdere passage van de in bewerking zijnde vloeistof.

Modified Filtration Test (MFT)

(Stora-4, Zeefbandpersen; slibkarakterisering en optimaal gebruik van polyelectrolyt. Handleiding, 1982).

Het einddrogestofgehalte van een uitgeperste slibmassa na vacuümfiltratie en uitpersing onder beschreven proefomstandigheden.

1.4 Resumé

Het voor laguneringsonderzoek te gebruiken slib dient bij voorkeur geen extreem goede of slechte eigenschappen te bezitten. De slibben van de rwzi's Bennekom en Ede zijn beide goede representanten van aëroob gestabiliseerde respectievelijk uitgegiste slibben. Beide slibben hebben in niet-geconditioneerde toestand vrij matige ontwateringseigenschappen en lijken daarom beide geschikt voor het beoogde doel. Op basis van de onderzochte monsters mag worden verwacht dat de drainage-eigenschappen van het slib van de rwzi Ede beter zijn dan die van de rwzi Bennekom.

2 KARAKTERISERINGEN TIJDENS DE PROEF

Ten behoeve van de karakterisering van beide slibsoorten gedurende het verloop van de proef zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

A in het veld

- meting schuifweerstand met het "vin-apparaat";
- visuele beoordeling structuur van het slib, begroeiing e.d.;
- foto-reportage.

B in het laboratorium

- bepaling drogestofgehalte toegevoerd slib;
- bepaling drogestofgehalte slib in situ;
- bepaling gloeirest;
- bepaling verdampingssnelheid;
- bepalingen ten behoeve van de vaststelling van de volumieke massa.

De bepalingen van de verdampingssnelheden zijn uitgevoerd door het KIWA; de overige bepalingen aan de slibmonsters zijn verricht in het laboratorium van het Zuiveringsschap Veluwe. Het laboratoriumonderzoek naar de fysische grootheden van de korst is uitgevoerd door Fugro B.V.

2.1 Drogestofgehalten toegevoerd slib

Bij iedere vulling is voor alle proefvakken/proefbakken een mengmonster genomen, dat werd samengesteld uit bemonsteringen van het slib tijdens de start, halverwege en aan het einde van de vulprocedure. Dit heeft per slibsoort de volgende aantallen monsters opgeleverd:

- aëroob, niet ingedikt : 406 stuks
- aëroob, ingedikt : 259 stuks
- anaëroob, niet ingedikt: 101 stuks
- anaëroob, ingedikt : 2 stuks.

2.2 Drogestofgehalten aanwezig slib

Gemiddeld één keer per maand zijn per proefvak op drie plaatsen (evenredig verdeeld over de lengte-richting) en per proefbak in het midden slibmonsters in situ gestoken. De monsternamen zijn uitgevoerd met de zgn. "Vrij-Wit-boor" (foto 5, p.10). De Vrij-Wit-boor bestaat uit een enigszins taps toelopend U-profiel ter lengte van 1,00 m met een drukstang. Het U-profiel kan in de lengte worden afgesloten met een schuifdeksel. Met deze boor wordt vanaf de verrijdbare meetbrug een verticale moot ongeroerd slib in situ gestoken.

Na opening van het schuifdeksel wordt de slibkolom onderverdeeld in lagen van maximaal 0,25 m (foto 6, p.10).

Per laag wordt een monster genomen. Bij aanwezigheid van een korst wordt deze apart bemonsterd.

Aantal aldus verkregen monsters:

- aëroob, niet ingedikt : 466 stuks
- aëroob, ingedikt : 467 stuks
- anaëroob, niet ingedikt: 37 stuks
- anaëroob, ingedikt : 25 stuks.

De gewogen gemiddelde drogestofgehalten per proefvak/proefbak zijn

grafisch weergegeven in bijlage 3. Als voorbeeld van de variaties in drogestofgehalten in een proefvak/proefbak zijn de bepalingen op 12 juni 1984 (2½ maand na de start) en op 3 juni 1985 (14 maanden na de start) aangegeven in de figuren 10 en 11.

2.3 Gloeirest

Op drie tijdstippen is de gloeirest van het toegevoerde slib bepaald:

- april 1984 (start proef);
- oktober 1984 (einde 1e cyclus I t/m III);
- november 1984 (start 2e cyclus I t/m III).

Twee keer is de gloeirest van het in de proefvakken/proefbakken aanwezige slib bepaald:

- september 1984 (6 maanden na de start);
- oktober 1985 (19 maanden na de start).

De (gemiddelde) gloeiresten van het toegevoerde en het aanwezige slib van zowel Bennekom als Ede zijn per behandelingswijze weergegeven in tabel 11.

vak/ baknr.	toegevoerd	aanwezig	toegevoerd	toegevoerd	aanwezig
	2-4-'84	24-9-'84	8-10-'84	8-11-'84	31-10-'85
I t/m III	27,6	36,6	-	29,4	39,5
IV + V	21,2	29,2	25,7	26,5	33,8
VI t/m IX	21,7	30,5	28,4	26,4	32,4
I'	21,9	29,8	-	30,6	41,9
IV'	30,8	30,2	26,0	23,3	36,5
I'E	39,4	44,7	-	37,8	43,4
IV'E	35,4	39,2	39,3	38,7	43,4

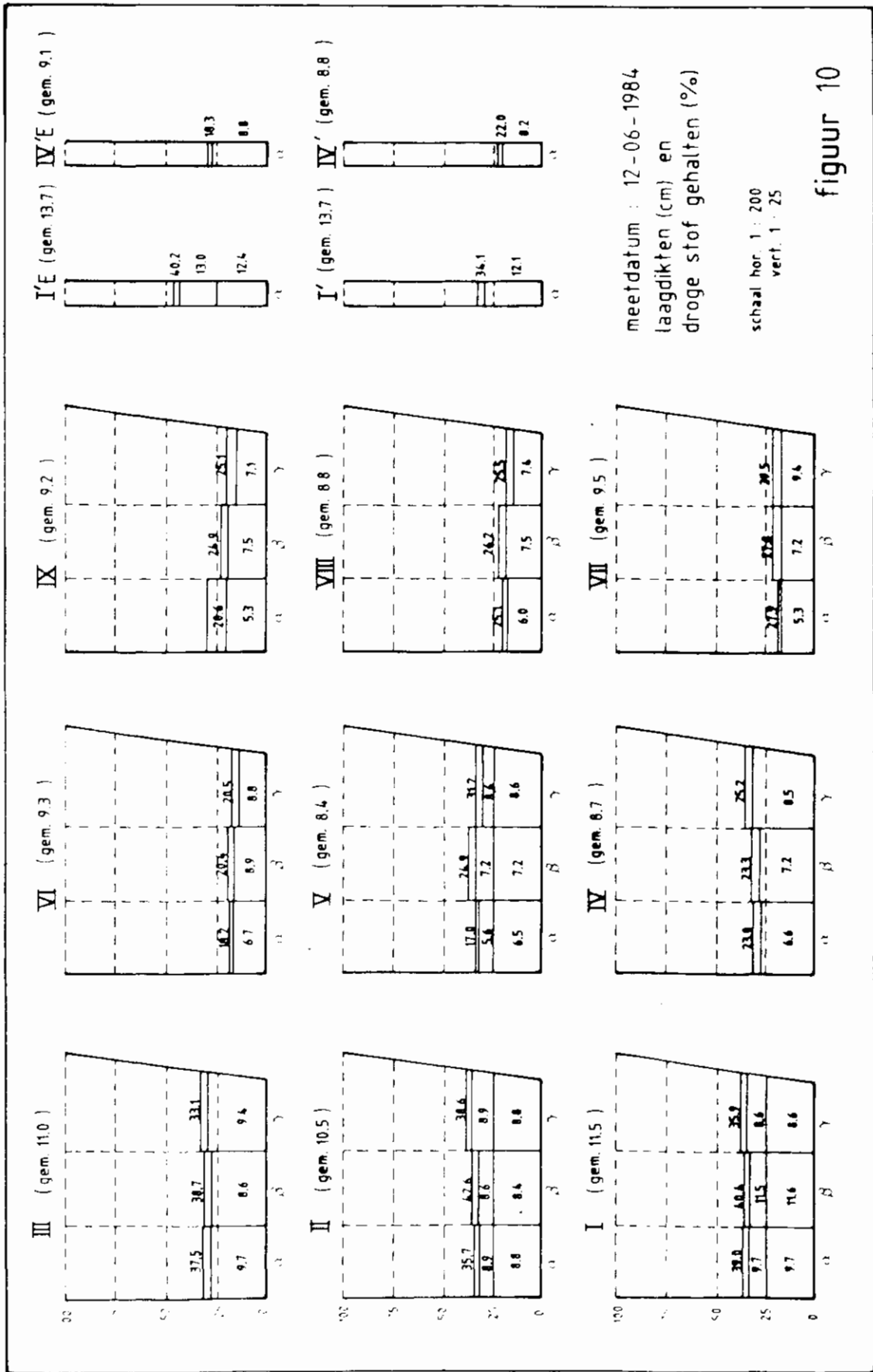
Tabel 11. Gemiddelde gloeiresten van het slib in gew.%.

Uit tabel 11 kan worden afgeleid, dat:

- de gemiddelde gloeiresten van het toegevoerde, aëroob gestabiliseerde slib (Bennekom) veel lager zijn dan die van het toegevoerde, anaëroob gestabiliseerde slib (Ede);
- bij het aëroob gestabiliseerde slib de toename van de gloeiresten in de rijpingsperiode van de proefvakken/proefbakken met "dikke laag"-vullingen aanzienlijk groter is dan die met "dunne laag"-vullingen;
- bij het anaëroob gestabiliseerde slib dit verschil in toename voor de verschillende vulwijzen niet bestaat en de toename duidelijk geringer is dan bij de "dikke laag"-vullingen van het aëroob gestabiliseerde slib.

2.4 Verdampingssnelheid

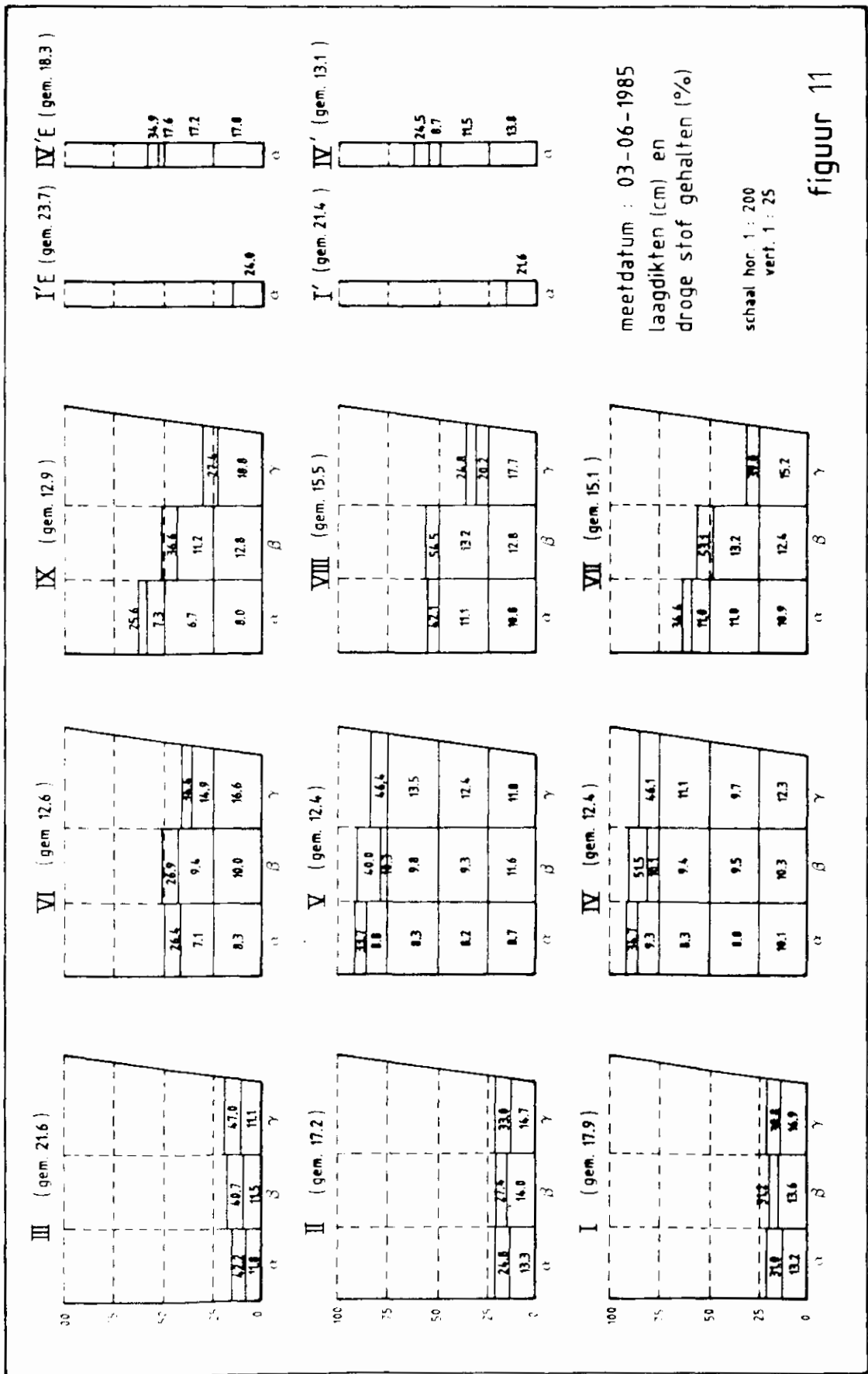
Door het KIWA zijn thermogravimetrische analyses uitgevoerd van aëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Bennekom en anaëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Ede. Hierbij is de verdampingssnelheid van water bij 80°C uit het slib weergegeven als functie van het drogestofgehalte. De monstername heeft plaatsgevonden in mei 1984, november 1984 en mei 1985. Op basis van de meetresultaten op bovengenoemde drie tijdstippen is voor beide slibsoorten een gemiddelde verdampingscurve samengesteld



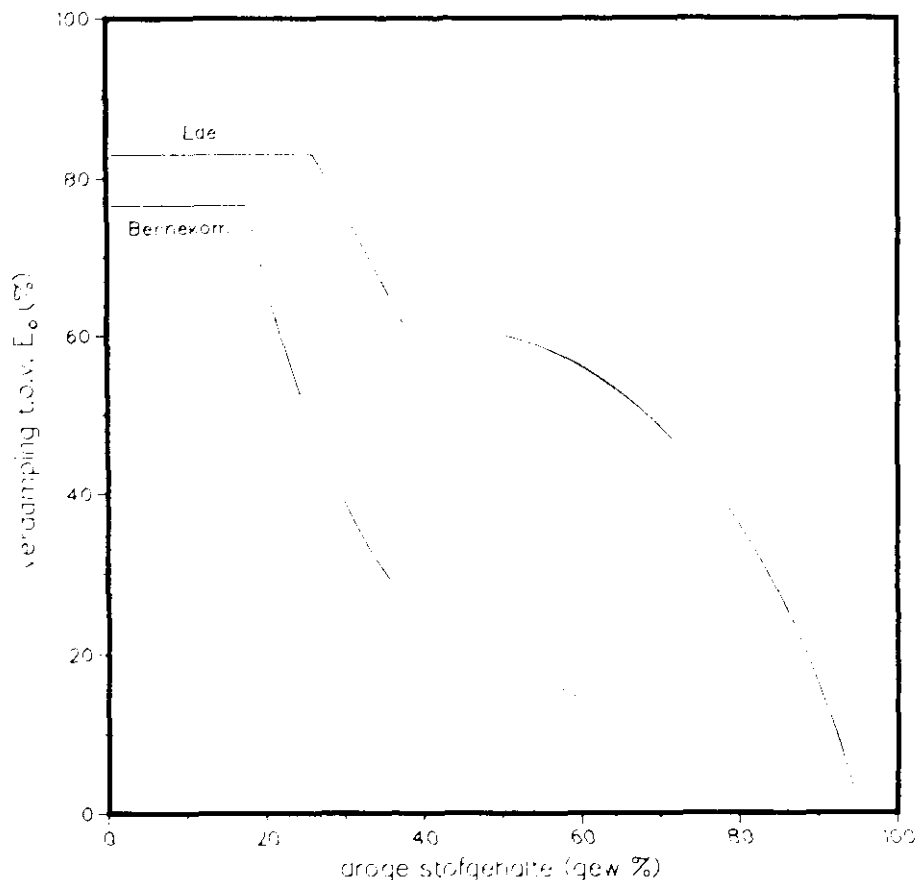
meetdatum : 12-06-1984
 laagdikten (cm) en
 droge stof gehalten (%)

schaal hor. 1 : 200
 vert. 1 : 25

figuur 10



als functie van het drogestofgehalte van de suspensie. De curven zijn weergegeven in figuur 12.



Figuur 12. Gemiddelde verdampingssnelheid van beide slibsoorten.

De verdampingssnelheid geeft een goed beeld van de verschillen tussen de slibben van Bennekom en Ede. Het is echter niet mogelijk vanuit de resultaten van deze proef directe uitspraken te doen voor wat betreft het verloop van het droogproces bij lagunering van het betreffende slib. De laboratoriummetingen zijn niet geschikt voor het karakteriseren van het droogproces zoals dat in lagunes plaatsvindt.

2.5 Volumieke massa

Om een sluitende drogestofbalans te kunnen opstellen, moet de volumieke massa van het slib bekend zijn. Het is dan mogelijk om met behulp van het drogestofgehalte (massa) een relatie te leggen tussen massa en volume; de waterbalans wordt zodoende gekoppeld aan de drogestofbalans. Onder volumieke massa wordt hier verstaan: de massa van een volume-eenheid van het materiaal in zijn natuurlijke ligging. De term volumieke massa is van toepassing op zowel het natuurlijke monster als op zijn componenten: de vaste fase (te verdelen in organisch en mineraal materiaal), vloeistof en gas.

2.5.1 *slib*

De volumieke massa's van de volgende slibsoorten zijn bepaald:
- aëroob gestabiliseerd slib, niet ontwaterd: rechtstreeks uit de indikker van de rwzi Bennekom;

- aëroob gestabiliseerd slib, gedeeltelijk ontwaterd: uit proefvak IX;
- anaëroob gestabiliseerd slib, niet ontwaterd: rechtstreeks uit indikker van de rwzi te Ede;
- anaëroob gestabiliseerd slib, gedeeltelijk ontwaterd: uit proefbak IV'E.

De monstername heeft in de rijpingsfase plaats gevonden, op 29 juli 1985. Bepaald zijn: volumieke massa nat monster, massapercentage droge stof, volumieke massa droge stof, gloeirest in massapercentage op de droge stof en volumieke massa van de as. Op basis van deze bepalingen zijn de volgende grootheden berekend: massa droge stof op volume nat monster, volumepercentage droge stof op nat monster, volumepercentage poriën, volumepercentage water op nat monster, volumepercentage gas op nat monster, volumepercentage as op droge stof en volumieke massa organische stof. De resultaten van bepalingen en berekeningen staan vermeld in tabel 13.

Op grond van de resultaten in deze tabel worden voor alle berekeningen de volgende waarden gehanteerd:

- volumieke massa van de droge stof: 1,5 kg/l;
- gashalte : 2 vol.%.

2.5.2 korst

Aangezien de korst visueel sterk verschilt van het onderliggende slib, is ook bij de korst onderzoek gedaan naar de volumieke massa en het gasgehalte. Daartoe zijn in de rijpingsfase op 19 augustus 1985, onge-roerde monsters van de korst gestoken met behulp van zogenaamde "Kopec-ky-ringen" (inhoud 100 ml). De monsters zijn genomen in de proefvakken I, III, VI en IX, in volgorde afnemend in korst-ontwikkeling. De resultaten van de bepalingen staan vermeld in tabel 12.

De gemiddelde waarde van de volumieke massa van de droge stof van de korst komt overeen met die van het overige slib en bedraagt 1,5 kg/l.

proef- vak nr.	volu- mieke massa nat (kg/l)	volu- mieke massa droog (kg/l)	poriën volume (%)	water geh.in vol %	d.s in gew. %	gas- geh.in vol %
I	0,80	0,22	85,2	59,2	27,5	26,0
	0,86	0,24	84,2	63,2	38	21,0
III	0,84	0,17	88,5	68,0	25,8	20,5
	0,92	0,17	88,5	76,5	22,8	12,0
VI	0,93	0,07	94,1	85,7	10,5	8,4
	0,94	0,11	92,4	83,9	13,8	8,5
IX	0,94	0,085	94,3	87,1	10,0	7,2

Tabel 12. Fysische karakterisering van de korst.

	aëroob gestabiliseerd		anaëroob gestabiliseerd	
	niet ontwaterd	gedeeltelijk ontwaterd	niet ontwaterd	gedeeltelijk ontwaterd
1. volumieke massa nat monster (kg/100 l)	98,7	100,5	101,1	102,5
2. massaperc. droge stof	2,13	14,0	6,15	18,0
3. volumieke massa droge stof (kg/l)	1,5	1,44	1,43	1,43
4. gloeirest in massaperc. op droge stof	27,2	32,3	40,3	43,9
5. volumieke massa van de as (kg/l)	2,86	1,72	2,56	2,08
6. massa droge stof op volume nat monster ($1 \times 2:100$) (kg/100 l)	2,10	14,07	6,22	18,45
7. volumeperc. droge stof op nat monster ($6 : 3$)	1,4	9,8	4,3	12,9
8. volumeperc. poriën (100 - 7)	98,6	90,2	95,7	87,1
9. volumeperc. water op nat monster ($1 - 6$)	96,60	86,43	94,88	84,05
10. volumeperc. gas op nat monster ($8 - 9$)	2,00	3,77	0,82	3,05
11. volumeperc. as op droge stof ($4 : 5$) x 3	14,3	27,0	22,5	30,2
12. volumieke massa organische stof (3×100) - (5x11) (kg/l)	1,27	1,34	1,10	1,15

Tabel 13. Fysische karakterisering van het slib (de parameters 1 t/m 5 zijn in het laboratorium bepaald).

CUMULATIEVE WATER- EN SLIBBALANS

De gegevens zijn numeriek verwerkt met behulp van een voor dit doel geschreven computerprogramma.

De bewerkingen betreffen zowel de waterbalans als de slibbalans.

Afzonderlijke en gecombineerde termen van de cumulatieve waterbalans zijn berekend. Onder meer is het cumulatieve drogestofgehalte van het toegevoerde slib berekend, alsmede het gewogen gemiddelde drogestofgehalte in de proefbakken en -vakken.

De resultaten van de computerberekeningen zijn weergegeven in de vorm van tabellen en grafieken.

Tabellen

De in de tabellen gepresenteerde grootheden hangen samen met de waterbalans van de proefvakken en proefbakken. Hiervan is als voorbeeld op pagina 66 t/m 71 de computeruitdraai van proefvak I weergegeven.

De algemene cumulatieve waterbalans luidt:

$$CI = CU + B$$

waarin:

CI = ingekomen stroom water [mm]

CU = uitgegane stroom water [mm]

B = geborgen hoeveelheid water in het proefvak [mm]

De ingekomen stroom bestaat uit:

$$CI = CN + CW$$

waarin:

CN = neerslag [mm]

CW = watervolume van het toegevoerde slib [mm]

Hierbij wordt CW als volgt berekend:

$$CW = \left(1 - \frac{1}{\rho} * \frac{CDS}{100} \right) * SLIB \quad [mm]$$

waarin:

SLIB = cumulatieve laagdikte van het toegevoerde slib [mm]

CDS = cumulatieve gewogen gemiddelde drogestofgehalte van het toegevoerde slib [massa %]

ρ = volumieke massa van de droge stof [kg/l]

De uitgegane stroom bestaat uit:

$$CU = CA + CD$$

waarin:

CA = actuele verdamping van het sliboppervlak [mm]

CD = afvoer via drain(s) en lozingskist [mm]

De afvoer is opgebouwd uit:

$$CD = CV + CK + CL$$

waarin:

CV = afvoer via vakdrain [mm]

CK = afvoer via kadedrain [mm]

CL = afvoer via lozingkist [mm]

De waterbalanstermen zijn tot enkele samenvattende kengetallen gecombineerd:

- CNI = CI - CU = netto ingekomen stroom water [mm];

- M = CU/CI * 100 = ontwateringsgetal dat aangeeft welk percentage van de cumulatieve ingekomen waterstroom het proefvak sinds het begin van de proef verlaten heeft [vol. %];

- VR = CNI/CW * 100 = watervolumereductiefactor, die aangeeft welk percentage van het cumulatieve watervolume van het toegevoerde slib na verloop van tijd in het proefvak resteert [vol. %].

Een goede ontwatering komt overeen met een hoge waarde voor het ontwateringsgetal M of een lage waarde voor de watervolumereductiefactor VR.

Grafieken

Per proefvak/-bak zijn de volgende vier grafieken geproduceerd die op pagina 72 t/m 97 zijn weergegeven.

Grafiek A: Cumulatieve waterbalans

In deze grafiek komen de getrokken lijnen overeen met de inkomende stromen, de gestippelde met de uitgaande. De onderste getrokken lijn betreft de cumulatieve toevoer van water via het opgebrachte slib (CW). Bij de bovenste getrokken lijn is de cumulatieve neerslag hieraan toegevoegd (CW + CN). De onderste gestippelde lijn betreft de totale afvoer via drains en lozingkist (CD), terwijl tevens de cumulatieve actuele verdamping van het sliboppervlak verdisconteerd is (CD + CA). In de grafiek is onder meer te zien in welke mate de totale uitgaande stroom (CD+CA) reageert op de totale inkomende stroom (CW+CN). Voorts is het verloop van het neerslagoverschot ($N - E_{\text{gras}}$) als staafjesdiagram afgebeeld. Hierbij is N de op het proefterrein gemeten neerslag en is E_{gras} de Penman-verdamping voor kort gras (locatie: meteostation L.U.-Wageningen).

Kort grasland is in dit onderzoek de vergelijkingsbasis voor de verdamping van het sliboppervlak. De verdamping van kort grasland is 80% van de openwaterverdamping.

Grafiek B: Vakdrain, kadedrain en lozingkist

In deze grafiek is het gedrag van de drie waterafvoersystemen afgebeeld.

De reactie hiervan op neerslagpieken is zichtbaar.

De onderste lijn heeft betrekking op de cumulatieve afvoer van de vakdrain, de middelste lijn op de cumulatieve afvoer van de vakdrain plus de kadedrain (indien aanwezig), terwijl de bovenste lijn (CD) de cumulatieve waterafvoer weergeeft van vakdrain, kadedrain, en lozingkist.

Grafiek C: Watervolumereductiefactor

De watervolumereductiefactor (volume %) is aangehouden als karakteristieke grootte voor het ontwateringsproces. Een waarde van 20% betekent dat van het cumulatief ingekomen watervolume behorende bij het toegevoerde slib, theoretisch beschouwd nog slechts 20% in het proefvak resteert. Dit is uiteraard kwantitatief bezien, omdat het niet dezelfde watermoleculen betreft. Bedacht moet worden dat de watervolumereductiefactor een theoretische rekengrootte is, gebaseerd op een waterbalansberekening. In de eerste weken van de slibdrogingsproef wordt ook het initieel geborgen water (circa. 80 mm) in het onderliggende drainagezandbed afgevoerd. Omdat dit water buiten de waterbalans van het slib valt, maar wel als afvoer gemeten is, wordt hiervoor gecorrigeerd door in totaal 80 mm negatieve afvoer aan de vakdrain toe te kennen. Hierdoor is het mogelijk dat de watervolumereductiefactor in het begin van de proef tijdelijk boven 100 % uitkomt.

Voor het volgen van het ontwateringsproces is de watervolumereductiefactor een bruikbare grootte. Indien de factor in een bepaalde periode niet verder daalt, betekent dit dat het ontwateringsproces stagneert.

Grafiek D: Drogestofgehalte in de proefvakken/bakken

In deze grafiek staat het verloop van het gewogen gemiddelde drogestofgehalte in het proefvak afgebeeld. De getrokken lijn is gebaseerd op directe metingen betreffende laagdikte en drogestofgehalte per laag die op de zogenaamde Vrij-Witboor-meetdagen hebben plaatsgevonden. De gestippelde lijn behoort bij het berekende gewogen gemiddelde drogestofgehalte op basis van de watervolumereductiefactor. Bij de "berekende lijn" is geen rekening gehouden met afbraak van droge stof; in perioden dat dit wel plaatsvindt, komt de "berekende lijn" boven de "gemeten lijn" uit. Ondanks het feit dat de berekende en gemeten lijnen langs twee geheel verschillende wegen tot stand zijn gekomen, is er in het algemeen een redelijke overeenstemming.

CUMULATIEVE WATER- EN SLIBBALANS VAN PROEFVAK ** I ** 2/75/1/D (1)

ONDERSTAANDE GROOTHEDEN ZIJN CUMULATIEVE WATERVOLUMINA DIE PER PROEFVAK
 WEERGEGEVEN WORDEN IN MILLIMETERS WATERKOLOM
 BETROKKEN OP EEN DROOGBEDOPPERSVLAK VAN 19 METER²

CW : WATERVOLUME VAN HET TOEGEVOERDE SLIB
 CN : NEERSLAG
 CE : PENMAN VERDAMPING VOOR KORT GRAS
 CA = Fa+CE: ACTUELE VERDAMPING VAN HET SLIBOPPERVLAK OP BASIS VAN DE
 VOLGENDE VERDAMPINGSFACTOREN Fa:
 ZOMERHALFJAAR 1984 Fa = 1.17
 WINTERHALFJAAR 1984/1985 Fa = 2.4
 ZOMERHALFJAAR 1985 Fa = 1.09

CV : AFVOER VIA VAKDRAIN
 CL : AFVOER VIA LOZINGKIST
 CK : AFVOER VIA KADEDRAIN

SLIB : CUMULATIEVE LAAGDIKTE VAN HET TOEGEVOERDE SLIB
 C-DS : CUM. GEMIDDELDE DROGESTOFGEHALTE V.H. TOEGEVOERDE SLIB

VOLGNR (-)	DATUM (-)	DUUR (DAG)	CW (MM)	CN (MM)	CE (MM)	CA (MM)	CV (MM)	CL (MM)	CK (MM)	SLIB (MM)	C-DS (g/g)
2	05-04-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
3	09-04-84	4	786	9	1	2	64	7	0	812	4.81
4	12-04-84	7	786	16	5	6	55	9	0	812	4.81
5	16-04-84	11	786	16	14	16	50	10	0	812	4.81
6	19-04-84	14	786	16	20	24	60	12	0	812	4.81
7	24-04-84	19	786	16	36	43	78	13	0	812	4.81
8	26-04-84	21	786	16	45	52	88	13	0	812	4.81
9	01-05-84	26	786	17	60	71	124	14	0	812	4.81
10	03-05-84	28	786	18	61	72	135	14	0	812	4.81
11	07-05-84	32	786	26	67	79	150	14	0	812	4.81
12	10-05-84	35	786	28	74	86	157	32	0	812	4.81
13	14-05-84	39	786	28	85	99	164	40	0	812	4.81
14	17-05-84	42	786	30	92	107	171	48	0	812	4.81
15	21-05-84	46	786	61	101	118	185	49	0	812	4.81
16	24-05-84	49	786	85	105	123	190	50	0	812	4.81
17	28-05-84	53	786	89	111	130	196	104	0	812	4.81
18	01-06-84	57	786	99	121	141	203	115	0	812	4.81
19	04-06-84	60	786	123	128	149	206	123	0	812	4.81
20	07-06-84	63	786	137	132	155	209	129	0	812	4.81
21	12-06-84	68	786	137	147	172	213	132	0	812	4.81
22	14-06-84	70	786	139	155	181	215	149	0	812	4.81
23	18-06-84	74	786	139	168	197	218	150	0	812	4.81
24	21-06-84	77	786	139	181	212	221	150	0	812	4.81
25	25-06-84	81	786	150	194	226	225	151	0	812	4.81
26	28-06-84	84	786	150	200	233	228	152	0	812	4.81
27	02-07-84	88	786	155	210	246	232	152	0	812	4.81
28	05-07-84	91	786	158	217	253	233	153	0	812	4.81
29	09-07-84	95	786	158	233	273	236	153	0	812	4.81
30	12-07-84	98	786	187	242	284	239	161	0	812	4.81
31	16-07-84	102	786	229	254	298	242	185	0	812	4.81
32	19-07-84	105	786	230	260	305	243	186	0	812	4.81
33	23-07-84	109	786	230	270	316	245	187	0	812	4.81
34	26-07-84	112	786	230	281	328	247	187	0	812	4.81
35	30-07-84	116	786	232	294	344	249	187	0	812	4.81
36	02-08-84	119	786	233	301	352	250	186	0	812	4.81
37	06-08-84	123	786	240	313	366	252	187	0	812	4.81
38	09-08-84	126	786	240	321	376	253	187	0	812	4.81
39	13-08-84	130	786	243	332	389	254	186	0	812	4.81
40	16-08-84	133	786	243	340	398	256	186	0	812	4.81

VOLGNR (-)	DATUM (-)	DUUR (DAG)	CM (MM)	CH (MM)	CE (MM)	CA (MM)	CV (MM)	CL (MM)	CK (MM)	SLIB (MM)	C-DS (o/o)
41	20-08-84	137	786	243	353	413	257	187	0	812	4.81
42	23-08-84	140	786	243	363	425	258	187	0	812	4.81
43	27-08-84	144	786	243	371	435	260	187	0	812	4.81
44	30-08-84	147	786	243	377	441	260	187	0	812	4.81
45	03-09-84	151	786	243	385	450	261	187	0	812	4.81
46	06-09-84	154	786	245	389	455	262	187	0	812	4.81
47	10-09-84	158	786	298	392	459	263	214	0	812	4.81
48	13-09-84	161	786	306	395	463	268	221	0	812	4.81
49	17-09-84	165	786	318	399	467	268	228	0	812	4.81
50	20-09-84	168	786	320	401	470	269	228	0	812	4.81
51	24-09-84	172	786	336	405	474	270	236	0	812	4.81
52	27-09-84	175	786	369	406	475	270	264	0	812	4.81
53	01-10-84	179	786	405	409	479	274	290	0	812	4.81
54	04-10-84	182	786	409	412	484	276	292	0	812	4.81
55	08-10-84	186	786	428	413	488	280	300	0	812	4.81
56	11-10-84	189	786	440	415	492	281	310	0	812	4.81
57	15-10-84	193	786	440	417	497	282	310	0	812	4.81
58	18-10-84	196	786	440	418	500	283	310	0	812	4.81
59	22-10-84	200	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
60	25-10-84	203	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
61	29-10-84	207	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
62	01-11-84	210	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
63	05-11-84	214	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
64	08-11-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
65	09-11-84	1	732	0	0	0	71	4	0	751	3.73
66	12-11-84	4	732	0	0	1	121	7	0	751	3.73
67	15-11-84	7	732	0	1	2	161	77	0	751	3.73
68	19-11-84	11	732	15	1	3	205	78	0	751	3.73
69	22-11-84	14	732	35	1	3	243	78	0	751	3.73
70	26-11-84	18	732	66	2	4	283	79	0	751	3.73
71	29-11-84	21	732	67	2	5	313	80	0	751	3.73
72	03-12-84	25	732	67	2	5	341	80	0	751	3.73
73	06-12-84	28	732	67	2	6	354	80	0	751	3.73
74	10-12-84	32	732	70	2	6	369	80	0	751	3.73
75	13-12-84	35	732	70	3	6	377	80	0	751	3.73
76	17-12-84	39	732	74	3	7	386	80	0	751	3.73
77	20-12-84	42	732	83	3	8	392	80	0	751	3.73
78	03-01-85	56	732	108	4	10	416	80	0	751	3.73
79	07-01-85	60	732	108	4	11	422	80	0	751	3.73
80	10-01-85	63	732	108	5	11	427	81	0	751	3.73
81	14-01-84	67	732	108	5	11	432	81	0	751	3.73
82	17-01-85	70	732	108	5	11	436	81	0	751	3.73
83	21-01-85	74	732	124	5	12	440	81	0	751	3.73
84	24-01-85	77	732	132	6	14	447	98	0	751	3.73
85	28-01-85	81	732	149	7	16	457	115	0	751	3.73
86	31-01-85	84	732	156	8	19	463	129	0	751	3.73
87	04-02-85	88	732	185	10	24	470	136	0	751	3.73
88	07-02-85	91	732	186	12	28	473	136	0	751	3.73
89	11-02-85	95	732	186	13	31	476	136	0	751	3.73
90	14-02-85	98	732	186	14	33	479	136	0	751	3.73
91	18-02-85	102	732	186	15	36	480	136	0	751	3.73
92	21-02-85	105	732	186	16	38	480	136	0	751	3.73
93	25-02-85	109	732	186	17	40	485	136	0	751	3.73
94	28-02-85	112	732	186	18	43	490	136	0	751	3.73
95	04-03-85	116	732	196	20	48	499	138	0	751	3.73
96	07-03-85	119	732	198	22	52	505	140	0	751	3.73
97	11-03-85	123	732	202	24	57	510	140	0	751	3.73
98	14-03-85	126	732	205	26	62	512	140	0	751	3.73
99	18-03-85	130	732	208	29	69	514	140	0	751	3.73
100	21-03-85	133	732	210	33	73	516	140	0	751	3.73

PROEFVAK ** I **

2/75/i/D

(3)

WOLGHR (-)	DATUM (-)	DOUF (DAG)	CW (MM)	CN (MM)	CE (MM)	CA (MM)	CV (MM)	CL (MM)	CK (MM)	SLIB (MM)	C-DS (o/o)
101	25-03-85	137	732	218	39	93	517	148	0	751	3.73
102	28-03-85	140	732	240	43	103	520	146	0	751	3.73
103	01-04-85	144	732	265	47	112	521	152	0	751	3.73
104	04-04-85	147	732	270	51	119	524	155	0	751	3.73
105	09-04-85	152	732	292	59	126	527	159	0	751	3.73
106	11-04-85	154	732	295	61	128	527	159	0	751	3.73
107	15-04-85	158	732	320	66	135	529	166	0	751	3.73
108	18-04-85	161	732	322	72	140	530	167	0	751	3.73
109	22-04-85	165	732	322	81	149	531	167	0	751	3.73
110	25-04-85	168	732	324	86	155	533	167	0	751	3.73
111	29-04-85	172	732	336	93	162	534	167	0	751	3.73
112	02-05-85	175	732	341	99	169	535	167	0	751	3.73
113	05-05-85	178	732	347	107	177	537	168	0	751	3.73
114	09-05-85	182	732	347	114	186	538	168	0	751	3.73
115	13-05-85	186	732	367	122	194	540	170	0	751	3.73
116	17-05-85	190	732	368	131	204	542	171	0	751	3.73
117	20-05-85	193	732	380	146	221	543	171	0	751	3.73
118	23-05-85	196	732	388	151	226	545	172	0	751	3.73
119	28-05-85	200	732	391	168	244	546	172	0	751	3.73
120	30-05-85	203	732	391	179	257	547	172	0	751	3.73
121	03-06-85	207	732	391	199	278	548	173	0	751	3.73
122	06-06-85	210	732	415	207	287	552	173	0	751	3.73
123	10-06-85	214	732	432	218	298	554	173	0	751	3.73
124	13-06-85	217	732	453	225	306	563	174	0	751	3.73
125	17-06-85	221	732	462	234	317	568	177	0	751	3.73
126	20-06-85	224	732	479	241	324	571	178	0	751	3.73
127	24-06-85	228	732	507	252	336	585	186	0	751	3.73
128	27-06-85	231	732	523	258	343	589	187	0	751	3.73
129	01-07-85	235	732	527	269	354	591	187	0	751	3.73
130	04-07-85	238	732	529	282	369	593	188	0	751	3.73
131	08-07-85	242	732	538	296	384	594	188	0	751	3.73
132	11-07-85	245	732	531	304	393	594	188	0	751	3.73
133	15-07-85	249	732	538	321	411	596	188	0	751	3.73
134	18-07-85	252	732	539	329	420	597	188	0	751	3.73
135	22-07-85	256	732	551	339	431	597	187	0	751	3.73
136	25-07-85	259	732	553	351	444	598	188	0	751	3.73
137	29-07-85	263	732	574	361	454	601	188	0	751	3.73
138	01-08-85	266	732	592	365	459	606	188	0	751	3.73
139	05-08-85	270	732	614	374	469	611	188	0	751	3.73
140	08-08-85	273	732	622	383	479	614	188	0	751	3.73
141	12-08-85	277	732	637	395	492	617	188	0	751	3.73
142	15-08-85	280	732	640	404	501	617	188	0	751	3.73
143	19-08-85	284	732	665	411	509	625	188	0	751	3.73
144	22-08-85	287	732	673	419	518	626	188	0	751	3.73
145	26-08-85	291	732	684	424	524	627	188	0	751	3.73
146	29-08-85	294	732	687	433	533	628	188	0	751	3.73
147	02-09-85	298	732	698	441	542	631	188	0	751	3.73
148	05-09-85	301	732	711	445	546	636	188	0	751	3.73
149	09-09-85	305	732	726	452	554	642	188	0	751	3.73
150	12-09-85	308	732	726	458	560	642	188	0	751	3.73
151	16-09-85	312	732	736	462	565	644	188	0	751	3.73
152	19-09-85	315	732	743	466	569	647	188	0	751	3.73
153	23-09-85	319	732	746	470	573	648	188	0	751	3.73
154	26-09-85	322	732	746	474	578	648	188	0	751	3.73
155	30-09-85	326	732	746	478	582	648	188	0	751	3.73
156	03-10-85	329	732	746	481	585	648	188	0	751	3.73
157	07-10-85	333	732	746	485	590	648	188	0	751	3.73
158	10-10-85	336	732	766	487	592	654	188	0	751	3.73

BEREKENDE ONTWERINGSGETALLEN VOOR PROEFVAK ** I ** 2/75/1/D (4)

ONDERSTAANDE GROOTHEDEN CW, CP, CI, CD, CU en CNI ZIJN CUMULATIEVE WATERVOLUMINA DIE WEERGEGEVEN WORDEN IN MILLIMETERS WATERKOLOM, BETROKKEN OP EEN DROOGBEDOPPERVLAK VAN 19 METER²

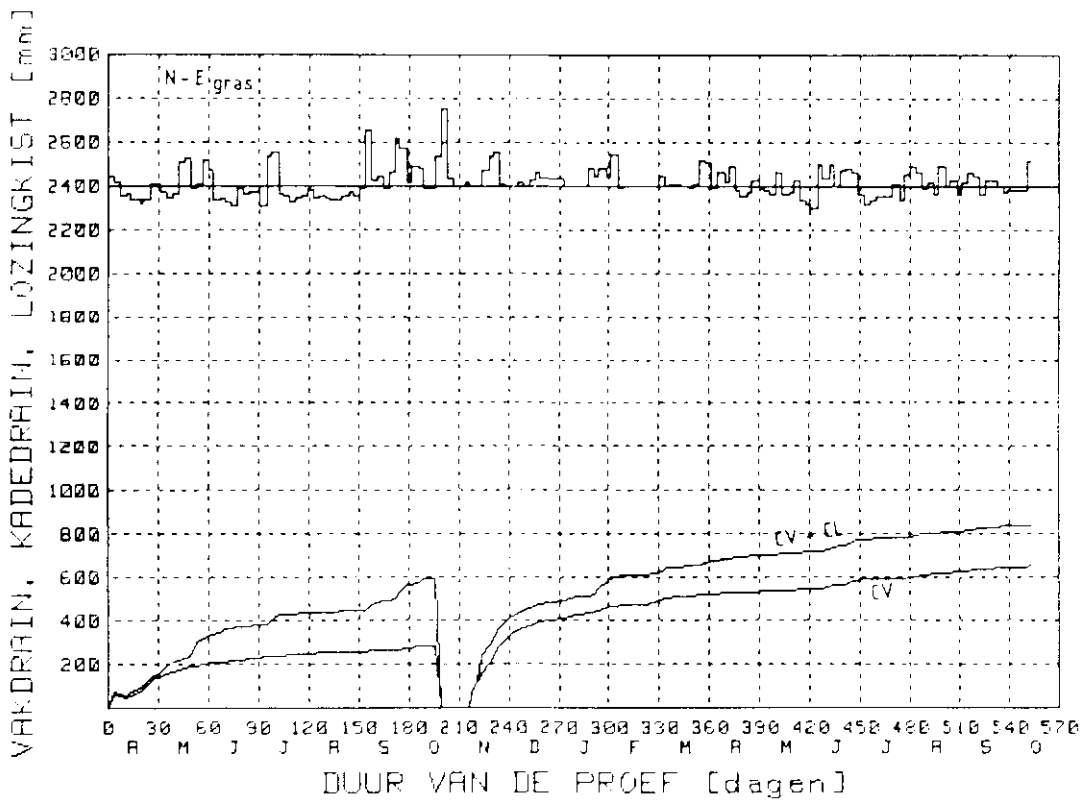
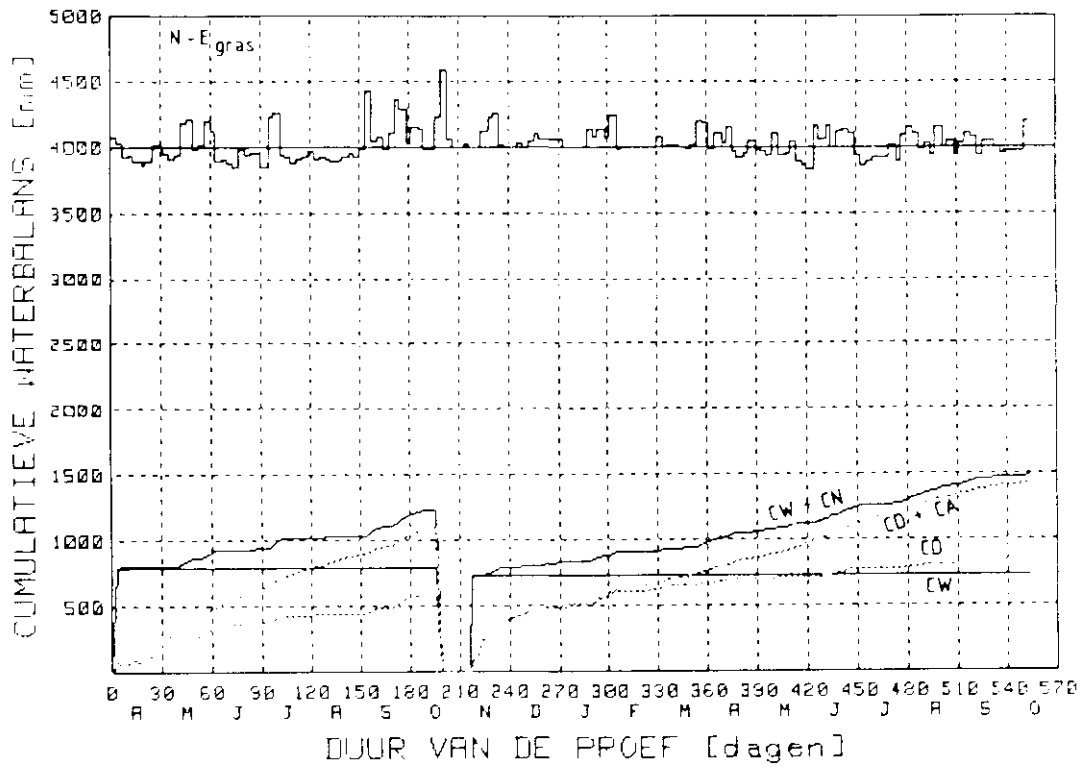
DE GROOTHEDEN M en VR ZIJN DIMENSIELOZE KENGETALLEN VOOR DE MATE VAN ONTWERING.

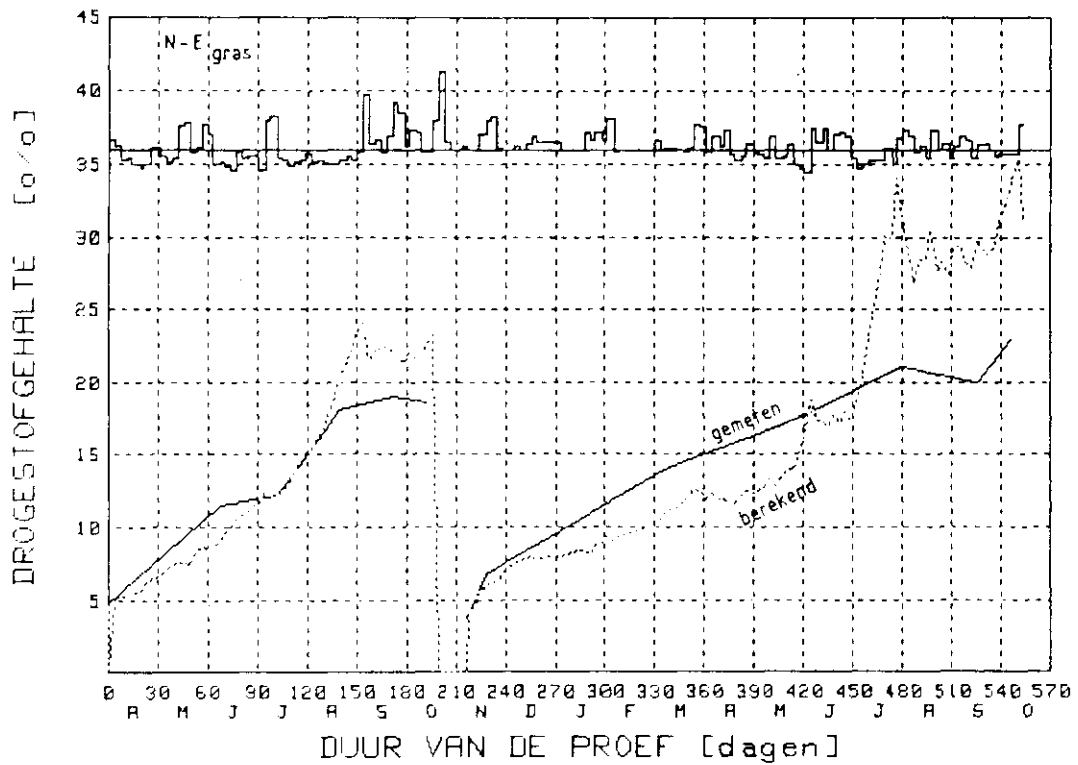
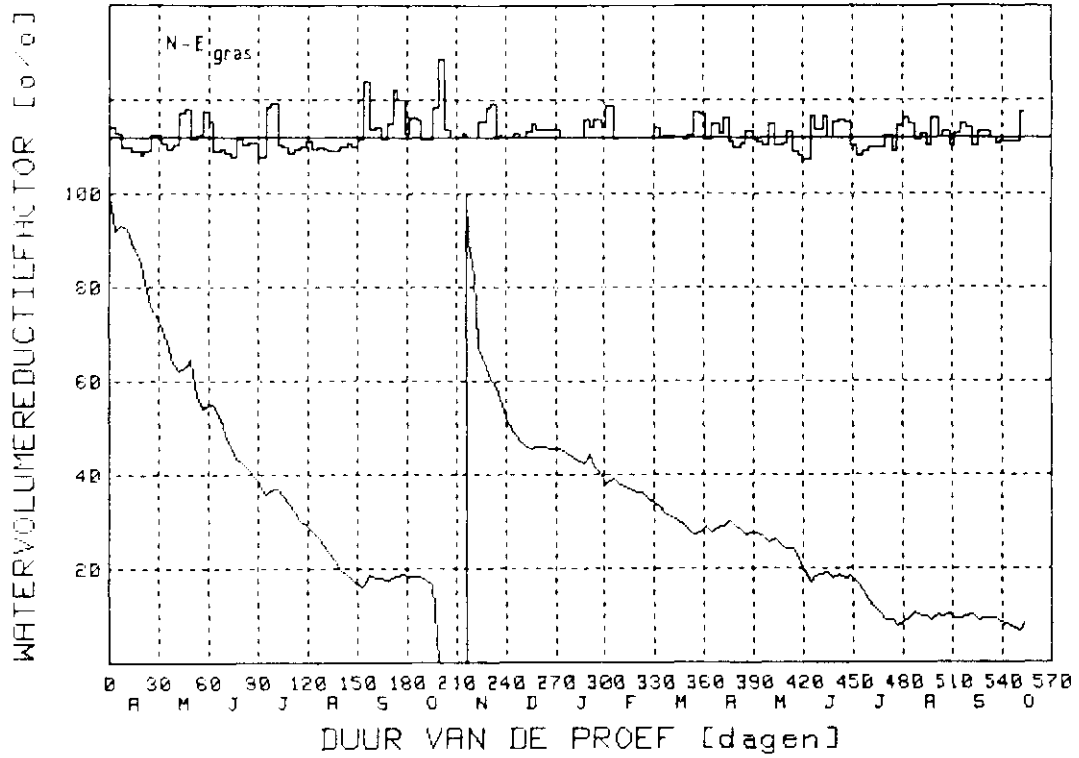
CW : WATERVOLUME VAN HET TOEGEVOERDE SLIB
 CP = CW - CE : NEERSLAGOVERSCHOT = NEERSLAG MINUS PENMAN-VERDAMPING VOOR KORT GRAS
 CI = CW + CN : INGEKOMEN STROOM WATER
 CD = CV + CL + CK : TOTALE AFVOER VIA LOZINGKIST EN DRAINS
 CU = CD + CA : UITGEGANE STROOM WATER
 CNI = CI - CU : NETTO INGEKOMEN STROOM WATER
 M = CU/CI*100 : ONTWERINGSGETAL DAT RANGEeft WELK PERCENTAGE VAN DE TOTALE INGEKOMEN WATERSTROOM HET PROEFVAK SINDS HET BEGIN VAN DE PROEF VERLATEN HEEFT
 VR = CNI/CW*100 : WATERVOLUMEREDUCTIEFACTOR DIE RANGEeft WELK PERCENTAGE VAN HET TOTALE WATERVOLUME VAN HET TOEGEVOERDE SLIB NA VERLOOP VAN TIJD NOG IN HET PROEFVAK RESTEERT

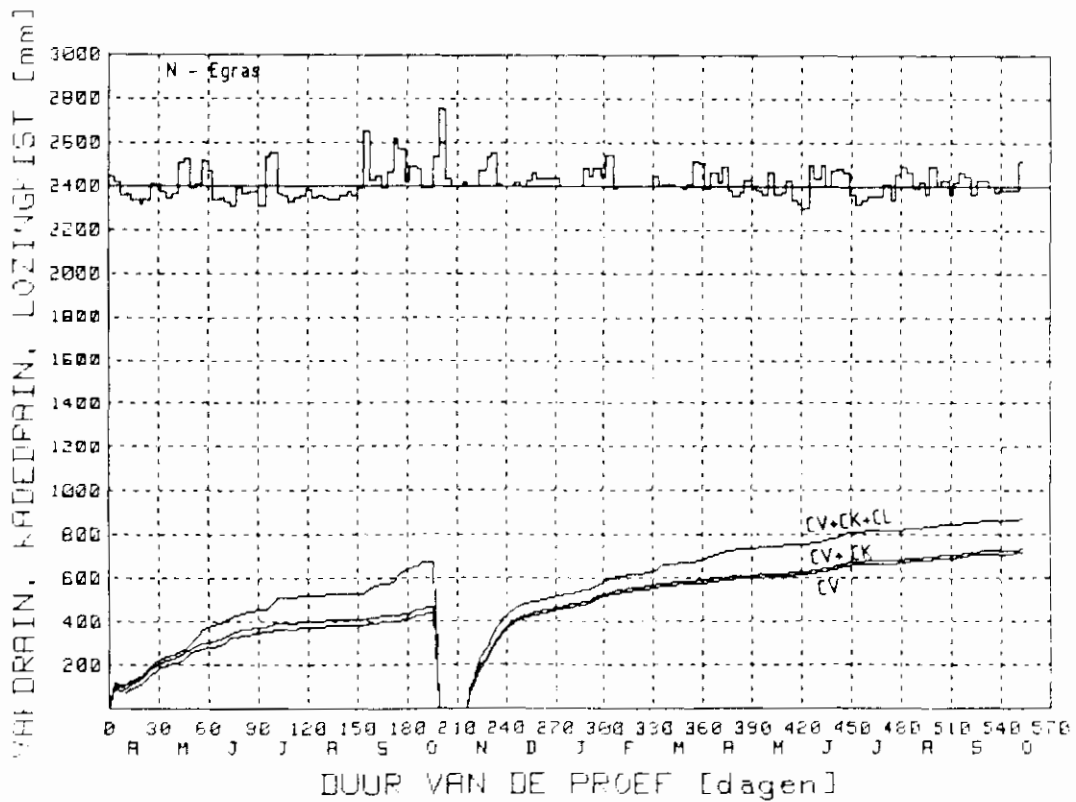
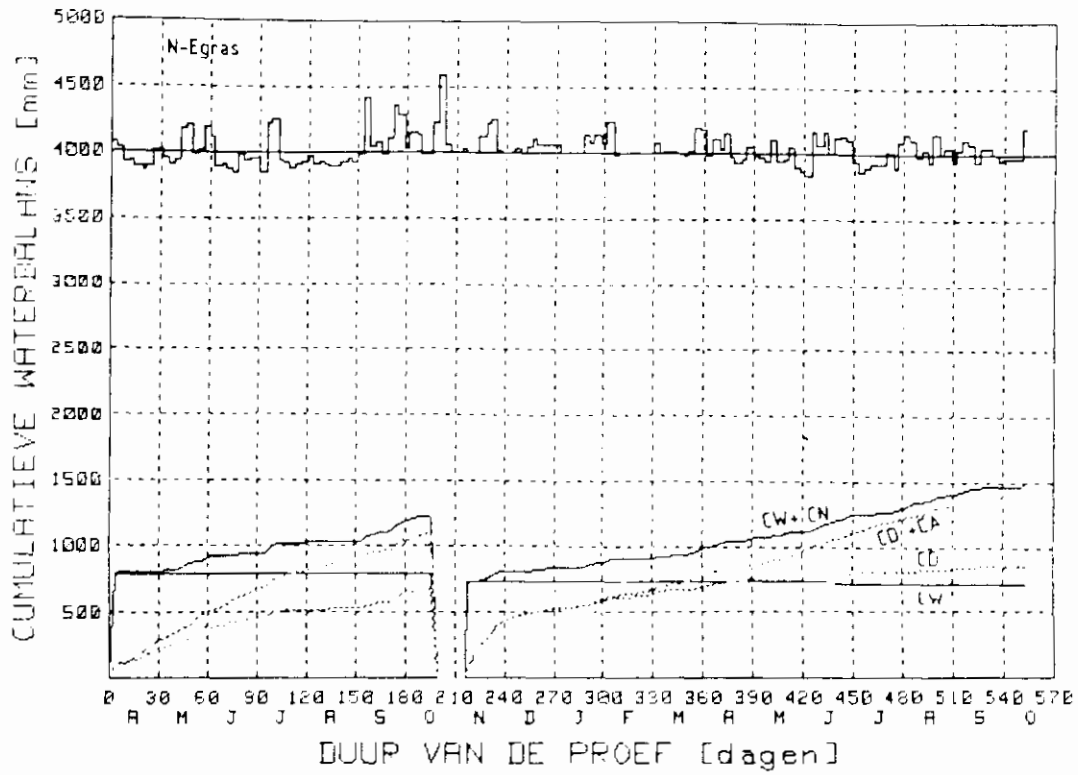
VOLGNR (-)	DATUM (-)	DUUR (DAG)	CW (MM)	CP (MM)	CI (MM)	CD (MM)	CU (MM)	CNI (MM)	M (o/o)	VR (o/o)
1	02-04-84	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
2	05-04-84	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
3	09-04-84	4	786	8	795	71	73	722	9.2	91.9
4	12-04-84	7	786	11	802	64	70	732	8.7	93.1
5	16-04-84	11	786	2	802	60	76	726	9.5	92.4
6	19-04-84	14	786	-4	802	72	95	707	11.9	89.9
7	24-04-84	19	786	-20	802	90	133	669	16.6	85.1
8	26-04-84	21	786	-28	802	101	153	649	19.1	82.6
9	01-05-84	26	786	-44	802	138	208	594	25.9	75.6
10	03-05-84	28	786	-43	804	149	220	584	27.4	74.3
11	07-05-84	32	786	-41	812	164	243	569	29.9	72.4
12	10-05-84	35	786	-46	814	189	276	538	33.9	68.5
13	14-05-84	39	786	-56	814	212	311	503	38.2	64.0
14	17-05-84	42	786	-62	816	219	326	489	40.0	62.3
15	21-05-84	46	786	-40	847	233	352	496	41.5	63.1
16	24-05-84	49	786	-20	871	240	363	508	41.7	64.6
17	28-05-84	53	786	-23	874	300	430	444	49.2	56.5
18	01-06-84	57	786	-22	885	318	459	426	51.9	54.2
19	04-06-84	60	786	-5	909	329	479	430	52.7	54.7
20	07-06-84	63	786	5	923	337	492	432	53.3	54.9
21	12-06-84	68	786	-10	923	344	516	407	55.9	51.8
22	14-06-84	70	786	-15	925	364	544	381	58.8	48.5
23	18-06-84	74	786	-29	925	368	565	361	61.0	45.9
24	21-06-84	77	786	-42	925	371	583	342	63.0	43.6
25	25-06-84	81	786	-43	936	376	602	334	64.4	42.4
26	28-06-84	84	786	-49	936	379	613	323	65.5	41.1
27	02-07-84	88	786	-55	941	384	630	311	67.0	39.6
28	05-07-84	91	786	-59	944	386	639	304	67.7	38.7
29	09-07-84	95	786	-76	944	389	662	281	70.2	35.8
30	12-07-84	98	786	-56	973	400	684	289	70.3	36.8
31	16-07-84	102	786	-25	1015	427	725	290	71.4	36.9
32	19-07-84	105	786	-31	1016	429	734	282	72.3	35.9
33	23-07-84	109	786	-40	1016	432	748	268	73.6	34.1
34	26-07-84	112	786	-51	1016	433	762	254	75.0	32.3
35	30-07-84	116	786	-62	1018	435	779	239	76.5	30.4
36	02-08-84	119	786	-69	1018	436	788	230	77.4	29.3
37	06-08-84	123	786	-73	1026	439	805	221	78.5	28.1
38	09-08-84	126	786	-82	1026	440	815	210	79.5	26.7
39	13-08-84	130	786	-90	1028	440	829	199	80.6	25.4
40	16-08-84	133	786	-98	1028	442	840	188	81.7	24.0

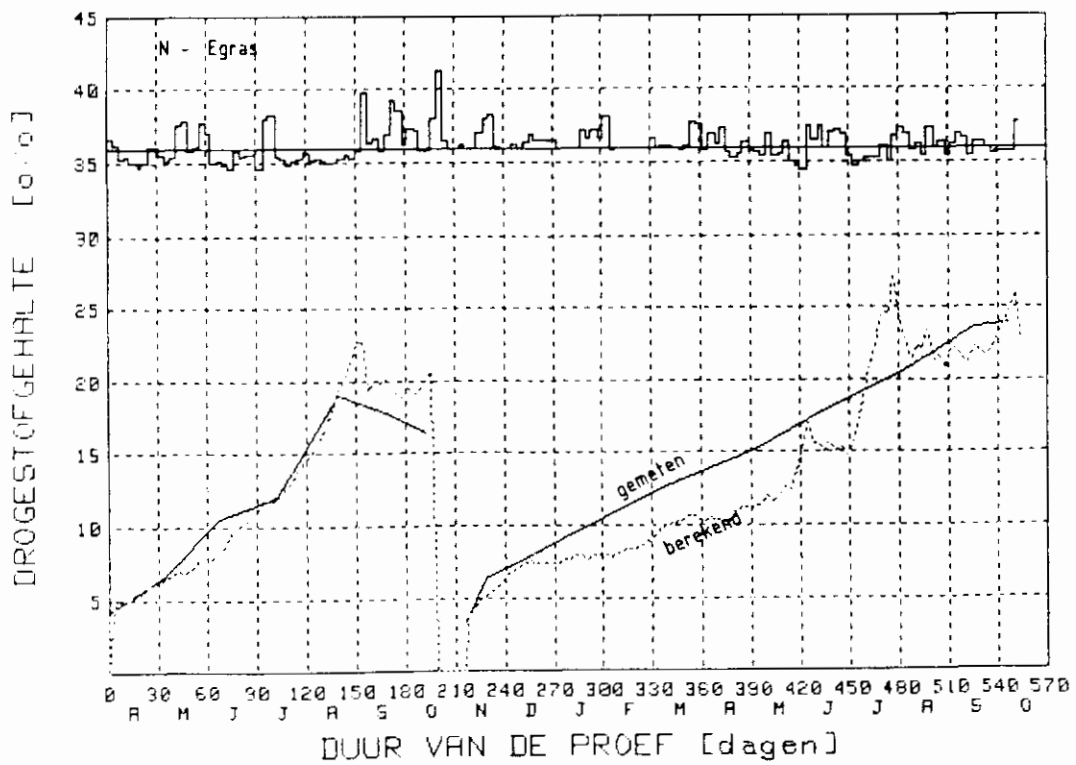
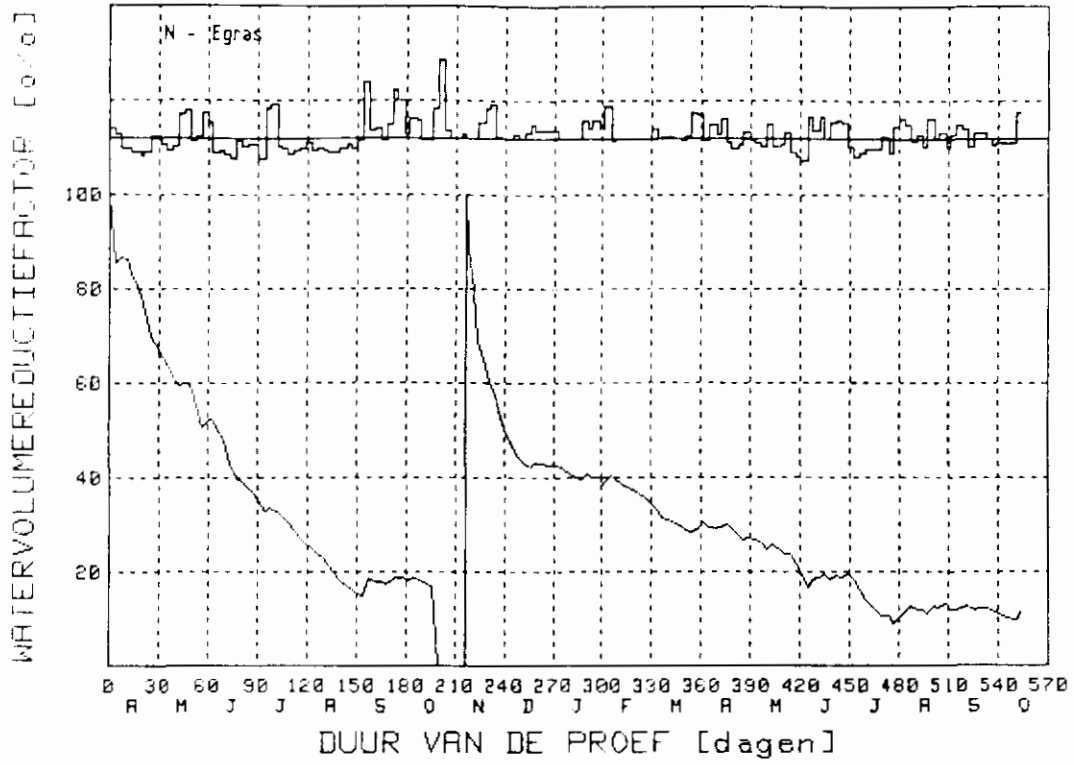
VOLGHR (-)	DATUM (-)	DUUP (DAG)	CW (MM)	CP (MM)	CI (MM)	CD (MM)	CU (MM)	CNI (MM)	M (%/o)	VR (%/o)
41	20-08-84	137	786	-111	1028	444	857	172	83.3	21.8
42	23-08-84	140	786	-120	1028	444	869	159	84.5	20.3
43	27-08-84	144	786	-129	1028	446	881	147	85.7	18.8
44	30-08-84	147	786	-134	1029	447	887	141	86.3	18.0
45	03-09-84	151	786	-142	1029	448	898	131	87.3	16.6
46	06-09-84	154	786	-144	1031	448	904	127	87.7	16.2
47	10-09-84	158	786	-94	1084	477	936	149	86.3	18.9
48	13-09-84	161	786	-89	1092	489	951	141	87.1	17.9
49	17-09-84	165	786	-80	1104	497	963	141	87.2	17.9
50	20-09-84	168	786	-82	1106	497	967	139	87.4	17.7
51	24-09-84	172	786	-69	1122	506	979	143	87.3	18.1
52	27-09-84	175	786	-37	1155	535	1010	145	87.5	18.4
53	01-10-84	179	786	-5	1191	563	1042	148	87.6	18.8
54	04-10-84	182	786	-2	1195	568	1052	143	88.0	18.2
55	08-10-84	186	786	14	1214	580	1069	145	88.0	18.5
56	11-10-84	189	786	26	1226	591	1083	143	88.3	18.2
57	15-10-84	193	786	23	1226	592	1089	137	88.8	17.5
58	18-10-84	196	786	22	1226	593	1094	133	89.2	16.9
59	22-10-84	200	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
60	25-10-84	203	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
61	29-10-84	207	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
62	01-11-84	210	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
63	05-11-84	214	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
64	08-11-84	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0
65	09-11-84	1	732	-0	732	75	76	656	10.3	89.7
66	12-11-84	4	732	-0	732	128	129	603	17.6	82.4
67	15-11-84	7	732	-1	732	238	240	492	32.8	67.2
68	19-11-84	11	732	14	747	282	285	462	38.1	63.1
69	22-11-84	14	732	34	767	321	324	443	42.3	60.5
70	26-11-84	18	732	64	798	362	367	431	46.0	58.9
71	29-11-84	21	732	65	799	393	398	401	49.8	54.8
72	03-12-84	25	732	65	799	421	426	373	53.3	51.0
73	06-12-84	28	732	65	799	435	440	359	55.1	49.0
74	10-12-84	32	732	67	801	449	455	347	56.7	47.4
75	13-12-84	35	732	67	801	457	464	337	57.9	46.1
76	17-12-84	39	732	71	806	466	474	332	58.8	45.4
77	20-12-84	42	732	80	815	472	480	335	58.9	45.8
78	03-01-85	56	732	104	840	496	507	333	60.3	45.5
79	07-01-85	60	732	104	840	502	513	327	61.1	44.7
80	10-01-85	63	732	104	840	508	519	321	61.7	43.9
81	14-01-85	67	732	104	840	513	524	316	62.4	43.2
82	17-01-85	70	732	104	840	516	528	312	62.8	42.7
83	21-01-85	74	732	120	856	522	533	323	62.3	44.1
84	24-01-85	77	732	126	864	546	559	304	64.8	41.6
85	28-01-85	81	732	142	880	572	588	292	66.8	39.9
86	31-01-85	84	732	148	888	592	611	277	68.8	37.8
87	04-02-85	88	732	176	917	606	630	288	68.6	39.3
88	07-02-85	91	732	174	917	608	637	281	69.4	38.3
89	11-02-85	95	732	173	917	612	642	275	70.0	37.6
90	14-02-85	98	732	172	917	614	647	270	70.6	36.9
91	18-02-85	102	732	171	917	616	651	266	71.0	36.4
92	21-02-85	105	732	170	917	616	654	264	71.3	36.0
93	25-02-85	109	732	169	918	621	661	257	72.0	35.1
94	28-02-85	112	732	168	918	626	668	258	72.8	34.1
95	04-03-85	116	732	176	928	637	685	243	73.8	33.2
96	07-03-85	119	732	176	930	645	697	233	75.0	31.8
97	11-03-85	123	732	178	934	649	706	227	75.7	31.1
98	14-03-85	126	732	180	937	651	713	224	76.1	30.6
99	18-03-85	130	732	179	940	654	723	216	77.0	29.6
100	21-03-85	133	732	178	942	655	734	208	77.9	28.4

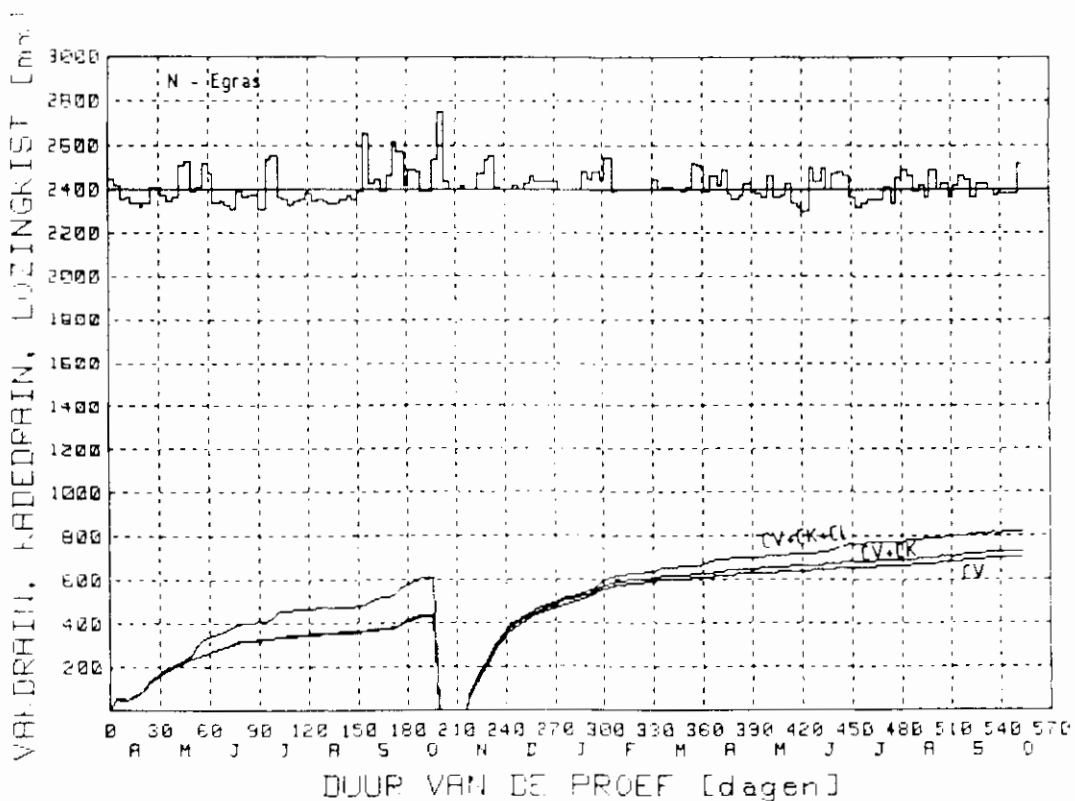
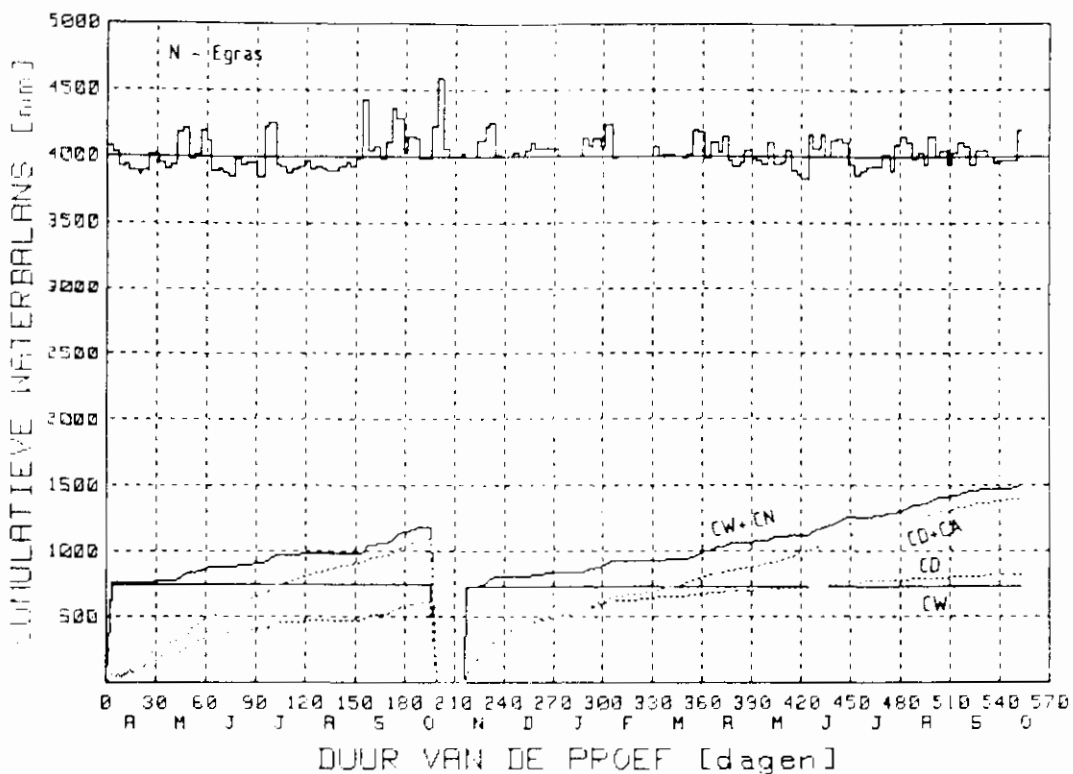
VOLIGNR (-)	DATUM (-)	DUUR (DAG)	CW (MM)	CP (MM)	CI (MM)	CD (MM)	CU (MM)	CNI (MM)	M (%)	VR (%)
101	25-03-85	137	732	180	950	657	750	200	78.9	27.3
102	28-03-85	140	732	197	971	666	769	202	79.2	27.7
103	01-04-85	144	732	218	997	673	785	211	78.6	28.9
104	04-04-85	147	732	217	1002	678	798	204	79.6	27.9
105	09-04-85	152	732	233	1023	686	811	212	79.3	29.0
106	11-04-85	154	732	234	1027	687	815	212	79.3	29.0
107	15-04-85	158	732	252	1052	695	829	222	78.9	30.4
108	18-04-85	161	732	250	1054	697	837	217	79.5	29.6
109	22-04-85	165	732	242	1054	698	847	207	80.4	28.2
110	25-04-85	168	732	238	1056	700	855	201	81.0	27.4
111	29-04-85	172	732	243	1068	701	863	204	80.9	27.9
112	02-05-85	175	732	242	1073	702	871	202	81.2	27.5
113	05-05-85	178	732	240	1078	705	883	196	81.9	26.7
114	09-05-85	182	732	232	1078	706	892	186	82.7	25.5
115	13-05-85	186	732	245	1099	711	905	194	82.4	26.5
116	17-05-85	190	732	237	1100	713	917	183	83.4	25.0
117	20-05-85	193	732	234	1112	714	935	177	84.1	24.1
118	23-05-85	196	732	237	1120	717	942	177	84.2	24.2
119	28-05-85	200	732	224	1123	719	963	160	85.7	21.9
120	30-05-85	203	732	212	1123	719	975	148	86.9	20.2
121	03-06-85	207	732	192	1123	720	999	125	88.9	17.0
122	06-06-85	210	732	208	1147	724	1012	135	88.2	18.5
123	10-06-85	214	732	214	1164	727	1026	138	88.2	18.8
124	13-06-85	217	732	228	1185	738	1044	141	88.1	19.3
125	17-06-85	221	732	228	1194	745	1061	132	88.9	18.1
126	20-06-85	224	732	239	1211	750	1073	138	88.6	18.8
127	24-06-85	228	732	255	1238	772	1107	131	89.4	17.9
128	27-06-85	231	732	265	1255	776	1119	136	89.2	18.6
129	01-07-85	235	732	258	1258	778	1133	126	90.0	17.2
130	04-07-85	238	732	247	1261	780	1149	111	91.2	15.2
131	08-07-85	242	732	234	1261	782	1166	96	92.4	13.1
132	11-07-85	245	732	227	1263	782	1175	88	93.0	12.0
133	15-07-85	249	732	218	1270	784	1195	76	94.1	10.3
134	18-07-85	252	732	211	1271	785	1204	67	94.7	9.1
135	22-07-85	256	732	212	1283	785	1215	67	94.8	9.2
136	25-07-85	259	732	202	1285	785	1229	56	95.7	7.6
137	29-07-85	263	732	214	1306	789	1243	63	95.2	8.6
138	01-08-85	266	732	227	1324	794	1253	71	94.7	9.7
139	05-08-85	270	732	240	1346	799	1268	78	94.2	10.6
140	08-08-85	273	732	238	1354	802	1281	72	94.6	9.9
141	12-08-85	277	732	242	1369	805	1297	72	94.8	9.8
142	15-08-85	280	732	236	1372	805	1306	65	95.2	8.9
143	19-08-85	284	732	254	1397	813	1322	75	94.7	10.2
144	22-08-85	287	732	254	1404	814	1332	73	94.8	10.0
145	26-08-85	291	732	260	1416	815	1339	77	94.6	10.5
146	29-08-85	294	732	254	1419	817	1350	69	95.1	9.5
147	02-09-85	298	732	257	1430	819	1361	69	95.2	9.4
148	05-09-85	301	732	267	1443	824	1370	73	95.0	9.9
149	09-09-85	305	732	274	1458	830	1384	74	94.9	10.1
150	12-09-85	308	732	268	1458	830	1391	67	95.4	9.2
151	16-09-85	312	732	273	1468	832	1397	70	95.2	9.6
152	19-09-85	315	732	277	1475	835	1404	71	95.2	9.7
153	23-09-85	319	732	276	1477	836	1409	68	95.4	9.3
154	26-09-85	322	732	272	1477	836	1414	64	95.7	8.7
155	30-09-85	326	732	268	1477	836	1418	59	96.0	8.1
156	03-10-85	329	732	265	1478	836	1421	56	96.2	7.7
157	07-10-85	333	732	261	1478	836	1426	52	96.5	7.1
158	10-10-85	336	732	279	1497	843	1434	63	95.8	8.6

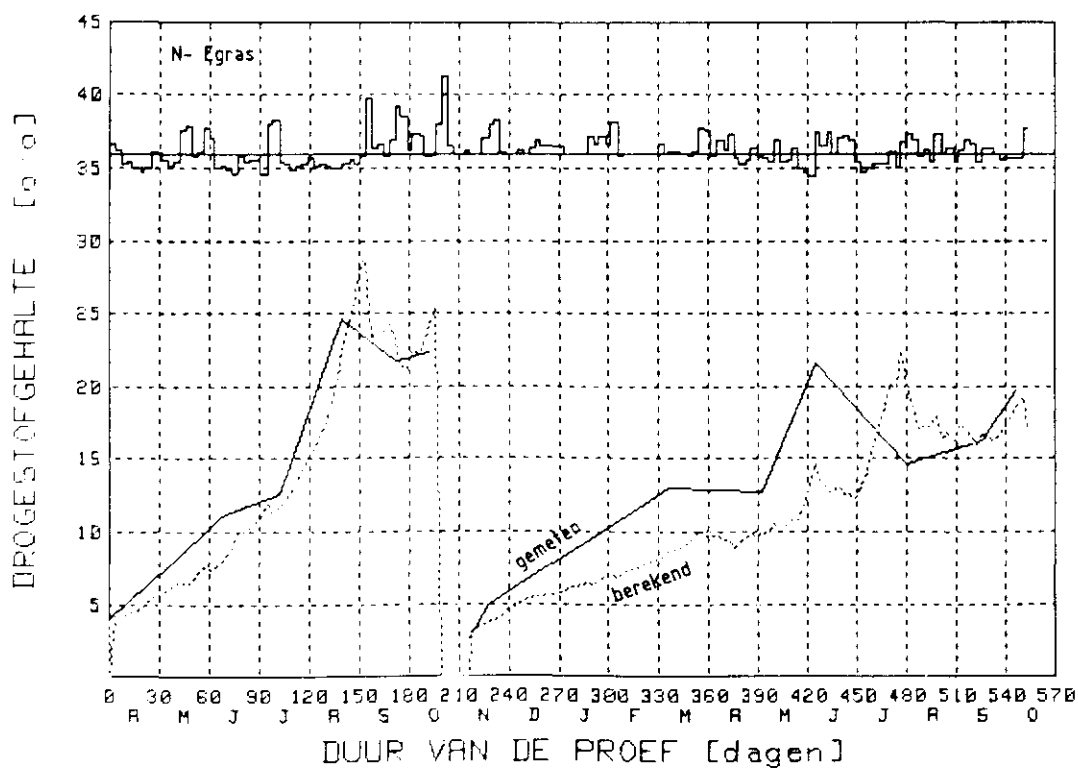
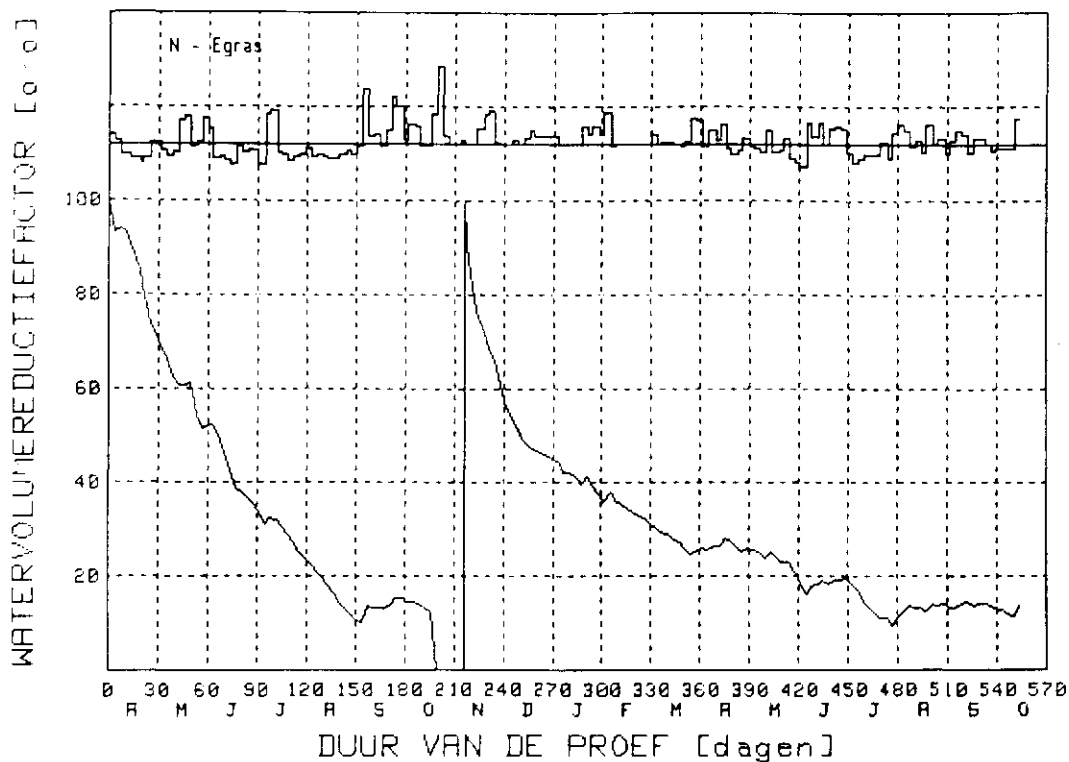


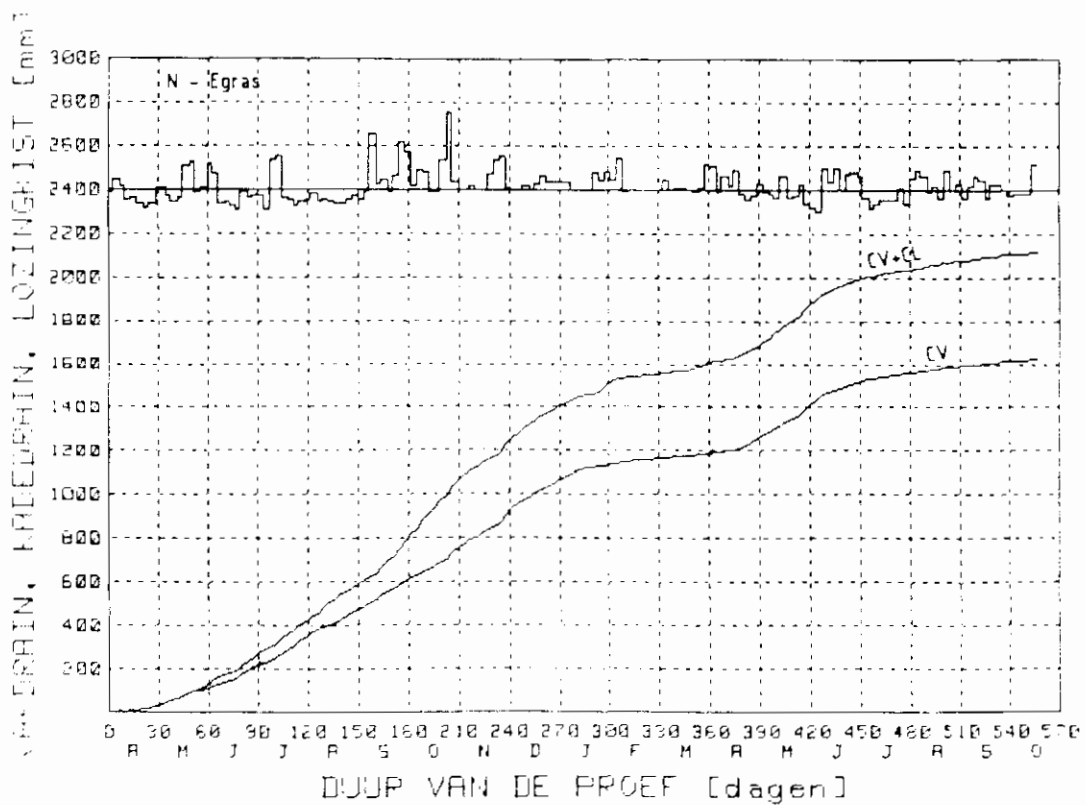
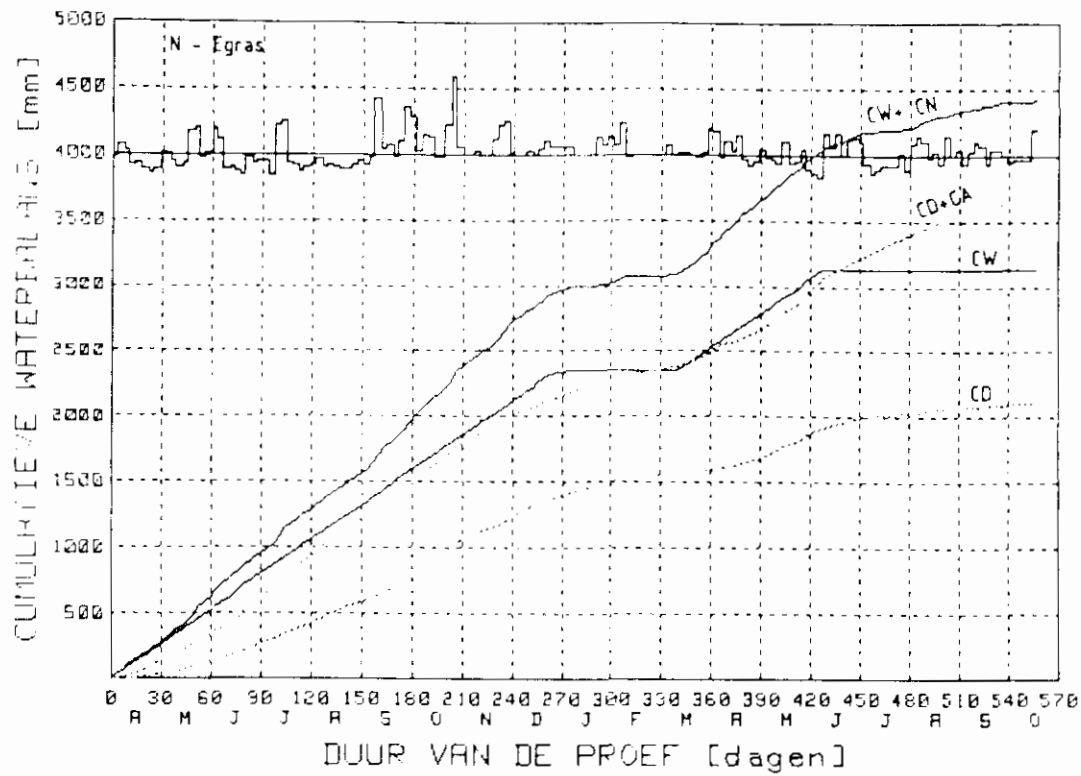


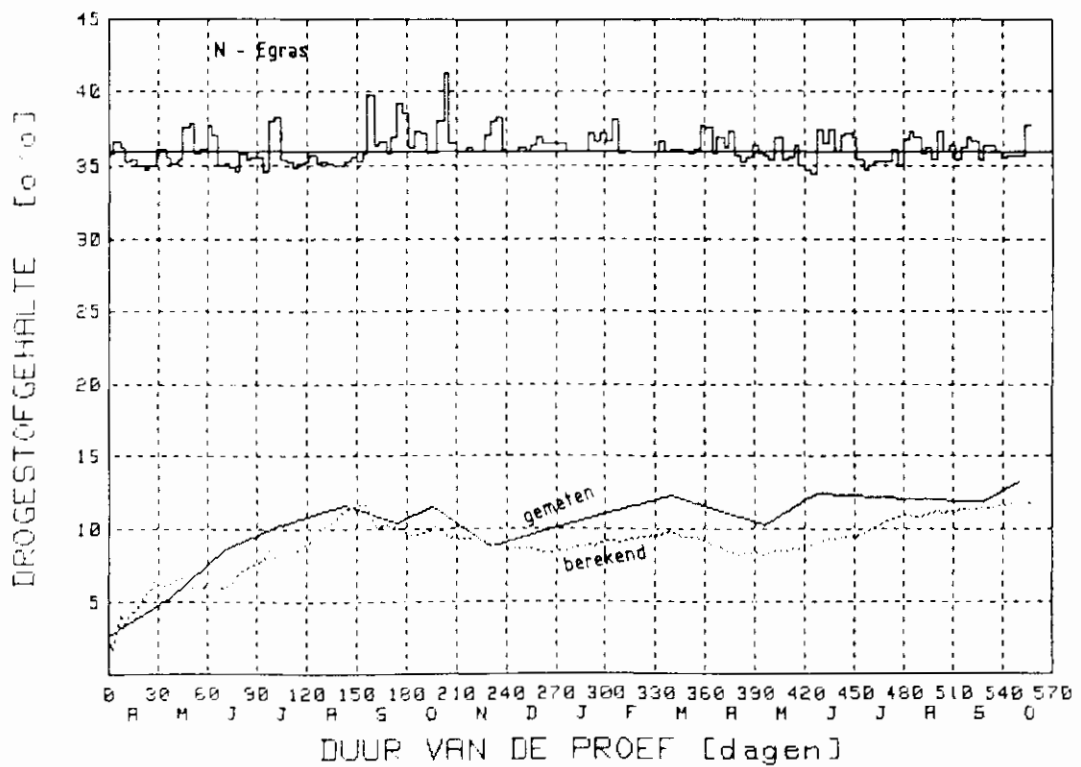
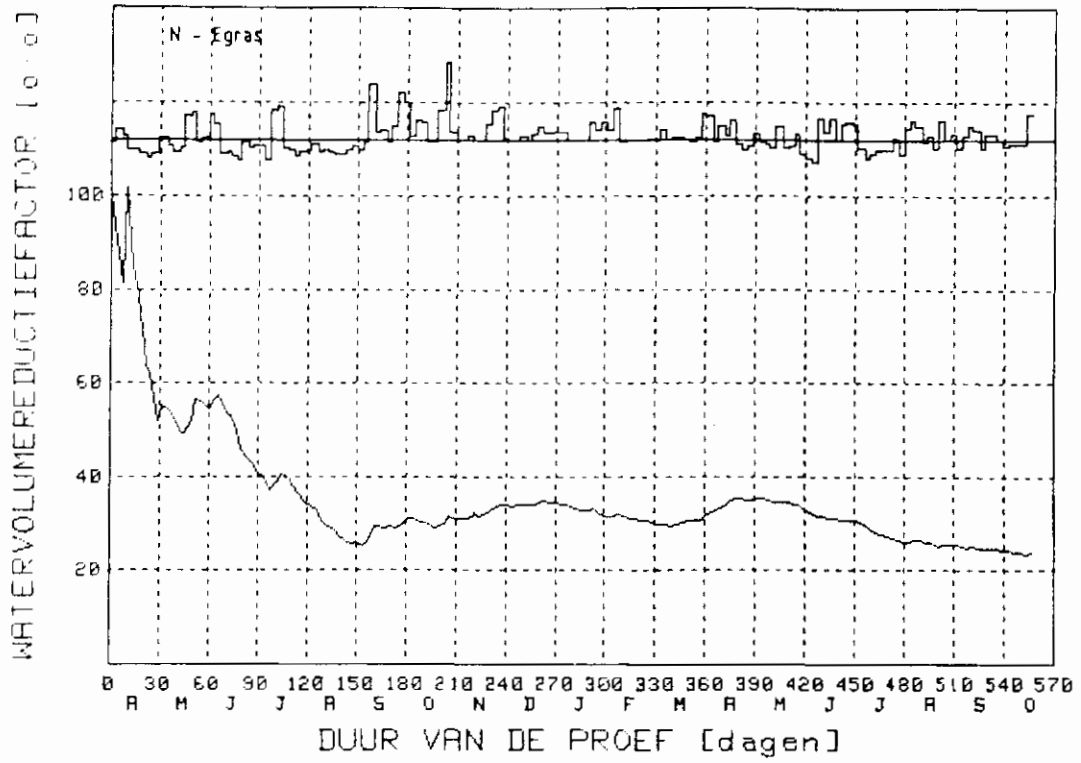


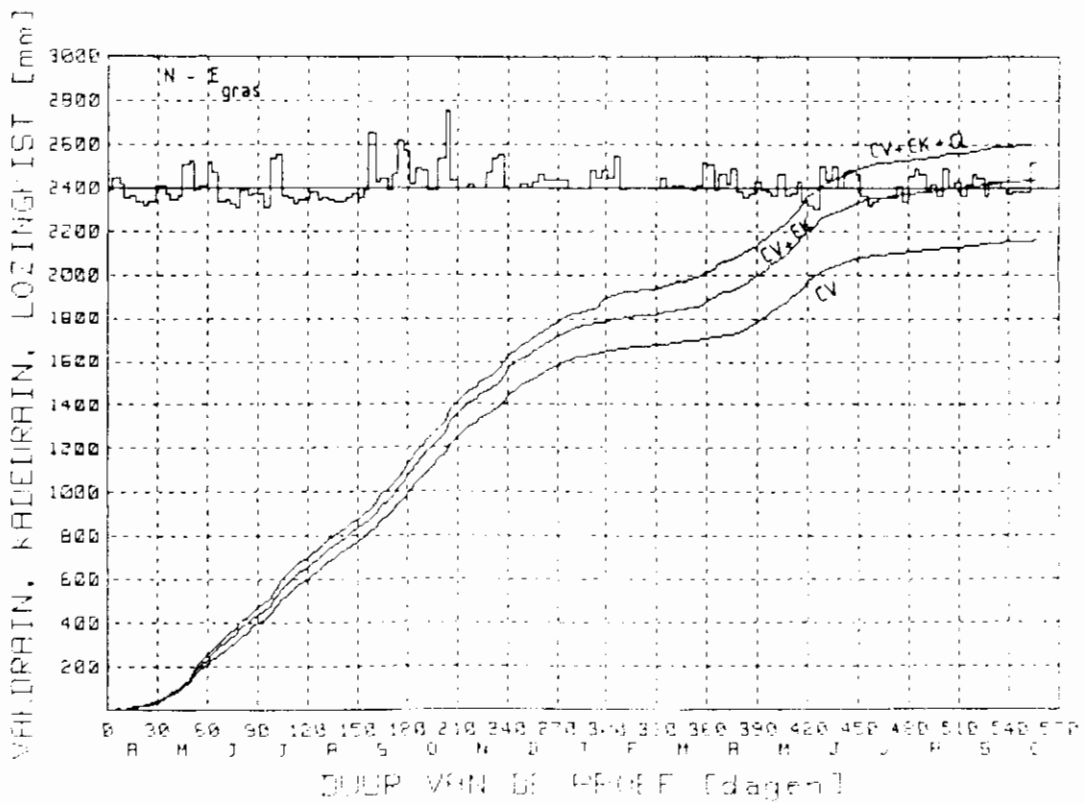
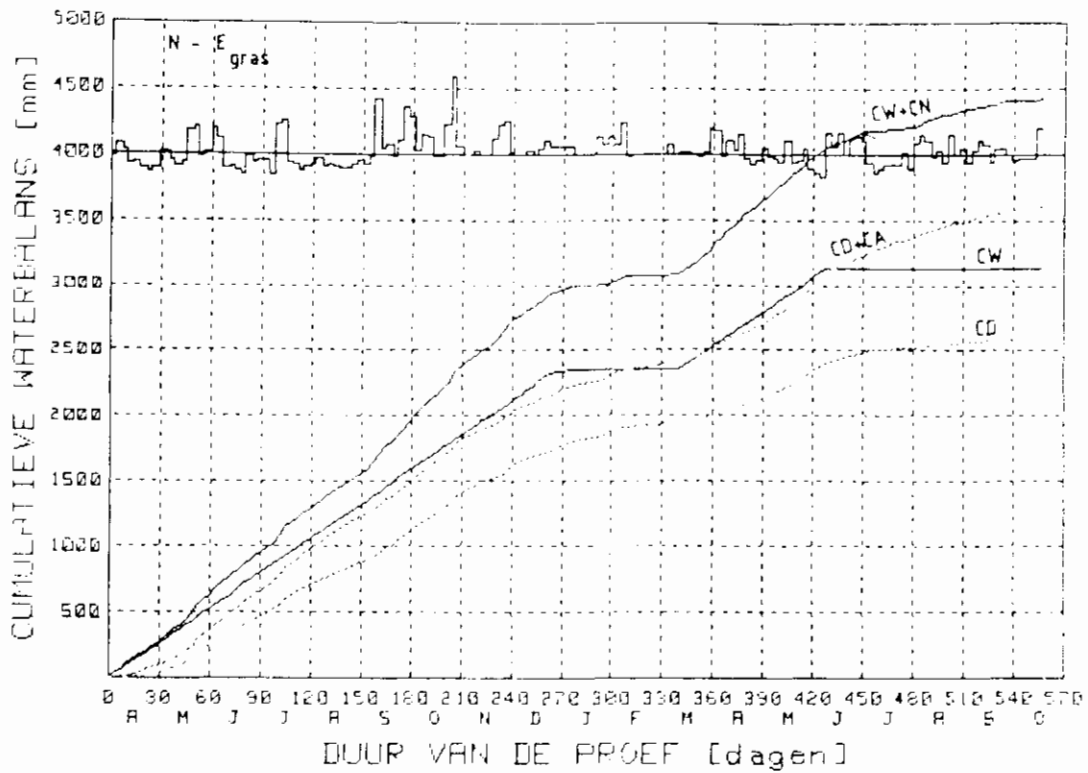


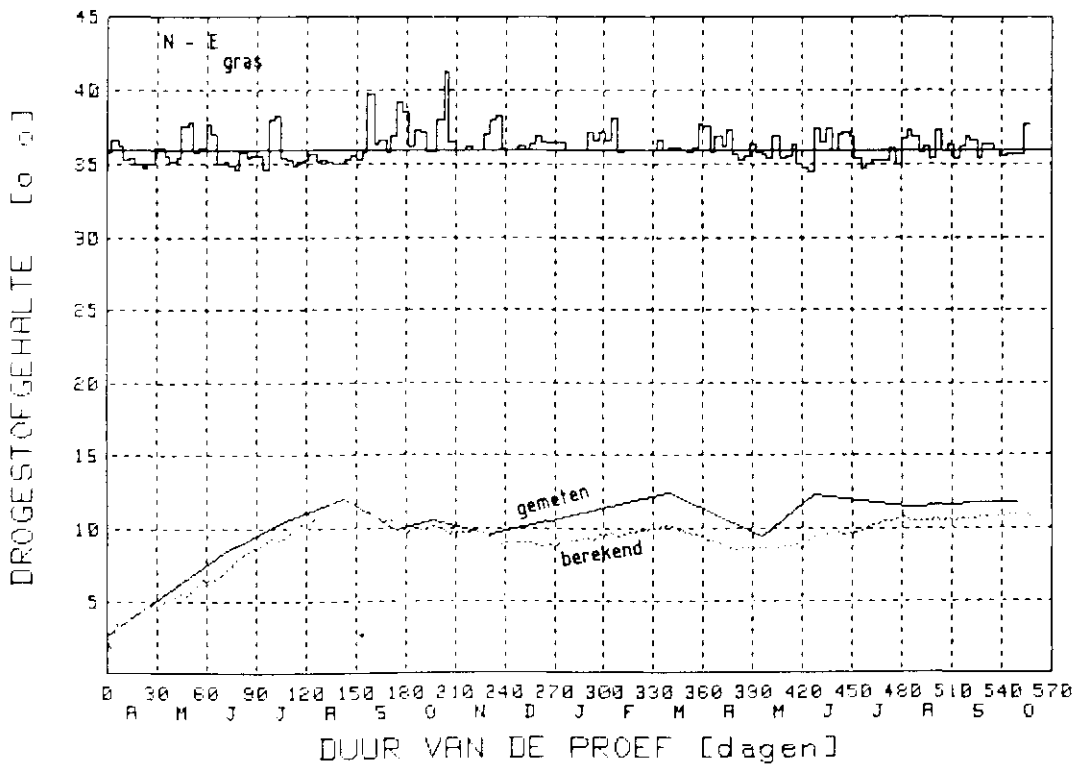
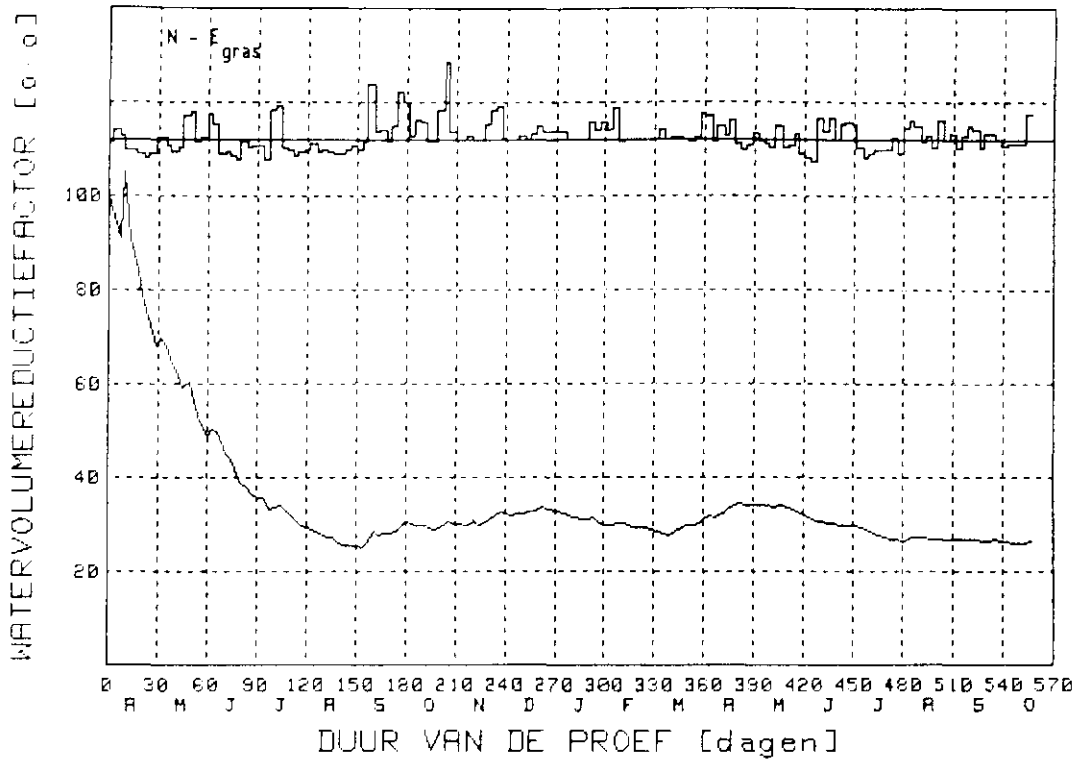








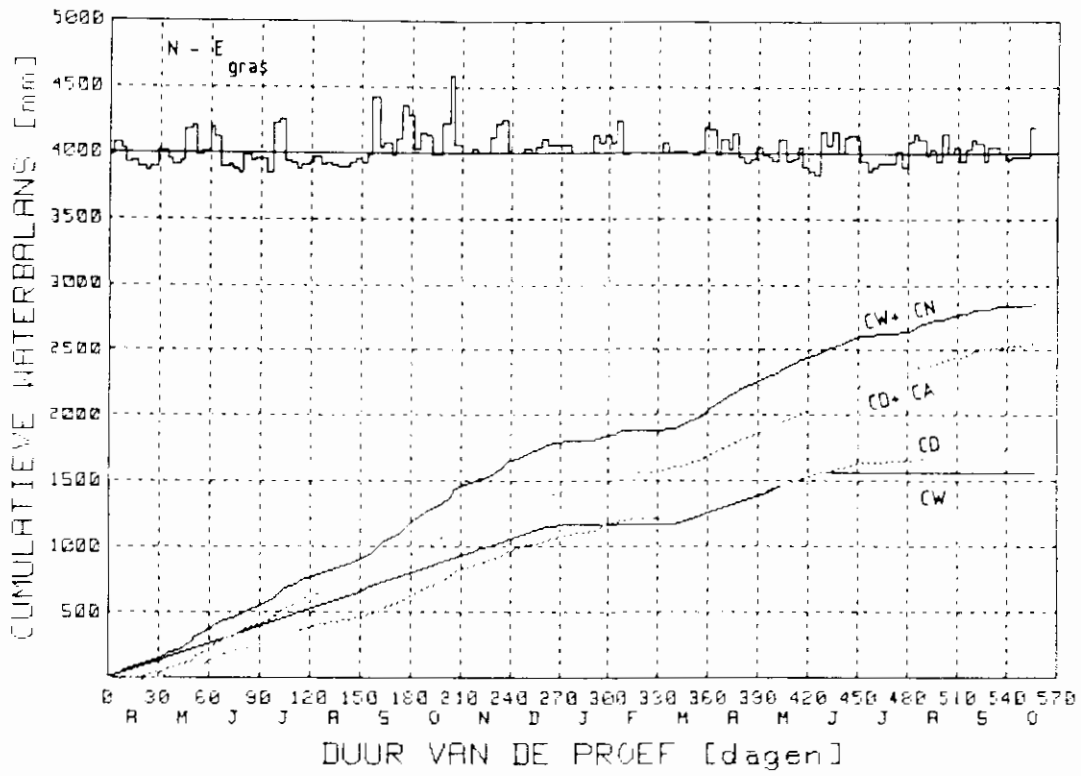




PROEFVAK ** VI **

104/1,5‰/W

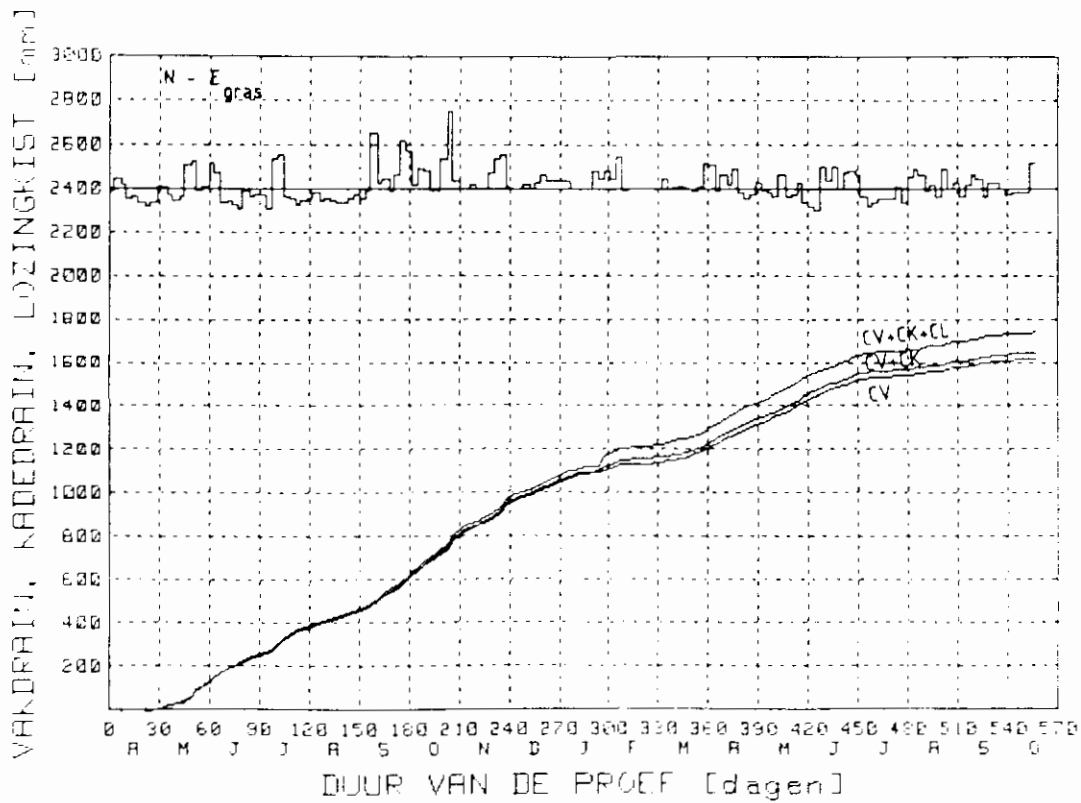
(A)

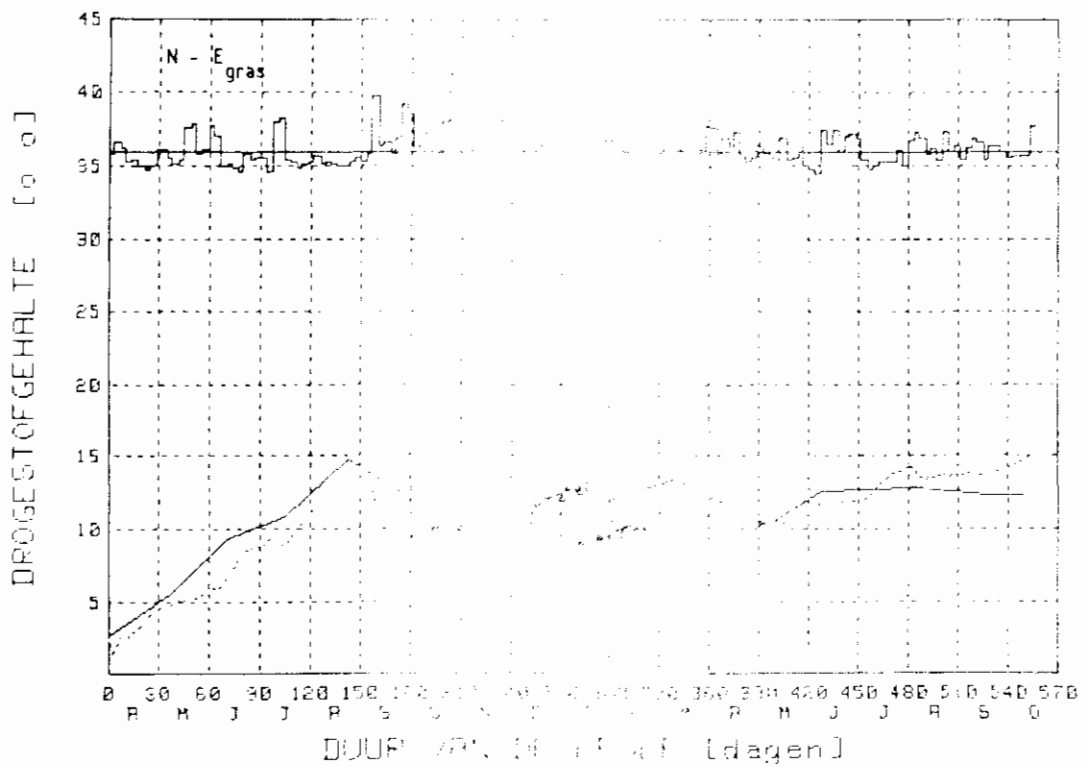
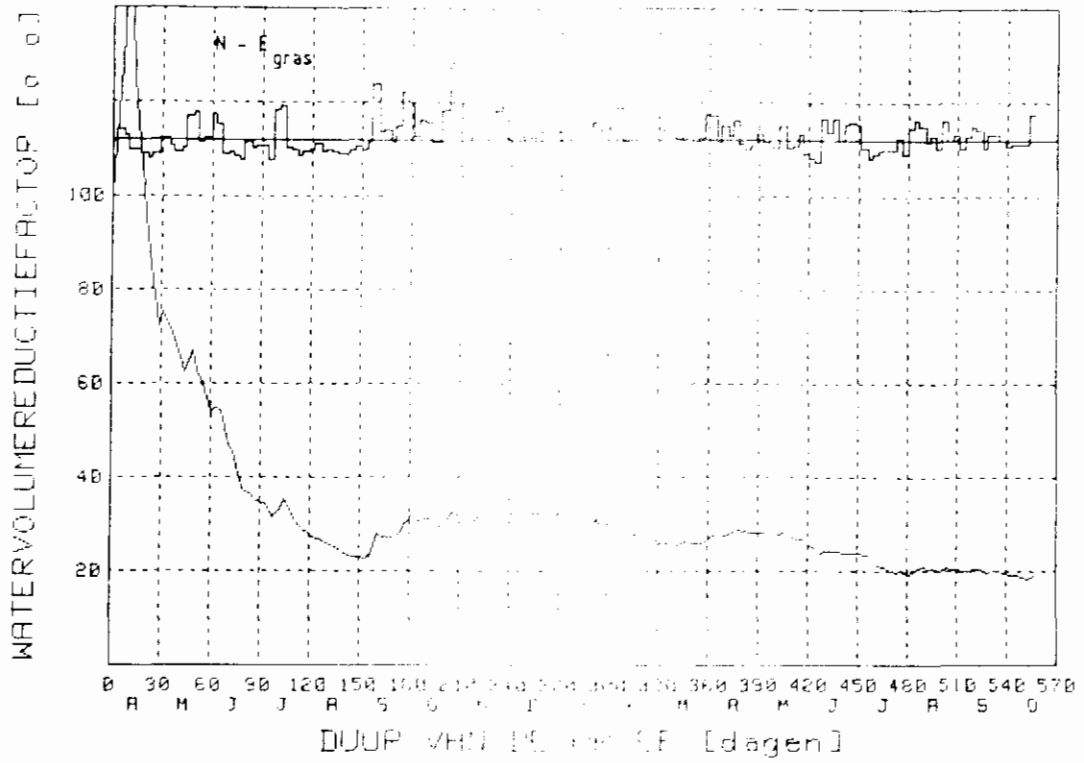


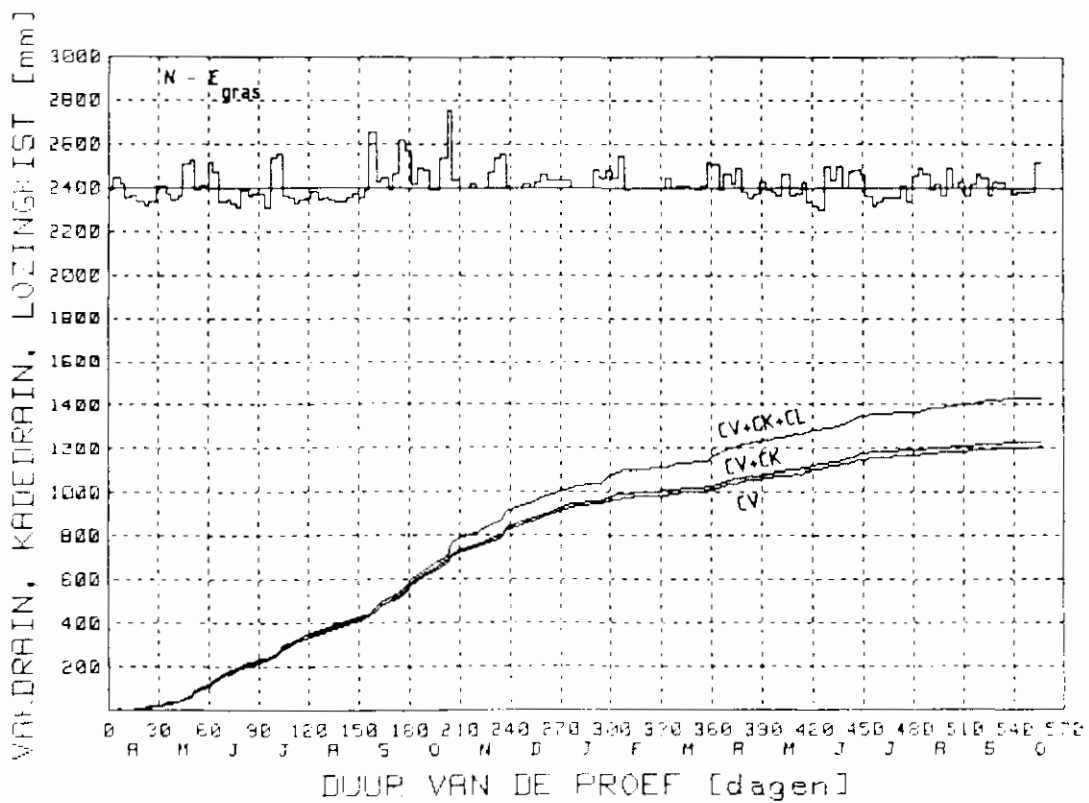
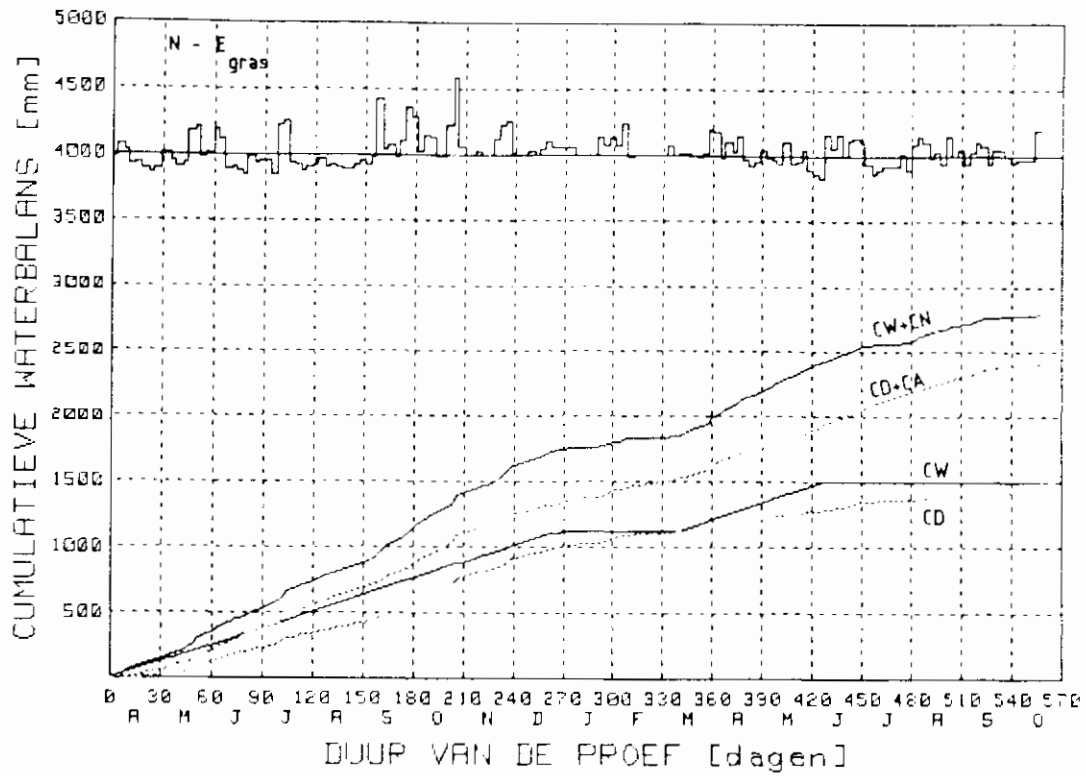
PROEFVAK ** VI **

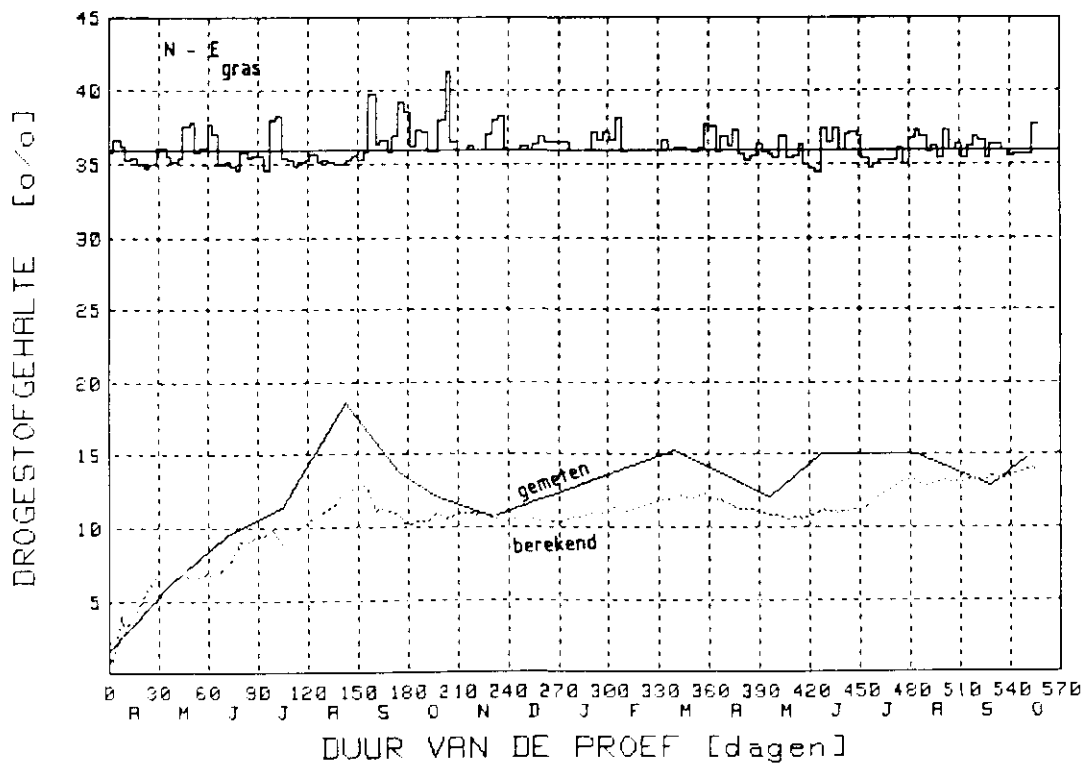
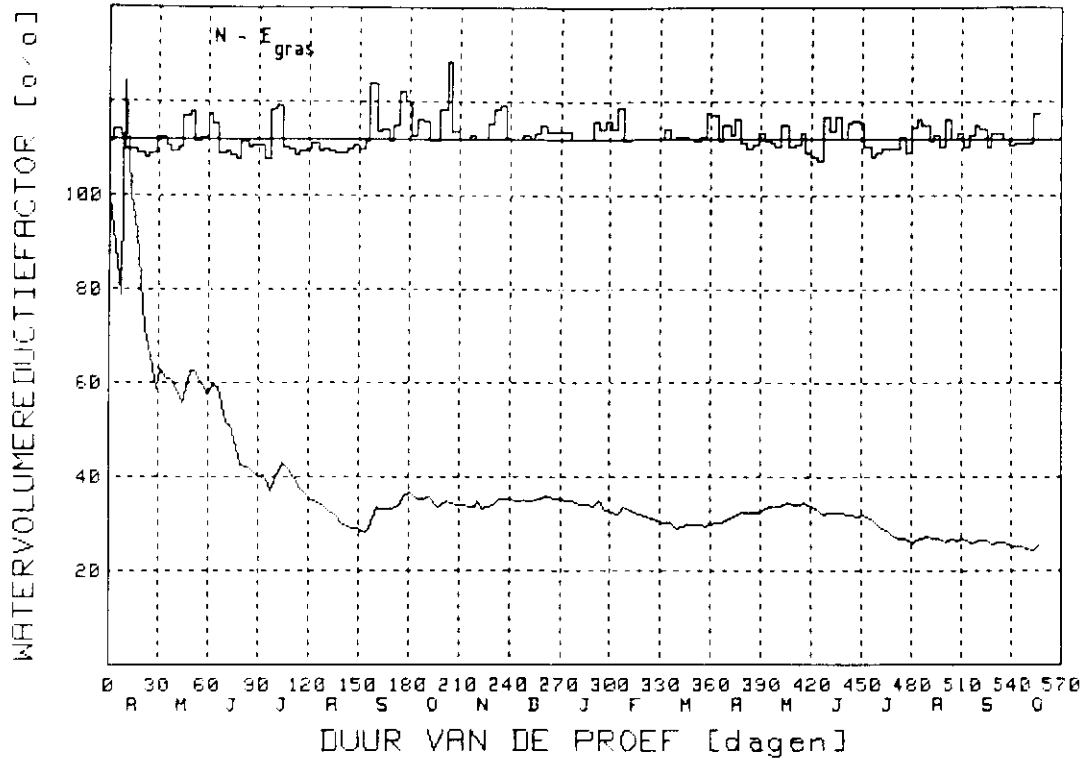
104/1,5‰/W

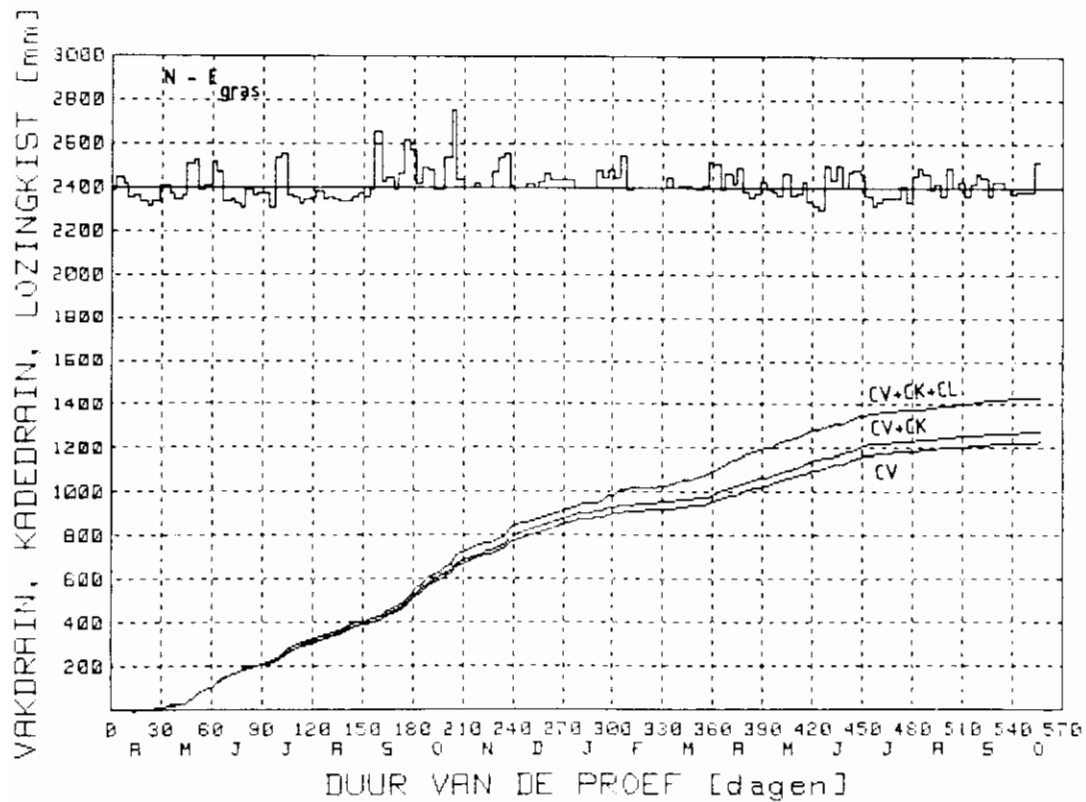
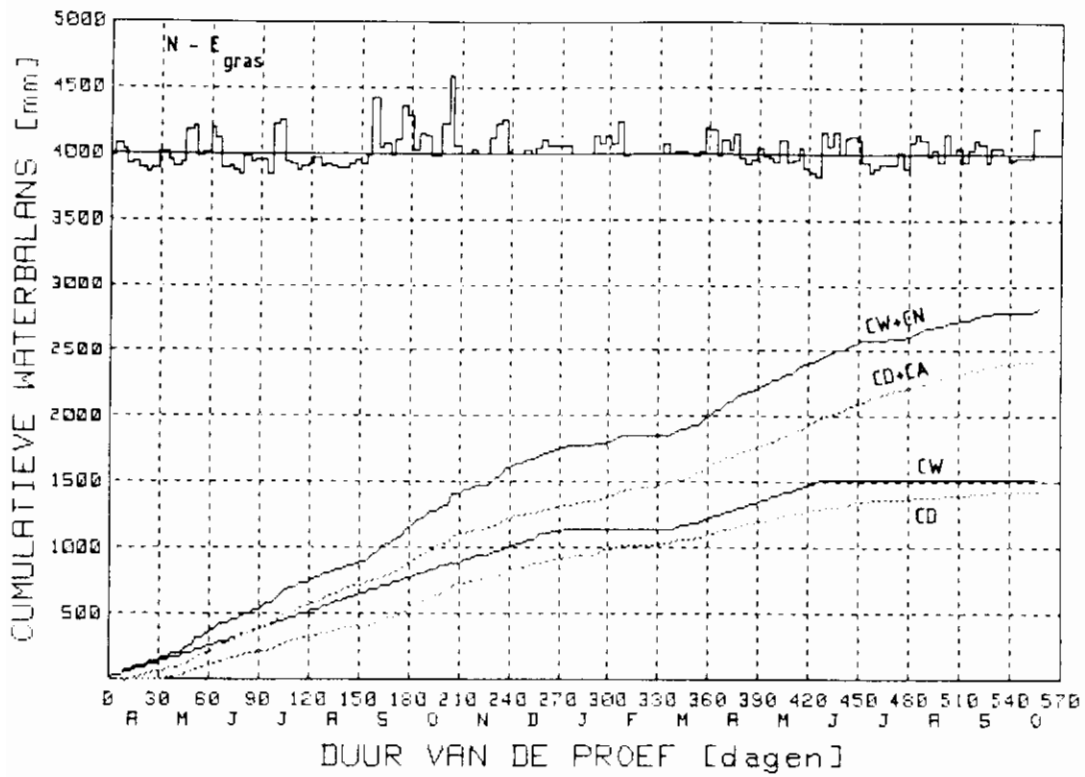
(B)

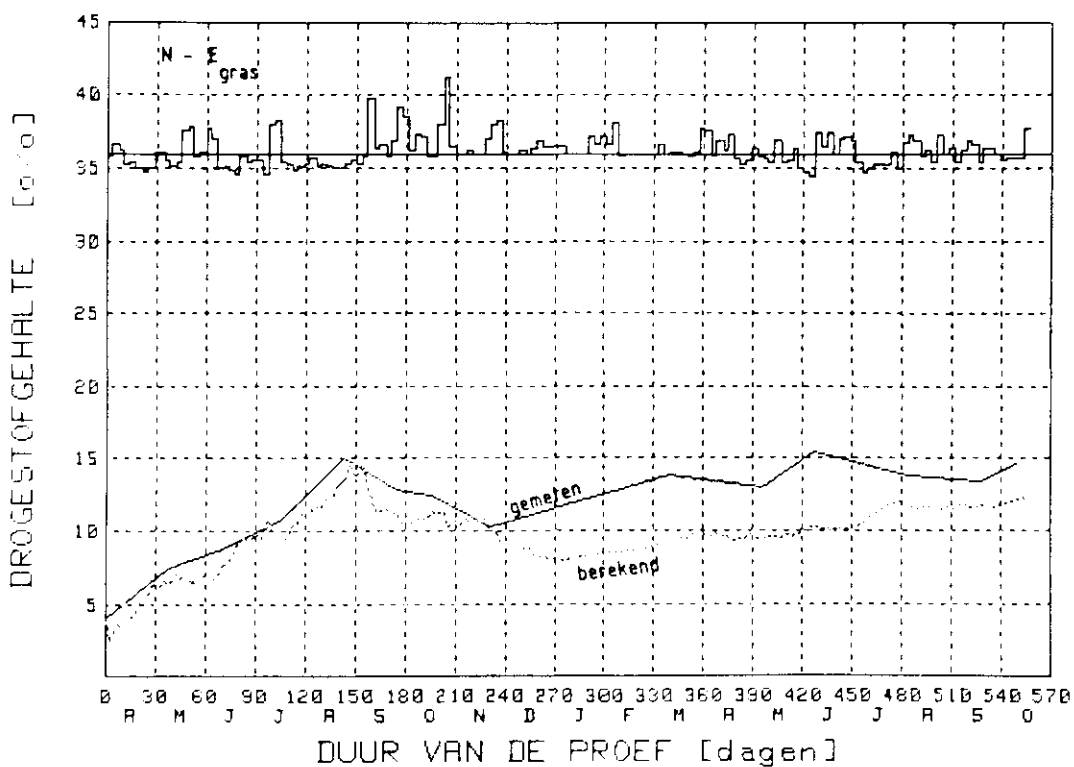
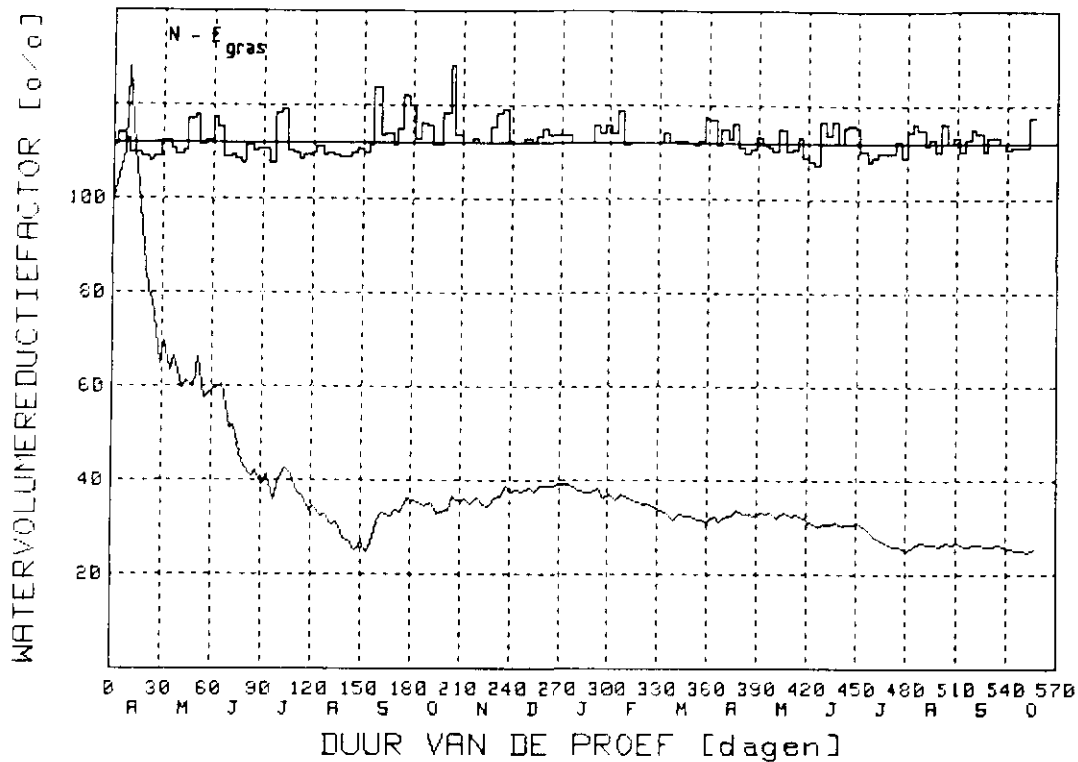


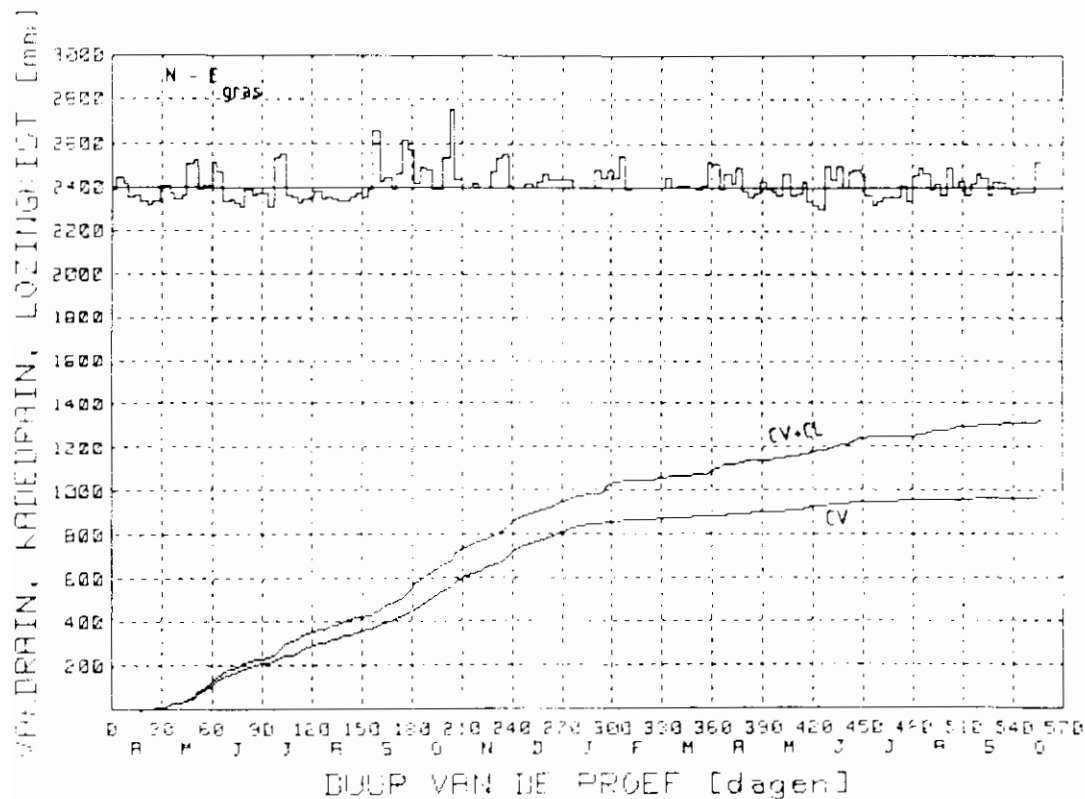
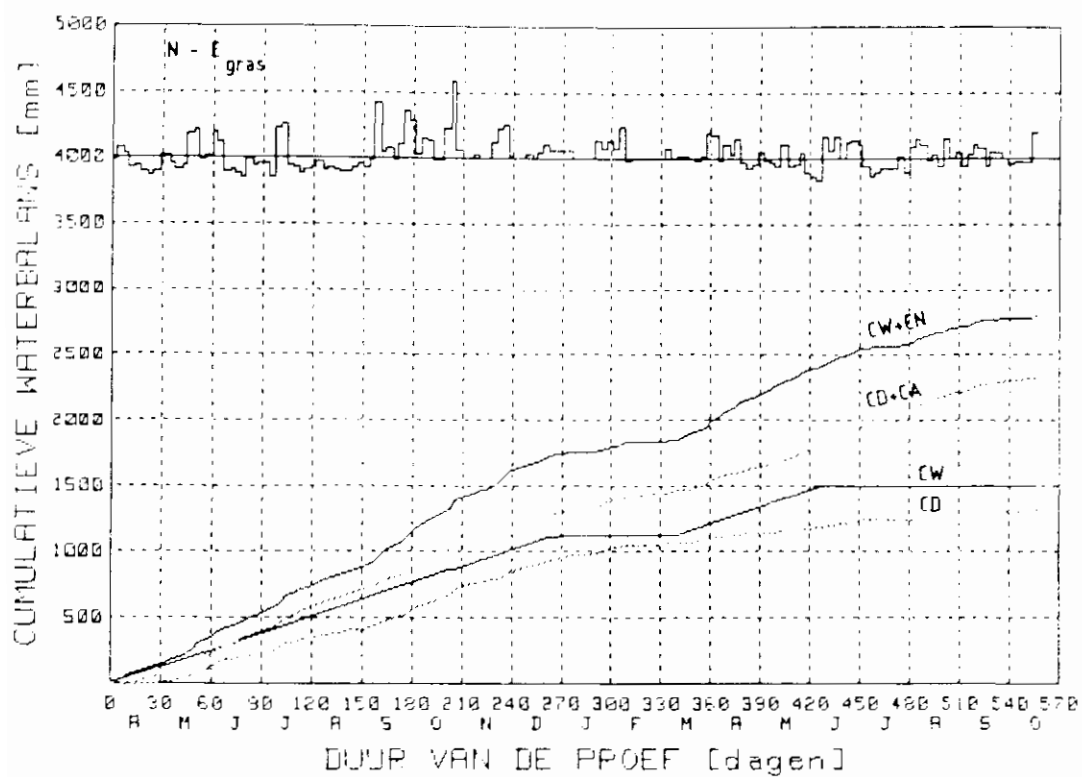


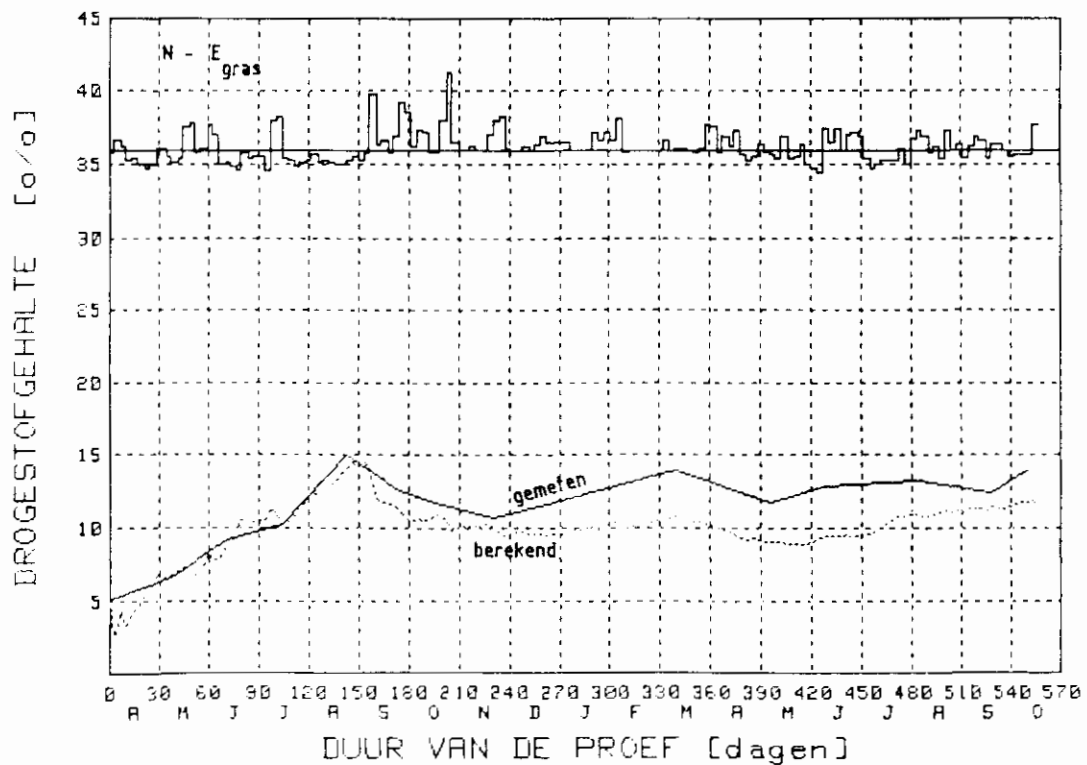
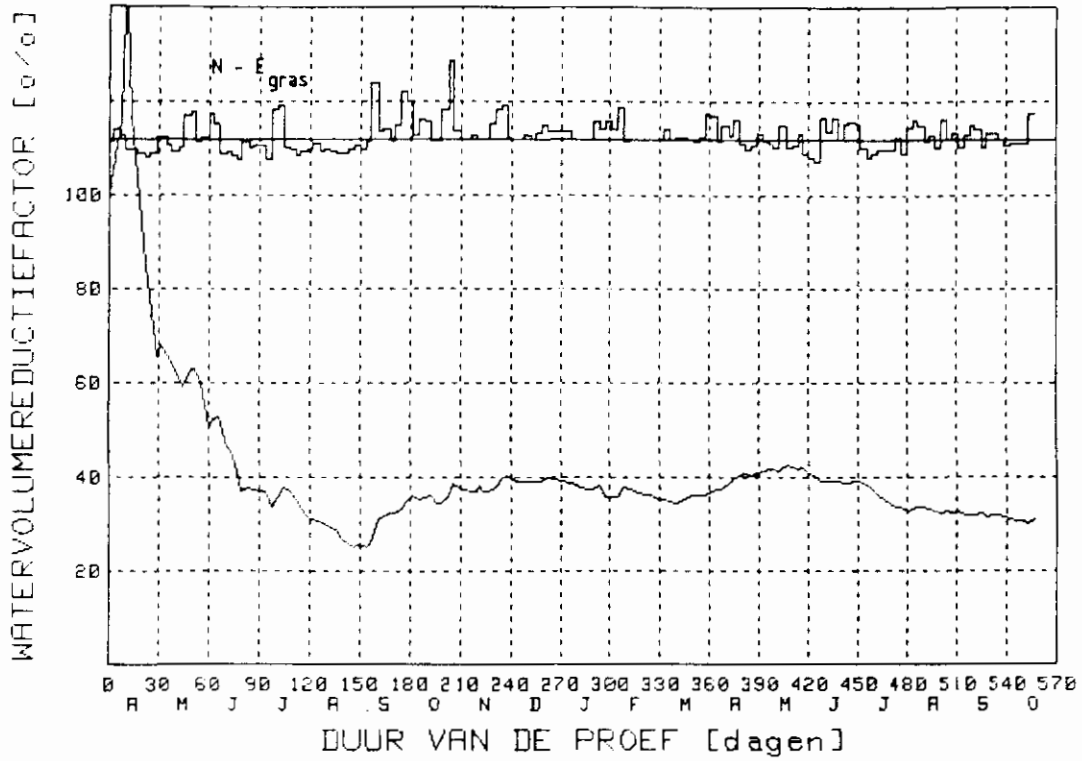


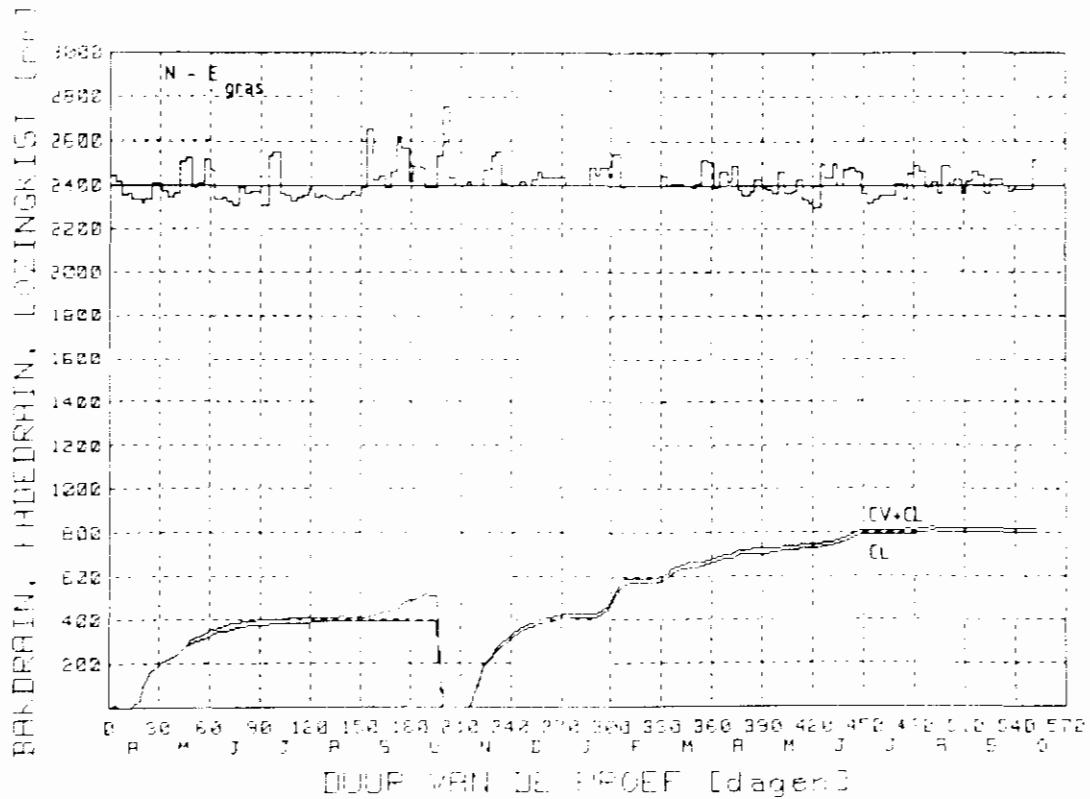
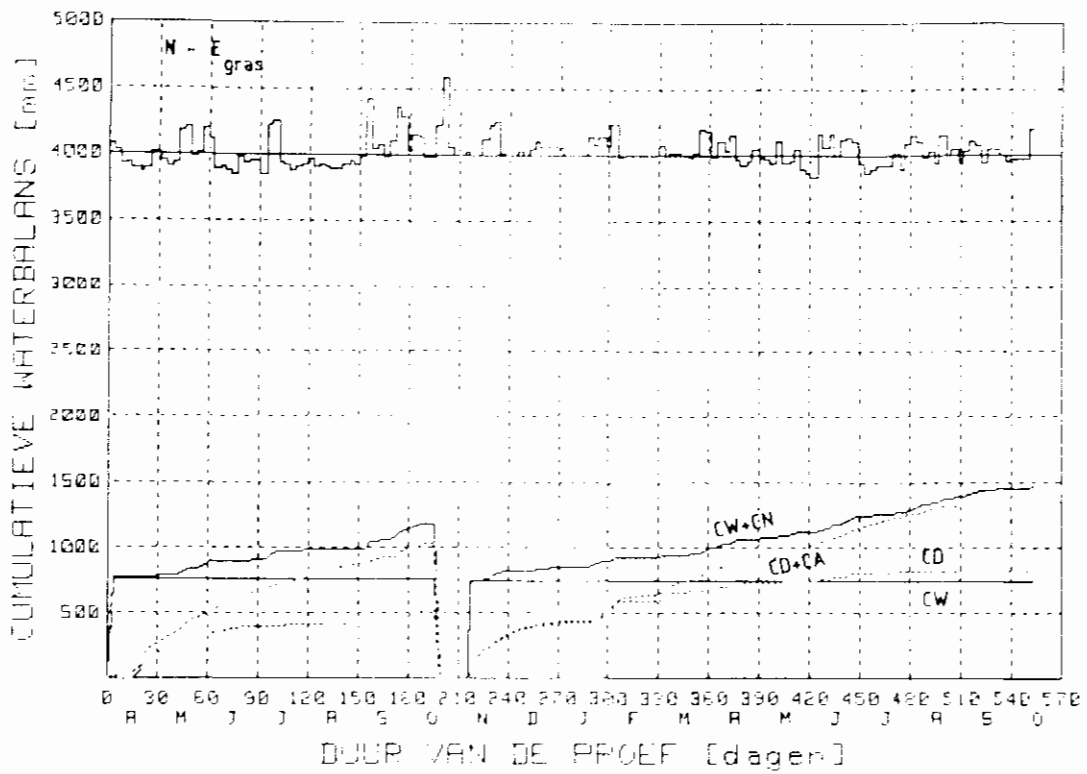


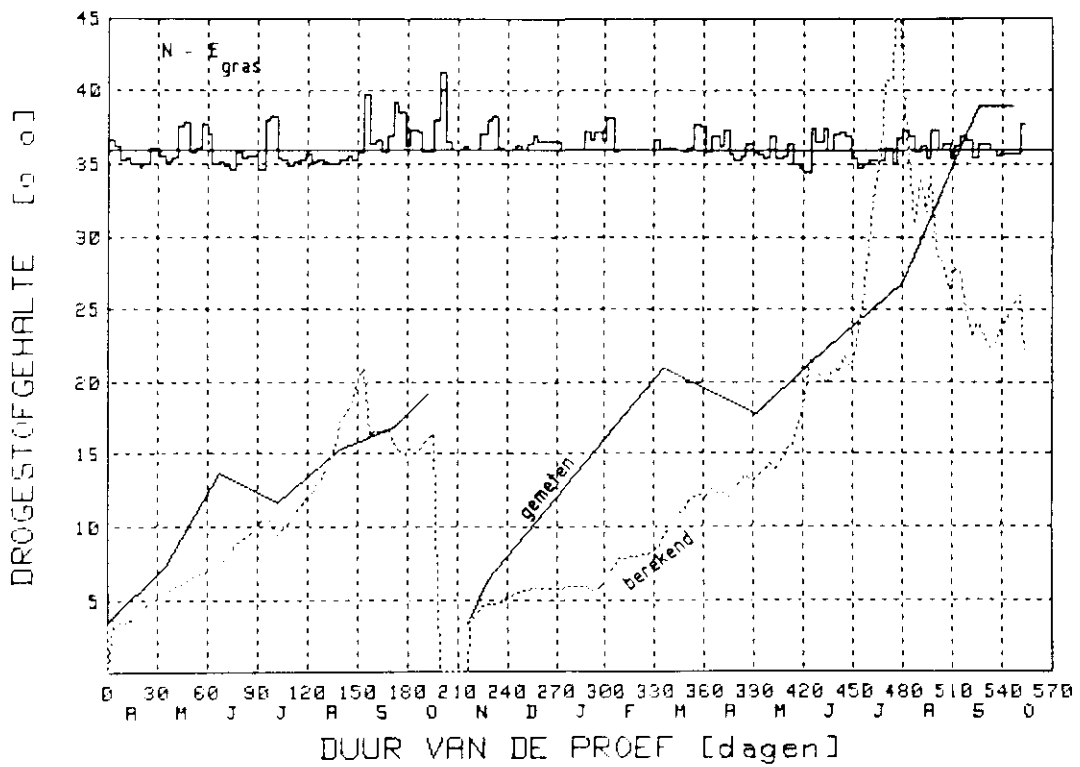
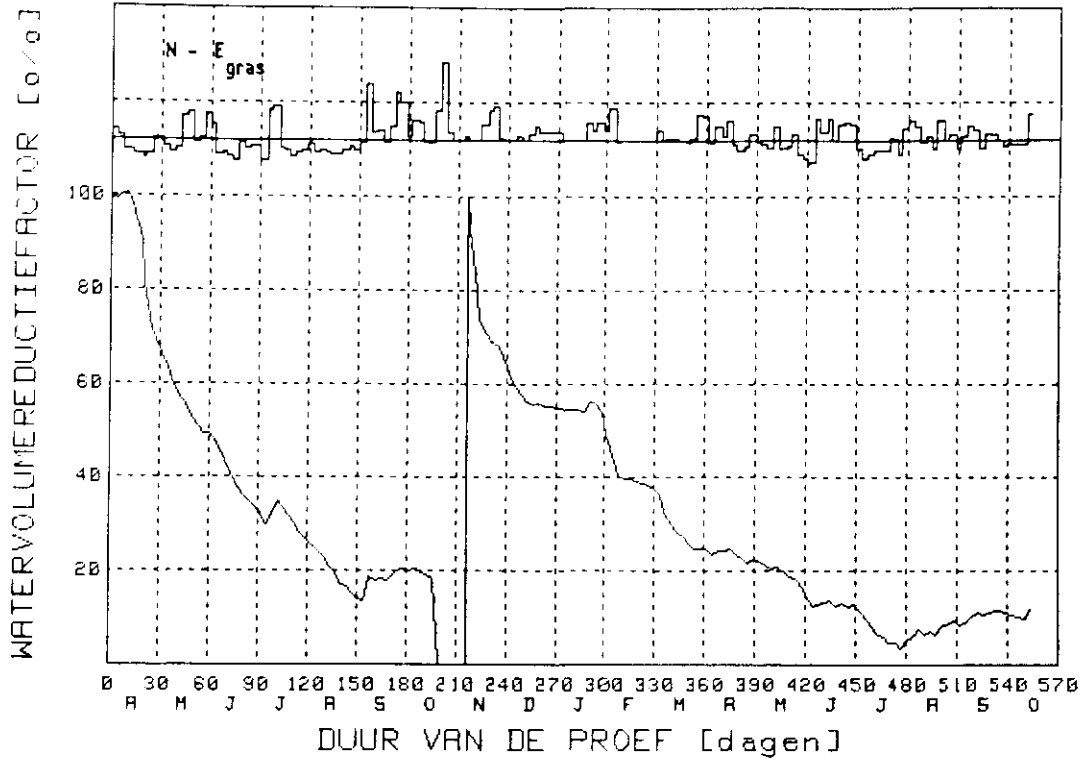


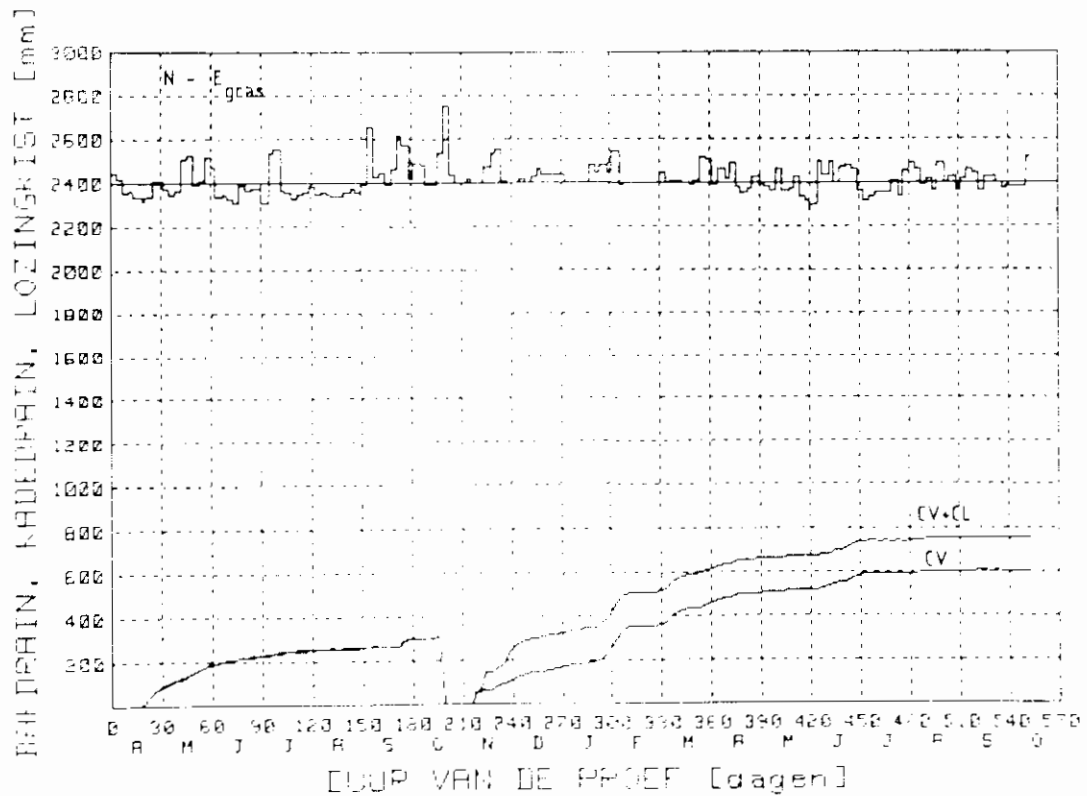
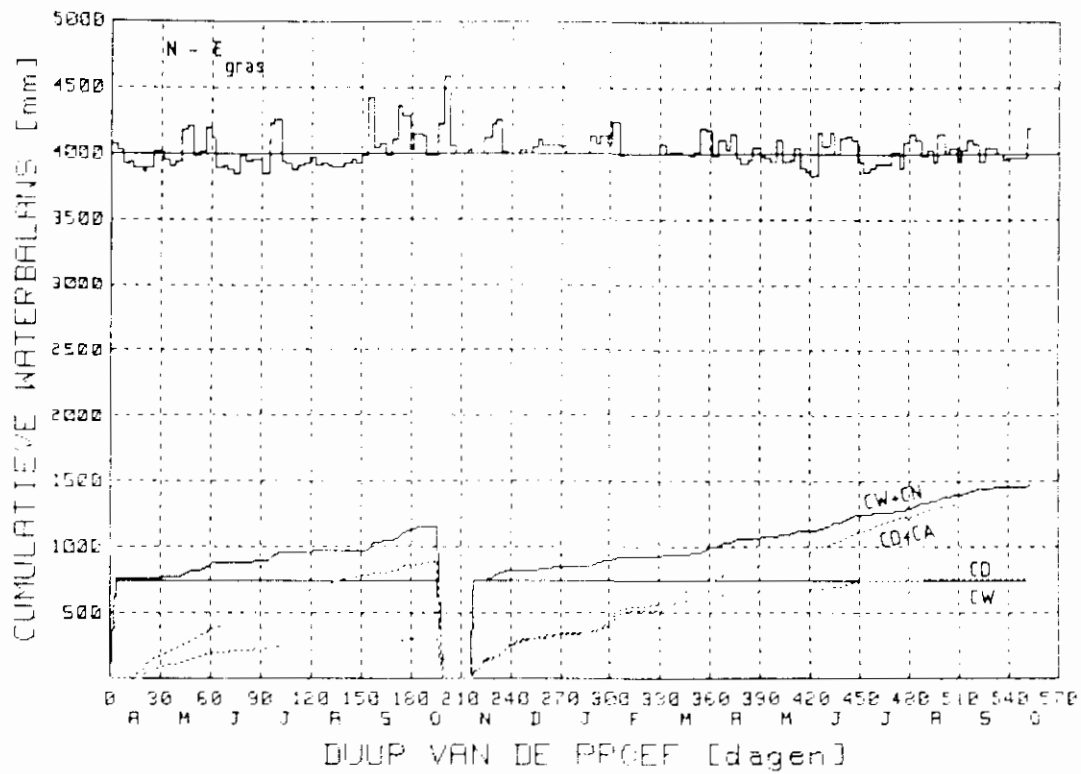


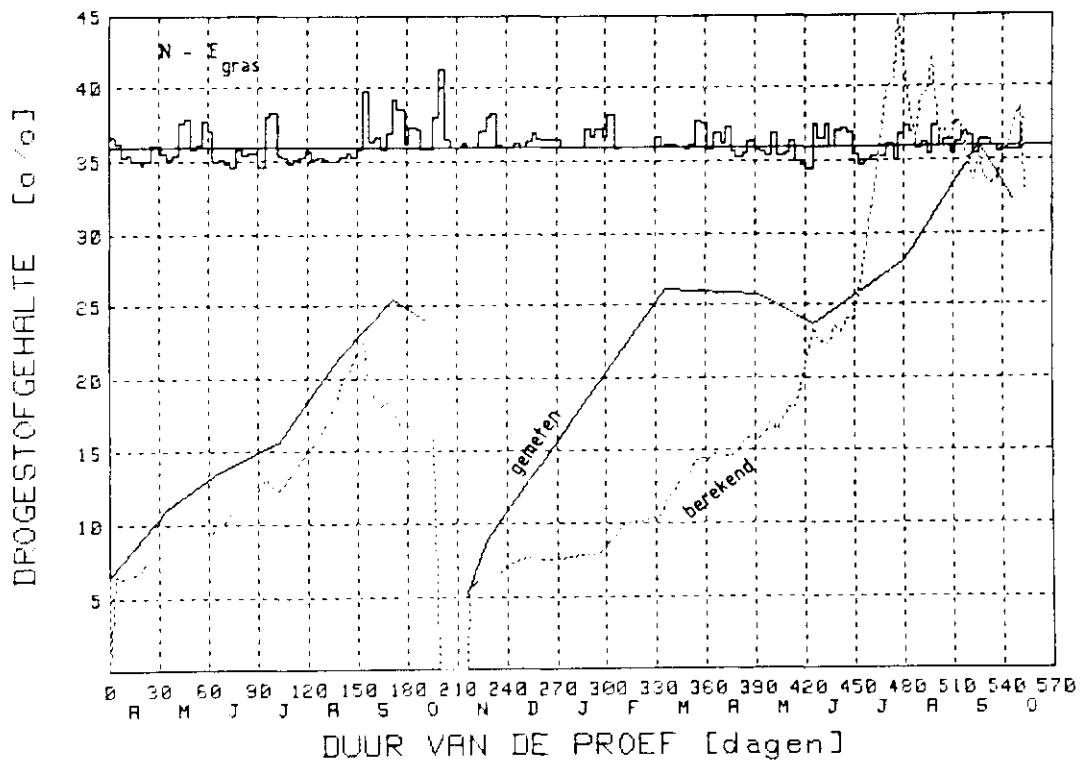
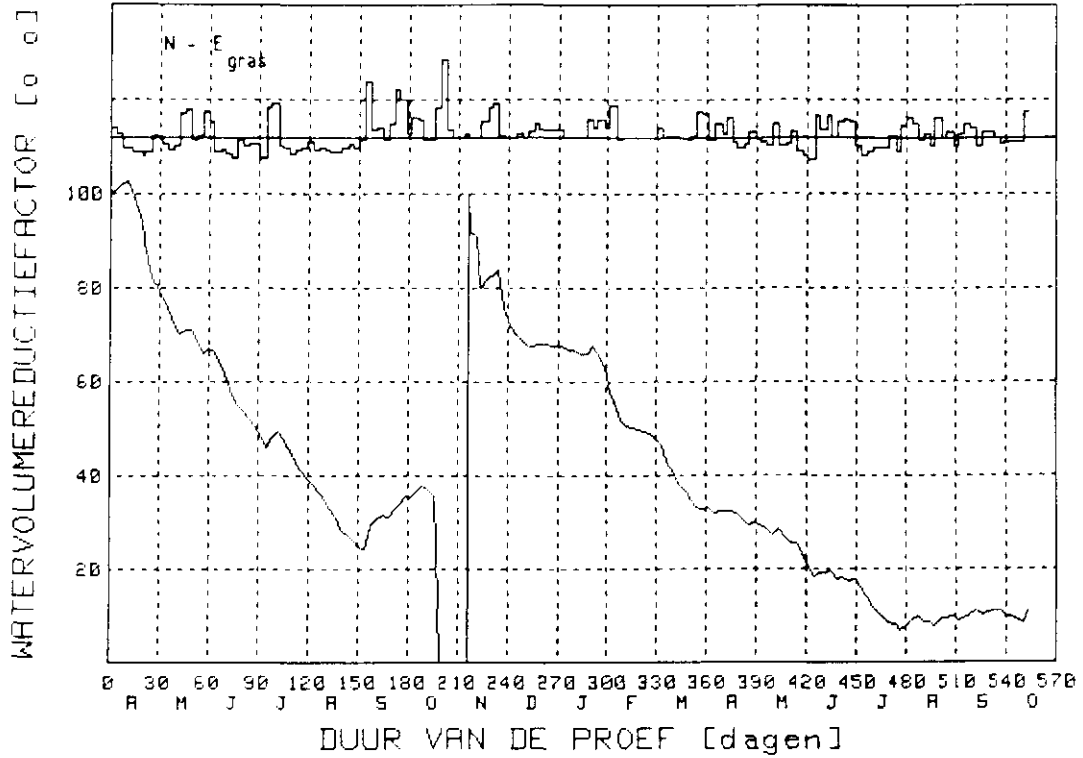


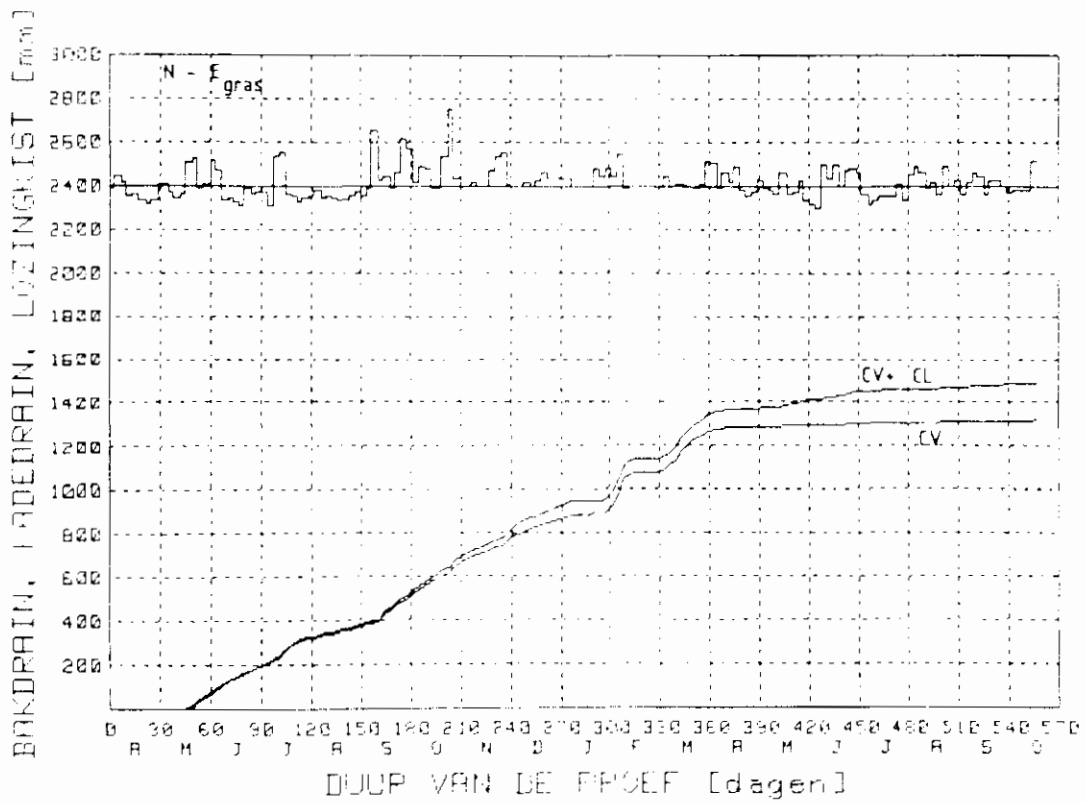
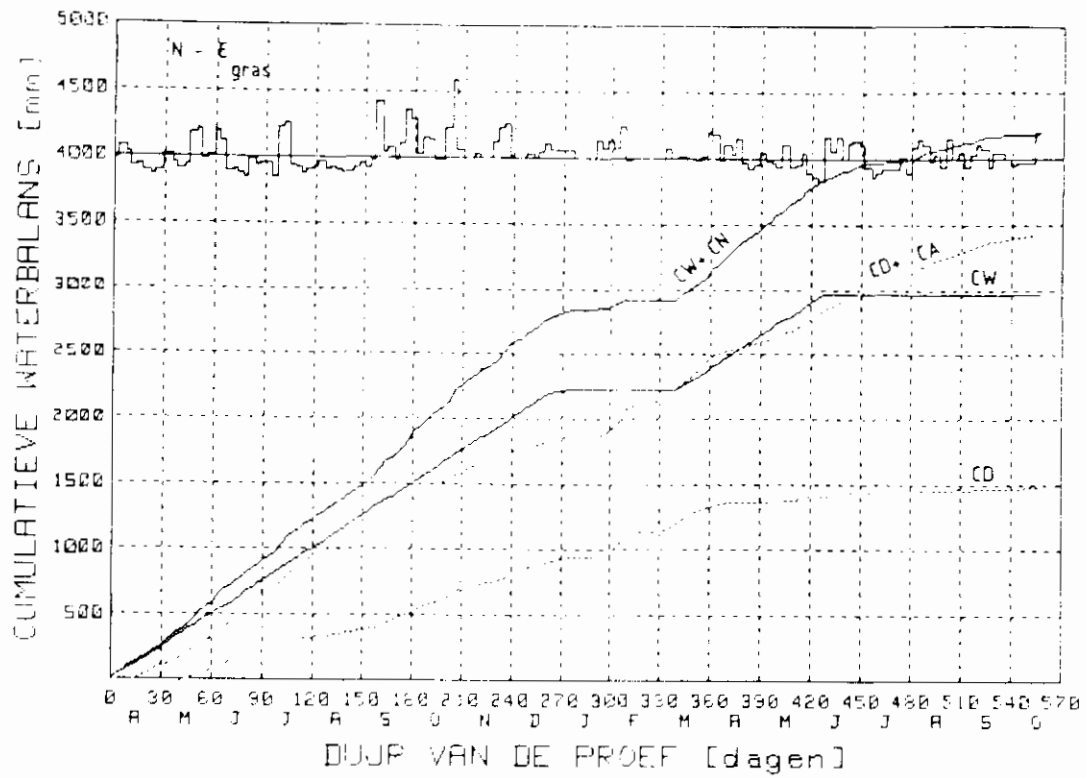


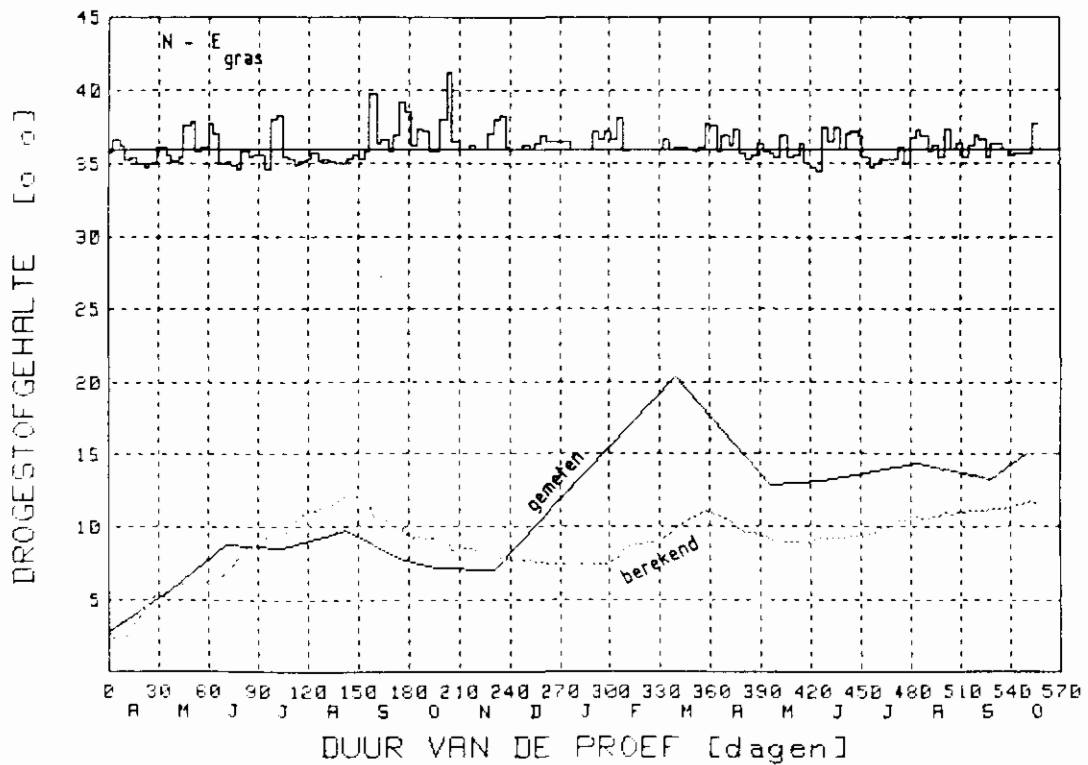
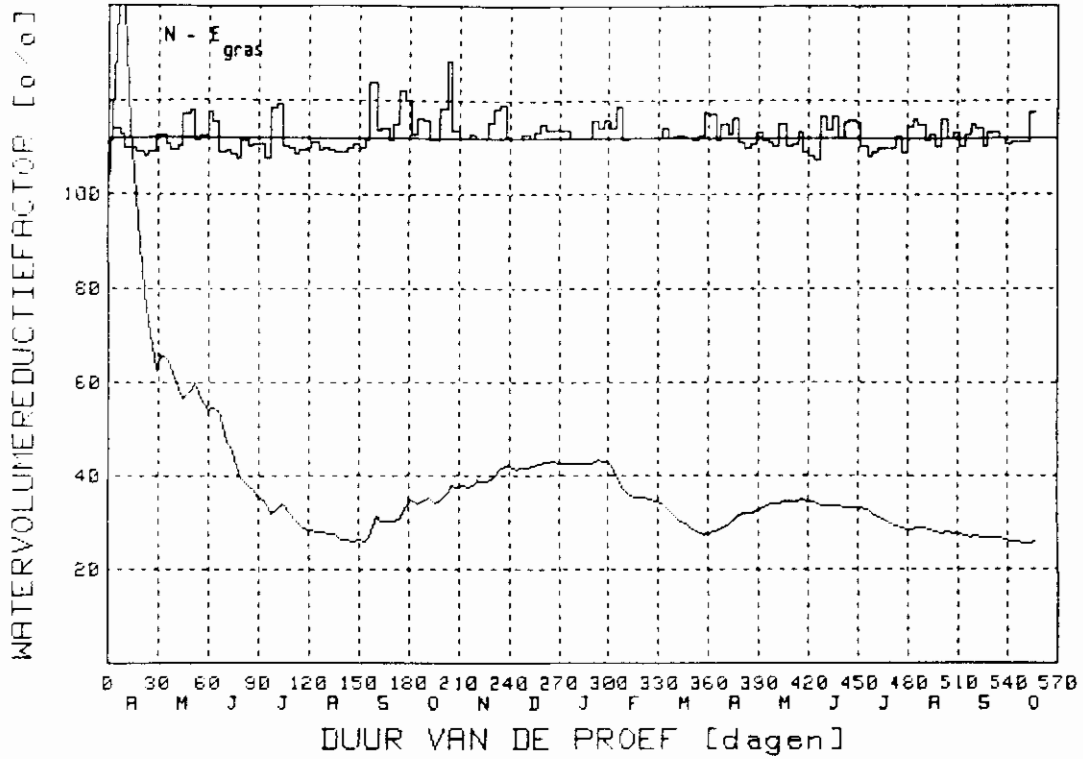


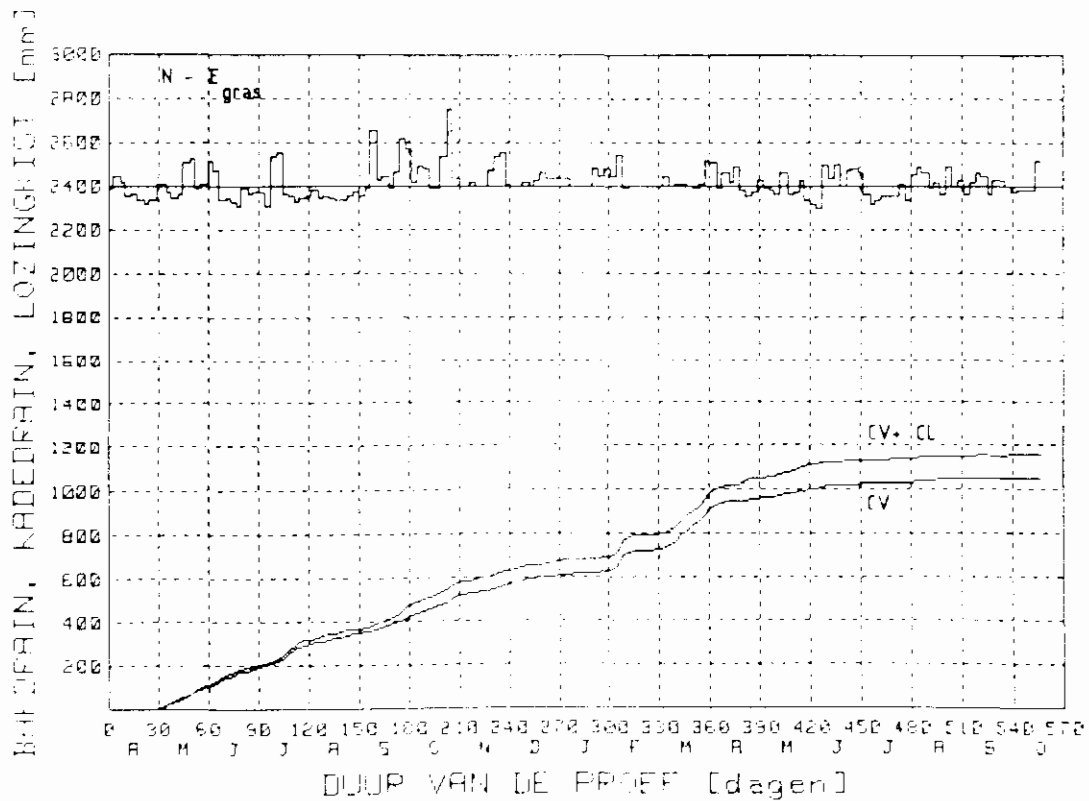
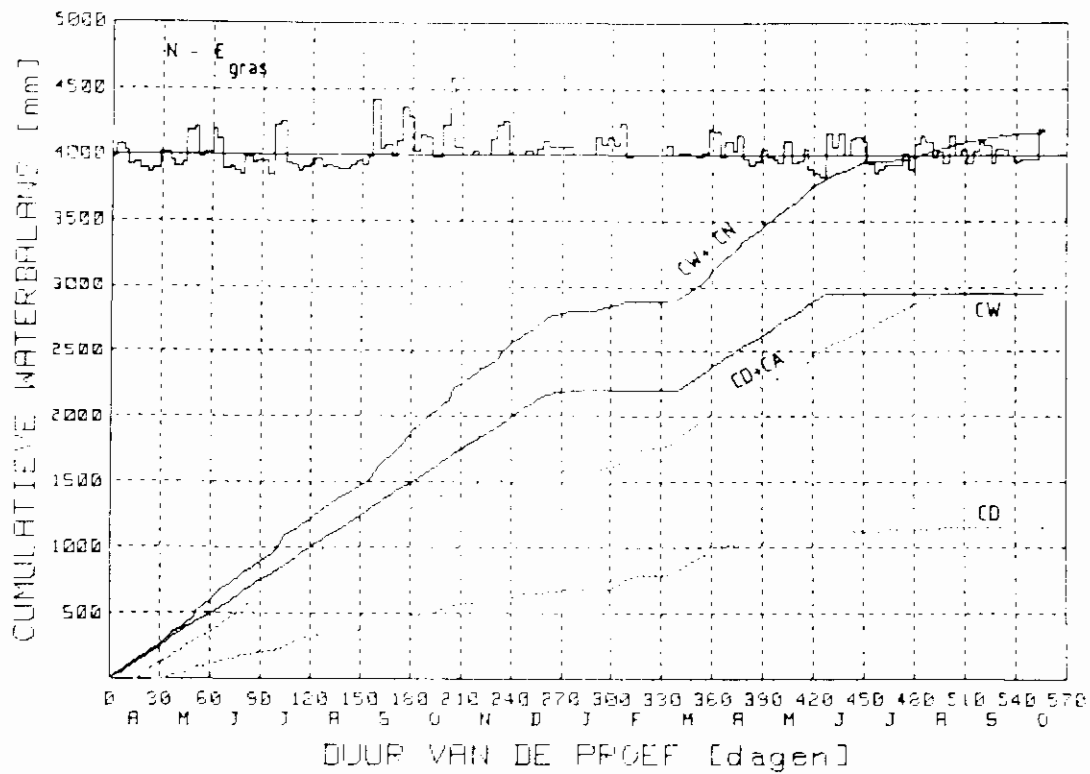


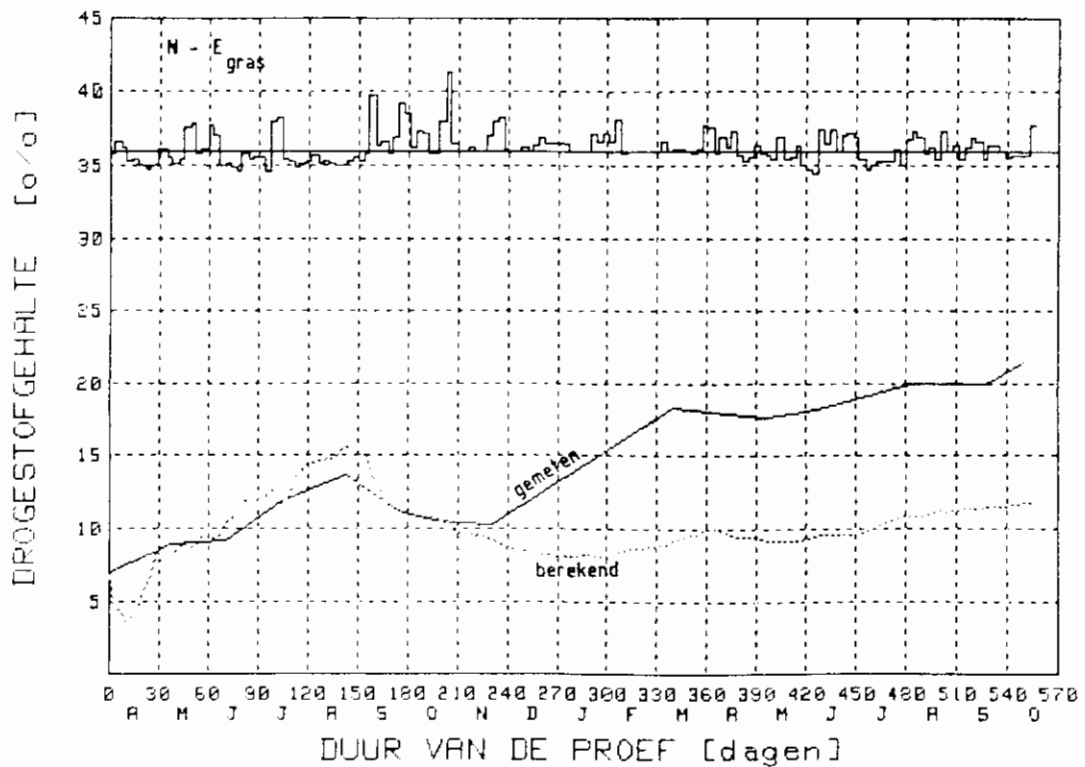
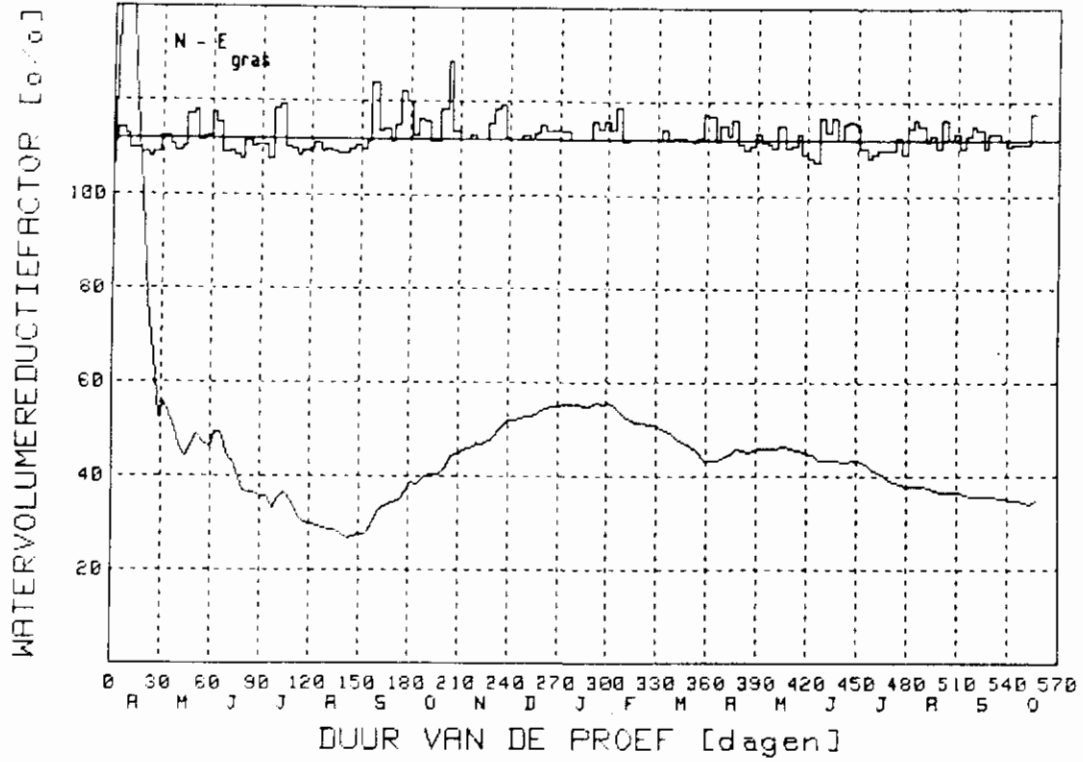












CONSISTENTIE

Hoewel de consistentie van het slib en daarmee samenhangend de behandelbaarheid en draagkracht veelal gekoppeld worden aan het drogestofgehalte, blijkt dit laatste niet in alle gevallen een bruikbare maatstaf te geven. Dit komt omdat de structuur van verschillende slibsoorten, bij overigens gelijk vochtgehalte, tot verschillende consistentie leidt. Verder is het drogestofgehalte afhankelijk van de weersgesteldheid. Binnen enkele uren kan het vochtgehalte, onder invloed van regen, sterk stijgen, zonder dat de consistentie daarmee in gelijke mate verandert (afneemt).

Een maatstaf voor de consistentie is de schuifweerstand, die in situ wordt gemeten met het "vin-apparaat" (foto 7, p.10). Deze bestaat uit een staaf met aan het uiteinde vier verticale vleugels. Met de hand worden de vier vleugels op de gewenste diepte in de slibmassa gebracht en vervolgens worden deze voorzichtig rondgedraaid. In het handvat is een torsieveer en een uitslagnaald bevestigd, die op een schaalverdeling aangeeft bij welke weerstand de vleugels beginnen mee te draaien. Op deze wijze wordt een maat gekregen voor een schuifweerstand in het slib. De meting kan, afhankelijk van de consistentie, met verschillende vleugelgrootten (vinnen) worden uitgevoerd (hoe slapper het slib, des te groter de vleugels). Het meetbereik is bij een tiendelige schaal als volgt:

- vleugelgrootte 16 x 32 mm: 0 - 200 kN/m²;
- vleugelgrootte 20 x 40 mm: 0 - 100 kN/m²;
- vleugelgrootte 25,4 x 50,8 mm: 0 - 50 kN/m².

Het "vin-apparaat" wordt onder de naam "lichte afschuifweerstandsmeter" (standaard met 3 vinnen) geleverd door Eijkelkamp Agrisearch Equipment BV (fabrikant: Geonor, Noorwegen).

Voor het uitvoeren van metingen in zeer slappe substanties kunnen door de leverancier inmiddels ook grotere vleugels worden bijgeleverd met het volgende meetbereik:

- vleugelgrootte 31,9 x 63,7 mm: 0 - 25 kN/m²;
- vleugelgrootte 43,3 x 86,5 mm: 0 - 10 kN/m².

Alle metingen zijn verricht met een "vin-apparaat" voorzien van een tiendelige schaal en met de vleugelgrootte van 25,4 x 50,8 mm.

De veldmetingen zijn uitgevoerd op:

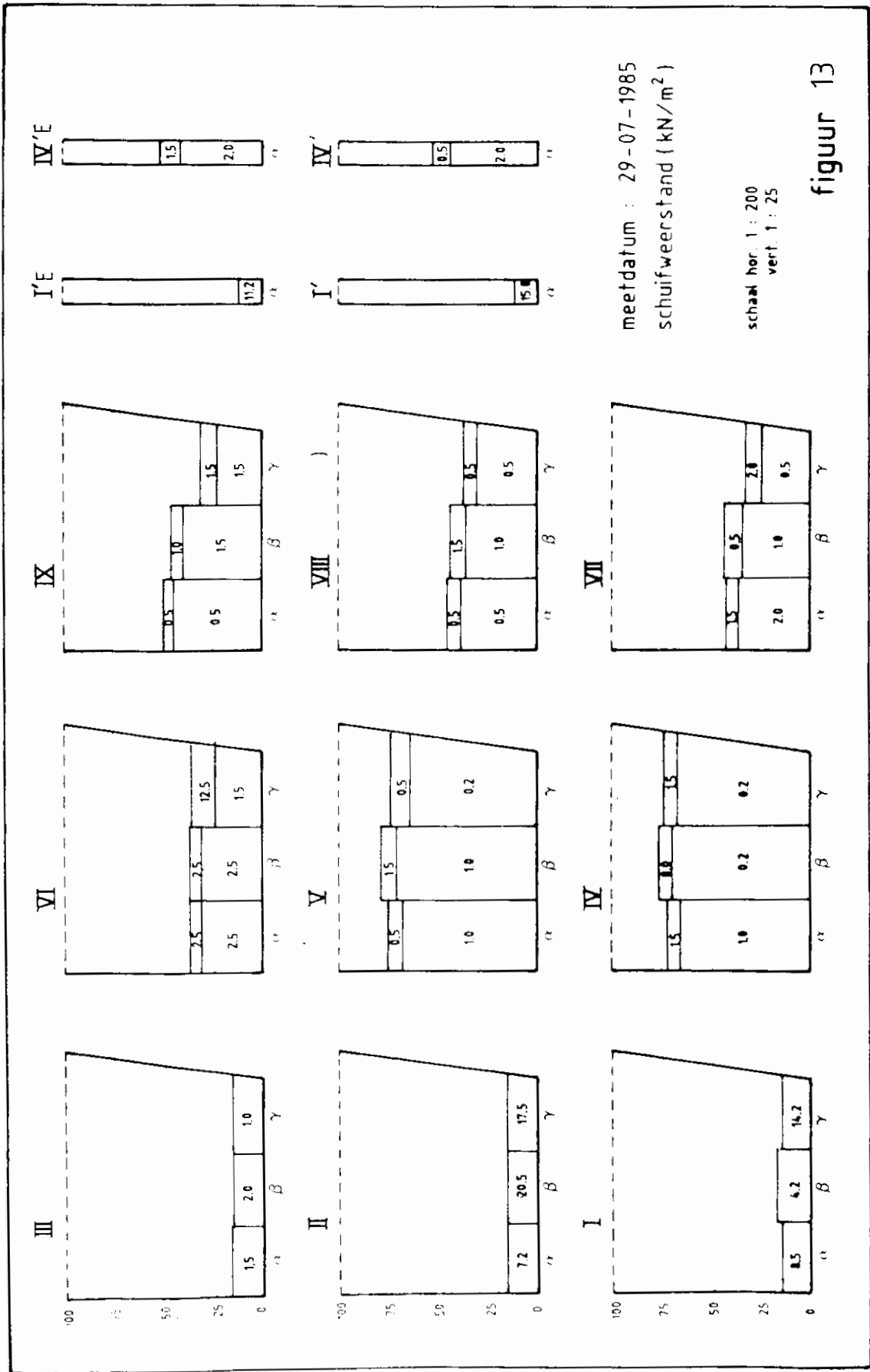
- 15 oktober 1984 (6½ maand na de start);
- 3 juni 1985 (14 maanden na de start);
- 29 juli 1985 (16 maanden na de start);
- 3 oktober 1985 (18 maanden na de start).

Als voorbeeld zijn de metingen op 29 juli 1985 weergegeven in figuur 13. Tijdens de proef zijn bij het aëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Bennekom de volgende waarden vastgesteld:

- behandelbaarheid: schuifweerstand groter dan 2,5 kN/m² (steekvast);
- draagkracht : schuifweerstand groter dan 4,0 kN/m² (beloopbaar).

In de literatuur wordt voor stortbaarheid de volgende minimumwaarde aanbevolen:

- stortbaarheid: schuifweerstand \geq 10 kN/m².



meetdatum : 29-07-1985
 schuifweerstand (kN/m²)

schaal hor. 1 : 200
 vert. 1 : 25

figuur 13

ACTUELE VERDAMPING

De actuele verdamping draagt, naast de afvoer via de vakdrain, de kadedrain en de lozingkist bij aan het ontwateringsproces. De actuele verdamping is niet rechtstreeks gemeten; dergelijke metingen zijn gecompliceerd en kostbaar. Uit waterbalansberekeningen is afgeleid wat de globale grootte van de actuele verdamping van het sliboppervlak is geweest.

Waterbalans

De algemene cumulatieve waterbalans kan als volgt geschreven worden:

$$CR = CA + CS = CW + CN - CV - CK - CL - B$$

waarin:

CW = ingekomen stroom water met het toegevoerde slib	[mm]
CN = neerslag	[mm]
CV = afvoer via vakdrain	[mm]
CK = afvoer via kadedrain	[mm]
CL = afvoer via lozingkist	[mm]
B = geborgen hoeveelheid water in het proefvak	[mm]
CR = restterm van de waterbalans	[mm]
CA = actuele verdamping van het sliboppervlak	[mm]
CS = stochastische term	[mm]

Omdat de waterbalans termen CW, CN, CV, CK, CL en B direct of indirect uit metingen zijn te berekenen, kan de restterm CR op relatief eenvoudige wijze bepaald worden.

De restterm bestaat uit een deel CA, de actuele verdamping en een deel CS, de stochastische term waartoe onder andere lekverliezen behoren.

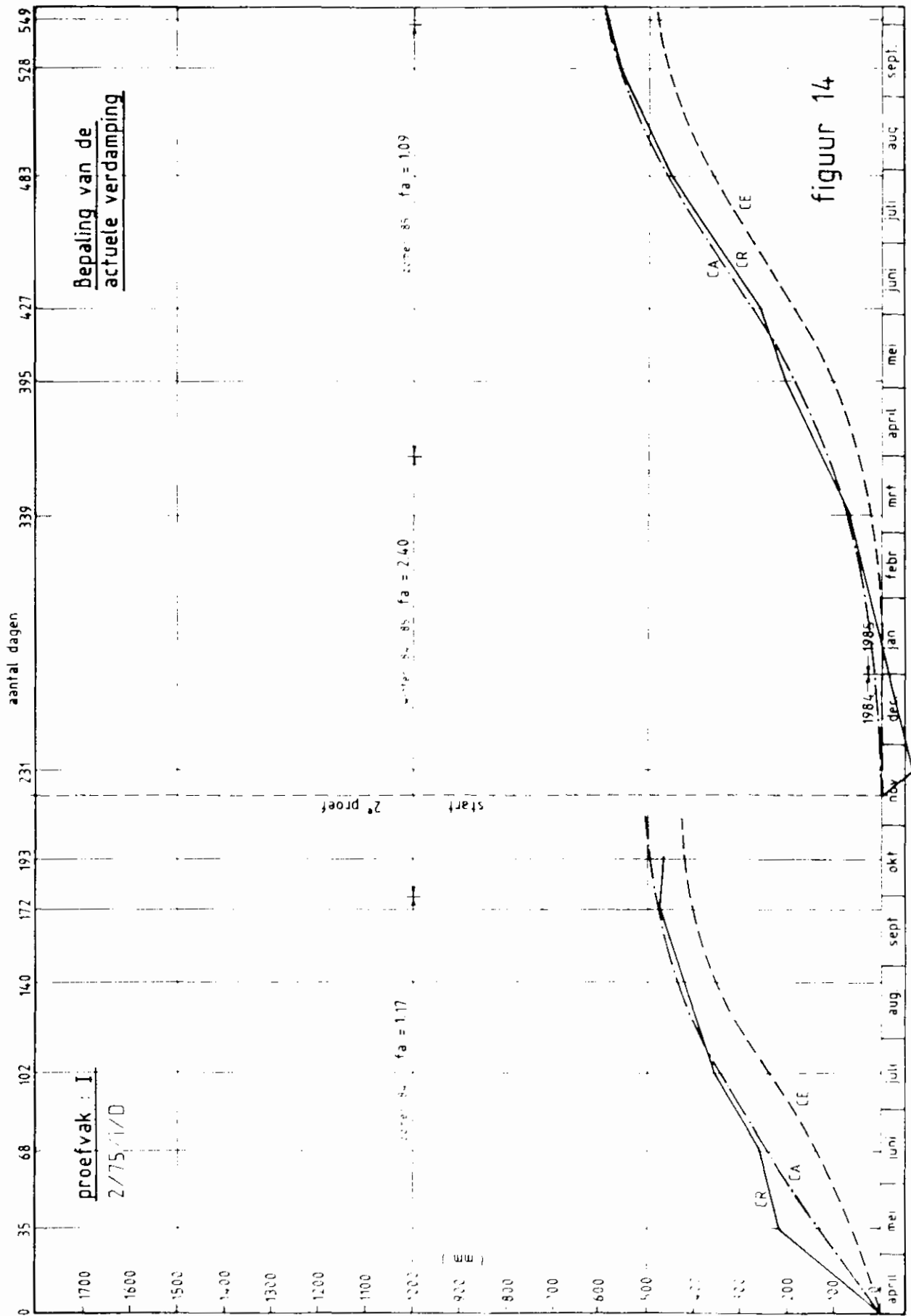
De kwantitatieve bepaling van de termen CA en CS uit het verloop van CR heeft, op basis van de resultaten van de computerberekeningen, langs grafische weg plaatsgevonden. Op grond van deze analyse mag aangenomen worden dat de stochastische term bij de meeste proefvakken/-bakken vrijwel nihil is geweest.

Bij de proefvakken IV, V en IX blijkt de stochastische term CS, betrokken op de totale wateromzet CI (neerslag plus water van het toegevoerde slib) slechts enkele procenten te bedragen. Alleen bij de proefbakken IV' en IV'E ligt de afwijking rond de 10%.

De stochastische term kan gedeeltelijk verklaard worden uit kleine lekverliezen die voornamelijk in de strenge winter 1984/1985 zijn opgetreden.

Verdampingsfactoren

Als voorbeeld van de gehanteerde grafische methode ter bepaling van de actuele verdamping is die van proefvak I in figuur 14 weergegeven. De uit de waterbalans berekende cumulatieve restterm (CR) is grafisch uitgezet, alsmede de cumulatieve verdampingscijfers voor kort gras (CE). Vervolgens is handmatig een vloeiende curve (CA) getrokken door de CR-lijn, waarbij rekening is gehouden met de CE-lijn. De CA-curve komt overeen met het gestileerde cumulatieve verloop van de actuele verdamping van het sliboppervlak.



figuur 14

De actuele verdamping is gesommeerd over de volgende deelperioden:
 . zomerhalfjaar 1984 (april t/m september);
 . winterhalfjaar 1984/1985 (oktober t/m maart);
 . zomerhalfjaar 1985 (april t/m september).

Door per deelperiode de som van de actuele verdamping te delen op de som van de verdamping van kort gras (E_{gras}) zijn de verdampingsfactoren berekend.

De aldus verkregen cijfers voor verdamping en verdampingsfactoren zijn in tabel 14 weergegeven. De waarden voor E_{gras} zijn ontleend aan meetgegevens op het meteorostation van de L.U.-Wageningen.

proefvak/-bak	ACTUELE VERDAMPING					
	zomerhalfjaar 1984		winterhalfjaar 1984/1985		zomerhalfjaar 1985	
	[mm]	t.o.v. E_{gras}	[mm]	t.o.v. E_{gras}	[mm]	t.o.v. E_{gras}
I 2/75/i/D ^x	480	1,17	120	2,40	470	1,09
II 2/75/i/W	400	0,98	85	1,70	450	1,05
III 2/75/o/W	460	1,12	140	2,80	440	1,02
IV 104/3/o/D	690	1,68	270	3,86	620	1,44
V 104/3/o/W	380	0,93	160	2,28	470	1,09
VI 104/1,5/o/W	310	0,76	110	1,57	400	0,93
VII 104/1,5/i/W	290	0,71	220	3,14	490	1,14
VIII 52/3/i/W	340	0,83	220	3,14	450	1,05
IX 104/1,5/i/D	320	0,78	160	2,28	540	1,26
I' 2/75/i/D	500	1,22	140	2,80	430	1,00
I'E 2/75/i/D	560	1,37	140	2,80	500	1,16
IV' 104/3/o/D	840	2,05	360	5,14	770	1,79
IV'E 104/3/o/D	830	2,02	330	4,71	860	2,00

Tabel 14. Berekende verdampingsfactoren;

x voor verklaring code zie tabel I (p.5).

De Penman-verdamping voor kort gras bedroeg in de meetperiode:

- . zomerhalfjaar 1984 $E = 410$ mm;
- . winterhalfjaar 1984/1985 $E = 70$ mm;
- . zomerhalfjaar 1985 $E = 430$ mm.

De vakken I, II, III en de bakken I' en I'E zijn ten behoeve van de proefneming in het winterhalfjaar '84/'85 alleen gebruikt in de periode na 8 november 1984. E_{gras} bedroeg in de periode 8-11-'84 tot 31-3-'85 50 mm.

Resumerend worden de gemiddelde, berekende verdampingsfactoren voor het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar gegeven in de tabellen 15 en 16. Hoewel het aantal waarden te gering is om statistisch verantwoorde uitspraken te kunnen doen, kan globaal wel het volgende geconcludeerd worden.

De proefvakken I, II, III (eenmalig vullen) verdampen iets beter dan kort gras.

proefvak/-bak [zomerhalfjaar]	aantal waarden	gemiddelde verdampings- factor t.o.v. kort gras	waarden- interval
I, II, III	6	1,07	0,98-1,17
IV, V	4	1,28	0,93-1,68
VI, VII, VIII, IX	8	0,93	0,71-1,26
I', I'E	4	1,19	1,00-1,37
IV', IV'E	4	1,96	1,79-2,05

Tabel 15. Actuele verdamping van het slib in het zomerhalfjaar
(april t/m september).

Ten opzichte van open water verdampt het slib in de proefvakken I, II en III volgens een verdampingsfactor van circa 0,80. Dit stemt overeen met de verdampingsmetingen die door het KIWA zijn uitgevoerd op het slib uit Bennekom (bijlage 2).

Ten opzichte van de vakken I, II, en III verdampen de vakken IV en V (dunne laagjes, grote einddikte) beter en de vakken VI, VII, VIII en IX (dunne laagjes, kleine einddikte) slechter.

De met de proefvakken I, II, en III corresponderende proefbakken I' en I'E verdampen beter. Hetzelfde geldt in versterkte mate voor de proefbakken IV' en IV'E die met proefvak IV te vergelijken zijn.

proefvak/-bak [winterhalfjaar]	aantal waarden	gemiddelde verdampings- factor t.o.v. kort gras	waarden- interval
I, II, III	3	2,30	1,70-2,80
IV, V	2	3,07	2,28-3,86
VI, VII, VIII, IX	4	2,53	1,57-3,14
I', I'E	2	2,80	2,80-2,80
IV', IV'E	2	4,92	4,71-5,14

Tabel 16. Actuele verdamping van het slib in het winterhalfjaar
(oktober t/m maart).

Omdat slechts waarden beschikbaar zijn van één winterhalfjaar, kan slechts in zeer algemene zin iets gezegd worden. Globaal stemmen de conclusies overeen met die voor de verdampingsfactoren voor het zomerhalfjaar.

Het algehele niveau van de verdampingsfactoren in het winterhalfjaar is echter circa twee keer zo hoog als in het zomerhalfjaar.

De verdamping van het sliboppervlak in het winterhalfjaar is blijkbaar aanzienlijk hoger dan de verdamping die volgens de Penman-formule voor kort gras van toepassing is.

Voor een juiste beoordeling van de resultaten was het nodig het klimaatsverloop tijdens de proef te vergelijken met het meerjarige gemiddelde klimaatsverloop. Dit werd mogelijk gemaakt door regelmatige klimatologische waarnemingen tijdens de proef, door de nabijheid van een weerstation van de L.U.-Wageningen en met gegevens van het KNMI.

Neerslag

Op het proefterrein bevond zich een pluviograaf, waarmee continu de neerslag is gemeten. Ter controle op eventueel falen van dit apparaat is nog een gewone regenmeter geplaatst. Door de Landbouwuniversiteit, Vakgroep Natuur- en Weerkunde, zijn de langjarig gemiddelde neerslaggegevens ter beschikking gesteld. De gegevens uit beide bronnen zijn in tabel 17 samengevat.

		1984 april t/m september		1984/1985 oktober t/m maart		1985 april t/m september		gehele proef- periode		
		een- heid	lang- jarig	ac- tueel	lang- jarig	ac- tueel	lang- jarig	ac- tueel	lang- jarig	ac- tueel
neer- slag	mm	402	405	363	391	402	480	1167	1276	
	%	100	101	100	108	100	119	100	109	
ver- dam- ping	mm	552	405	89	84	552	526	1193	1015	
	%	100	73	100	94	100	95	100	85	

Tabel 17. Neerslag- en verdampingscijfers.

Voor de actuele neerslag ten opzichte van het langjarig gemiddelde blijkt:

- zomerhalfjaar 1984 normaal;
- winterhalfjaar 1984/1985 iets te nat;
- zomerhalfjaar 1985 te nat;
- gehele proefperiode iets te nat.

Verdamping

De gegevens van de open-waterverdamping van het weerstation van de Landbouwuniversiteit Wageningen waren niet compleet; ter vergelijking van actuele/gemiddelde langjarige verdamping is gebruik gemaakt van gegevens van het KNMI. De gegevens hierover zijn eveneens samengevat in tabel 17. Voor de actuele open-waterverdamping ten opzichte van het langjarig gemiddelde blijkt:

- zomerhalfjaar 1984 ver onder normaal;
- winterhalfjaar 1984/1985 iets onder normaal;
- zomerhalfjaar 1985 iets onder normaal;
- gehele proefperiode onder normaal.