

NN31050.75-02

1975-02

stora

**Oriënterend onderzoek
naar de
optimalisering van puntbeluchtersystemen**

II. Werkrapport

2/0400 15-6

STICHTING TOEGEPAST ONDERZOEK
REINIGING AFVALWATER
STATENPLEIN 1
2516 CA DEN HAAG

stora

statenplein 1, den haag, telefoon: 070-557000

stichting toegepast onderzoek reiniging afvalwater

ORIENTEREND ONDERZOEK
naar de
OPTIMALISERING VAN PUNTBELUCHTERSISTEMEN

II. Werkrapport



CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS

0000 0110 6398

INHOUD	I
I. TEN GELEIDE	II-IV
II. LITERATUURONDERZOEK	1- 27
1. Inhoud	1
2. Inleiding	2- 3
3. Bespreking van de literatuur per bron	4- 10
4. Samenvatting en conclusies	11- 12
5. Literatuurlijst	13- 27
III. PROBLEMEN UIT DE PRAKTIJK (ENQUETE)	28- 43
1. Inhoud	28
2. Inleiding	29- 33
3. Enquête-resultaten	34- 40
4. Conclusies	41- 43
IV. DYNAMISCH ONDERZOEK	44- 77
1. Inhoud	44
2. Dynamisch onderzoek te Almelo	44- 56
3. Snelheidsmetingen te Almelo	57- 70
4. Snelheidsmetingen te Stolwijk	71- 77
V. MODELONDERZOEK	78-123
1. Inhoud	78
2. Inleiding en probleemstelling	79
3. Onderzoek	80-100
4. Samenvatting	101
5. Bijlagen	102-123
VI. OMSCHRIJVING VAN GEBRUIKTE BEGRIPPEN	124

I. TEN GELEIDE

In opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA) werd onderzoek verricht naar de mogelijkheid tot optimalisering van puntbeluchtersystemen.

De aanleiding voor dit onderzoek was dat aan dergelijke systemen - die bestaan uit een beluchtingstank plus puntbeluchter - in de praktijk allerlei problemen zijn waargenomen. Deze kunnen variëren van relatief geringe bezwaren, zoals spatten, tot storingen van dusdanig ernstige aard dat zuiveringsinrichtingen tijdelijk moeten worden stilgelegd of vertraagd in bedrijf worden gesteld. Ook is waargenomen dat puntbeluchters spontaan kunnen overschakelen van een bedrijfstoestand met een stabiel en laag energieverbruik naar een toestand met een instabiel en hoog verbruik.

Tot nu toe is voor minstens vijftig miljoen gulden in puntbeluchters en beluchtingstanks gestoken; in de komende jaren zal nog circa vierhonderd miljoen in het beluchtingsgedeelte van de afvalwaterzuivering moeten worden geïnvesteerd. Omtrent de oorzaken van bovengenoemde - meest hydraulische - storingen en de middelen tot voorkoming of opheffing ervan, is echter onvoldoende bekend.

Het onderzoek werd uitgevoerd door een combinatie bestaande uit het adviesbureau Bongaerts, Kuyper en Huiswaard, het ingenieursbureau Dwars, Heederik en Verhey en het instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO.

Aan deze researchcombinatie werd een opdracht verstrekt die in vier onderdelen uiteenviel:

- a. literatuuronderzoek naar mechanische en hydrodynamische problemen bij puntbeluchtersystemen;
- b. het bezoeken van één en twintig zuiveringsinrichtingen met biologische reiniging middels puntbeluchters in vierkante of rechthoekige beluchtingsbassins. Dit, om uit enquêtering van het bedieningspersoneel en directe waarneming door de enquêteur, een overzicht op te stellen van de problemen die zich in de praktijk voordoen;
- c. dynamisch onderzoek, inclusief een volledig trillingsonderzoek, meting van het energieverbruik en oriënterende snelheidsmetingen (in twee richtingen) op een tweetal zuiveringsinrichtingen (Almelo en Stolwijk);
- d. het bouwen op schaal van een tweetal inrichtingen met puntbeluchtersystemen (Almelo en Stolwijk), teneinde na te gaan of door middel van modelonderzoek kon worden bepaald welke maatregelen nodig zijn voor het opheffen van de storingen op ware grootte.

In deze modellen werd tevens oriënterend OC-onderzoek uitgevoerd.

De taakverdeling binnen de researchcombinatie was als volgt: het literatuuronderzoek werd verricht door het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, het dynamisch onderzoek door Bongaerts, Kuyper en Huiswaard, het modelonderzoek door Dwars, Heederik en Verhey. De enquêtering werd door deze drie instanties gezamenlijk uitgevoerd. De projectcoördinatie berustte bij laatstegeenomi bureau.

De deelrapporten van ieder der partners in de researchcombinatie zijn textueel ongewijzigd en in hun geheel als hoofdstukken 1 tot en met 7 in dit werkrapport opgenomen.

De enige veranderingen - die door het STORA-secretariaat werden aangebracht - betreffen de rubricering van de deelrapporten. Dit met het doel, een meer integrale presentatie van deze rapporten te bewerkstelligen.

Aan dit rapport ontbreken de gebruikelijke samenvatting en conclusies; gezien hun omvang, zijn zij door de STORA als afzonderlijk rapport uitgebracht, onder de titel: "Oriënterend onderzoek naar de optimalisering van puntbeluchtersystemen. I. Samenvatting". De conclusies uit de afzonderlijke deelprojecten zijn uiteraard wel in dit werkrapport opgenomen; hiervoor gelieve men de betreffende hoofdstukken te raadplegen.

Het onderzoek, dat - exclusief rapportage - in totaal ruim negen maanden heeft gevergd, werd namens de STORA begeleid door een commissie bestaande uit:

ir. J.S.J. Dragt	(waterschap de Aa)
ir. R. Karper	(Rijksinstituut voor Zuivering van Afvalwater)
ir. E.L.C. Koster	(Advies- en Ingenieursbureau Witteveen & Bos)
ir. A.P. Vernimmen, M.Sc.	(zuiveringsschap Drenthe).

In de laatste fase van het project, het modelonderzoek, werd de commissie uitgebreid met ir. P. Verbeek en ir. J. Wijdieks (beiden van het waterloopkundig laboratorium Delft).

Als woordvoerder van de gezamenlijke commissie fungeerde drs. J.F. Noorthoorn van der Kruijff, directeur van de STORA. Het secretariaat van de commissie werd door Dwars, Heederik en Verhey verzorgd.

Den Haag, 1 oktober 1975

II. LITERATUURONDERZOEK

1.	<u>Inhoud</u>	1
2.	<u>Inleiding</u>	2 - 3
	a. De probleemstelling	2
	b. Uitvoering van het literatuur- onderzoek	2 - 3
3.	<u>Bespreking van de literatuur per bron</u>	4 - 10
	a. Emschergenossenschaft, Essen	4 - 5
	b. Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, S. Sweeris	5 - 6
	c. Fabrikanten van beluchters	7 - 8
	d. Universiteiten en Hogescholen	9 - 10
4.	<u>Samenvatting en conclusies</u>	11 - 12
5.	<u>Literatuurlijst</u>	13 - 27
	In het rapport verwerkte literatuur	13 - 17
	Geraadpleegd doch niet opgenomen in rapport	18 - 27

2. Inleiding

a. De probleemstelling

De Onderzoek-Adviescommissie (OAC) van de STORA heeft in een toelichting de problematiek van puntbeluchtingssystemen, als bedoeld onder project no. 15, als volgt beschreven:

".....Aan puntbeluchtingssystemen (i.e. de configuratie tank + beluchter) zijn in de praktijk echter ook problemen waargenomen, variërend van relatief geringe inconveniënten (spatten) tot storingen van dusdanige (meestal hydraulische) aard dat de installatie tijdelijk moest worden stilgelegd of de inbedrijfstelling ervan werd vertraagd. Daarnaast is uit economische overwegingen de waarneming interessant dat in sommige gevallen puntbeluchters spontaan kunnen overschakelen van een bedrijfstoestand met een laag stabiel energieverbruik naar een toestand met een hoog onstabiel verbruik....."

Op basis van deze problematiek-omschrijving werd de volgende opdracht geformuleerd:

".....Literatuuronderzoek naar de problemen als in de toelichting vermeld. Het onderzoek wordt beperkt tot literatuur waarvan de juistheid der waarnemingen vaststaat....."

b. Uitvoering van het literatuuronderzoek

De Afdeling Water en Bodem van het Instituut voor Milieuhygiene en Gezondheidstechniek TNO (IG-TNO) houdt zich "van oudsher" bezig met onderzoekingen aan beluchtingssystemen (Baars, Pasveer, Sweeris).

Aangezien het bijhouden van de literatuur een normaal onderdeel is van het speurwerk van de afdeling, bood de afdelingsbibliotheek de belangrijkste informatie voor dit onderzoek. Veel gemak werd ondervonden van het literatuuronderzoek "Vloeistofbeweging door puntbeluchters in beluchtingsbassins" door J.J.D. Hildebrand (1973), vooral door de vele verwijzingen.

Daar het onderzoek beperkt diende te worden tot "literatuur waarvan de juistheid der waarnemingen vaststaat" vormde de kritische schifting naar de betrouwbaarheid van de bronnen een belangrijk aspect van dit onderzoek.

De rapportage is gebaseerd op een chronologische rangschikking van de literatuur per bron.

De "bijzondere" toepassing van puntbeluchters in Carrousel-inrichtingen alsmede de onderlinge wisselwerking van meerdere puntbeluchters in één bak zijn niet in het onderzoek betrokken geweest.

3. Bespreking van de literatuur per bron

a. Emschergenossenschaft, Essen

De Emschergenossenschaft heeft een serie publikaties (A 1 t/m 7) gewijd aan de eigenschappen van puntbeluchtings-systemen op technische schaal. De Emschergenossenschaft is hiermee een van de vroegste en wellicht bekendste bronnen op dit gebied.

De eerste publikaties hadden vooral betrekking op Simplex- en BSK beluchters.

Naast de bepaling van het zuurstoftoevoervermogen en het zuurstofinbrengrendement werd vooral aandacht besteed aan de meting van de vloeistofsnelheid bij de bodem van de tank.

Hierbij werd in eerste instantie de konklusie getrokken dat niet alleen het aan de beluchter toegevoerde vermogen bepalend is voor de stroomsnelheid langs de tankbodem, doch evenzeer de geometrie van de beluchtingstank.

Hiervoor werd, naar analogie van de definitie van de hydraulische diameter, de parameter R_r ingevoerd:

$$R_r = \frac{\text{tankinhoud}}{\text{nat oppervlak}}$$

Een grote waarde van R_r resulteert in een grote stroomsnelheid bij hetzelfde specifiek vermogen (W/m^3).

Uitzonderingen op deze regel kunnen optreden indien de tankdiameter minder dan 1,5 maal de "worp" van de beluchter bedraagt (de uitgeworpen vloeistof botst tegen de wand) en bij een zeer hoog specifiek vermogen (voor BSK: boven ca. $50 W/m^3$), waarbij belen de impuls-overdracht wellicht "dempen".

Op de "Praagse Conferentie" verschijnt tijdens de daar gevoerde discussie de Wet van Froude als toepasbare modelwet en wordt de nadruk gelegd op het afremmen van de vloeistofsnelheid met keerschotten teneinde een hogere OC te verkrijgen (A5).

In A6 wordt het roteren van de vloeistof met als effect een hoog "aanloopvermogen" en een laag bedrijfsvermogen vermeld.

In A7 is duidelijk de overgang te zien van de tangentiale naar de radiale vloeistofbeweging afhankelijk van de tankgeometrie (platter = meer rotatie).

Bij een diepe tank en vloeistof met een hoog detergentgehalte werd de menging verbeterd door een roerder te bevestigen aan de beluchter.

- b. Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO,

S. Sweeris

Het onderzoek aan de Simplexbeluchter 6HL in een tank van 10 x 10 x 3,85 m (zie B1) toonde naast een sterk fluctuerend energieverbruik (soms tot 30%) het verschijnsel van een afwisselend hoog en laag energieverbruik bij eenzelfde toerental en indompeling van de beluchter. Gezien het hoge aanloopvermogen en de resultaten van de stroomsnelheidsmetingen hebben we hierbij vrijwel zeker te doen met een instabiele overgang van het vloeistofcirculatiepatroon in de beluchtingstank van radiaal naar tangentiaal. De vortex in het midden van de tank heeft een geringere indompeling van de vast gemonteerde beluchter tot gevolg, daarnaast is het verschil tussen de vloeistofsnelheid en de omtreksnelheid van de beluchter geringer met als gevolg een lager energieverbruik van de beluchter.

Het rotatieverschijnsel komt sterker naar voren bij de metingen aan vier verschillende puntbeluchters (B2) in een tank van 10 x 10 x 2,5 m (deze tank is platter dan de bovenvermelde).

De leverancier van de Simcarbeluchter adviseerde voor diepten kleiner dan 2,9 m remschotten op de bodem van de tank te plaatsen. De BSK vertegenwoordiger adviseerde

eveneens het rotatieverschijnsel op te heffen met behulp van remschotten, toen dit probleem zich ook bij deze beluchter manifesteerde.

Volgens de leveranciers van de Gyrox en Simplex beluchters waren geen remschotten nodig, hetgeen leidde tot minder goede resultaten omdat de vloeistof onder verschillende omstandigheden toch in rotatie geraakte. Hierbij viel eveneens de plotselinge overgang op van het stromingspatroon. Een bijzonder verschijnsel deed zich voor bij de Gyrox beluchter; bij geringe indompeling trad een ritmische pulsatie op van de watermassa met staande golven van 10 tot 50 cm hoogte waardoor de beluchter het ene moment geheel vrij kwam van het water en het volgende moment met een klap geheel werd ondergedompeld.

Bij de BSK-beluchter kwamen bij de hogere toerentallen af en toe kortdurende pieken in de energieopname voor ondanks de remschotten die het roteren van de vloeistof verhinderen.

Dit verschijnsel wordt nader beschreven in B3 waarbij een BSK-beluchter werd onderzocht in een tank van 16,8 x 16,8 x 4 m met remschotten. Bij stotend draaien met het ene toerental blijken 2 bedrijfstoestanden voor te komen: bij de ene is het opgenomen vermogen constant, bij de andere zijn er vrij grote fluctuaties. In het laatste geval, dat bij grotere indompeling het meeste voorkwam, is het gemiddelde vermogen ongeveer een factor 1,4 groter dan in het eerste geval. Zonder aanwijsbare reden verandert af en toe de bedrijfstoestand.

Er is voor dit verschijnsel geen verklaring gevonden en het is de leverancier niet gelukt om het op te heffen.

c. Fabrikanten van beluchters

De Simcar beluchter, W.S. Robertson

De evaluatie van de Simcar beluchter (C1) leverde in 1964 al een groot aantal waardevolle gegevens op:

1. Het tangentiale en radiale vloeistofcirculatiepatroon wordt beschreven.
2. De fluctuaties in het energieverbruik bedragen ca. 15% van maximum naar minimum over 2 à 3 min. Deze variaties worden toegeschreven aan het gedrag van de vortex onder de beluchter. Daarnaast worden snelle vermogensvariaties vermeld (binnen enkele seconden), die worden verklaard als een gevolg van cavitatieverschijnselen onder de beluchter waarbij de bellen regelmatig worden "weggewerkt".
3. Instabiliteit door golfbewegingen; indien de beluchter buiten zijn gespecificeerde werkgebied wordt gebruikt treedt een golfbeweging op tussen de hoeken van de tank en het middelpunt. In het ergste geval is de beluchter beurtelings uit het water en volledig ondergedompeld, hetgeen een periodieke schokbelasting voor de motor en reductiekast betekent die tot beschadiging van deze onderdelen kan leiden.
4. Experimenten met andere aantallen schoepen of een andere vorm, bijvoorbeeld zeer diepe schoepen, leverden aanzienlijke vermogensfluctuaties en soms instabiliteiten door golven op.

In C2 = C3 worden de beschreven vloeistof-circulatiepatronen weergegeven in enkele tekeningen.

Een geringe rotatie kan gunstig zijn in verband met het meenemen van het slib om afzettingen op de bodem te voorkomen. Het hogere aanloopvermogen bij roterend bedrijf en

het gebruik van keerschotten om rotatie te voorkomen worden eveneens vermeld.

Naar analogie van de theorie van vloeistofmengers worden schaalregels gegeven met onder andere een "baffle-factor". Deze factor B is 1,0 voor het volledig radiale stromingspatroon en kleiner voor roterende vloeistof. Volgens Robertson wordt het effect van het Froude-getal "geëlimineerd" door uit te gaan van een radiaal stromingspatroon.

De BSK beluchter, J.R. Kealin en K. Tofaute

C4 beschrijft het onderzoek aan 2 typen BSK beluchters met een diameter van 3 meter in een "tank" van 21 x 21 x 5 m. Interessant is vooral de grafiek waarbij het vermogen tegen de tijd is uitgezet. Er werd helaas geen schrijvende vermogensmeter toegepast. Het beluchtertype "66/67" vertoont na de start inslingerverschijnselen waarbij het vermogen met +8 en -8 procent varieert.

Bij de "Favorit" is dit verschijnsel volgens de opgave +2 en -4 procent.

De "slingertijd" bedraagt ca. 5 tot 20 minuten. Na een uur wordt het vermogen stabiel. In de begeleidende tekst wordt in dit verband de nadruk gelegd op het konstant worden van de vermogensopname respectievelijk pompwerking en het belang hiervan voor de levensduur van de motor en de reductiekast.

In de ondiepe tank 20 x 20 x gemiddeld 3 m van de Emscher-genossenschaft werden rotatieproblemen ondervonden. Deze werden opgelost met twee keerschotten in de nabijheid van de tankwand en met een "geleidekruis" onder de beluchter op de tankbodem.

d. Universiteiten en Hogescholen

Een algemeen overzicht met technische gegevens en eigenschappen van diverse beluchtingssystemen inclusief puntbeluchtingssystemen wordt gegeven door W. v.d. Emde (D1) en H.J. Pöpel (D2). Vooral Pöpel geeft veel constructietekeningen van verschillende typen beluchters en verdere van de fabrikanten afkomstige technische documentatie. In de nieuwste uitgave (1974) zijn enkele schoolregels in summier vorm opgenomen en wordt ook de toepassing van keerschotten vermeld.

De economie van de oppervlaktebeluchting wordt op diverse punten onderzocht door C.H. Burchard (D3). Minimaal behoeft de roerenergie slechts ca. 1,5 W/m³ te bedragen. Theoretisch zou een zuurstofinbrengrendement van ca. 20 kg O₂/kWh tot de mogelijkheden behoren.

Vooraf het rendement van de energieoverdracht naar water is van belang. Oppervlaktebeluchters zouden hier in het voordeel zijn ten opzichte van bellenbeluchters. Daar golven energie met geringe verliezen kunnen transporteren maakt hij een oppervlaktebeluchter als een soort stamper waarmee instabiele golven worden opgewekt die zowel een goede O₂-overdracht aan het vloeistofoppervlak als voldoende stroming bewerkstelligen.

Vermoedelijk ten gevolge van cavitatie bedraagt het rendement niet meer dan 0,99 kg O₂/kWh.

Het gedrag van een enkele beluchter in zeer grote bassins, waarbij de wanden vermoedelijk geen invloed hebben, wordt beschreven door J.J. McKeown en D.B. Buckley (D4).

Metingen aan 39 beluchters leverde de volgende vermogensfunctie op: $pK = 1,45 \cdot 10^{-8} (N^3 D^5)$ waarbij N het toerental per minuut en D de beluchterdiameter in ft. voorstelt. Verder wordt het stromingsprofiel van de

diverse beluchters gekarakteriseerd. Vooral de invloed-sfeer van de beluchters in het horizontale en verticale vlak werd onderzocht. Getracht werd de pompcapaciteit van de beluchters te berekenen uit de stroomsnelheidsmetingen. Tevens werden zuurstofmetingen verricht waarbij uit de gevonden resultaten een zuurstofinbrengrendement van 3,0 lb O₂/hphr werd berekend (= 1,9 kg O₂/kWh).

Schaalvergrotingsregels staan reeds lang in de belangstelling van I.Horváth (D5). In een overzichtsartikel met veel literatuurverwijzingen wijst hij op de problemen die ontstaan omdat bij schaalvergroting tegelijkertijd voldaan moet worden aan verschillende tegestrijdige voorwaarden opdat bijvoorbeeld eenzelfde Reynolds en Froude getal gehandhaafd kunnen worden.

Het getal van Froude blijkt voor Kessener-, Inka- en puntbeluchting veelal redelijk bruikbaar te zijn. Op dit gebied is nog veel onderzoek noodzakelijk.

4. Samenvatting en conclusies

Het literatuuronderzoek leverde weinig publikaties op over de problemen die zich voordoen bij puntbeluchtings-systemen. Er zijn slechts een gering aantal "betrouwbare" bronnen gevonden. De hoge kosten die gedegen onderzoek aan beluchtingssystemen op technische schaal met zich meebrengt zullen hiervoor vermoedelijk een belangrijke belemmering vormen. In de literatuur werden problemen zelden gesignaleerd; hierbij kunnen enerzijds commerciële overwegingen van fabrikanten een rol spelen (negatieve reclame), anderzijds is het mogelijk dat onvoldoende of onnauwkeurige waarnemingen zijn verricht (b.v. zonder registrerende vermogensmeter).

In eerste instantie werden onderzocht het zuurstoftoevoervermogen (OC), het zuurstof-inbrengrendement en het verkrijgen van voldoende stroomsnelheid langs de bodem om slibafzettingen te voorkomen (Emschergerossenschaft).

Het roteren van de vloeistof gepaard gaande met fluctuaties in de uitworp van water door de beluchter en fluctuaties in het vermogen, of een abnormaal verlaagd energieverbruik worden nu veelal herkend; er worden meestal passende maatregelen tegen genomen (b.v. het plaatsen van remschotten). De fabrikanten die zelf veel ontwikkelingswerk hebben verricht kunnen deze oplossing van tevoren adviseren (b.v. Simcar en later BSK).

Andere problemen zoals het ontstaan van staande golven en een onregelmatige werking die gepaard gaan met een sterk fluctuerend energieverbruik en/of een plotselinge verandering van de bedrijfstoestand zijn nog onvoldoende onderzocht (Sweeris).

Schaalvergrotingsregels zijn op de complexe materie van de puntbeluchtingssystemen nog maar beperkt toepasbaar (Horváth).

5. Literatuurlijst

In het rapport verwerkte literatuur (chronologisch gerangschikt per

bron

A. Emschergenossenschaft, Essen

1. Knop, E., W. Bischofsberger und V. Stalman.
Versuche mit verschiedenen Belüftungssystemen im technischen Massstab.
Teil 1; Untersuchungen an Oberflächenbelüftern und kombinierten Systemen in Reinwasser.
Essen, Vulkan Verlag 1964.
2. Kalbskopf, K.H.
Strömungsverhältnisse und Sauerstoffeintrag bei Einsatz von Oberflächenbelüftern.
In: Jahrbuch vom Wasser. Band 33, blz. 154 - 171.
Weinheim, Verlag Chemie, 1966.
3. Knop, E.
Die biologische Grossanlage an der Einmündung der Emscher in den Rhein.
Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung e.v. (1967) no. 19, blz. 49 - 71.
4. Knop, E., K.H. Kalbskopf.
Energy and Hydraulic Tests on mechanical Aerator Systems. Conference of the International Association on Water Pollution Research, Prague 1969.
In: Advances in Water Pollution Research; Proceedings of the 4th International Conference, Prague, 1969, Edited by S.H. Jenkins.

5. Knop, E. und K.H. Kalbskopf.
Energetische und hydraulische Untersuchungen an mechanischen Belüftungssystemen. Teil I und II.
Gas und Wasserfach. Wasser-Abwasser 110(1969)No.8, blz. 197-201
110(1969)No.10, blz.226-269

6. Kalbskopf, K.H.
Systeme und Wirkungsweise der Kreiselbelüfter.
H₂O 2(1969)No. 25, blz. 660 - 669.

7. Kalbskopf, K.H.
Flow velocities in aeration tanks with mechanical aerators.
Water Research 6(1972)blz. 413 - 416.

B. IG-TNO (S. Sweeris)

1. Sweeris, S.
Simplexbeluchter 6 HL.
Zuurstoftoevoervermogen en benodigd arbeidsvermogen.
Metingen verricht in de zuiveringsinstallatie van Someren en Asten.
Werkrapport A 54, januari 1970.
IG-TNO.
2. Sweeris, S.
OC-metingen.
Uitgevoerd aan 5 beluchtingsopstellingen, te weten: BSK Favorit \varnothing 1250 mm, Simcar 80, Simplex 6E, Gyrox 144S, Flygt persluchtdiffusor 4701 in een tank van 10 x 10 x 2,5 m.
Werkrapport A 64, maart 1972.
IG-TNO.
3. Sweeris, S.
BSK-beluchter favorit \varnothing 2000 mm.
Zuurstoftoevoervermogen en arbeidsvermogen.
Metingen verricht in de zuiveringsinrichting Enschede-Zuid.
Werkrapport A 67, november 1972.
IG-TNO.

C. Fabrikanten van beluchters

De Simcar beluchter

1. Robertson, W.S.
Evaluation of the Simcar Aerator for Trade Effluent Treatment.
Journal of the Institute of Sewage Purification
1964, blz. 585 - 596.
2. Robertson, W.S.
Aeration in the activated sludge process.
Lezing gehouden tijdens Symposium "Aspects of Biochemical Engineering" at the University of Manchester, December 1969.
3. Robertson, W.S.
Use of mechanical aerators in the activated sludge process
The Chemical Engineer (1971) no. 5, blz. 176 - 181

(C2 = C3)

De BSK-beluchter

4. Kaelin, J.R. und K. Tofaute.
Leistungsfähigkeit von BSK-Turbinen
in grossen Belebungsbecken.
Wasser, Luft und Betrieb 12(1968) No. 12, blz. 768 - 772
13(1969) No. 1, blz. 13 - 17

D. Universiteiten en Hogescholen

1. Emde, W. v.d.
Belüftungssysteme und Beckenformen
In: Tropfkörper und Belebungsbecken; red.
H. Liebmann, 2e druk.
Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und
Flussbiologie, Band 5, blz. 223 - 239.
München, Oldenbourg, 1968.
2. Pöpel, H.J.
Aeration and gas transfer. Delft, university of technology,
1972 Division of sanitary engineering.
3. Burchard, C.H.
Beitrag zur Frage der Oberflächenbelüftung in
Abwasserreinigungsanlagen.
Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft
No. 35
München, Oldenbourg 1968.
4. McKeown, J.J. and D.B. Buckley.
Mixing characteristics of aerated stabilization basins.
Tappi 54 (1971) No. 10, blz. 1664.
5. Horváth, I.
Anwendung der Ähnlichkeit und Modellierung in der
Abwasser-Technologie.
Gas und Wasserfach - Wasser/Abwasser
115 (1974) H3, blz. 128 - 136.

Geraadpleegd, doch niet opgenomen in rapport

Illmer, M.

Simplex Belebungsstufen für die Abwasserreinigung;
Bemessung, Bau, Ausrüstung und Kosten.
Koppers Mitteilungen (1969).

Gyrox-Belüfter, zur Reinigung kommunaler
und industrieller Abwässer.
Lurgi Wasser und Abwasser Informationen 1968.

Koot, A.C.J.

Behandeling van afvalwater II.
Beknopte tekst en tabellen.
Delft, Technische Hogeschool, 1972.
Collegedictaat.

Böhnke, B und Holste, D.

Die biologische Abwasserbehandlung in kleineren
Gemeinden mittels Kreisbelüftung.
In: Technisch-wissenschaftliche Mitteilungen der
Emschergenossenschaft und des Lippe Verbandes (1964),
Heft 6, blz. 65 - 70.

Christ, W en Illmer, M.

Afvalwaterzuivering met Simplexwaaiers
Polytechn. Tijdschr. Procestech.
(1969) No. 4, blz. 119 - 125.
(1969) No. 5, blz. 155 - 161.

Ottengraf, S.P.P.

De menging in enige typen aëratiebassins;
de invloed op de conversiegraad.
De Ingenieur 83 (1971) no. 20, blz. Ch 39 - Ch 50.

Rüb, F.

Oberflächenbelüfter für die biologische
Abwasseraufbereitung.

Wasser, Luft und Betrieb 15 (1971) No. 11, blz. 379 - 402.

Christ, W.

Neue Erkenntnisse beim Einsatz von Simplex-Kreiseln
zur biologischen Abwasserreinigung nach dem
Belebtschlammverfahren.

In: Dechema- Monographie (1968) Bd. 59, blz. 95 - 110.

Landberg, G.G.

Methods and procedures for testing surface aerators.

In: Stream Pollution and Abatement;

ASME-Joint conference on stream pollution and abatement.

New Brunswick, 1969 No. 60 - PID - 1.

Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik

Schriftleitung: O. Pallasch und W. Triebel. Band II.

Berlin, W. Ernst & Sohn, 1969.

Simon-Hartley.

Simcar aeration.

Stoke-on-Trent, 1969.

Price, K.S.

Surface aerator Interaction.

Journal of the Environmental Engineering Division

99 (1973) EE3, blz. 283 - 300.

Koot, A.C.J. en J. Zeper.

Carrousel, A new type of Aeration system with low organic
load.

Water Research 6 (1972) blz. 401 - 406.

Kalinske, A.A.

Evaluation of Oxygenation Capacity of Localized Aerators.

Journal of the Water Pollution Control Federation

37 (1965) blz. 1521 e.v.

Kalinske, A.A.

Field testing of aeration in waste treatment plants.

Stream Pollution and Abatement;

ASME - Joint conference on stream pollution and

abatement, New Brunswick, 1969 nr. 69 - DID - 7.

Eckenfelder, W.W. and D.L. Ford.

Engineering aspects of surface aeration design.

Papers of the 22nd Industrial waste conference;

Purdue University (1967) blz. 279 - 291.

Emde, W. v.d.

Die Technik der Belüftung in Belebtschlammanlagen

Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie

26 (1964) fasc. 2, blz. 338 - 361.

Landberg, G.G., B.P. Graulich and W.H. Kipple.

Experimental problems associated with the testing
of surface aeration equipment.

Water Research 3 (1969) blz. 445 - 455.

McWhirther, J.R.

Fundamental Aspects of Surface Aerators Performance.

In: Proceedings of the Twentieth Industrial

Waste Conference, May 4, 5 and 6, 1965, blz. 75 - 92.

Purdue University.

Maise, G.

Scaling methods for surface aerators.

Journal of the Sanitary Engineering Division.

96 (1970) SA5, blz. 1079 - 1083.

Kumke, G.W., J.F. Hall and R.W. Oeben.
Conversion to activated sludge at Union Carbide's
Institute plant.
Journal of the Water Pollution Control Federation.
40 (1968) no. 8, blz. 1408 - 1422.

Machinefabriek Hubert,
Sneek 1969.
Documentatiebrochure.

Eckenfelder, W.W.
Belüftungssysteme in den Vereinigten
Staaten von Nordamerika.
In ATV Heft 13, blz. 116 - 122 (1961)

Eckenfelder, W.W en D.L. Ford.
Water Pollution Control; experimental procedures
for process design.
Austin, Pemberton Press, 1970.

Emde, W. von der,
Belüftung, Arten und Systeme - Sauerstoffzufuhr
und Energieaufwand.
In: Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung
(1961), Heft 13, blz. 75 - 97.

Fan, L.T., C.K.C Chen, L.E. Erickson and M. Naito.
Effects of axial dispersion on the optimal design
of the activated sludge process.
Water Research 4 (1970), blz. 271 - 284.

Gloppen, R.C. and J.A. Roeber
Rating and application of surface aerators.
Tappi 48 (1965) No. 12, blz. 103A - 105A.

Hinde, N.

Reservoir mixing and aeration system.

Water and Waste Engineering (1970)

blz. 50 - 53

Imhoff, K.

Taschenbuch der Städtentwässerung; 22 Aufl.

München, Oldenbourg, 1969.

Knop, E.

Design studies for the Emscher Mout treatment plant.

Journal of the Water Pollution Control Federation

38 (1966) no. 7, blz. 1194 - 1207

Murphy, K.L. and P.L. Timpany.

Design and analysis of mixing for an aeration tank.

Journal of the Sanitary Engineering Division

(1967) SA5, blz. 1 - 15.

Naito, M., T. Takamatsu and L.T. Fan

Optimization of the activated sludge process optimum volume ratio of aeration and sedimentation vessels.

Water Research 3 (1969) blz. 433 - 443.

Pfeffer, J.T., F.C. Hart and L.A. Schmid.

Field Evaluation of Aerators in Activated Sludge systems.

Water & Sewage Works (1968) blz. 519 - 524.

Reynolds, T.D. and J.T. Young.

Model of the completely mixed activated sludge process.

In: Proceedings of the 21st Industrial Waste Conference 1966, Part 2, blz. 696 - 713.

Lafayette, Purdue University

Tuvcek, F. and J. Chudobah.

Purification efficiency in aeration tanks with complete mixing and piston flow.

Water Research 3 (1969) blz. 559 - 570.

Nogaj, R.J. E. Hurwitz.

Determination of Aerator Efficiency under Process Conditions.

In: Proceedings of the Eighteenth Industrial

Waste Conference, April 30, May 1 and 2, 1963, blz. 674 e.v.

Purdue University

Emde, W. von der

Probleme des Umweltschutzes am Beispiel von grosser Abwasserreinigungsanlagen.

Wechselwirkung zwischen Entwurf und Betrieb.

TH-Wien, Springer Verlag.

(Symposium 1971)

Eckenfelder, W.W.

Aeration efficiency & design.

Sewage & Industrial Wastes

1952, blz. 1221

Knop, E, Bischoffsberger, W. und V. Stalman.

Versuche mit verschiedenen Belüftungssystemen im technischen Massstab, Part I.

Vulkan Verlag 1964.

Christ, W.

Die Simplex-Belüftungstechnik bei der biologischen Abwasserreinigung

In: Koppers Mitteilungen (1962) no. 6,

blz. 215 - 226.

Kalbskopf, K.H. und D. Londong.

Entwicklungstendenzen bei Kläranlagen nach den
Belebungsverfahren für kleine Gemeinden.

Gas- und Wasserfach Wasser/Abwasser 111
(1970) no. 8, blz. 455 - 459

McNicholas, J.

Belüftungsversuche in Manchester.

In: ATV Heft 13, (1961), blz. 104 - 115.

Kalinske, A.A.

Turbulence in aeration basins.

Ind. Water Eng. 8 (1971) No. 3, blz. 35 - 38.

Christ, W.

Der Simplex-Hochleistungskreislauf für die biologische
Reinigung häuslicher, industrieller und gewerblicher Abwasser
nach dem Belebungsverfahren.

Industrieabwasser (1966) No. 1, blz. 22 - 27.

Christ, W.

Neue Erkenntnisse beim Einsatz von Simplex-Kreiseln
zur biologischen Abwasserreinigung nach dem
Belebtschlammverfahren.

In: Dechema-Monographie (1968) Bd. 59, blz. 95 - 110.

Christ, W.

Die Simplex-Belüftungstechnik bei der
biologischen Abwasserreinigung.

In: Koppers-Mitteilungen (1962) No. 6,
blz. 215 - 226.

Stalman, V.

Die BSK-Turbine-ein neues Hochleistungs-
Belüftungssystem der Abwassertechnik.

Das Gas- und Wasserfach, Wasser/Abwasser
106 (1965) No. 22, blz. 613 - 617.

Sweeris, S. en R. Trietsch
Bepaling van het zuurstoftoevoervermogen
(OC) in carrousel
H2O 7 (1974) 5, blz. 90 - 94
7 (1974) 6, blz. 106- 110
IG-TNO publikatie no. 494.

Kayser, R.
Ermittlung der Sauerstoffzufuhr von
Abwasserbelüftern unter Betriebsbedingungen.
Braunschweig, T.H., 1967
Dissertation.

Combinated treatment of domestic and industrial
wastes by activated sludge by the city of Dallas,
Oregon.
Water quality office, environmental protection
agency.
Water pollution control research series 12130 EZR
(1971) May.

Nogaj, R.J.
Selecting waste water aeration equipment.
Chemical Engineering 79 (1972) no. 8, blz. 95 - 102.

Stack, V.T. and D.N. Bibbo,
Specification and selection of
mechanical aeration equipment.
In: Stream Pollution and Abatement;
ASME-Joint conference on stream pollution
and abatement, New Brunswick, 1969, No. 69 - PID - 2.

Felczykowski, S.
Essener-Becken.
In: Berichte der Abwasser -
technischen Vereinigung
(1966), Heft 21, blz. 33 - 38.

Steiger,
Vortair-Accelator.
In: Berichte der Abwasser-
technischen Vereinigung.
(1966), Heft 21, blz. 73 - 78.

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am
Vortair-Belüfter.
Wasser und Abwasser Informationen Lurgi
Gesellschaft für Chemotechnik.
Frankfort, 1964.

Norm AMC.
Buochs, nov. 1966.
Mitteilung.

Christ, W.
Die Einführung des Simplex-Hochleistungskreisels in
die deutsche Abwassertechnik.
In: Koppers-Mitteilungen (1964) No. 9, blz. 355 - 374.

Aeration in waste water treatment - MOP 5.
Journal of the Water Pollution Control
Federation 41 (1969) No. 12, blz. 2026 - 2061

Benedek, P. Dipl.Ing.
Belüftungsversuche in Ungarn.,
In ATV Heft 13 (1961) blz. 123 - 131

BSK-Information: BSK-Turbinen, Leistungsfähigkeit,
Anwendungsbereich, Bemessung.
Luzern, Norm AMC, 1968.

Christ, W.

Simplex-Hochleistungskreisel für die chemische und
biologische Reinigung von Raffinerie- und Chemieabwässern.
Erdöl und Kohle. Erdgas. Petrochemie 18 (1965)
No. 7, blz. 548 - 553.

III. PROBLEMEN UIT DE PRAKTIJK (Enquête)

1.	<u>Inhoud</u>	28
2.	<u>Inleiding</u>	29 - 33
	Algemeen	29
	Overzicht bezochte installaties	30
	Ontwerp- en berechningsprobleem (tabel 1)	31
	Belastingen en belichtingsstelling (tabel 2)	32
	Geometrie en kengetallen (tabel 3)	33
3.	<u>Enquête-resultaten</u>	34 - 40
4.	<u>Conclusies</u>	41 - 43

2. Inleiding

Algemeen

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de gegevens zoals die zijn verzameld bij bezoeken in de tweede helft van mei 1974 aan 21 rioolwaterzuiveringsinstallaties met biologische reiniging middels puntbeluchters in vierkante of rechthoekige bassins.

De bedoeling hiervan is het verkrijgen van een overzicht van de problemen die zich bij dit type installatie voordoen en van de omstandigheden waaronder deze moeilijkheden optreden. Dit als voorbereiding op later te verrichten modelonderzoek.

Teneinde dit rapport niet te laten ontaarden in een kopie van 21 enquêteformulieren, moesten vele van de verzamelde gegevens globaal weergegeven worden en zijn minder belangrijke zaken niet vermeld. Volledige gegevens zijn bij elk der enquêteurs aanwezig.

In tabel I en II is een overzicht gegeven van

- ontwerpgrondslagen
- bedrijfsgegevens
- afmetingen
- vormgeving en groepering
- onderwerpen waarover per installatie nadere toelichting is gegeven.

Naar deze toelichting per installatie wordt in de tabel verwezen via "x" indien aangaands het betreffende onderwerp een opmerking gemaakt wordt dan wel sprake is van een reeds verholpen klacht en via "*" indien het betreffende probleem nog niet verholpen is.

Het onderscheid tussen deze categorieën is soms arbitrair.

Getracht is vervolgens correlaties te vinden tussen het optreden van bepaalde verschijnselen en de geometrie van de bak, het type beluchters en het toerental.

Daartoe zijn in tabel III nogmaals naast elkaar gezet:

- de afmetingen van de bakken
- het geïnstalleerd vermogen, totaal en per m³
- type en toerental van de beluchter.

Daarbij zijn uitgerekend het dimensieloze toerental en enkele kenmerkende geometrische verhoudingen. Deze grootheden zijn in verband gebracht met het optreden van cadans, rotatie en instabiele vermogensopname.

Uit dit overzicht met de bijbehorende toelichting en evaluatie kunnen per onderwerp enkele voorzichtige conclusies worden getrokken.

Overzicht bezochte installaties

	installatie	beheerder	ontwerp	enquê- teur
1.	Enka-Emmen	Enka	RIZA-Enka	DHV
2.	Barger-Es	Z.S. Drenthe	Kuipers	DHV
3.	Zwartemeer	Z.S. Drenthe	Kuipers	DHV
4.	Almelo	Regge+Dinkel	Witteveen+Bos	DHV
5.	Hengelo	Regge+Dinkel	Witteveen+Bos	DHV
6.	Enschede	Regge+Dinkel	T.A.U.W.	DHV
7.	Varsseveld	Z.O.G.	B.K.H.	DHV
8.	Stolwijk	gem. Stolwijk	RIZA	TNO
9.	Montfoort	gem. Montfoort	Mabeg	TNO
10.	Bunnik	gem. Bunnik	Mabeg	TNO
11.	Malden	Z.S. Riv. land	Mabeg	TNO
12.	Epe	Z.S. Veluwe	Mabeg	TNO
13.	Barneveld	Z.S. Veluwe	Mabeg	TNO
14.	Bunschoten	gem. Bunschoten	Mabeg	TNO
15.	Goor	Regge+Dinkel	DHV	BKH
16.	Breda	gem. Breda	Witteveen+Bos	BKH
17.	de Bilt	gem. de Bilt	DHV	BKH
18.	Schijndel	Watersch. de Aa		BKH
19.	Helmond	Watersch. de Aa		BKH
20.	Someren-Asten	Watersch. de Aa		BKH
21.	Dordrecht	Gevudo	Witteveen+Bos	BKH

Tabel I - Ontwerp- en bedrijfsgegevens

installatie	type zuivering	aantal voorbezinktanks	ontwerp	kg BOD/m ³ dag	shlgehalte in kg/m ³	shlindex in ml/g	totale O ₂ in kgO ₂ /h	ontwerp	hydr. bel. in m ³ /m ³ d.	huidg	aantal, groepering en afmeting der bassins	
											0	1
1. Enka - Emmen	industrieel afvalwater	0	(1	1,35**)	3,7	80-200	700	1,1	1,1	1,1	basin 1 t/m V in serie	I: 500 m ³ ; II: 500; III: 400; IV: 20 • 20 • 6,25 - 2500; V: 20 • 40 • 6,25 - 5000
2. Barger Es	laag belast	1	0,6	0,12	7	66		2	0,5	2	maal 2 in serie	13 • 13 • 3,68 = 600 m ³ elk
3. Zwartemeer	Pasveer eend	0	0,22	0,17	4,6	90-115	50	0,4	0,3	2	in serie of parallel	15,3 • 15,3 • 2,9 = 680 m ³ elk
4. Almelo	laag belast	4	0,9	0,7	2,8	190	200	4	2	parallel + 3 mineralisatie	beluchting: 12,5 • 25 • 5,5 = 1725 m ³ ; mineralisatie 15 • 15 • 3,1 = 700 m ³	
5. Hengelo	2 traps akt. sl.	6	0,9	0,8	3,3,5	52-90	194,386	12/4,7	3	twee traps units	1 ^o trap: 20 • 20 • 2,3 = 940 m ³ ; 2 ^o trap: 20 • 40 • 3,25 = 2400 m ³	
6. Emscheide	laag belast	2	0,9	0,45	2	275	180	2,7	1,1	2 parallel	16,8 • 16,8 • 4 = 1125 m ³ elk	
7. Varsseveld *)	Pasveet eend	0	0,22	0,25*	3,5-6	100-200	94,6	0,54	0,54*	2 parallel	20 • 20 • 4,35 = 1750 m ³ elk	
8. Stolwijk	Pasveer eend	0	0,22	0,17	4	48	31	0,4	0,3	1		19 • 19 • 2,8 = 960 m ³
9. Montfoort	deelmineralisatie	0	0,22	0,10	4,5-5,3	155-180		0,55	2	in serie	19,2 • 19,2 • 4,8 = 1760 m ³ elk	
10. Bunnik	deelmineralisatie	0	0,27	0,54	4,5-5	elecht	180	0,7	0,7	2 maal 2 in serie	18,6 • 18,6 • 4,65 = 1600 m ³ elk	
11. Malden	deelmineralisatie	0	0,23	0,23	4,7	205-240				2 in serie	12,5 • 12,5 • 2,75 = 410 m ³ elk	
12. Epk *)	deelmineralisatie	0	0,37	0,38*	5,3-6	125	280	0,6	0,4*	2 maal 2 in serie	18 • 18 • 4,86 = 1550 m ³ elk	
13. Baneveld	laag belast	0	0,4	0,4	4,5-5	150-170	360			2 maal 2 in serie	18 • 18 • 4,85 = 1542 m ³ elk	
14. Bunschooten	laag belast	0	0,45	0,23	5,5	150		1,17	0,84	2 maal 2 in serie	18,5 • 18,5 • 4,4 = 1491 m ³ elk	
15. Goor	laag belast	2	0,75	0,33	2,7	320	150			2 parallel	20 • 40 • 3,5 = 2800 m ³ elk	
16. Breda	hoog belast	3	1,4	1,1	2,5	120	542			3 parallel	30,75 • 73,5 • 2,4 = 5400 m ³ elk	
17. De Bilt	laag belast	2	1,02	1,53	3	variabel	100			3,75	21 • 21 • 2,75 = 1200 m ³	
18. Schijndel	laag belast	1	0,75	0,7	4	100-120	?			3,2	20 • 20 • 3,1 = 1100 m ³	
19. Helmond	laag belast	4	0,8		8	100	?			5	21,6 • 108 • 3,5 = 8000 m ³ elk	
20. Someren - Asten	laag belast	1	1,5	2,0	4	100-230	?			7,1	20 • 20 • 3,85 = 1400 m ³	
21. Dordrecht	laag belast	2	1,33	1,16	5	117	?			10	33,3 • 33,3 • 2,7 = 3000 m ³ elk	

*) Deze installaties zijn slechts voor de helft in bedrijf

***) kg COD/m³d

Tabel II - Beluchters en beluchteropstelling

Installatie	aantal beluchters	plaatsing beluchters	Type(n) beluchters	Stijghoogte: $\frac{1}{\phi} \frac{min.}{max.} / h$ l = lengte h = afstand tot bodem	opmerkingen (x) en klachten (*) betreffende onderstaande onderwerpen worden op de volgende bladzijden per installatie besproken										
					vermogens opname	vuil en onbalans beluchter	vervangings beluchter	ruis	remschotten	bodem configuraties	cadans	trillingen en onbalans brug	tandwielkasten	spatten	
1. Enka - Emmen	8	1 + 1 + 3 + 1 + 2 in basis I tot V	Simplex ϕ 2,4 2,4/1,5/3,0/3,0	? / 1,50/0,25								x		x	*
2. Barger - Es	4	1 per bassin	Simcar ϕ 2,29												*
3. Zwartemeer	2	1 per bassin	Simcar ϕ 2,03												
4. Almelo	4+2	2 per aeratiebak + 1 per mineralisatiebak	Simcar ϕ 2,95 + Landy ϕ ?												
5. Hengelo	9	1 ^e trap: 1 per bak; 2 ^o trap: 2 per bak	Simplex ϕ 3,0	? $\frac{1,68}{3,20}$ 0,4 in een bassin											
6. Enschede	2	1 per bassin	BSK Favorit 2000 ϕ 2,0	1,56 1,25 1,48	*	*	x	x	x	x	*	*			
7. Varsseveld	2	1 per bassin	Landy ϕ ? (was Gyrox ϕ 2,06)			x	x	x	x		x				
8. Stolwijk	1		Simcar ϕ 2,29		x		x		x		*	*			
9. Montfoort	2	1 per bassin	BSK Gigant ϕ 2,0		*	*					*	*			
10. Bunnik	4	1 per bassin	BSK, 2 * "66/67" + 2 * Gigant, ϕ 2,0		x	*	*	*			*	*		x	
11. Malden	2	1 per bassin	BSK, "66/67" + Gigant ϕ 1,25			*					*	*			
12. Epe	4	1 per bassin	Simplex ϕ 2,81	? 1,22 ?		*					*	*		x	
13. Barneveld	4	1 per bassin	3 * Simplex ϕ 3,05; 1 * KAR	2,5 1,29 0,2	*	*	x				x	*	*	x	
14. Bunschoten	4	1 per bassin	Gyrox ϕ 2,06											x	
15. Goor	4	2 per bassin	Simcar ϕ 2,85						x		x			x	
16. Breda	18	6 per bassin, 2 per brug	Gyrox ϕ 2,54								x	x			
17. de Bilt	4	4 in 1 bak in vierkant	Simcar ϕ 2,29						x					*	
18. Schijndel	4	4 in 1 bak in vierkant	Simplex ϕ 1,8	290/0,91/0,15	x		x		x					x	
19. Helmond	10	5 per bak achter elkaar	Spaans ϕ 2,9						x					*	*
20. Someren - Asten	4	4 in 1 bak in vierkant	Keppers K5 ϕ 2,5				x							*	
21. Dordrecht	8	4 per bak in vierkant	BSK Favorit 2000 ϕ 2,0		*	*				x					

3. Enquête-resultaten

1. R.w.z.i. Enka Glanzstoff - Emmen.

Cadans kan worden opgewekt bij te grote dompeldiepte, in het overbelastingsgebied van de motoren. Golfhoogte + 0,5 m.

Tandwielkast verwisseld wegens tandflankbeschadiging.

Spatten wordt als problematisch beschouwd, mogelijk mede door de rode kleur van de bassininhoud.

2. R.w.z.i. Barger - Es.

Geëxperimenteerd wordt met kunststof anti-spatgordijnen.

3. R.w.z.i. Zwartemeer

4 remschotten 0,8 x 1,45 m. diagonaal op de bodem onder de beluchter.

Bij de eerste beproeving bleken de vrij lichte stalen brug en de beluchter te slingeren. Daarna zijn onder de beluchters stalen juk-constructies gebouwd. Dit bleek afdoende.

Tandwielkasten gerepareerd wegens te lichte lagering. Spatten wordt hinderlijk geacht.

4. R.w.z.i. Almelo - Vissedijk.

Naast de gewone aeratiebassins zijn er een drietal (overdekte) slibmineralisatiebassins waarin het spuislib wordt belucht. Bij de enquête was er één bassin in bedrijf, het tweede was leeg maar bedrijfsklaar, in het derde was nog geen beluchter gemonteerd.

Cadans in de aeratiebassins kan optreden bij uitgeschakelde aanvoer en slibretour nadat aanzienlijke hoeveelheden over de overstortrand zijn verdwenen.

Bij beproeving met schoon water bleek in de slibmineralisatiebassins rotatie en cadans op te treden. Dit is geheel ondervangen door het plaatsen van remschotten onder de beluchter op de bodem.

Een tandwielkast is gereviseerd na droogdraaien i.v.m. kapotte oliepompe.

5. R.w.z.i. Hengelo.

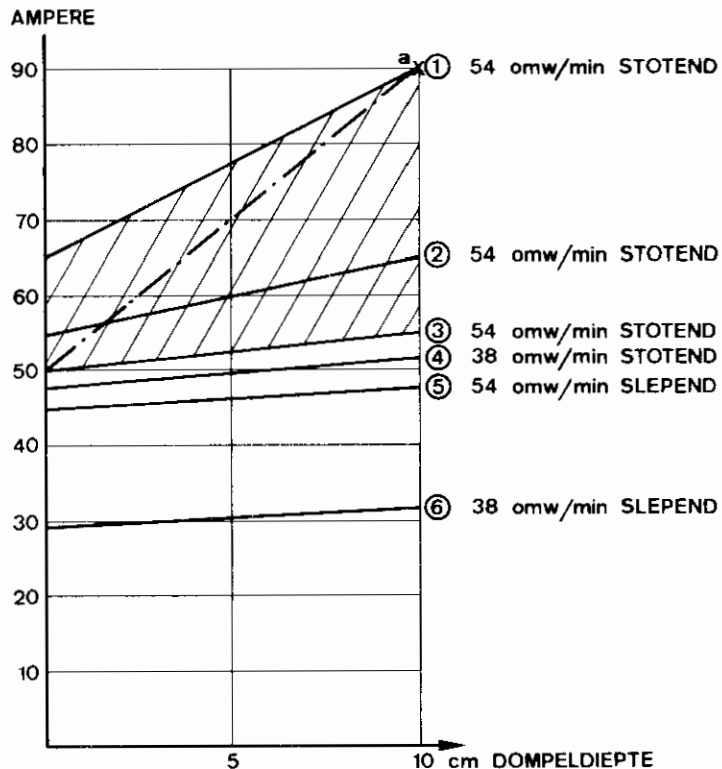
In de eerste trap trad rotatie en cadans op (golven zeker 0,8 m.). Anticadansschotten in hoeken hielpen niet. Twee remschotten 0,95 x 1,5 aan de uiteinden van de bruggen

vlak onder de waterspiegel + kruis in stijgbuis bleken afdoende.

Voordat deze schotten waren geplaatst traden tevens trillingen op in de brugconstructie.

6. R.w.z.i. Enschede Zuid.

Ernstige problemen door onstabiele vermogensopname door de beluchter.



Deze laten zich het best illustreren aan de hand van bovenstaande grafiek. (De grafiek heeft overigens kwantitatief geen waarde en dient slechts als illustratie bij dit relaas).

Combinaties van de keuzemogelijkheden hoog en laag toerental, stotend en slepend geven vier verschillende bedrijfstoestanden van de beluchter.

De situaties hoog toerental - slepend en laag toerental, stotend en slepend geven geen probleem. Het hierbij opgenomen vermogen wordt gekarakteriseerd door de lijnen 4,5, en 6.

Bij hoog toerental - stotend is de toestand instabiel. De beluchter zit dan in het gearceerde gebied en verspringt herhaaldelijk tussen de lijnen 1,2 en 3, terwijl gewenst ware dat het verloop zou zijn volgens lijn 1, of nog liever volgens de streep-punt lijn.

Op de lijnen 1 en 3 is het wateroppervlak stabiel. Op lijn 2 komt, zoals de klaarmeester het uitdrukt, "de klots erin".

Het water wordt weggegooid tot de wand, keert terug en stuit halverwege op de volgende golf. Hierdoor ontstaat als het ware een bak in de bak, met een staande golf-beweging. Dit alles volgens de klaarmeester.

Bij inschakelen bij maximale dompeldiepte start de beluchter doorgaans in het punt dat in de grafiek met "a" is aangeduid na kortere of langere tijd begint het overspringen tussen de lijnen 1,2 en 3. Aangezien het rendement hierbij vermoedelijk praktisch gelijk blijft neemt dus de ingebrachte hoeveelheid zuurstof af.

Door steeds uit- aan schakelen zodra punt "a" verlaten werd heeft men eenmaal een OC van ongeveer 90 kg. O₂/h kunnen meten.

Rotatie heeft men door het plaatsen van remschotten redelijk kunnen ondervangen.

Voor problemen m.b.t. de instabiele vermogensopname heeft men tot op heden geen behoorlijke oplossing gevonden. In de loop van juni '74 zullen andere beluchters worden gemonteerd met aan de onderzijde gesloten en aan de bovenzijde open kanalen.

Het waterschap gaf de voorkeur aan beluchters welke aan de onderzijde open zijn (eveneens leverbaar door BSK) doch deze kunnen niet zonder meer op de nu aanwezige assen worden gemonteerd.

I.v.m. de optredende problemen is geëxperimenteerd met remschotten, kegels op de bodem, stijgbuis, tot op heden met onvoldoende resultaat.

Bij hoog vermogen treden in de brugconstructie trillingen op.

7. R.w.z.i. Varsseveld

De oorspronkelijke Gyrox - beluchters zijn vervangen door Landy. Met de Landy doen zich tot op heden geen problemen voor.

Aanleiding tot het vervangen van de Gyrox waren verstoppingen, onbalans en trillingen.

Rotatie is geconstateerd in schoon water. Is volledig verholpen door remschotten op de bodem.

Met de Gyrox d.d. = 0 trad na \pm 30 minuten cadans op. Deze werd verholpen door anti-cadansschotten in te hoe-ken. Dit hielp niet tegen trillingen.
Golven van 0,5 m.

8. R.w.z.i. Stolwijk

Simcar beluchter 100" is vervangen door Simcar 90" i.v.m. cadans.

Cadans treedt op bij geringe dompeldiepte (bij \emptyset 100" als d.d. < 0 , bij \emptyset 90" als d.d. $< - 5$ cm).

Golven tot 1,25 m met motorstroom tot over 100 A (opgegeven vollaststroom is 56 A).

Anti-cadansschotten zullen eventueel geplaatst worden. Remschotten waren reeds bij het ontwerp voorzien.

Bij ondiep indompelen ontstaan trillingen. (discontinue).

9. R.w.z.i. Montfoort

Beluchter (BSK Gigant, open) wordt om de twee weken schoongemaakt.

Bij vervuiling onregelmatige wateruitworp en onbalans. Bij geringe indompeling golven tot 0,4 m.

Brugconstructie zwaait licht heen en weer.

Bij vervuiling, geringe indompeling en stotend draaien discontinue trillingen en schommelingen in vermogensopname.

10. R.w.z.i. Bunnik

Aeratiebassins 2 maal 2 in serie. In de voorste bassins beluchters BSK 66/67, gesloten met vuilversnijder, in de achterste BSK Gigant open.

Bij de beluchter met vuilversnijder treedt verstopping op waardoor de "pompcapaciteit" afneemt en de tankinhoud gaat roteren.

De open beluchters "spinnen" (verzamelen vuil) waardoor op den duur ook verstopte kanalen optreden. Hiervoor: onbalans, golven en trillingen.

De regelbaarheid van de beluchters is niet zo best. Bij stotend draaien heeft een variatie van de dompeldiepte over een groot deel van het instelbereik vrijwel geen effect op de vermogensopname.

Achterste tandwielkast: minder fraai slijtagebeeld.

11. R.w.z.i. Malden

Eerste beluchter BSK Gigant, open, tweede beluchter (in serie) BSK 66/67 gesloten. Onder eerste beluchter venturi voor aanzuigen retourslib.

Retourslib wordt door 1e beluchter aangezogen. Vezels blijven hangen onder de beluchter en vallen (soms tweemaal per dag) als een prop terug in de venturi. IJsvorming aan de beluchter vormt een probleem.

12. R.w.z.i. Epe.

Circa 1 x per maand moeten de kanalen van de beluchter (Simplex) vanuit een bootje worden schoongemaakt. 's Winters ijsvorming.

Cadans en onregelmatige uitworp alleen bij verstopping, golven 0,2 m. Hierbij ook trillingen en onbalans.

In alle tandwielkasten (Westfalia) zijn de bovenste lagers vervangen.

De beluchteras vereist onderhoud i.v.m. corrosie waardoor de verstelinrichting gaat vastzitten.

13. R.w.z.i. Barneveld.

Naast 3 Simplex beluchters (met stijgbuis) is sinds 4 maanden een KAR beluchter (zonder stijgbuis) gemonteerd, een experimenteel ontwerp van Koppers en Kalbskopf.

Er is van beluchter gewisseld i.v.m. propfen vuil in de stijgbuis welke praktisch niet te verwijderen waren (garantiekwestie). KAR is eenvoudiger schoon te maken.

Vermogensopname KAR is niet stabiel.

Simplex na 3 uur draaien 25% lagere motorstroom.

Na vervanging Simplex door KAR trad cadans op (0,75 m.). Opgelost door één horizontaal schot in de hoek.

Door vervuiling onbalans en trillingen.

Tandwielkasten (Westfalia)

- olie lekkage langs de as
- condensvorming: roestige lagers vernieuwd
- borging bovenste lagers losgelopen.

14. R.w.z.i. Bunschoten.

Cadans alleen bij stopzetten influent en retourslib. (Golven 1,2 m.).

Alle tandwielkasten zijn terug geweest naar fabriek ter vervanging lagers van de verstelinrichting (garantie, Hansen - patent).

15. R.w.z.i. Goor.

Remschotten reeds in ontwerp opgenomen.
Cadans alleen nadat influent en retourslib al enige tijd uitgeschakeld zijn.

Hoogte-verstelinrichting (Hansen) tandwielkasten zat geregeld vast. Is gerepareerd in fabriek (alle vier tandwielkasten).

16. R.w.z.i. Breda.

Stand hoog toeren - stotend geeft bij geringe dompeling (0 cm) pulsaties. Bij grotere dompeldiepte (> 5 cm) is het opgenomen vermogen te hoog.

Hoog toeren - slepend geeft bij d.d. < 5 cm pulsaties.

Laag toeren - stotend geeft bij ~ 0 cm pulsaties.

Uit veiligheidsoverwegingen wordt gedraaid bij dompeldiepten tussen 10 en 15 cm en niet met hoog toeren - stotend.

17. R.w.z.i. De Bilt.

Remschotten reeds in ontwerp opgenomen.

Tandwielkasten (Hansen) vormen een lijdensweg.

18. R.w.z.i. Schijndel.

Bij versterkte invoer in compartiment IV werd het water direct over de overstortrand geslingerd. Bij deze methode van bedrijfsvoering ontstond regelmatig een vortex onder de beluchter welke wegliep naar de overstortrand. Hierbij werd een afname van het vermogen geconstateerd.

Tandwielkasten (Westfalia) veel roestvorming.

Bij twee beluchters is de verbindingsbout tussen beluchteras en verstelinrichting losgetrild waardoor de beluchter op de stijgbuis zakte.

19. R.w.z.i. Helmond.

Remschotten reeds in ontwerp opgenomen.

Spatten (nevel) is aanzienlijk. Voorzieningen worden overwogen.

20. R.w.z.i. Someren - Asten.

Geïnstalleerde beluchters Simplex 6 HL na twee jaar vervangen door Koppers K5 wegens onvoldoende O₂ inbreng. Tevens werd het motorvermogen vergroot van 15 kW tot 22 kW. Er wordt continu op vol vermogen gedraaid. Hoewel volgens de fabrikant de oorspronkelijke tandwielkasten geschikt zijn voor het grotere vermogen zijn bij één kast verschillende tanden afgebroken.

21. R.w.z.i. Dordrecht.

Men gaat in één bassin proeven nemen met kegels op de bodem onder de beluchters met als doel een gelijkmatiger opbrengst.

Het komt namelijk in beide bassins voor dat door onbekende oorzaak één van de vier beluchters meer vermogen opneemt en thermisch uitslaat.

Beluchters: vaak verstopte kanalen door plastic dat van een naburig fabrieksterrein in het bassin waait.

4. Conclusies

- Vermogensafname

Enkele installaties kampen met een nog niet verklaarde instabiele vermogensafname.

In Enschede (BSK) en Barneveld (Simplex en KAR) wordt soms te weinig opgenomen.
In Dordrecht (BSK) neemt soms plotseling één beluchter teveel vermogen af waardoor hij thermisch uitslaat.
In Breda (Gyrox) is sprake van "pulsaties".
In Almelo (mineralisatie) treedt instabiele vermogensafname op wanneer de remschotten verwijderd worden.
Instabiele vermogensafname gaat in bovengenoemde gevallen meestal niet samen met visueel waarneembare verschijnselen.

Enkele factoren die een stabiele, hoge vermogensafname schijnen te verstoren zijn, blijkens tabel III:

- gesloten beluchters;
- hoog toerental;
- meer dan twee beluchters in één bak, geplaatst in vierkante of rechthoekige opstelling (Dordrecht, Breda, Barneveld, Schijndel);
- het niet plaatsen van remschotten in platte bakken (Almelo).

Instabiele vermogensafname gaat soms ook samen met de visueel waarneembare verschijnselen cadans en rotatie of met vervuiling van de beluchter.

- Cadans

In vele gevallen kan cadans worden opgewekt door te geringe of te grote indompeling, doch komt hij bij normaal bedrijf niet voor. Deze gevallen kunnen verder buiten beschouwing blijven.

Ook kan cadans optreden door vervuiling en verstopping van de beluchter. Dan kan eveneens niet van een hydraulisch probleem worden gesproken.

Cadans kan worden opgeheven door plaatsing van remschotten (Almelo - mineralisatie, Hengelo - 1e trap) of anti-cadansschotten (Barneveld, Varsseveld).

In Stolwijk (zeer brede, platte bak) treden, ondanks het feit dat reeds remschotten zijn geplaatst, hoge (1,2 m !) staande golven op. De (Simcar) beluchter is reeds door een kleinere vervangen, verdere voorzieningen worden nog overwogen.

Het optreden van cadans zou samen kunnen hangen met:

- het ontbreken van remschotten in platte bakken;
- zeer grote breedte/diepteverhouding, ondanks het plaatsen van remschotten;
- hoog toerental;
- meerdere beluchters in één bak in vierkant- of rechthoek-opstelling.

De enquête geeft hieromtrent geen uitsluitel.
Modelonderzoek geeft wellicht meer inzicht.

- Rotatie

Geconstateerde rotatie kan met remschotten steeds worden opgeheven. In vele installaties waren deze reeds in het ontwerp voorzien.

Zeer waarschijnlijk zou men na het verwijderen hiervan evenals in Almelo-mineralisatie instabiele vermogensafname, en in bepaalde situaties rotatie en cadans kunnen waarnemen.

Waar de verhouding breedte compartiment./diepte groter is dan 4 zijn remschotten reeds in het ontwerp opgenomen of bleken ze naderhand noodzakelijk.

De enquêteresultaten geven een aanwijziging dat meerdere beluchters achter elkaar in een rechthoekige bak wat minder problemen geven dan vierkante bakken.

- Vervuilde beluchter

Vuilophoping en verstopping in de beluchter treedt op in:

Enschede,	BSK Favorit 2000, gesloten
Varsseveld,	Gyrox, gesloten, is inmiddels vervangen door Landy
Montfoort,	BSK Gigant
Bunnik,	BSK Gigant en BSK 66/67
Malden,	BSK Gigant en BSK 66/67
Epe,	Simplex
Barneveld,	Simplex en KAR
Dordrecht,	BSK Favorit.

- Vervanging beluchters

Enschede,	wegens instabiele vermogensopname wordt BSK Favorit binnenkort vervangen door een andere BSK beluchter.
Varsseveld,	wegens onbalans en verstopping is Gyrox vervangen door Landy.
Stolwijk,	wegens cadans Simcar 100" vervangen door Simcar 90".
Barneveld,	wegens vuilophoping in stijgbuis Simplex vervangen door KAR
Someren- Asten,	wegens te geringe OC Simplex 6 HL vervangen door Koppers K5.

- Trillingen en onbalans brug

Deze hangen steeds samen met onbalans van de beluchter door rotatie, cadans of verstopping en worden op dezelfde wijze opgelost.

Slechts in Zwartemeer trad onbalans op door een te lichte brugconstructie. Hier is een extra steunconstructie gebouwd.

- Tandwielkasten

Aan vele tandwielkasten blijken in de loop der tijd grotere of kleinere reparaties noodzakelijk te zijn geweest.

- Spatten

Veelal een subjectieve kwestie doch wordt bij wind in het algemeen wel als vervelend ervaren.

IV. DYNAMISCH ONDERZOEK

1.	<u>Inhoud</u>	44
2.	<u>Dynamisch onderzoek te Almelo</u>	45 - 56
	Nadere analyse enquête	45 - 46
	Uitvoering onderzoek	46 - 48
	- metingen	46
	- resultaten	47
	Samenvatting	49
	Bijlagen en figuren	50 - 56
3.	<u>Snelheidsmetingen te Almelo</u>	57 - 70
	Inleiding	57
	Doel van de meting	57
	Uitvoering	57 - 58
	Verwerking meetresultaten	58 - 59
	Conclusies	59 - 60
	Slotopmerkingen	60
	Bijlagen	61 - 70
4.	<u>Snelheidsmetingen te Stolwijk</u>	71 - 77
	Inleiding	71
	Doel van de meting	71
	Uitvoering van de meting	71
	Verwerking meetresultaten	72
	Conclusies inzake het snelheidspatroon	72
	Bijlagen	73 - 77

2. Dynamisch onderzoek te Almelo

Nadere analyse enquête (zie bijlage 1.)

Ter voorbereiding van het dynamisch onderzoek is de uitgevoerde enquête nader onderzocht op de punten rotatie en cadans.

Gezocht is naar een relatie tussen de beschreven verschijnselen.

Volgens de enquête van 22 installaties (Almelo 2 stuks) kan bij 12 installaties cadans optreden onder één van de volgende omstandigheden:

- a. Bij 7 installaties door verkleining van de dompediepte.
In 5 gevallen verminderde of verdween de cadansgevoeligheid door het plaatsen van anti-rotatieschotten. In 1 geval werden tevens anti-cadansschotten geplaatst, in een ander geval bleek het plaatsen van één anti-cadansschot voldoende.
(Door de rotatie daalt het niveau ter plaatse van de beluchter, waardoor een verkleining van de dompediepte).
- b. In 4 gevallen gaf vervuilen of onregelmatige wateruitworp aanleiding tot cadans (Bunnik, Epe, Barneveld en Enschede).
- c. In 1 geval door vergroten van de dompediepte (Enka - Emmen), waarbij in het overbelastingsgebied van de motor cadans wordt onderhouden.

N.B. Het verschijnsel kan ook worden gegenereerd met behulp van een klein model (afmetingen: 0,7 m x 0,7 m x ca. 0,06 m), waarin een Simcar-beluchter (\varnothing 10,5 cm) opgesteld. Daarbij kan een staande golf worden geconstateerd. Tevens bleek dat deze golf kan worden gedempt door het plaatsen van schotten, o.a. een vertikaal schot op de knoop van de staande golf (grootste waterverplaatsing!) of een horizontaal schot in de hoek van de bak.

Uitvoering onderzoek

Het aanvankelijk uit te voeren onderzoek op de installatie te Stolwijk is komen te vervallen, daar hiervoor geen toestemming kan worden verkregen. In Stolwijk moest derhalve worden volstaan met een op 10 juli 1974 verricht visueel onderzoek, waarbij een cadans werd waargenomen van dezelfde aard als te Almelo (zie onder) en in het model. Op 23 t/m 25 juli 1974 werden op de rioolwaterzuiveringsinstallatie Almelo metingen uitgevoerd.

Gemeten is in de mineralisatiebassins (zie bijlage 2). In mineralisatiebassin 1 is gemeten onder normaal bedrijf (met anti-rotatieschotten, 4 tot 5% d.s.), in mineralisatiebassin 2 is gemeten met effluent (anti-rotatieschotten verwijderd).

Metingen.

- a. Registratie van de variatie in de waterhoogten (golfhoogte, fase) op diverse plaatsen in de bak. Op één plaats werd deze meting continu verricht (fig. 3, meetpunt 1). De overige meetpunten werden achtereenvolgens doorlopen.
- b. Registratie van trillingen van de motor-, tandwielkasten brugconstructie ter plaats van de beluchter in verticale richting.

- c. Registratie van motorstroom in één van de drie toevoerdraden via een stroomtransformator.
- d. Registratie van trillingen van motor-, tandwielkast- en brugconstructie in het horizontale vlak.

Opm.

Snelheidsmetingen gaven geen betrouwbare resultaten in verband met vuilaanhechting aan de snelheidsmeter.

Resultaten.

Bassin 1.

Normaal bedrijf, dompeldiepte (zie ook bijlage 2) permanent ingesteld op - 10 cm, rustig beeld met willekeurig golfpatroon in bak, geen uitgesproken frequenties. De af en toe optredende golffrequentie van 1 Herz dempte snel uit (zie fig. 1).

Trillingen van brug met motor en tandwielkast waren acceptabel (amplitude < 25 μ). De voornaamste trillingsfrequenties waren 2,5 en 8 Herz. De motorstroom was constant.

Bassin 2.

Bij dompeldiepte - 20 cm trad na \pm 15 minuten cadans op, welke na ca. een $\frac{1}{2}$ uur in evenwicht kwam. Fig. 2 geeft uiterste waarden op de meetpunten 1, 2 en 9 (zie ook fig. 3 en 4). Meetpunten 2 en 9 zijn met elkaar in tegenfase.

Fig. 3 geeft totale golfvorm in de bak schematisch weer.

Maximale golfbeweging was 60 cm (amplitude 30 cm), de frequentie ca. 0,3 Herz. In de bak ontstond een staande golf met een golflengte ongeveer gelijk aan de lengte van de diagonaal van het bassin. De knoop ligt niet vast, doch beweegt een weinig in het horizontale vlak.

De eigen frequenties (zie fig. 5) van motor-, tandwielkast en brugcombinatie waren: 2,5 en 8 Herz (Z-richting) en 35 en 43 Herz (Y- en X-richting).

De bijbehorende toerenfrequentie van de motor is 25 Herz. De constructie is dus voldoende stijf.

Uit het beeld van de trillingen is te zien (zie fig. 2), dat de brug bij het stijgen van het niveau aangesloten wordt in zijn eigen frequentie (8 Herz). Deze trilling is voor de komst van de volgende stoot al weer uitgedempt. De constructie is dus voldoende gedempt.

Trillingen van de brug tijdens bedrijf zijn acceptabel (amplitude $< 25 \mu$). In het spectrum worden bij cadans hoogfrequente trillingen zichtbaar (150, 170, 200 en 270 Herz), vermoedelijk tandfrequenties die ook hoorbaar zijn (kreunend geluid).

De motorstroom wisselt evenredig met de waterstand op meetpunt 9 van ca. 34 A tot ca. 62,5 A.

Bij dompeldiepte - 10 cm kan ook na vier uren geen cadans worden opgewekt. Bij een dompeldiepte van - 15 cm ontstond na een uur ook geen cadans. Bij verlaging tot - 20 cm werd binnen een kwartier cadans ingezet, welke na ca. een $\frac{1}{2}$ uur een evenwicht bereikte. Na vervolgens verhogen van het niveau met 7 centimeter nam de cadans successievelijk af om tenslotte uit te dempen.

Waargenomen werd bij - 10 cm dat zich cycloonwervels van de rotor losmaakten met tussenpozen van 1 à 4 min. De motorstroom varieerde in hetzelfde tempo.

Samenvatting

- A. In drie gevallen t.w. Stolwijk, Almelo en in een model bleek bij cadans een staande golfbeweging op te treden, waarbij een hele golflengte gelijk leek aan de diagonaallengte van de bak. De golven konden een zodanige grootte bereiken dat de rotor vrijkwam.

- B. De golfbeweging (resonantie) in de bak deint lang na, met andere woorden het betreft hier een zwak gedempt resonantiesysteem. De cadans kan met een op het juiste moment aangrijpende wisselkracht worden onderhouden. Deze kracht hoeft in feite alleen de dempingskrachten te compenseren.

- C. De geconstateerde cadans laat zich gemakkelijker inleiden naarmate de dompeldiepte van de rotor kleiner is. Bij een in cadans zijnde bak kan de cadans successievelijk worden verminderd en zelfs worden opgeheven door geleidelijke verhoging van het niveau.

- D. Onregelmatige stroomopname valt samen met het weglopen van de cycloonwervel die onder de rotor is opgebouwd. Dit verschijnsel treedt met onregelmatige tussenpozen op.

Bijlage 1.

Installatie	Cadans	Cadans opgelost d.m.v.			Geen (totale) oplossing
		Anti-rotatie- schotten	Anti-cadans- schotten	Antirotatie- + Anti- cadansschotten	
Enka - Emmen	0			0	
Barger - Es Zwartemeer					
Almelo					
Almelo (min.)	0	0			
Hengelo	0	0	0*		0*
Enschede	0	0*			0*
Varsseveld	0			0	
Stolwijk	0	0*			0*
Montfoort					
Bunnik	0				
Malden					
Epe	0				
Barneveld	0		0		
Bunschoten	0				
Goor	0	0*			0*
Breda	0				0
De Bilt					
Schijndel					
Helmond					
Someren - Asten					
Dordrecht					
<u>Nadere analyse enquête</u>					

Bijlage 2.

Bassin: Inhoud 600 - 700 m³
Diepte 2,66 - 3,10 m
Breedte 15 m
Lengte 15 m

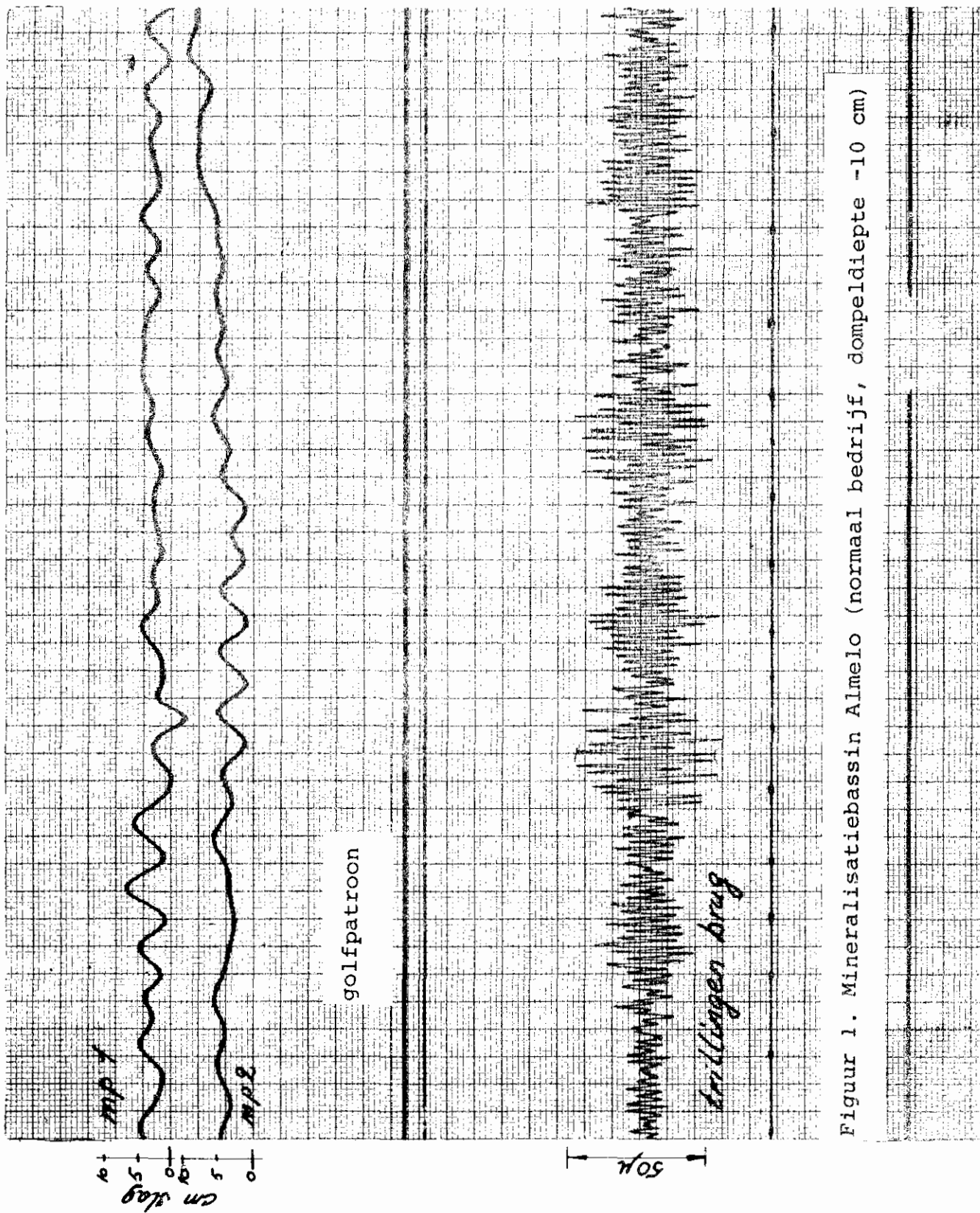
Motor: Type Heemaf
Max. vermogen 55 kW bij 380 V
COS $\gamma = 0,88$
A max = 105 A
Toerental 1475 omw./min.

Tandwielkast: Type Hansen Patent, 730 kT
Overbrengingsverhouding: 34 : 1

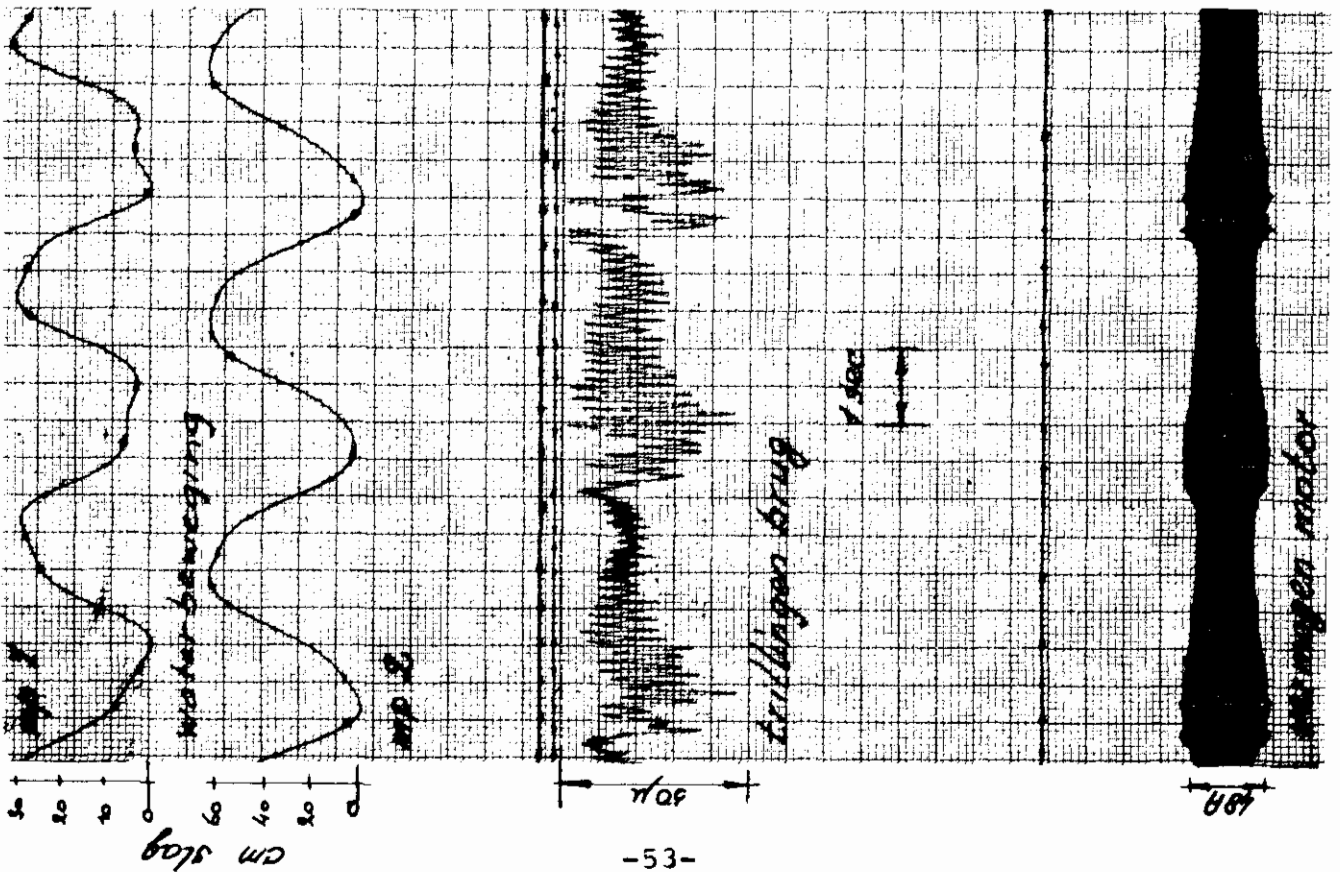
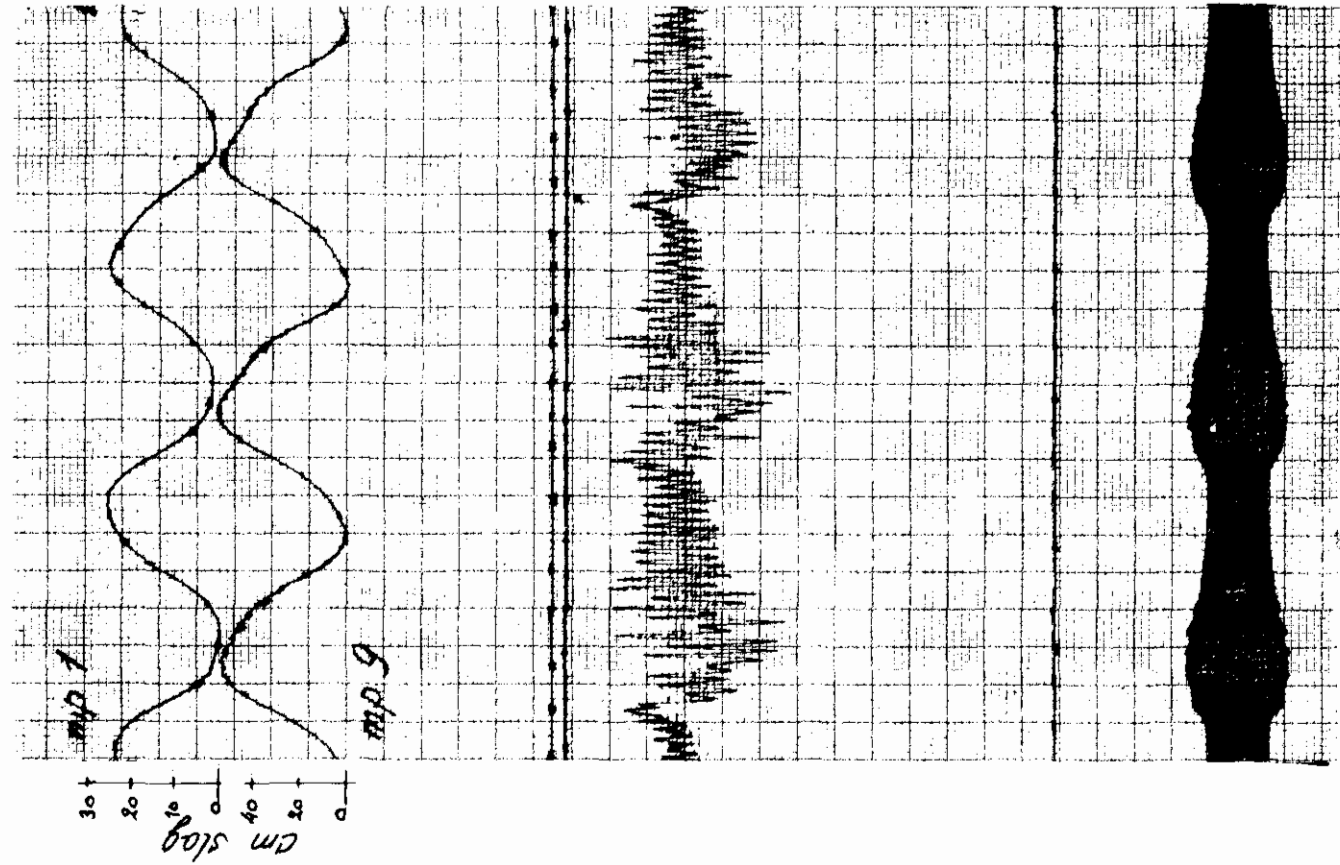
Beluchter: Type Landy \emptyset 2 m
Toerental 43,4 omw./min.

Schotten: 0,7 x 2 m²

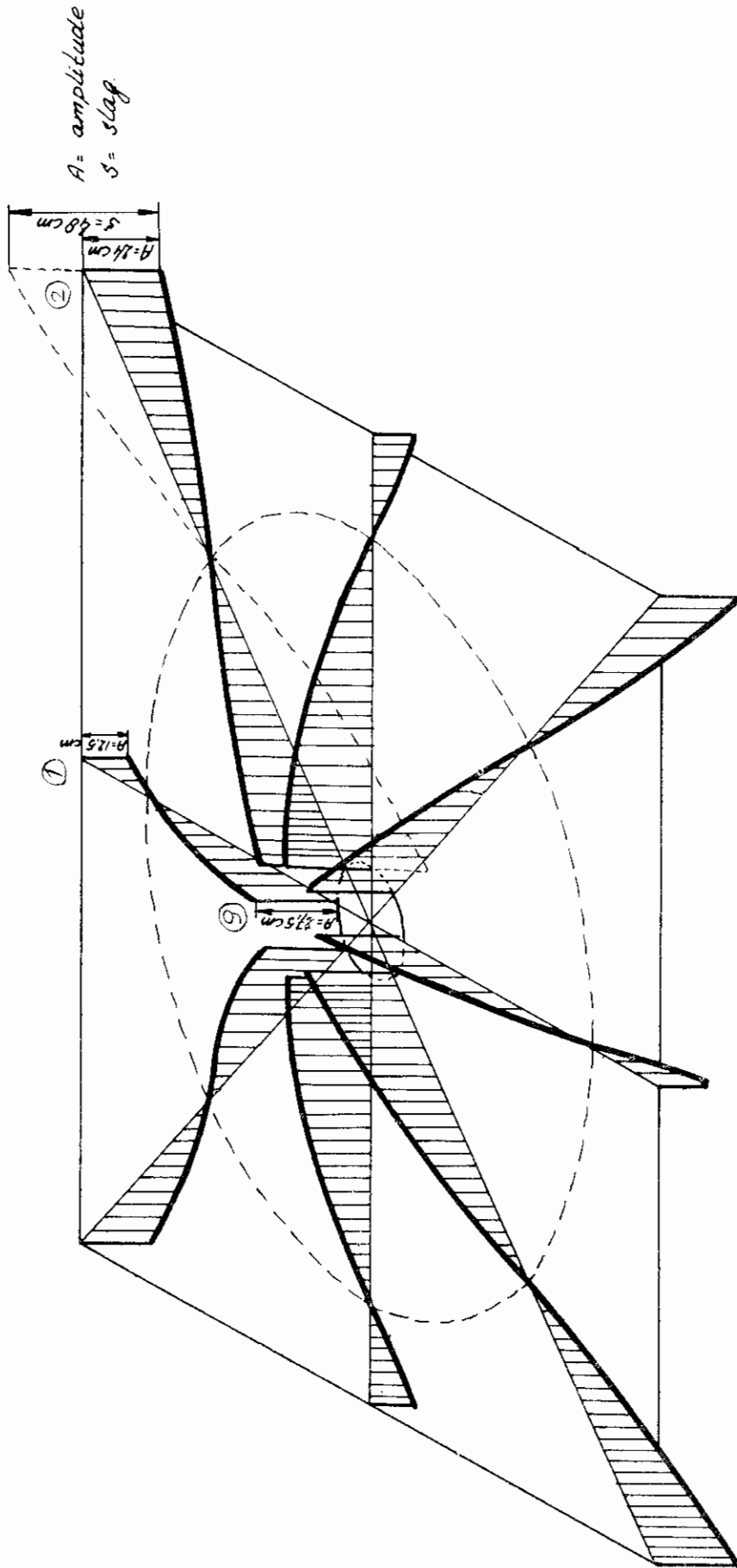
Mineralisatiebassin Almelo (gegevens)



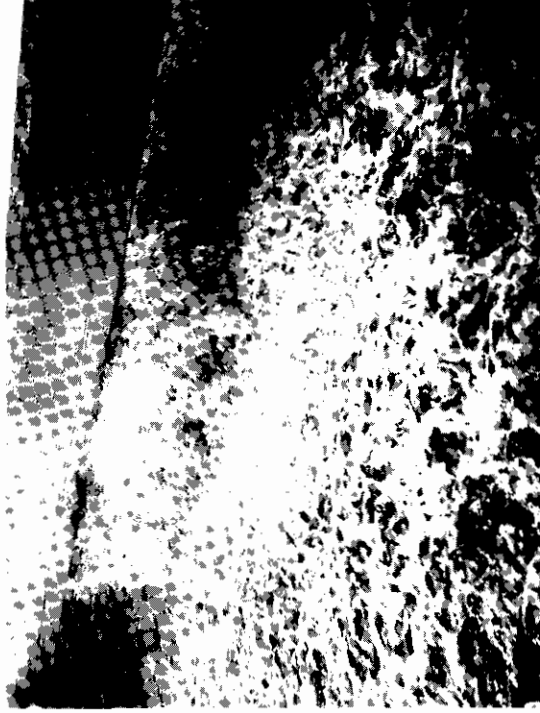
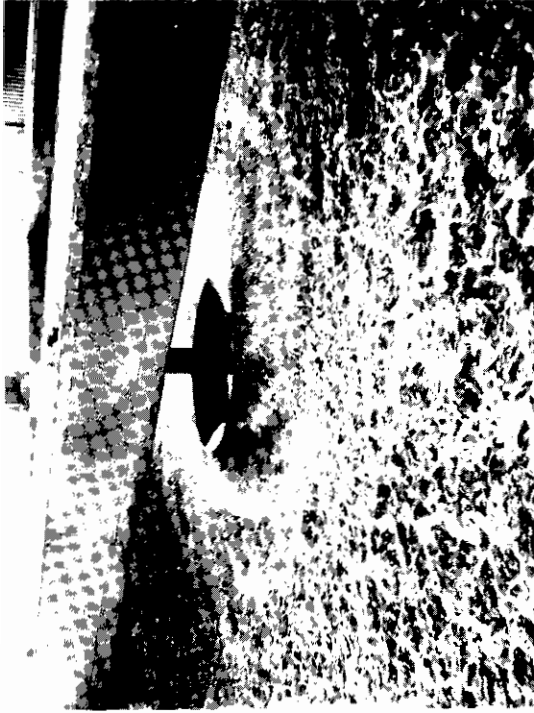
Figuur 1. Mineralisatiebassin Almelo (normaal bedrijf, dompeldiepte -10 cm)



Figuur 2. Mineralisatiebassin Almelo (cadans, dompediepte -20 cm)



Figuur 3. Golfpatroon bij cadans
(mineralisatiebassin Almelo, zonder anti-rotatieschotten, dompediepte -20 cm)



Opmerking: eigenfrequentie

brug Z
motor X - Y

Machine : puntbeluchter
Fabriek : Almeio
Datum : 23-7-1974
Beoordeling :

Volgno. :

Groep :

Meetresultaten Real Time Analyser

f_n : _____ Hz

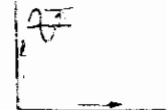
exciteren brug

Aantal
averages: _____ x

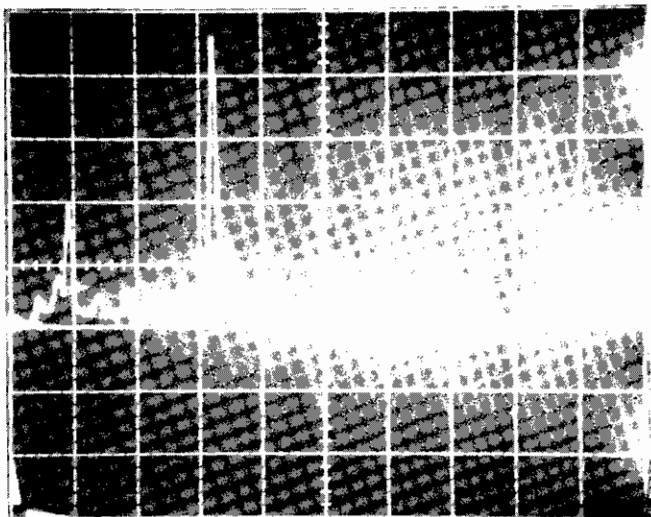
Spec.-cal.
30%: _____ div.

mp.: brug
meetrichting: Z

10 μ amplitude/div.



0-25 Hz/div.



f_n : _____ Hz

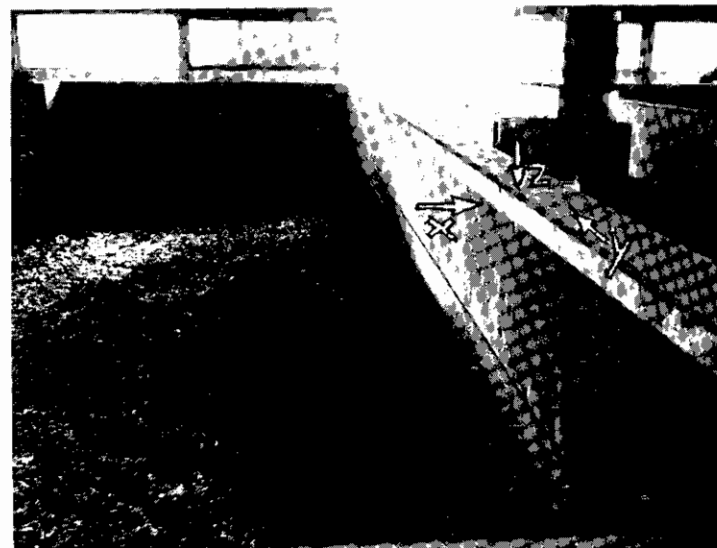
Aantal
averages: _____ x

Spec.-cal.
30%: _____ div.

mp.: _____
meetrichting: _____

/div.

_____ Hz/div.



f_n : _____ Hz

exciteren motor

Aantal
averages: _____ x

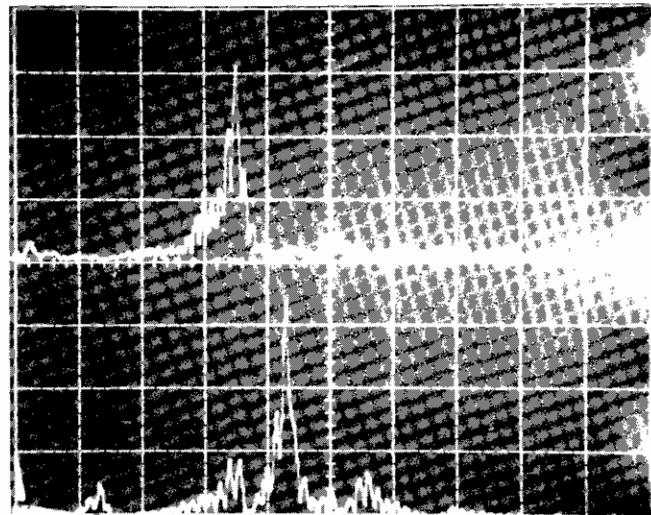
Spec.-cal.
30%: _____ div.

mp.: motor
meetrichting: X
Y

0,5 mm/s Veff./div.



0-100 Hz/div.



f_n : _____ Hz

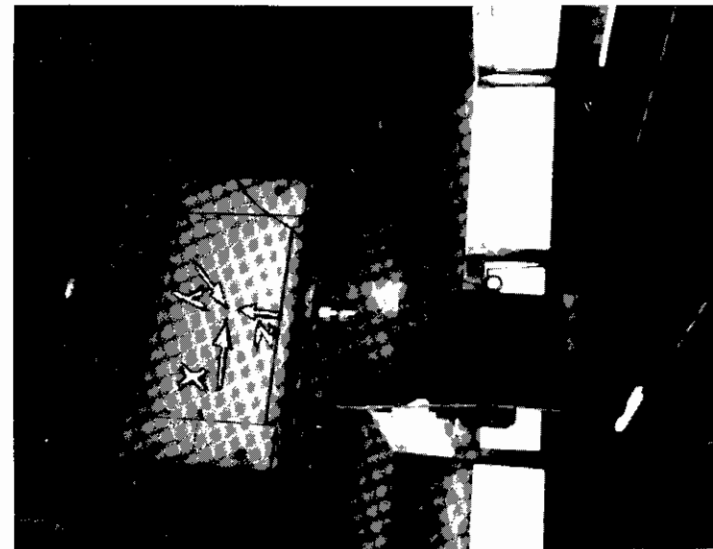
Aantal
averages: _____ x

Spec.-cal.
30%: _____ div.

mp.: _____
meetrichting: _____

/div.

Hz/div.



3. Snelheidsmetingen te Almelo

Inleiding

Als aanvulling op het dynamisch onderzoek, verricht van 23 t/m 25 juli 1974 op de rioolwaterzuiveringsinstallatie Almelo (blz. 46) zijn op 22 augustus snelheidsmetingen uitgevoerd.

Snelheidsmetingen verricht tijdens voornoemd dynamisch onderzoek, waarbij gebruik gemaakt werd van een Ott-molen, gaven in verband met vuilaanhechting geen betrouwbare resultaten.

Bij de in dit overzicht vermelde metingen is gebruik gemaakt van een niet eerder in Nederland toegepast meetinstrument, een door het Waterloopkundig Laboratorium beschikbaar gestelde Marsh - Mc. Birney, Model 711 Electromagnetic Water Current Meter.

Deze meter heeft een meetbereik van 0 - 300 cm/sec., registreert snelheden in een vlak in x- en y-richting; problemen met vuilaanhechting hebben zich tijdens de metingen niet voorgedaan.

Doel van de meting

Doel van de meting is een globaal inzicht te verkrijgen in het snelheidspatroon opgebouwd door de puntbeluchter, draaiende in het met effluent gevulde mineralisatiebassin 2 te Almelo.

Uitvoering (zie bijlage 1)

Gemeten zijn de horizontale snelheidscomponenten in mineralisatiebassin 2 (anti-rotatieschotten verwijderd) onder verschillende bedrijfsomstandigheden, t.w. dompel-diepten van resp. + 12 cm, 0 cm, - 10 cm en - 20 cm, waarbij in het laatste geval cadans optrad.

De snelheden zijn op diverse meetplaatsen (1 t/m 8) geregistreerd en wel op 3 loodrecht ten opzichte van elkaar gelegen hoogten (50 cm, 150 cm en 250 cm boven vloer bassin). De meetplaatsen waren gesitueerd langs de randen van wand en brug op een afstand van 40 cm uit de rand en op een afstand van 150 cm ten opzichte van elkaar. De gemeten waarden zijn geregistreerd met een Sanborn Dual Channel D.C. Amplifier Recorder Model 323.

De motorstroom tijdens bedrijf bij donpeldiepten + 12, 0 en - 10 cm (geen cadans) is niet continu geregistreerd. In plaats daarvan werd de motorstroom gedurende ca. 10 minuten, met tussenpozen van 30 seconden, tijdens elke meting afgelezen op de ampèremeter van de schakelkast. N.B. De motorstroom geregistreerd tijdens cadans bij - 20 cm staat vermeld onder het dynamisch onderzoek (fig. 2).

Verwerking meetresultaten

Om een inzicht te verkrijgen in het snelheidspatroon zijn de waarnemingen als volgt verwerkt:

Snelheden zonder cadans

In bijlagen 3, 5 en 7 zijn per meetpunt opgenomen de gemiddelde alsmede de extreem opgetreden snelheidscomponenten in x- en y-richting (zie ook bijlage 1). Van deze waarnemingen zijn de resultanten in het horizontale vlak door middel van een z.g. timmermans-projectie in bijlagen 4, 6 en 8 in beeld gebracht. Op dezelfde bijlagen zijn deze resultanten tevens in een vlakke projectie verwerkt.

Snelheden met cadans

In bijlage 9 zijn per meetpunt opgenomen de gelijktijdig in x- en y-richting optredende extreme snelheidscomponenten. Per meetpunt treden de snelheden V_1 in x- en y-richting gelijktijdig op, evenzo V_2 in x- en y-richting.

Van deze waarnemingen zijn de resultanten van resp. V_1 en V_2 in het horizontale vlak eveneens door middel van timmermansprojectie in beeld gebracht (bijlage 10).

N.B. Uitdrukkelijk wordt opgemerkt dat het verband in de tijd tussen de waarnemingen van de diverse meetpunten niet is geregistreerd. Dit geldt zowel voor de waarnemingen zonder als met cadans.

Motorstroom

De motorstroom bij dompeldiepten + 12,0 en - 10 cm is in bijlage 2 grafisch uitgezet.

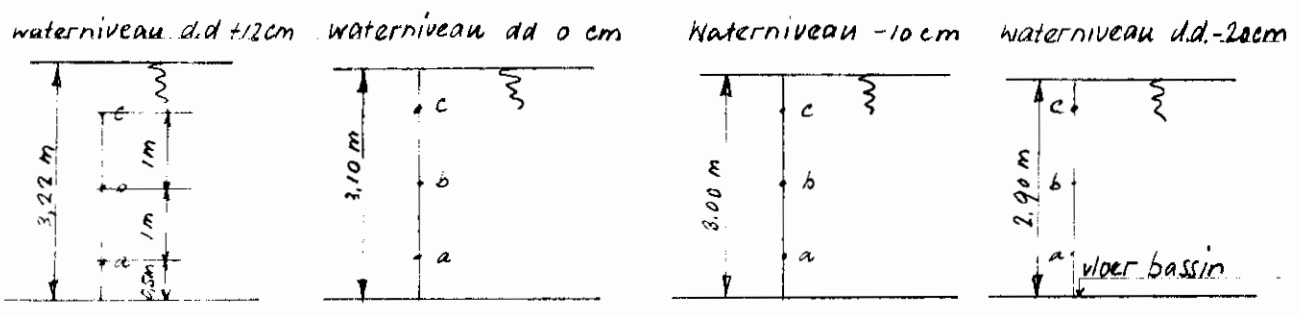
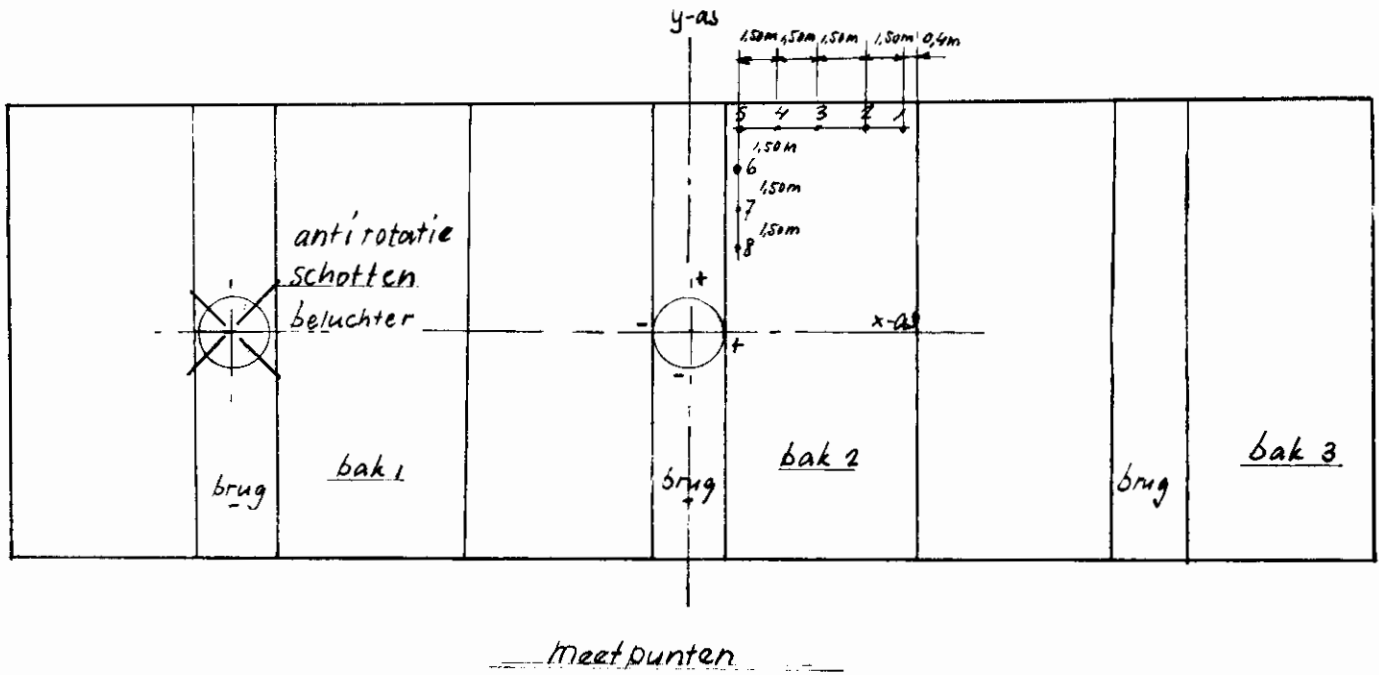
Conclusies

- a. De snelheden in het bassin kunnen bij de dompeldiepten zonder cadans variëren van 0 tot 35 cm/sec. De grootste snelheden komen over het algemeen aan de oppervlakte, langs de wand, voor. De laagste snelheden kunnen plaatselijk langs de wand bij de bodem (meetpunt 3a) optreden.
- b. Bij cadans treedt snelheidswisseling op met dezelfde frequentie als van de staande golf (0,3 Hz.). De extreme snelheidscomponenten kunnen variëren van gering tot eveneens ca. 35 cm/sec.

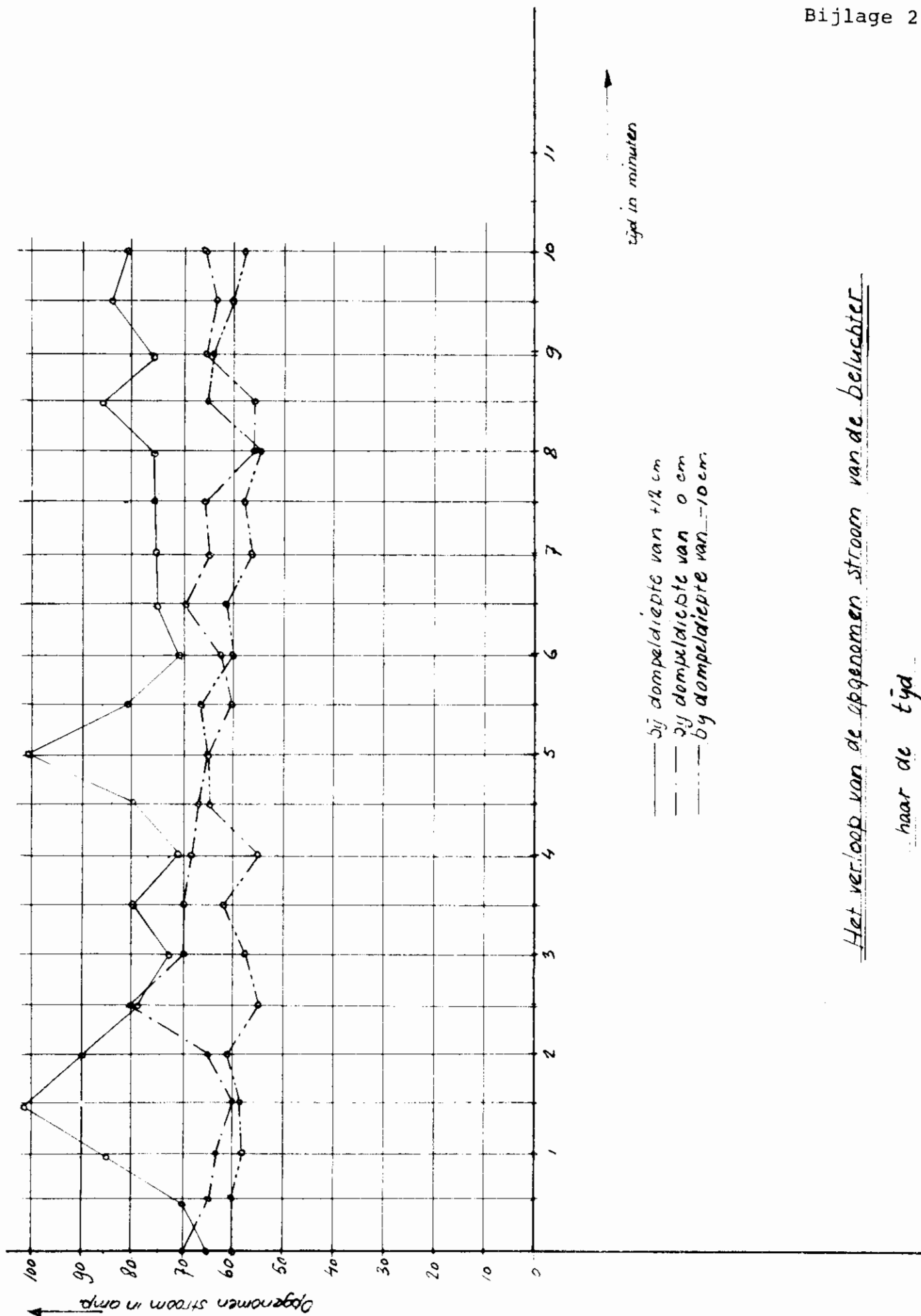
- c. De hoofdstroming is rechtson, t.w. de richting van de roterende beluchter.
- d. Bij cadans verandert de richting van de snelheid in het horizontale vlak tot waarden van ongeveer 90° .
- e. Zonder cadans treden wisselingen in het opgenomen stroomverbruik op, welke toenemen bij grotere dompeldiepte; bij kleine dompeldiepte (- 10 cm) tot ca. 20%, bij dompeldiepte (+ 12 cm) tot ca. 40%.
- f. De opgetreden wisseling in het stroomverbruik bij cadans is reeds beschreven in het Interimrapport d.d. 9 augustus 1974.

Slotopmerkingen

De meting op 22 augustus is mede opgezet om het cadansverschijnsel te bestuderen bij grote dompeldiepte (+ 12 cm), zoals deze in het verleden door het Advies- en Ingenieursbureau Witteveen en Bos na 5 uur draaien is geconstateerd in schoon water. Daar dit verschijnsel op 19 augustus zelfs na ca. 8 uur draaien niet kon worden gegenereerd is van deze waarneming afgezien. Hierbij kan worden aangetekend dat het water in het bassin niet aan de eisen van schoon water voldeed.



meet diepten
 by verschillende dompeldiepten van
 de beluchter



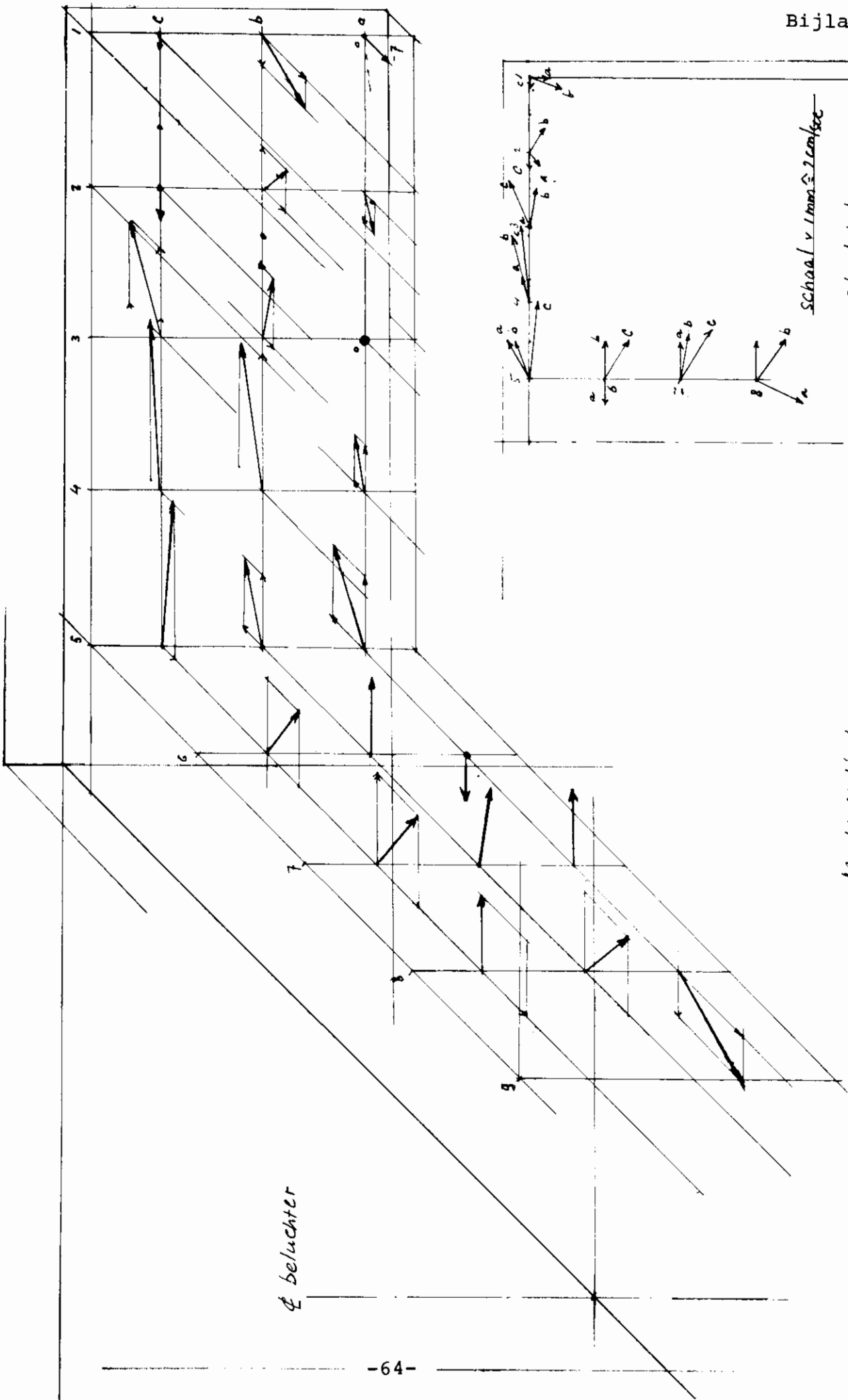
Het verloop van de opgenomen stroom van de beluchter
naar de tijd

meetpunt	a						b						c					
	x			y			x			y			x			y		
	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.
1.	+ 9	- 3	0	- 15	0	- 7	0	- 12	- 6	- 27	- 3	- 12	+ 6	- 12	- 3	- 15	+ 6	0
2.	+ 6	- 18	- 6	- 6	+ 6	- 3	+ 15	0	+ 9	- 12	0	- 6	0	- 12	- 6	- 9	+ 12	0
3.	+ 6	- 9	0	- 3	+ 3	0	+ 27	+ 6	+ 15	- 12	+ 3	- 3	+ 27	+ 9	+ 18	+ 9	+ 18	+ 9
4.	+ 15	- 12	+ 9	0	+ 6	+ 3	+ 36	+ 18	+ 27	0	+ 21	+ 6	+ 39	+ 24	+ 33	- 9	+ 9	+ 3
5.	+ 16	0	+ 15	+ 3	+ 12	+ 9	+ 21	+ 12	+ 15	+ 3	+ 9	+ 6	+ 30	+ 27	+ 30	- 6	+ 6	- 3
6.	0	- 15	- 9	+ 6	- 6	0	+ 21	+ 6	+ 15	+ 3	- 3	0	+ 15	+ 12	+ 15	- 3	- 12	- 9
7.	+ 24	0	+ 15	+ 3	- 3	0	+ 21	+ 12	+ 18	0	- 9	- 3	+ 21	+ 15	+ 18	- 6	- 18	- 12
8.	+ 15	- 15	- 9	- 6	- 24	- 18	+ 30	0	+ 15	- 9	- 15	- 12	+ 18	+ 12	+ 15	+ 3	- 3	0

Snelheidsmetingen

Opmerkingen: Dompeldiepte + 12 cm.

Schaal bak
1:50



☞ belufter

Schaal v 1mm = 2cm/sec

Schaal dak 1:100

Meetresultaten

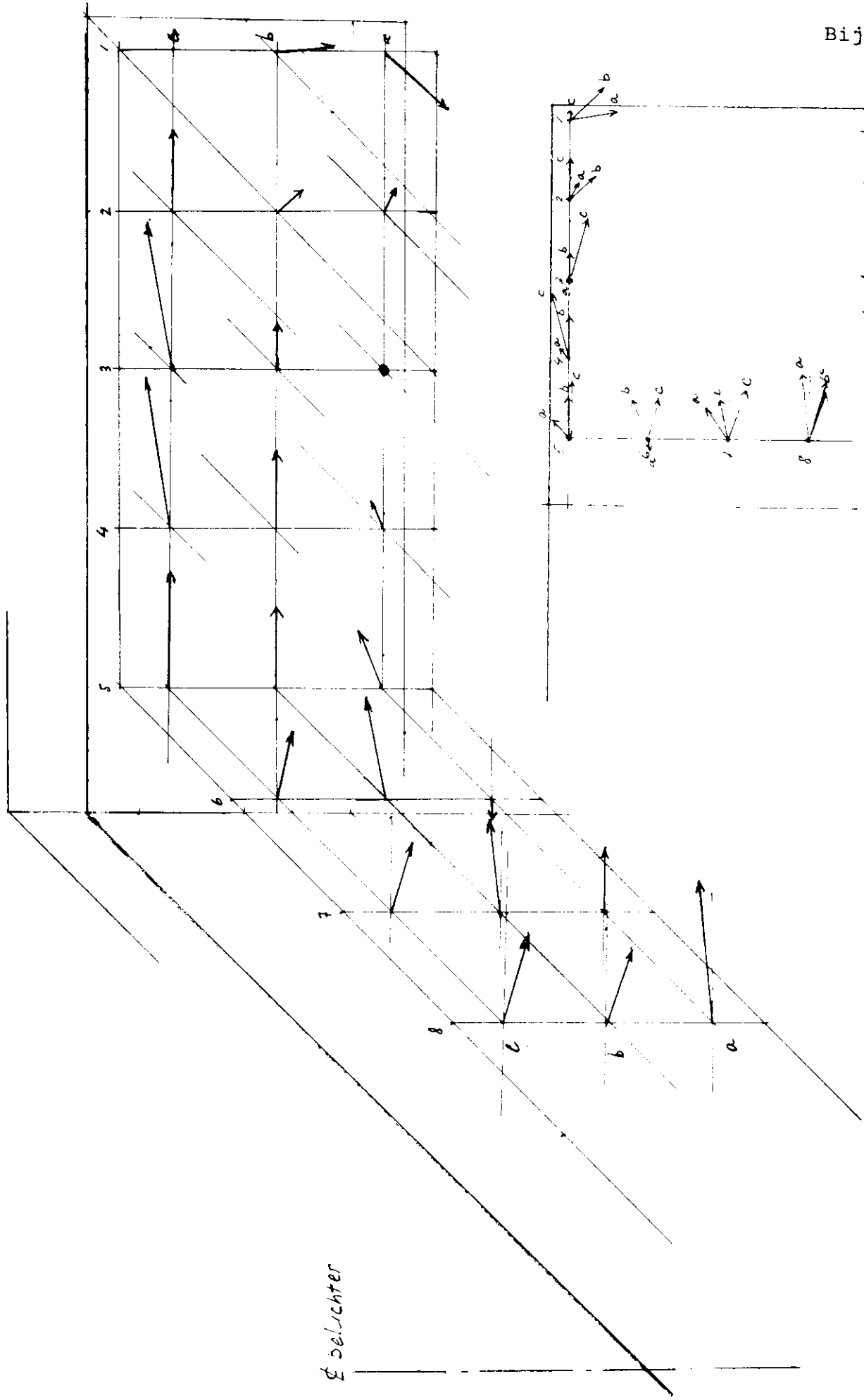
dampdijctie + 12 cm

meetpunt	a						b						c						
	x			y			x			y			x			y			
	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	
1.	+ 6	- 6	+ 3	- 24	- 9	- 18	+ 15	+ 9	+ 12	- 18	- 12	- 15	+ 9	0	+ 3	+ 9	0	+ 6	0
2.	+ 9	+ 3	+ 6	- 15	+ 6	- 3	+ 15	+ 6	+ 9	- 12	- 6	- 9	+ 18	+ 12	+ 15	- 3	+ 3	0	0
3.	0	- 3	0	- 3	+ 6	0	+ 12	+ 3	+ 9	- 3	+ 6	0	+ 33	+ 18	+ 24	+ 3	+ 9	+ 6	+ 6
4.	+ 6	0	+ 3	- 12	+ 6	+ 3	+ 15	+ 9	+ 15	- 6	+ 3	0	+ 27	+ 24	+ 24	0	+ 9	+ 6	+ 6
5.	+ 12	+ 3	+ 6	0	+ 9	+ 6	+ 18	+ 6	+ 15	- 3	+ 3	0	+ 24	+ 18	+ 21	- 6	+ 3	0	0
6.	0	- 6	- 3	+ 6	- 3	0	+ 18	+ 12	+ 15	+ 9	+ 3	+ 6	+ 30	+ 6	+ 15	0	- 9	- 3	- 3
7.	+ 15	+ 6	+ 12	+ 9	0	+ 9	+ 27	+ 12	+ 15	+ 9	- 6	+ 3	+ 27	+ 6	+ 18	+ 3	- 15	- 6	- 6
8.	+ 24	+ 15	+ 24	+ 3	0	+ 3	+ 27	+ 12	+ 18	0	- 12	- 6	+ 27	+ 15	+ 21	0	- 15	- 6	- 6

Snelheidsmetingen

Opmerkingen: Dompeldiepte - 10 cm.

Schaal dak
1:50



Lichtlichter

Schaal v... 1mm = 2.00m/sec

Schaal dak 1:100

Meetresultaten

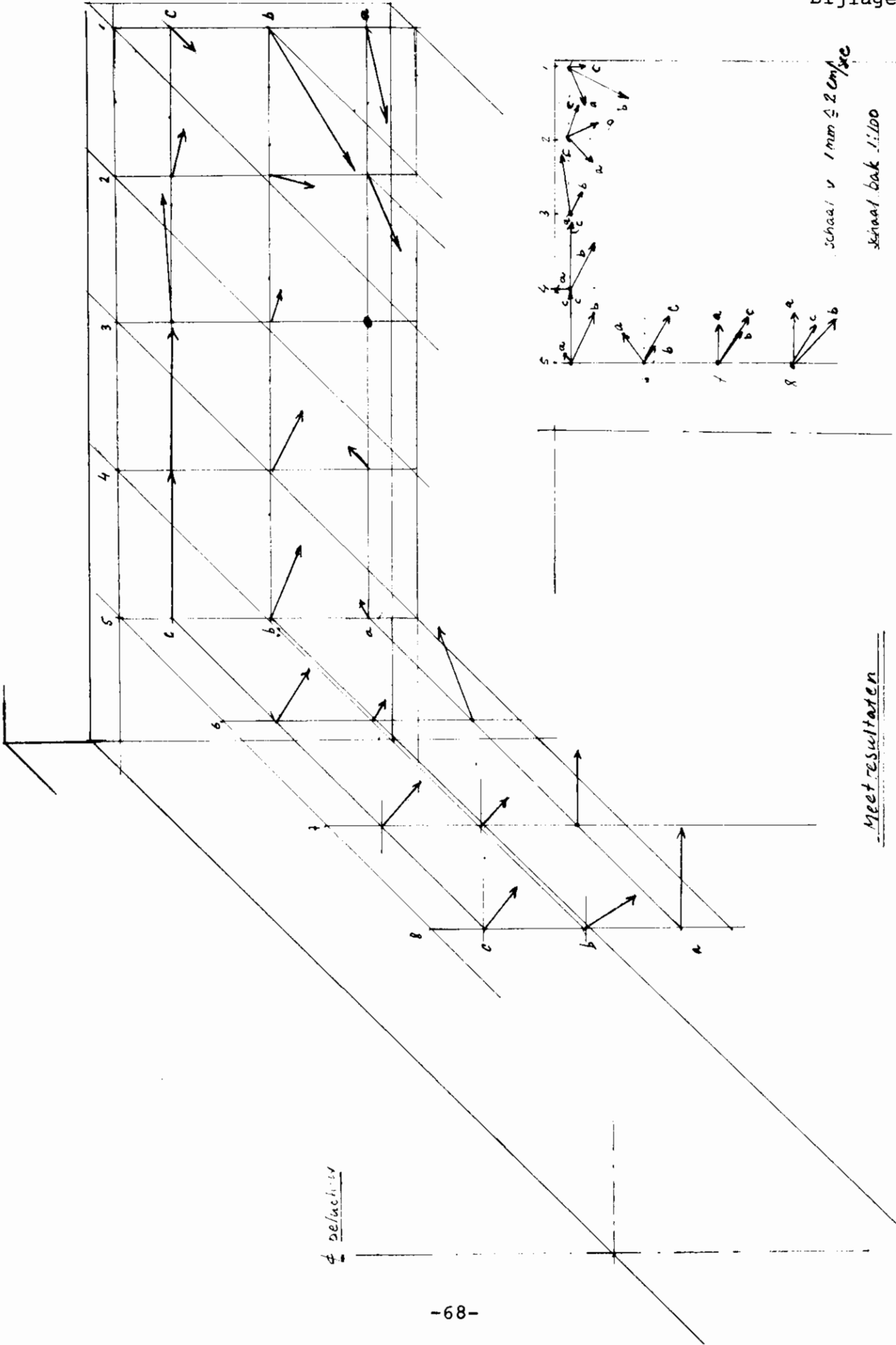
Dampel diepte - 10 cm

meetpunt	a						b						c							
	x			y			x			y			x			y				
	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.		
1.	0	- 21	- 15	- 18	0	- 6	- 6	- 6	- 15	- 12	- 12	- 24	- 9	- 24	+ 6	- 6	0	- 15	0	- 6
2.	- 6	- 18	- 9	- 12	- 3	- 9	+ 9	0	0	+ 6	- 15	- 12	- 12	- 12	+ 15	+ 9	+ 12	- 9	0	- 3
3.	+ 6	- 3	0	- 3	+ 6	0	+ 15	+ 3	+ 9	+ 9	- 6	+ 3	- 3	+ 30	+ 24	+ 24	+ 24	- 3	+ 6	+ 3
4.	+ 6	- 3	0	0	+ 12	+ 6	+ 24	+ 12	+ 18	+ 18	- 15	- 6	- 9	+ 33	+ 24	+ 30	+ 30	- 3	+ 6	0
5.	+ 15	- 9	+ 3	0	+ 9	+ 3	+ 30	+ 15	+ 21	+ 21	- 15	0	- 9	+ 33	+ 24	+ 30	+ 30	- 3	+ 3	0
6.	+ 12	+ 6	+ 12	+ 12	+ 3	+ 9	+ 12	0	+ 6	+ 6	0	- 9	- 3	+ 21	+ 15	+ 18	+ 18	- 6	- 15	- 9
7.	+ 21	0	+ 15	+ 6	- 6	0	+ 15	+ 9	+ 12	+ 12	- 6	- 9	- 9	+ 21	+ 15	+ 18	+ 18	- 9	- 18	- 12
8.	+ 30	+ 15	+ 21	+ 6	- 6	0	+ 27	+ 9	+ 18	+ 18	- 9	- 24	- 15	+ 24	+ 9	+ 15	+ 15	- 6	- 12	- 9

Spelheidsmetingen

Opmerkingen: Dompeldiepte 0 cm.

Schaal / Dak
1:50



Schaal v 1 mm = 2 cm / x c

Schaal dak 1:100

Meet resultaten

Dampdijekte 0 cm

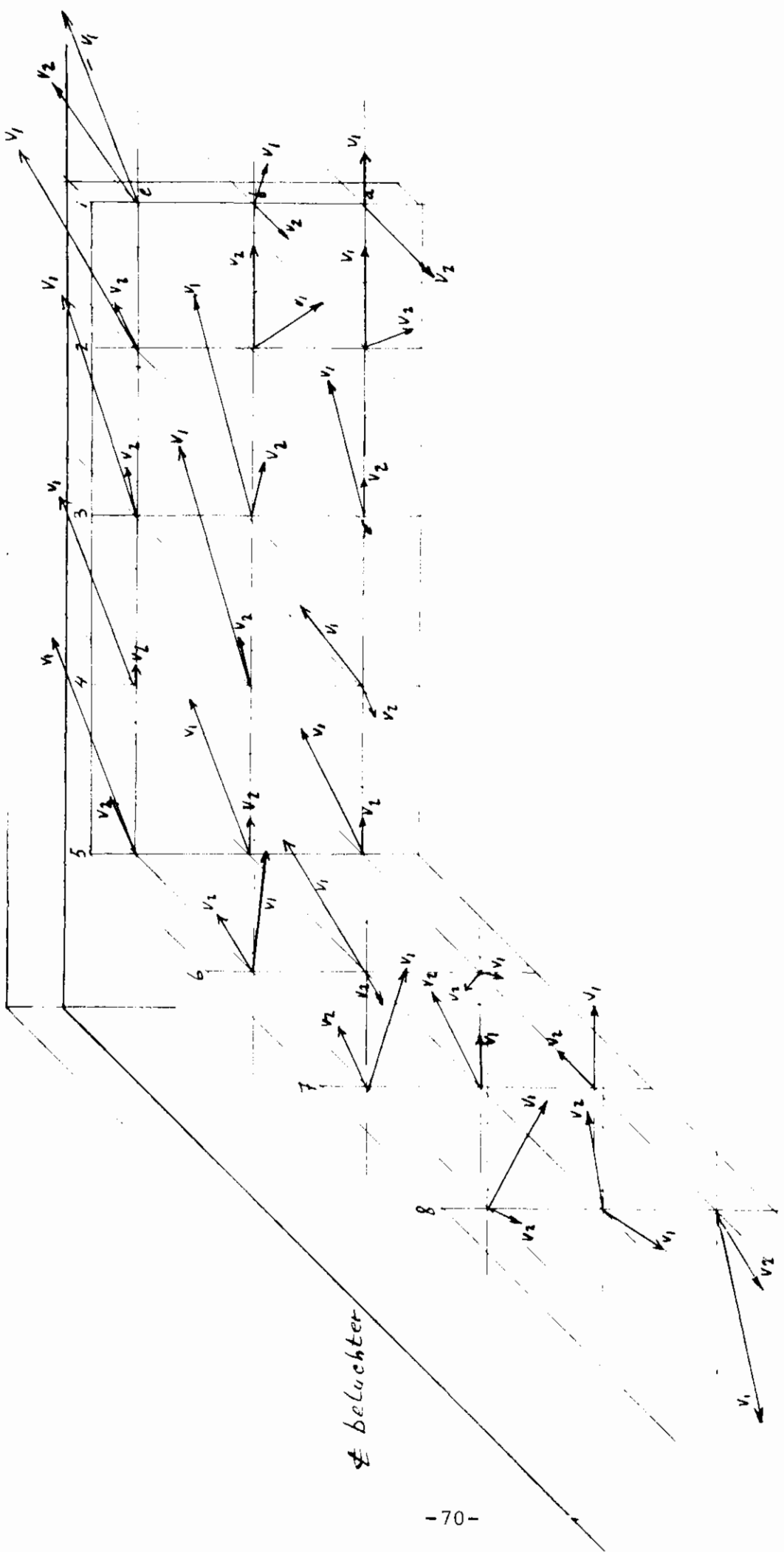
De/ach/iv

meetpunt	a				b				c				d			
	x		y		x		y		x		y		x		y	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
1.	- 9	0	0	- 18	+ 9	0	- 3	- 6	+ 30	+ 6	+ 21	+ 9	+ 30	+ 6	+ 21	+ 9
2.	+ 18	+ 12	0	- 12	+ 21	- 18	- 18	0	+ 18	+ 3	+ 27	+ 6	+ 18	+ 3	+ 27	+ 6
3.	+ 18	+ 6	+ 9	0	+ 30	+ 12	+ 15	- 3	+ 27	+ 6	+ 18	+ 3	+ 27	+ 6	+ 18	+ 3
4.	+ 3	- 3	+ 15	- 3	+ 30	+ 6	+ 15	+ 3	+ 21	+ 3	+ 18	0	+ 21	+ 3	+ 18	0
5.	+ 12	0	+ 15	+ 6	+ 18	+ 6	+ 15	0	+ 12	+ 6	+ 21	+ 6	+ 12	+ 6	+ 21	+ 6
6.	+ 3	- 6	- 6	+ 3	+ 9	- 3	+ 21	- 3	+ 12	+ 3	- 3	+ 9	+ 12	+ 3	- 3	+ 9
7.	+ 15	0	0	+ 6	+ 6	+ 6	0	+ 12	+ 30	+ 6	- 12	+ 6	+ 30	+ 6	- 12	+ 6
8.	0	- 6	- 30	- 12	+ 3	+ 15	- 15	+ 3	+ 30	+ 3	- 15	+ 3	+ 30	+ 3	- 15	+ 3

See the idsmetlijnen

Opmerkingen: Dompdiepte -20 cm.

School bak
- 1.50



belufter

- Meetresultaten by Cadans

- Lampelidic - 20 em

4. Snelheidsmetingen te Stolwijk

Inleiding

Ter completering van het dynamisch onderzoek zijn op 22 januari 1975 op de rwz te Stolwijk snelheidsmetingen uitgevoerd.

Evenals bij de snelheidsmetingen te Almelo is gebruik gemaakt van de door het Waterloopkundig Laboratorium beschikbaar gestelde Marsh-Mc. Birney, Model 711 Electromagnetic Water Current Meter. De metingen werden verricht onder bedrijfsomstandigheden zonder cadans.

Doel van de meting

Doel van de meting is een globaal inzicht te verkrijgen in het snelheidspatroon opgebouwd door de puntbeluchter, draaiende in het met actief slib gevulde aeratiebassin van de rwz Stolwijk, teneinde dit snelheidspatroon te kunnen vergelijken met het resultaat van de door DHV in het model verrichte waarnemingen. Voor de vergelijking prototype-model wordt verwezen naar het desbetreffende rapport van DHV.

Uitvoering van de meting (zie bijlage 1)

Gemeten zijn de horizontale snelheidscomponenten onder twee verschillende bedrijfsomstandigheden, te weten bij dompeldiepten van respectievelijk + 12,9 cm en 0 cm. De snelheden zijn, o.a. ten behoeve van een goede correlatie met het model, geregistreerd op te voren vastgelegde meetplaatsen (1 t/m 5) en per meetplaats op 5 loodrecht ten opzichte van elkaar gelegen hoogten (46 cm, 92 cm, 138 cm, 184 cm en 230 cm boven vloer van bassin). De meetplaatsen waren gesitueerd langs de randen van wand en brug op een afstand van ca 40 cm uit de rand en op een onderlinge afstand van 276 cm. De gemeten waarden zijn geregistreerd met een Sanborn Dual Channel D.C. Amplifier Recorder model 323. De vermogensafgifte is niet continu geregistreerd, doch tijdens de metingen regelmatig afgelezen op een ten behoeve van deze metingen tijdelijk geïnstalleerde vermogensmeter.

Verwerking meetresultaten

Snelheden

In bijlagen 2, 3 4 en 5 zijn per meetpunt opgenomen de gemiddelde, alsmede de extreem opgetreden snelheidscomponenten in x en y richting (zie ook bijlage 1).

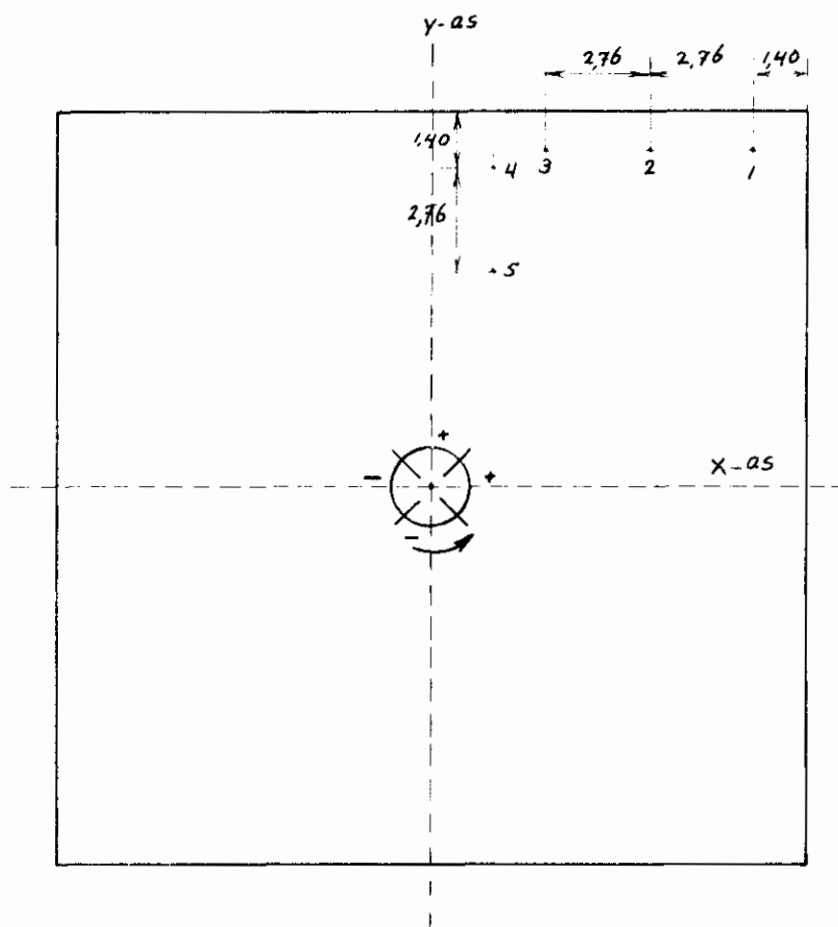
Vermogensafgifte

De afgelezen vermogensafgifte was constant, zowel bij dompeldiepte + 12,9 cm als bij 0 cm. De gemeten waarden staan vermeld op bijlagen 2, 3, 4 en 5.

Conclusies inzake het snelheidspatroon

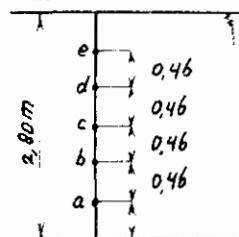
- a. In het bassin zijn bij dompeldiepte + 12,9 cm snelheden gemeten van 0 tot 60 cm/sec. Bij dompeldiepte 0 cm zijn snelheden van 0 tot 45 cm/sec. waargenomen.
De snelheidsvariatiës per afzonderlijk meetpunt kunnen relatief groot zijn.
- b. De hoofdstroming is linksom (draairichting van de beluchter). In het bassin trad een duidelijk rotatie- en circulatiepatroon op.
- c. Het opgenomen vermogen per bedrijfstoestand was constant.

metingen te Stolwijk



meetpunten

waterniveau



meetdiepte

Stolwijk

breedte	19 m
diepte	2,8 m
diam. bel.	2,29 m
max. d.d.	+ 12,9 cm
min. d.d.	- 12,9 cm
toerental	40

gegevens

noordpunt	d			e			f			g			h					
	x			y			x			y			x			y		
	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.
1.	- 18	- 36	- 24	0	- 18	- 12	- 3	- 24	- 15	- 3	- 21	- 9	- 6	- 21	- 12	- 6	- 27	- 18
2.	- 12	- 36	- 24	+ 6	3	- 12	+ 6	- 33	- 18	- 3	- 30	- 21	- 9	- 33	- 24	0	- 12	- 9
3.	- 9	- 24	- 18	- 12	- 36	- 24	- 15	- 30	- 24	- 6	- 21	- 12	- 12	- 42	- 24	- 9	- 30	- 24
4.	- 12	- 33	- 21	+ 3	- 24	- 12	- 18	- 33	- 27	- 3	- 24	- 12	- 18	- 39	- 30	- 6	- 30	- 18
5.	- 21	- 42	- 30	- 6	- 36	- 24	- 12	- 30	- 21	- 6	- 27	- 21	- 30	- 45	- 36	- 15	- 30	- 21
6.																		
7.																		
8.																		

Stellingsschichten

Operatiesignaal: Bompeldiepte 0 cm.
 Opgevoeren vermogen 16,8 kW is constant

meetpunt	a						b						c					
	x			y			x			y			x			y		
	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.
1.	0	- 18	- 12	+ 33	0	+ 12	+ 9	- 9	- 3	- 18	- 12	- 3	- 18	- 12	- 12			
2.	+ 3	- 27	- 9	+ 30	+ 3	+ 12	+ 12	- 12	+ 30	0	+ 12	+ 30	0	+ 12	+ 12			
3.	- 6	- 33	- 18	+ 24	+ 9	+ 15	+ 3	- 24	+ 36	+ 6	+ 9	+ 36	+ 6	+ 9	+ 9			
4.	- 9	- 24	- 18	+ 30	+ 15	+ 24	0	- 33	+ 30	+ 3	+ 12	+ 30	+ 3	+ 12	+ 12			
5.	- 24	- 42	- 36	0	- 12	- 6	- 12	- 36	+ 36	0	+ 21	+ 36	0	+ 21	+ 21			
6.																		
7.																		
8.																		

Snelheidsmetingen

Opmerkingen: Dompeldiepte 0 cm.
Opgenomen vermogen 16,8 kW is constant

meetpunt	a						b						c					
	x			y			x			y			x			y		
	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.
1.	- 0	- 33	- 18	+ 15	- 12	+ 0	+ 0	- 12	- 5	+ 27	0	+ 12						
2.	- 3	- 27	- 15	+ 30	+ 3	+ 21	- 3	- 15	- 0	+ 27	0	+ 15						
3.	- 48	- 24	- 30	+ 15	0	+ 9	- 3	- 42	- 15	+ 36	0	+ 18						
4.	- 42	- 27	- 30	+ 12	0	+ 9	0	- 30	- 14	+ 39	0	+ 18						
5.	- 24	- 39	- 30	+ 18	- 3	+ 9	- 18	- 30	- 33	+ 24	- 3	+ 12						
6.																		
7.																		
8.																		

Stoelvlaksmetingen

Opmerkingen: Pompeldiepte + 1,0 cm
 Oppgenomen vermogen 2,0 kW is constant

meetpunt	a						b						c					
	x			y			x			y			x			y		
	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.	max.	min.	gem.
1.	- 12	- 24	- 21	+ 6	- 15	0	- 6	- 27	- 18	+ 3	- 18	- 3	- 6	- 30	+ 12	- 6	- 18	- 6
2.	0	- 30	- 18	- 9	- 33	- 21	- 15	- 36	- 24	0	- 12	- 6	- 9	- 42	+ 21	+ 9	- 3	+ 9
3.	0	- 42	- 21	- 6	- 45	- 24	- 24	- 48	- 33	+ 9	- 6	0	- 15	- 39	+ 18	+ 12	0	+ 12
4.	- 6	- 42	- 27	0	- 30	- 12	- 24	- 48	- 36	+ 12	- 12	0	- 9	- 36	+ 39	+ 30	+ 9	+ 30
5.	- 15	- 45	- 30	- 3	- 33	- 24	- 12	- 60	- 36	+ 3	- 12	- 3	+ 15	- 24	+ 60	+ 36	+ 21	+ 36
6.																		
7.																		
8.																		

Sne lbeidsmetingen

Opmerkingen: Dompeldiepte + 12,9 cm
 Opgenomen vermogen 22,4 kW is constant

V. MODELONDERZOEK

1.	<u>Inhoud</u>	78
2.	<u>Inleiding en probleemstelling</u>	79
3.	<u>Onderzoek</u>	80 - 100
3.1.	Inleiding	80
3.2.	Gegevens	80
3.3.	Modelregels	80
3.4.	Inrichting model	80 - 83
3.5.	Metingen	83 - 90
3.5.1.	Model "Almelo"	83 - 85
3.5.2.	Model "Stolwijk"	85 - 89
3.5.3.	OC-metingen	89 - 90
3.6.	Bespreking van de metingen	90 - 100
3.6.1.	Relatie tussen model en prototype	90 - 94
	Stabiliteit van de vermogensafname	90 - 91
	Het optreden van candans	91
	Het afgegeven vermogen	91 - 93
	Stroomsnelheden	93 - 94
3.6.2.	Stabiliteit van de vermogensaf- gifte	94 - 96
3.6.3.	Cadans	96 - 100
3.6.4.	Zuurstoftoevoervermogen/zuurstof- inbrengrendement	100
4.	<u>Samenvatting</u>	101
5.	<u>Bijlagen</u>	102 - 123
	1. Modelwetten	102 - 104
	2. Verwerking van de snelheids- metingen	105
	Rotatie	105
	Circulatie	105
	3. Literatuuropgave	106
	4. Symbolen	107
	Tabellen (I - III)	108 - 110
	Grafieken (1 - 10)	111 - 120
	Figuren (1 - 5)	121 - 123

2. Inleiding en probleemstelling

Puntbeluchters hebben in Nederland in ruime mate toepassing gevonden.

De toepassing blijkt echter niet altijd vrij van problemen van hydraulische aard te zijn.

Deze problemen bestaan uit:

- a. Het spontaan en a-periodiek overschakelen van een bedrijfstoestand met een laag energieverbruik naar een bedrijfstoestand met een hoog energieverbruik en omgekeerd.
- b. Het ontstaan van staande golven, hetgeen uiteraard gepaard gaat met een niet constant energieverbruik.

Het onderzoek was erop gericht meer inzicht te krijgen in de oorzaken en de aard van de gesignaleerde problemen en in de mogelijkheden om via modelonderzoek deze problemen tot een oplossing te brengen.

Dit rapport, te zamen met de eraan toegevoegde appendices, vormt een onderdeel van de verslaggeving in het kader van het project "Optimalisering van Puntbeluchtersystemen" dat in opdracht van de STORA is uitgevoerd. In dit rapport wordt het modelonderzoek beschreven.

Het onderzoek werd verricht in de periode van medio september tot medio december 1974 en werd uitgevoerd door DHV.

3. Onderzoek

3.1. Inleiding

Allereerst diende vraag te worden beantwoord of op grond van waarnemingen in een model uitspraken gedaan konden worden over het gedrag van installaties op praktijkschaal.

Zo deze vraag bevestigend kon worden beantwoord diende te worden nagegaan op welke wijze de bakafmetingen en vorm, het type beluchter, de dompediepte van de beluchter, de aanwezigheid van remschotten, het toerental van de beluchter elk van invloed zijn op de op blz. 4 genoemde instabiliteitsverschijnselen.

3.2. Gegevens

Voorafgaand aan het modelonderzoek werd door TNO een literatuurstudie verricht naar de bij puntbeluchtersystemen voorkomende problemen. Daarnaast is door de drie partners in het project een enquête verricht bij 21 zuiveringsinstallaties, waarvan de resultaten door DHV zijn samengesteld en geëvalueerd.

Door BKH is een dynamisch en hydraulisch onderzoek uitgevoerd op de rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi) te Almelo en Stolwijk.

De resultaten van deze activiteiten zijn in afzonderlijke deelrapporten samengevat.

Uitgaande van de op deze wijze verkregen gegevens werd door DHV het modelonderzoek als laatste fase van het totale onderzoek uitgevoerd.

3.3. Modelregels

Het onderzoek werd uitgevoerd in modellen, die de slibmineralisatiebassins van de rwzi Almelo-Vissedijk en de beluchtingsbak van de rwzi Stolwijk op schaal weergaven.

De modellen werden bedreven volgens de regel van Froude. De achtergronden van deze keuze worden belicht in paragraaf 3.6.1. (blz. 90) en bijlage 1 (blz. 102).

3.4. Inrichting model

In de slibmineralisatiebassins van de rwzi Almelo-Vissedijk zijn zowel bij de oplevering, door het Advies- en Ingenieursbureau Witteveen & Bos, als in het kader van dit project, door BKH, uitgebreide metingen verricht. Een deel van deze metingen is uitgevoerd zonder, een ander deel met kruisschotten op de bodem.

Zonder deze kruisschotten werd een instabiele vermogensopname en in bepaalde gevallen cadans geconstateerd.

Het lag voor de hand de eerste fase van het modelonderzoek te richten op het nabootsen van de in deze bassins waargenomen verschijnselen.

De gegevens van deze bassins waren:

Type beluchter : Landy
 $b_p = 15$ m
 $h_p = 3,1$ m
 $d_p = 2,2$ m
 $n_p = 43,6$ omw/min.

(Voor de betekenis van symbolen zie blz. 107 van dit rapport).

Ten behoeve van het onderzoek werd een rechthoekige bak gebouwd van 4,06 x 8,12 m² met een maximale diepte van 1,10 m, opgetrokken uit metselsteen en aan de binnenzijde afgewerkt met glad pleisterwerk.

Met een demontabele houten wand kon de bak worden verdeeld in twee vierkante bakken. In elk van de bakhelften kon een beluchter worden gemonteerd. In de bakken was een houten bodem aangebracht zodat gemakkelijk diverse types schotten konden worden gemonteerd.

Met behulp van deze gegevens kan worden afgeleid (zie bijlage 1) dat:

$$k = b_m / b_p = 4.06 / 15 = .271 \text{ (= lengteschaal)}$$

Verder volgt dat:

$$\begin{aligned} h_m &= k \cdot h_p = .271 \times 3.1 = 0,84 \text{ m} \\ d_m &= k \cdot d_p = .271 \times 2.2 = 0,595 \text{ m} \\ n_m &= k^{-\frac{1}{2}} \cdot n_p = 1.922 \times 43.6 = 84 \text{ omw/min (op Froude-} \\ &\hspace{15em} \text{schaal)} \end{aligned}$$

De bij het modelonderzoek toegepaste beluchter was vanzelfsprekend van het type Landy. De diameter bedroeg 0,54 m en niet 0,595 m, zoals hierboven werd afgeleid. De reden hiervan was dat de afmetingen van de bak zo waren gekozen dat in combinatie met de beschikbare beluchtermodellen voor het verdere onderzoek een groot aantal bestaande installaties nagenoeg op schaal konden worden nagebootst. De schaalfactor voor toerental en dompeldiepte werd hierdoor:

$$k_t = 0.54/2.2 = 0.245$$

zodat

$$\begin{aligned}n_m &= k_1^{-\frac{1}{2}} \cdot n_p = 2.018 \times 43.6 = 88 \text{ omw/min} \\dd_m &= k_1 \cdot dd_p = 0.245 \times dd_p\end{aligned}$$

De waterstand in de bak werd bepaald m.b.v. een peilnaald. Voorafgaand aan de montage van de beluchter werd de waterdiepte op de juiste waarde van h_m gebracht. De beluchter werd daarna gemonteerd zodanig dat de bovenrand van de conus samenviel met het wateroppervlak. In deze situatie werd de dompeldiepte gefixeerd als zijnde "nul". De dompeldiepte kon worden gewijzigd door het veranderen van de waterdiepte. Bij positieve dompeldiepte stond het wateroppervlak boven de rand van de beluchter, bij negatieve dompeldiepte eronder.

De stroomsnelheidsmetingen werden verricht met een "micro-molen" behorend bij een "current-flow-meter". Het aantal omwentelingen van de micromolen gedurende een periode van 50 s werd zichtbaar gemaakt met een digitaal telmechanisme en vervolgens via een ijktabel omgerekend naar een stroomsnelheid. De snelheidsbepaling geschiedde steeds drie maal waarna een gemiddelde waarde werd berekend. Daarnaast konden desgewenst de amplitude en de frequentie van de momentane snelheidsfluctuaties zichtbaar worden gemaakt met behulp van een schrijver.

Alvorens gebruik werd gemaakt van de hierboven omschreven apparatuur diende te worden vastgesteld of met behulp van een dergelijke micromolen de richting en de grootte van de snelheidsvector op verschillende plaatsen in de bak kon worden vastgesteld. Daartoe werd in een rechte stroomgoot in twee orthogonale richtingen die hoeken maakten met de lengte-as van de goot de snelheid gemeten met behulp van de micromolen. De gemiddelde snelheid, bepaald door vectoriële optelling van de snelheden gemeten langs de orthogonale assen, bleek vrijwel overeen te komen met de grootte van de werkelijk optredende snelheid, terwijl ook de hoek van de berekende snelheidsvector met de werkelijk optredende vector te verwaarlozen klein was. De gebruikte apparatuur was dus geschikt om daarmee snelheden naar richting en grootte te bepalen in de bassins.

De bepaling van het netto aan de as afgegeven vermogen geschiedde door het meten van het krachtmoment nodig om de wrijvingloos draaibaar opgestelde motor niet te doen roteren. De horizontale kracht die op een bekende afstand van de beluchteras aangreep werd gemeten met een rekstrook dynamometer welke een voltage afgaf dat recht evenredig was met de uitgeoefende kracht.

Deze spanning werd gedurende 180 s gesommeerd middels een elektronische integrator waarna m.b.v. een ijktabel de kracht kon worden afgelezen. Uit de bekende relatie tussen toerental en krachtmoment kon het vermogen worden bepaald.

Om informatie te krijgen over het verloop van de vermogensafgifte werd de grootte van de afgegeven spanning als functie van de tijd tevens geregistreerd met behulp van een schrijvende recorder.

Ter bepaling van het zuurstoftoevoervermogen werd het water tijdens de proef zuurstofloos gemaakt. Dit gebeurde door een hoeveelheid natriumsulfiet met de bak-inhoud te mengen, voldoende om alle in het water aanwezige zuurstof te binden. Tijdens de proef werd het zuurstofgehalte in de bak continu gecontroleerd en geregistreerd met behulp van een zuurstof-elektrode, gekoppeld aan een schrijvende recorder. Terwijl het zuurstofgehalte blijkens de recorder-aanwijzing weer langzaam steeg tot ongeveer 70% van de verzadigingswaarde werden ongeveer acht water-monsters genomen. Van deze monsters werd het zuurstofgehalte bepaald volgens de methode Winkler. Het zuurstoftoevoervermogen (OC) werd bepaald met behulp van de gebruikelijke formule uitgaande van een complete menging in de bak.

3.5. Metingen

3.5.1. Model "Almelo"

Het meetprogramma omvatte de toerentallen (in omw/min):

n_m : 66 ; 75 ; 83 ; 88 ; 91 ; 101; 111
 n_p^m (Froude): 32,7; 37,2; 41,1; 43,6; 45,1; 50; 55

en de dompeldiepten (in cm, van min. naar max.)

dd_m : - 5,5; - 4,9; - 2,75; 0; + 2,75; + 5,5
 dd_p^m : -22,4; -20 ; -11,2 ; 0; +11,2 ; +22,4

De werkzaamheden omvatten:

- Meting van het gemiddeld afgegeven vermogen en registratie van vermogensfluctuaties.
- Snelheidsmetingen in de punten A, B, C, D, E, F, G telkens op verschillende afstanden van de bodem (zie fig. 1, blz. 121 en bijlage 2, blz. 105).

- In een aantal gevallen meting van het zuurstof-toevoervermogen.
- Visuele waarneming van golven (cadans) en wervels.

De snelheidsmetingen in de punten A, B en C gaven een indicatie van de mate van rotatie van de bakinhoud, de metingen in D, E, F en G van de mate van circulatie.

De wijze waarop de metingen werden geïnterpreteerd is omschreven in bijlage 2, blz. 105.

De eerste serie metingen in het model werd uitgevoerd zonder kruisschotten op de bodem. De resultaten zijn samengevat in tabel 1, blz. 108.

Bestudering van tabel I leert dat in het model staande golven optraden bij $dd = -5,5$ cm en bij toerentallen groter dan ca. 75 omw/min en ook bij $dd = -4,9$ cm en toerental 88 omw/min.

In Almelo trad dit verschijnsel eveneens op en wel bij een dompeldiepte en een toerental van, terugerekend naar het model, respectievelijk $-4,9$ cm en 88 omw/min.

Evenals in Almelo was de vermogensafgifte bij alle proeven in deze serie instabiel.

Hierdoor werd aangetoond dat dergelijke hydraulische instabiliteitsverschijnselen met vrucht in een model kunnen worden bestudeerd hetgeen overigens niet buiten verwachting was. Uit de constatering dat het model representatief was voor het hydraulisch gedrag in de werkelijkheid van dergelijke bassins mocht voorts worden afgeleid dat met succes gebruik kan worden gemaakt van een dergelijk model ten einde na te gaan op welke wijze ernstige instabiliteitsverschijnselen konden worden onderdrukt.

Bij een situatie waarbij cadans optrad, is een poging gedaan om meer inzicht te krijgen in de aard van dit verschijnsel. Hiertoe werd de snelheidsmeter gekoppeld aan een schrijver en werden aldus snelheidsmetingen verricht in radiale en tangentiële richting vlak boven de bodem, halverwege bodem en oppervlak en vlak onder het oppervlak. Door op het gehoor steeds wanneer het vermogen maximaal was streepjes op de papierstrook van de schrijver te zetten kon globaal een verband worden gevonden tussen de snelheidsfluctuaties in de diverse punten en de vermogensfluctuaties.

Uit deze metingen bleek dat de radiale snelheid van de beluchter naar de wand aan het oppervlak varieerde tussen nul en maximaal, dat bij de bodem de snelheid van de wand naar het centrum eveneens wisselde tussen nul en een maximale waarde terwijl de bodemsnelheden maximaal waren wanneer de snelheid bij het oppervlak nul was en omgekeerd. Halverwege bodem en oppervlak fluctueerde de snelheid met dezelfde frequentie als nabij bodem en oppervlak tussen een negatieve en een positieve extreme waarde, hetgeen uiteraard te verwachten viel.

Het verloop van de tangentiële snelheden vertoonde geen verband met de vermogensfluctuaties.

Zoals ook na de eerste beproeving te Almelo is gebeurd zijn ook in het model kruisschotten op de bodem geplaatst, elk 54 cm lang en 19 cm hoog met een tussenruimte van 27 cm.

Vervolgens is een serie metingen uitgevoerd waarvan de resultaten zijn vermeld in tabel II, blz. 109. De tabel toont aan dat na de plaatsing van de kruisschotten de vermogensafgifte bij alle proeven stabiel was en belangrijk hoger dan zonder de schotten. Bij een dompeldiepte van -4,9 cm, overeenkomend met de minimale dompeldiepte welke in de praktijk is voorgekomen, trad geen cadans op, evenals in de praktijk. Wel trad cadans op bij een dompeldiepte van -5,5 cm en, in tegenstelling tot de situatie zonder kruisschotten, ook bij 66 omw/min, terwijl bij 101 omw/min nu pas na lange tijd een lichte cadans ontstond.

In beide situaties, met en zonder kruisschotten, zijn ook snelheidsmetingen verricht. Uit tabel I en II blijkt het volgende.

De grootte van het rotatiedebiet werd door de plaatsing van de schotten nauwelijks of niet beïnvloed.

Het circulatiedebiet bedroeg, zonder kruisschotten, volgens de gehanteerde verwerkingswijze van de meetresultaten ongeveer twee derde van het rotatiedebiet.

Na de plaatsing van de kruisschotten waren rotatie- en circulatiedebiet van dezelfde orde van grootte.

3.5.2. Model "Stolwijk"

Zoals reeds in het vorengaande werd vermeld bleek een model een geschikt middel om hydraulische instabiliteitsverschijnselen te bestuderen. Een dergelijk verschijnsel deed zich ook voor in de beluchtingsbak van de rwzi te Stolwijk.

De hoofdafmetingen hiervan waren:

$$\begin{aligned}
 b_p &= 19 \text{ m} \\
 h_p &= 2,8 \text{ m} \\
 d_p &= 2,29 \text{ m} \\
 \text{type Beluchter} &: \text{ Simcar} \\
 n_p &= 40 \text{ omw/min}
 \end{aligned}$$

Hieruit volgt:

$$\begin{aligned}
 k &= b_m/b_p = 4,06/19 = 0,214 \text{ (= de lengteschaal)} \\
 h_m &= k^m \times h_p = 0,214 \times 2,8 = 0,60 \text{ m} \\
 d_m^m &= k \times d_p = 0,214 \times 2,29 = 0,49 \text{ m} \\
 n_m &= k^{-\frac{1}{2}} \times n_p = 2,163 \times 40 = 86,5 \text{ omw/min (op Froudeschaal)}
 \end{aligned}$$

Gekozen is hierbij de modelbeluchter, type Simcar met $d_m = 0,498 \text{ m}$.

Het meetprogramma omvatte de toerentallen (in omw/min):

$$\begin{array}{rcccl}
 n_m & : & 61 & 86 & 111 \\
 n_p & : & 28,4 & 40,1 & 51,8 \text{ (Froude)}
 \end{array}$$

en de dompeldiepten (in cm):

$$\begin{array}{rcccc}
 dd_m & : & -2,8 & -1,4 & 0 & +2,8 \\
 dd_p & : & -13 & -6,5 & 0 & +13
 \end{array}$$

Bij de eerste serie metingen in het model van de beluchtingsbak van de rwzi te Stolwijk was het model ingericht overeenkomstig de werkelijke situatie. Hierbij waren onder de beluchter op de diagonalen vier kruisschotten geplaatst, 47 cm lang en 13 cm hoog, elk met een tussenruimte van 25 cm. De meetresultaten zijn samengevat in tabel III, blz. 110. Over het hele toerentalgebied van $n = 61 \text{ omw/min}$ tot $n = 111$ is bij $dd_m = -2,8 \text{ cm}$ en $dd_p = -1,4 \text{ cm}$ cadans geconstateerd. De m vermogensopname was in alle gevallen stabiel. Deze waarnemingen stemmen overeen met waarnemingen in de praktijk.

Met het doel om te komen tot een oplossing voor het probleem van cadans bij geringere dompeldiepten op de rwzi te Stolwijk zijn in het model een aantal experimenten uitgevoerd. De belangrijkste waarneming die hierbij werd gedaan was de constatering of al dan niet cadans optrad onder bepaalde omstandigheden. Daarnaast zijn enkele summieere metingen verricht.

Voorzieningen ter voorkoming van cadans welke werden getest waren de volgende:

1. Eén schot, 40 cm breed en reikend van 35 cm boven de bodem tot boven het wateroppervlak, geplaatst loodrecht op de diagonaal halverwege de beluchteras en de hoek van de bak (fig. 2). Bij deze situatie zijn bij $n = 86$ omw/min, $dd = -2,8$ cm en $n = 86$ omw/min $dd = +2,8$ cm de gebruikelijke snelheidsmetingen verricht en bovendien snelheidsmetingen in de punten H, K, L, M, N (zie fig. 1). Door dit schot bleek de cadans niet voorkomen te worden. Bovendien bleek uit de lage radiale bodemsnelheden die in punt L werden gemeten dat de circulatiebeweging door dit schot werd verstoord. Het totale circulatiedebiet (voor dit geval voor de vier kwadranten van de bak afzonderlijk berekend en daarna gesommeerd) was lager dan in de oorspronkelijke situatie.
2. Overeenkomstig de door de Machinefabriek Hubert (beluchter-leverancier Stolwijk) te Sneek voorgestelde oplossing voor het cadansprobleem te Stolwijk werden in de vier hoeken van de bak op ongeveer 50 cm boven de bodem horizontale strippen aangebracht van 6 cm breed en ongeveer 35 cm lang (fig. 3). Bij $n = 86$ omw/min, $dd = -2,8$ cm en $n = 86$ omw/min, $dd = +2,8$ cm werden de gebruikelijke metingen verricht. De cadans bleek bij $dd = -2,8$ cm met deze strippen vrijwel even hevig en had dezelfde frequentie als zonder de strippen. Het circulatiedebiet was ten opzichte van de oorspronkelijke situatie afgenomen.
3. De in de hoeken gemonteerde strippen zijn tweemaal in de richting van de beluchter verbreed, eerst tot 20 cm, daarna tot 35 cm (fig. 3). In beide gevallen bleek bij $n = 86$ omw/min en $dd = -2,8$ cm een lichte cadans op te treden met een frequentie die 1,7 maal hoger was dan in de oorspronkelijke situatie. Met de strippen van 20 cm breed trad bij $n = 86$, omw/min, $dd = -1,4$ cm bij $n = 111$ omw/min, $dd = -2,8$ cm geen cadans op. Met de strippen van 35 cm breedte is geconstateerd dat bij $n = 86$ omw/min en $dd \geq -2,5$ cm geen cadans optrad.

4. De hoek tussen wand en bodem van de bak zijn opgevuld met een afschuining met een hoogte van 30 cm en een basis van 60 cm (fig. 4). Het normale meetprogramma (waarbij enkele meetpunten uitvielen omdat zij binnen de afschuining vielen) is uitgevoerd bij $n = 86$ omw/min, $dd = -2,8$ cm, bij $n = 111$, $dd = -2,8$ en bij $n = 86$ omw/min, $dd = +2,8$ cm. Slechts bij $n = 86$ omw/min, $dd = -2,8$ cm werd een lichte cadans geconstateerd met een frequentie die 1,7 maal hoger was dan in de oorspronkelijke situatie. Het circulatiedebiet bleek, vooral bij $dd = +2,8$ cm, duidelijk toegenomen ten opzichte van de oorspronkelijke situatie en was, volgens de gehanteerde berekeningsmethode, ongeveer 1,3 maal zo groot als het rotatiedebiet dat nauwelijks werd beïnvloed.
5. Gecombineerd met de aanwezige afschuiningen van 30 cm hoog en 60 cm breed werden de oorspronkelijke kruisschotten vervangen door vier 1 m brede schotten die op de diagonalen werden geplaatst op een afstand van 2 cm van de rand van de beluchter en die van de bodem tot boven het wateroppervlak reikten. In deze situatie kon niet gemeten worden in de normale meetpunten en daarom zijn snelheidsmetingen uitgevoerd in de punten P, Q, R, S, T, U en V (fig. 5) bij $n = 86$ omw/min, $dd = -2,8$ cm en $n = 86$ omw/min, $dd = +2,8$ cm. In dit geval trad geen cadans op. Hoewel de metingen niet zonder meer vergelijkbaar zijn met die bij de andere proeven kan toch geconcludeerd worden dat de geplaatste schotten het circulatiedebiet nogal beperkten en dat bovendien, zoals te verwachten viel, rotatiedebiet werd gereduceerd tot een kwart van dit circulatiedebiet.
6. De vier in stervorm om de beluchter geplaatste schotten werden gehandhaafd terwijl de afschuiningen werden verwijderd. Nu bleek bij $n = 86$ omw/min en $dd = -2,8$ cm direct cadans op te treden. Daarom zijn in deze situatie verder geen metingen verricht.

Uit de waarnemingen die tijdens het modelonderzoek zijn gedaan kunnen enkele conclusies worden getrokken over tegen het verschijnsel cadans te treffen maatregelen.

Cadans bleek steeds op te treden wanneer de beluchter tot minder dan een bepaalde kritische waarde was gedompeld.

Bij het onderzoek aan het "Almelo-model" bleek ook dat door de plaatsing van kruisschotten deze kritische waarde van juist binnen tot juist buiten het voor de beluchter gespecificeerde dompeldiepte-bereik kon worden opgeschoven. In Stolwijk bleek dat de kritische waarde ondanks kruisschotten nog ruim binnen het werkingsgebied van de beluchter lag. Het plaatsen van verticale schotten in de knoop van de staande golf bleek geen goede maatregel. Eén schot bleek niet voldoende te zijn doch door dit schot bleek het circulatiedebiet in de bak al dermate ongunstig te worden dat proeven met meer schotten geen zin hadden.

Door middel van horizontale anti-cadansschotten in de hoeken juist onder het wateroppervlak kan cadans in belangrijke mate worden gedempt. Deze schotten dienen dan (op praktijkschaal) wel minimaal een breedte van ongeveer 1 m, gemeten langs de diagonaal van de bak, te hebben.

Ook door verhoging van het toerental bleek het golfverschijnsel in zekere mate te worden uitgedempt. Door flinke afschuiningen, bijvoorbeeld een halve waterdiepte hoog en een waterdiepte breed, bleek een belangrijke verschuiving in gunstige zin van de kritische indompelingswaarde, een vermindering van de hevigheid van de cadans en een beter radiaal stromingspatroon bewerkstellig te kunnen worden.

3.5.3. OC-metingen

Het zuurstoftoevoervermogen en het zuurstofinbrengrendement is gedurende het onderzoek in een aantal gevallen bepaald. Het zuurstofgehalte in de bak op achtereenvolgende tijdstippen werd bepaald volgens de Winkler-methode. De bepalingen werden in duplo uitgevoerd. De reproduceerbaarheid was goed. De resultaten zijn opgenomen in de tabellen I, II en III en op verschillende manieren grafisch uitgezet in de grafieken 2 t/m 9, blz. 112 t/m 119.

In model "Almelo" zijn de metingen zowel met als zonder kruisschotten uitgevoerd. In beide modellen zijn de OC-metingen bij drie toerentalen en daarbij telkens drie dompeldiepten uitgevoerd.

Uit de grafieken 2 en 3 valt op te maken dat in het model de kruisschotten geen duidelijke invloed op het rendement hadden. Wel bleek dat toerental en dompeldiepte in het model een zekere samenhang met het rendement vertoonden.

Zowel bij de Simcar als bij de Landy bleek binnen het onderzoekgebied, het rendement hoger te zijn naar mate het toerental toenam.

Tevens bleek dat de rendementscurve (rendement uitgezet als functie van de dompeldiepte) dan vlakker verloopt. Bij de Landy werd het rendement geringer naar mate de dompeldiepte toenam. De metingen met de Simcar beluchter in bedrijf duiden in de richting van een maximaal rendement bij dompeldiepte nul.

3.6. Bespreking van de metingen

3.6.1. Relatie tussen model en prototype

Een vraag die bij het verrichten van het modelonderzoek in eerste aanleg aan de orde kwam was de vraag in hoeverre datgene wat in het prototype werd geconstateerd ook in het model werd waargenomen. Een voorwaarde is uiteraard dat is voldaan aan bepaalde modelregels. Zie hiervoor bijlage 1, blz. 102. Bij de vergelijking tussen model en prototype komen kwalitatieve en kwantitatieve aspecten aan de orde. Kwalitatief kon worden gezien of onder overeenkomstige omstandigheden in model en prototype dezelfde verschijnselen konden worden geconstateerd. In kwantitatieve zin was het interessant na te gaan of tussen gemeten grootheden in model en prototype een eenduidig verband bestond. Van de installaties Almelo en Stolwijk waren over de volgende zaken gegevens bekend waaraan bij het modelonderzoek ondermeer aandacht werd besteed:

- Stabiliteit van de vermogensafname.
- Het optreden van cadans.
- Grootte van het afgenomen vermogen.
- Stroomsnelheden.

In paragraaf 3.5.1. is reeds aangegeven dat het verschijnsel cadans in het model goed werd weergegeven. Dit nodigde uit tot voortzetten van het onderzoek. In het navolgende zal meer in detail worden besproken in hoeverre de gedragingen van het model en het prototype overeenkwamen terwijl verder de mogelijkheden die een modelonderzoek biedt zullen worden besproken.

Stabiliteit van de vermogensafname

Van de mineralisatiebassins te Almelo was bekend dat, voordat kruisschotten op de bodem waren geplaatst, de

vermogensafgifte bij het gegeven toerental bij alle dompeldiepten te laag en instabiel was. Na plaatsing van kruisschotten was de vermogensafname aanzienlijk hoger en stabiel. In het model werden dezelfde waarnemingen gedaan.

Het optreden van cadans

Zoals reeds in de paragrafen 3.5.1. en 3.5.2. is vermeld trad in het model cadans op onder omstandigheden die vergelijkbaar waren met de omstandigheden waaronder in de praktijk cadans optrad. In bijlage 1 is ingevoerd de grootte.

$$\Pi_{10} = t \cdot n \text{ (dimensieloze trillingstijd)}$$

Verder is gesteld

$$d_m n_m^a = d_p n_p^a$$

Dit laatste, in combinatie met gelijkstelling van Π_{10} voor model en prototype, levert op:

$$\begin{aligned} t_m \cdot n_m &= t_p \cdot n_p \\ d_m \cdot n_m^a &= d_p \cdot n_p^a \end{aligned}$$

Hieruit volgt:

$$\frac{d_p}{d_m} = \left(\frac{t_p}{t_m} \right)^a$$

Invullen van de betreffende waarden levert op (voor de relatie model-prototype Almelo)

$$\frac{2,2}{0,54} = \left(\frac{3,5}{1,75} \right)^a$$

Hieruit volgt:

$$a = 2$$

Hieruit blijkt dat het verschijnsel cadans, volgens verwachting, in het model op Froude-schaal kon worden weergegeven.

Het afgegeven vermogen

In bijlage 1 is afgeleid

$$\Pi_9 = \frac{P}{\rho n^3 d^5} \quad (\text{dimensieloos vermogen})$$

Bij gelijkvormigheid in model en prototype moet gelden:

$$\frac{P_m}{\rho n_m^3 d_m^5} = \frac{P_p}{\rho n_p^3 d_p^5}$$

Ter beschikking stonden een aantal metingen van het bruto motorvermogen te Almelo en een aantal metingen van het netto aan de beluchteras afgegeven vermogen bij verschillende toerentallen in het model. Als rendement van motor plus tandwielkast te Almelo is aangehouden 0,85. Voor alle waarden van het netto-as-vermogen in model en prototype werd de waarde van Π_9 berekend. Deze waarden zijn uitgezet in grafiek 1. Hieruit blijkt dat ten aanzien van de grootte Π_9 voldaan is aan de eis van gelijkvormigheid in model en prototype bij een toerental in het model van 88 omw/min.

Het afgegeven vermogen volgt dus uit de schaalregel van Froude!

Stel nu dat de volgende relatie bestaat:

$$\frac{P}{\rho n^3 d^5} = A \cdot \left(\frac{dn^2}{g} \right)^x$$

Hieruit volgt, bij constante d:

$$P = C \cdot n^{2x+3}$$

Uit metingen in het kader van dit onderzoek (grafieken 6, 7, 8 en 9) en uit eerdere metingen van DHV blijkt dat als beste benadering, binnen het toepassingsgebied van puntbeluchters, geldt:

$$P :: n^2$$

Zodat:

$$\begin{aligned} 2x + 3 &= 2 \\ x &= -\frac{1}{2} \end{aligned}$$

Algemeen kan dus gesteld worden dat bij gegeven geometrische verhoudingen (bakvorm, beluchtertype, dompeldiepte) geldt:

$$\frac{P}{\rho n^3 d^5} = A \cdot \left(\frac{dn^2}{g} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

Hierin is A een van de geometrie afhankelijke constante die experimenteel bepaald moet worden.

(Dit wijkt af van hetgeen in de literatuur wordt vermeld over ondergedompelde roerders, namelijk dat bij hoge Reynoldswaarden geldt (1) (2) :

$$\frac{P}{\rho n^3 d^5} = C \cdot \left(\frac{dn^2}{g}\right)^0 = C$$

Waaruit volgt:

$$P \propto n^3$$

Hieruit kan worden geconcludeerd dat de bij het onderzoek betrokken beluchters zich binnen hun toepassingsgebied niet gedragen als ondergedompelde roerders.)

Stroomsnelheden

In bijlage 1 is afgeleid dat (bij exact gelijke geometrische verhoudingen in model en prototype) geldt:

$$\begin{aligned} k &= d_m/d_p = b_m/b_p \\ dd_m &= k \cdot dd_p \\ n_m &= k^{-\frac{1}{2}} \cdot n_p \quad (\text{volgens de modelregels van Froude}) \end{aligned}$$

Verder is afgeleid de grootheid.

$$\Pi = v/d \cdot n$$

Voor gelijkvormigheid tussen model en prototype moet gelden dat tegelijkertijd voldaan is aan:

$$\begin{aligned} dd_m &= k \cdot dd_p \\ n_m &= k^{-\frac{1}{2}} \cdot n_p \\ v_m/d_m \cdot n_m &= v_p/d_p \cdot n_m \end{aligned}$$

Hieruit volgt :

$$\begin{aligned} dd_m &= k \cdot dd_p & (a) \\ n_m &= k^{-\frac{1}{2}} \cdot n_p & (b) \\ v_m &= k^{\frac{1}{2}} \cdot v_p & (c) \end{aligned}$$

waarbij $k = d_m/d_p$

Er kan dus van gelijkvormigheid worden gesproken wanneer na instellen van dompediepte en toerental volgens (a) en (b) snelheden worden gemeten die voldoen aan (c).

Vergeleken zijn snelheidsmetingen in overeenkomstige punten en richtingen in model en praktijk. Hierbij bleek dat voor het slibmineralisatiebassin van de rwzi Almelo de rotatiesnelheden aan het oppervlak voldeden aan (c) doch dat de rotatiesnelheden dieper in de bak in het model wat hoger waren dan op grond van (c) kon worden verwacht. Wellicht werd dit veroorzaakt doordat in het prototype het specifiek vermogen (= vermogen/volume) zo hoog was dat de door de turbulentie veroorzaakte weerstand de stroomsnelheden negatief beïnvloedde. Zie ook (3).

De meetresultaten in model en prototype van de beluchtingsbak van de rwzi te Stolwijk voldeden goed aan (c).

Hieruit kan worden geconcludeerd dat met behulp van modelonderzoek met een redelijke mate van nauwkeurigheid het stromingspatroon in een bassin met puntbeluchter(s) kan worden bepaald.

3.6.2. Stabiliteit van de vermogensafgifte

Het door een beluchter afgegeven vermogen is een functie van de momentane indompelingsdiepte van de beluchter en van het momentane snelheidsverschil tussen de beluchter en het water in de onmiddellijke nabijheid van de beluchter.

De snelheden in de nabijheid van de beluchter worden op twee manieren beïnvloed.

Op de eerste plaats gaat ten gevolge van wrijving het water onder en vlak naast de beluchter in zekere mate mee roteren met de beluchter.

Op de tweede plaats worden de watersnelheden rond en onder de beluchter indirect beïnvloed door de beluchteruitworp.

Het door de beluchter weggeworpen water heeft een zekere tangentiële snelheidscomponent.

Dit resulteert in een rotatie van de bakinhoud. De rotatiesnelheden zijn boven in de bak het grootst en nemen naar de bodem toe af.

De mate van rotatie van de waterhoeveelheid in de nabijheid van de bodem is afhankelijk van de vorm en de afmetingen van de bak en van de eventuele maatregelen die zijn genomen om de rotatie te beperken.

Het water dat langs de bodem radiaal naar het midden van de bak stroomt heeft een tangentiële snelheidscomponent.

Ten gevolge van centrifugale krachten stroomt minder water toe naar het midden van de bak naarmate de tangentiële bodemsnelheid hoger is. Hierbij daalt het waterniveau in het midden van de bak.

De tangentiële snelheid van het toestromende water beïnvloedt mede de watersnelheden in de onmiddellijke omgeving van de beluchter.

Horizontale snelheden onder de beluchter veroorzaken een verlaging van het piëzometrisch niveau en daarmee een vermindering van de indompelingsdiepte van de beluchter.

Naarmate de rotatiesnelheden onder de beluchter hoger zijn is het snelheidsverschil tussen water en beluchter geringer en daarmee de gevoeligheid van het door de beluchter af te geven vermogen voor snelheidsfluctuaties groter.

Ook de verandering van het piëzometrisch niveau ten gevolge van een kleine snelheidsverandering is groter naarmate de gemiddelde watersnelheden hoger zijn.

Concluderend kan worden gesteld dat de vermogensafgifte door de beluchter hoger en stabiel is naarmate de tangentiële snelheidscomponenten van het naar de beluchter toestromende water en van het water onder de beluchter geringer zijn.

Om dit te bereiken kunnen diverse maatregelen worden getroffen:

- Bij toepassing van voldoende diepe bakken blijken zich in het algemeen geen problemen voor te doen. (Normaal wordt aangenomen $b/h < 4$, doch deze waarde is wellicht mede afhankelijk van het type beluchter). De tangentiële bodemsnelheden zijn in diepe bakken waarschijnlijk laag.
- Vermindering van de mate van rotatie van de gehele bakinhoud door plaatsing van verticale schotten langs de wanden of onder de brug bleek in een aantal gevallen voldoende stabiliserend te werken.
- Bij beluchters met een stijgbuis zijn een aantal malen zonder succes verticale schotten in de stijgbuis gemonteerd. Dit uitblijven van succes is mogelijk te wijten aan het feit dat wel de waterbeweging direct onder de beluchter wordt beïnvloed doch niet de rotatiesnelheid langs de bodem en daarmee de toestroming. In combinatie met schotten onder de brug werd in Hengelo wel succes geboekt.
- In enkele gevallen is, eveneens zonder succes gepoogd de "toestroming naar de beluchter te verbeteren" door het plaatsen van een kegel op de bodem onder de beluchter.
- Vrij vaak werden kruisschotten op de bodem onder de beluchter gemonteerd.

Waar deze werden toegepast was steeds de vermogensafgifte stabiel. (Wel trad soms cadans op.) Deze kruisschotten waren ook in het modelonderzoek betrokken. Gebleken is dat een relatief laag en instabiel energieverbruik door toepassing van deze schotten hoog en stabiel werd. De mate van rotatie van de totale bak-inhoud werd hierdoor echter nauwelijks of niet beïnvloed. Wel werd het circulatiedebiet ongeveer 50% hoger. Hierdoor werd duidelijk dat de mate van rotatie van de bak-inhoud op zich onbelangrijk is en dat de toestroming naar de beluchter en het gedrag van het water onder de beluchter voldoende konden worden gestabiliseerd door de tangentiële snelheden in het centrum van de bak nabij de bodem te reduceren.

3.6.3. Cadans

Uit het onderzoek is gebleken dat het al of niet optreden van cadans bepaald werd door de volgende factoren:

- a. Vorm van het beluchtingsbassin.
- b. Toerental van de beluchter.
- c. Indompeldiepte van de beluchter.

Verder kan worden aangenomen dat van belang is:

- d. Vorm van de beluchter.

Geconstateerd werd dat cadans optrad wanneer de indompeldiepte van de beluchter minder dan een bepaalde kritische waarde bedroeg.

De oorzaak van het verschijnsel cadans moet worden gezocht in het onder alle omstandigheden aanwezig zijn van instabiliteiten in de stroming rondom en onder de beluchter.

Deze instabiliteiten gaan gepaard met fluctuaties van het waterpeil onder de beluchter.

Bij geringe dompeldiepte, waarbij de onderzijden van de schoepen nog juist het wateroppervlak raken, zullen deze kleine fluctuaties relatief grote verschillen in de door de beluchter uitgeworpen hoeveelheid water tot gevolg hebben. De door de beluchter uitgeworpen hoeveelheid water als functie van de dompeldiepte vertoont hier immers een discontinuïteit.

Daalt, als gevolg van instabiliteit van de stromings-toestand, in de nabijheid van de beluchter de waterstand beneden het punt waar de bovengenoemde discontinuïteit optreedt dan zal dit onmiddellijk een

geringer horizontaal debiet tot gevolg hebben. Tegelijkertijd neemt het verhang in de richting van de beluchter toe, hetgeen een tijdelijke toename van het debiet langs de onderzijde naar de beluchter toe tot gevolg zal hebben. Als gevolg van de traagheid zal dit debiet ook nog geleverd worden ook nadat de eerdere evenwichtswaterstand weer is bereikt. Een tijdelijk hogere waterstand zal het gevolg zijn waardoor het horizontale debiet weer toeneemt. Tegelijkertijd wordt een positieve golf uitgezonden die na terugkaatsing tegen de wanden van de bak een halve golfperiode later als een negatieve golf weer bij de beluchter belandt. Het gehele proces herhaalt zich daarna. In hoeverre het verschijnsel permanent karakter krijgt is afhankelijk van de demping van het golfverschijnsel ten gevolge van wrijving en de graad van instabiliteit van de stroming in de nabijheid van de beluchter. (Het spreekt vanzelf dat ook een omgekeerde volgorde bij het ontstaan van het verschijnsel dezelfde gevolgen zal hebben.) Of het voortbestaan en mogelijk ook het ontstaan van cadans mede wordt bepaald door het periodieke karakter van de uitworp van de beluchter kan aan de hand van de uitgevoerde waarnemingen niet worden vastgesteld. Langs een radiaal zal als gevolg van het periodiek passeren van een schoep de horizontale snelheid nabij het wateroppervlak fluctueren. Deze fluctuaties hebben een frequentie f die volgt uit:

$$f = \frac{\text{aantal schoepen} \times n}{60} \text{ Hz}$$

Cadans is geconstateerd bij toerentallen van 61 tot 111 omw/min. (Hogere en lagere toerentallen zijn bij het onderzoek niet toegepast.) Het aantal schoepen van de beproefde beluchter was 8 zodat het frequentiebereik, berekend met behulp van bovenstaande formule tussen 8,13 en 14,8 Hz lag. De in het model waargenomen frequenties van de staande golfbeweging warin in het model "Almelo" 0,57 Hz en in het model Stolwijk oorspronkelijk 0,53 Hz en, na het nemen van bepaalde maatregelen 0,91 Hz.

Het ligt voor de hand op grond van deze getallen te veronderstellen dat het ontstaan van cadans niet werd veroorzaakt door de fluctuaties in de uitworp. In hoeverre echter de eenmaal ontstane golfbeweging mede in stand werd gehouden door het periodiek optreden van snelheidsfluctuaties aan het wateroppervlak kan niet worden vastgesteld met de beschikbare apparatuur en binnen de beschikbare tijd.

De voortplantingssnelheid van een golf kan worden berekend met behulp van de formule :

$$c^2 = \frac{g \cdot C}{2 \cdot \pi} \operatorname{tgh} \left(\frac{2\pi h}{L} \right)$$

De frequentie volgt dan uit:

$$f = \frac{C}{L}$$

Omdat de staande golfbeweging tot stand zal komen door weerkaatsing van de beluchter komende golven tegen de wanden gold (als eerste benadering):

$L = 4,06$, dit is de breedte van de bak.

Voor het model "Almelo" was $h = 0,84$ m waaruit volgt $C = 2,337$ m/s en $f = 0,5757$ Hz.

Waargenomen werd $0,57$ Hz zodat de overeenkomst treffend genoemd kan worden.

Voor het model "Stolwijk" gold $h = 0,60$ m.

Nu volgt $C = 8,150$ en $f = 0,530$. Gemeten werd $f = 0,53$ Hz zodat ook hier van een zeer goede overeenstemming tussen beide waarden gesproken kan worden.

Hierdoor wordt dus bevestigd dat de staande golfbeweging ontstaat door weerkaatsing van de golven tegen de wanden op de kortste afstand van de beluchter.

Ongeveer in de hoeken van de bak zouden zich dan knopen moeten bevinden. Dit is in overeenstemming met de golftheorie die leert dat de knoop zich op $3/2 \times L$ vanaf de beluchter moet bevinden en de lengte van de diagonaal was uiteraard $\sqrt{2} \times L = 1,414 \times L$.

In werkelijkheid traden echter in de hoeken de hoogste amplitudes op. Volgens visuele waarneming was de golfbeweging hier in tegenfase met de golfbeweging langs de wand op de korste afstand van de beluchter. Opstuwung van het water in de hoeken ten gevolge van de vierkante vorm van de tak zal hier debet aan zijn geweest.

Aan de hand van het bovenstaande en de gedane waarnemingen kan worden gesteld dat cadans voorkomen of verhinderd kan worden door maatregelen in de volgende zin:

- a. Verhogen van de stabiliteit van de stroming rond de beluchter.
- b. Voorkomen dat instabiliteiten rond de beluchter discontinuïteiten in de beluchteruitworp tot gevolg hebben.
- c. Dempen van de golfbeweging.

Ad a. Door het verhogen van de stabiliteit van de stroming rond de beluchter wordt cadans minder gemakkelijk geïnitieerd. De stabiliteit kan worden verhoogd door middel van kruisschotten. Omdat geringe instabiliteiten toch zullen blijven voorkomen is het positieve effect van deze maatregel wel waarneembaar doch gering.

Ad b. Zoals hiervoor reeds is gesteld veroorzaken kleine niveauwijzigingen rond de beluchter discontinuïteiten in de uitworp wanneer door deze niveauverschillen de schoepen het water afwisselend wel en niet raken. Wanneer een beluchter die, stilstaand, tot een bepaalde diepte in het water steekt wordt gestart dan zal het waterniveau rond de beluchter dalen. Voorkomen moet worden dat na deze niveaudaling de indompeling zodanig is dat door kleine instabiliteiten de schoepen het water afwisselend wel en niet meer raken. Dit kan worden bereikt door de beluchter dieper te dompelen, waardoor het werkingsgebied wordt verkleind. Dit kan echter ook door de niveaudaling ten gevolge van het draaien van de beluchter te beperken. Deze niveaudaling is minder naarmate het water gemakkelijker weer toestroomt. Hiertoe kunnen de hoeken tussen wanden en bodem worden afgeschuind, kan een niet te platte bak worden toegepast en kan een zo klein mogelijke beluchter worden gekozen terwijl ook de eerder genoemde kruisschotten de toestroming naar de beluchter bevorderen.

Ad c. De maatregelen die ad b. zijn genoemd hebben voornamelijk betrekking op het ontwerp van de bak. Blijkt in een bak eenmaal cadans op te treden dan kunnen deze maatregelen moeilijk meer worden toegepast en kunnen alleen nog maatregelen worden genomen om de golfbeweging te dempen.

- Door middel van horizontale schotten juist onder het wateroppervlak in de hoeken van de bak (zie fig. 3) kan de cadans sterk verminderd en in bepaalde gevallen geheel onderdrukt worden, mits de breedte van de schotten, gemeten langs de diagonaal tenminste $1/20$ maal de bakbreedte bedroeg.

- Plaatsing van één schot in de diagonaal ter plaatse van de golfknoop had niet het gewenste effect. Omdat tevens bleek dat de radiale circulatie ernstig belemmerd werd is de toepassing van meerdere en andere vormen van deze schotten niet beproefd.

- Van verhoging van het toerental, hoewel voor de praktijk moeilijk toepasbaar, bleek een dempende werking uit te gaan. Mede op grond van het gestelde ad b pleit dit voor keuze van een zo klein mogelijke beluchter met zo hoog mogelijk toerental.
- Afschuiningen, reeds ad b genoemd, hebben, naast een gunstig effect op de stroming, ook een dempende werking.
- Maatregelen als golfdempende wanden, schotten op andere plaatsen dan in de hoeken zijn denkbaar. Bij beproeving hiervan dient echter tevens de invloed hiervan op het stromingspatroon te worden nagegaan.

3.6.4. Zuurstoftoevoervermogen en zuurstofinbrengrendement

Bij het ontwerp van puntbeluchtersystemen is het gewenst dat het zuurstoftoevoervermogen (OC) van het systeem met zo groot mogelijke zekerheid voor variërende bedrijfstoestanden bekend is. Middels modelonderzoek kon de invloed van bepaalde parameters op de OC worden bepaald. Zo bleek de OC in een bak met kruisschotten belangrijk hoger te zijn dan in een bak zonder deze schotten. Schaalregels waarmee een in het model bepaalde OC rechtstreeks kan worden omgerekend naar een te verwachten OC in de praktijk zijn nog onvoldoende bekend. Het is echter wel mogelijk om met behulp van praktijkcijfers, voor het zuurstofinbrengrendement die daartoe geïnventariseerd dienen te worden, en met een op grond van modelonderzoek bepaalde vermogensafgifte de te verwachten OC te berekenen.

In het kader van het onderzoek "Optimalisering van puntbeluchtersystemen" is door DHV onderzoek verricht aan modellen van de slibmineralisatiebassins van de rwzi te Almelo en de beluchtingsbak van de rwzi te Stolwijk.

Het doel van dit onderzoek was drieledig.

In de eerste plaats vaststellen of verschijnselen welke in de praktijk in de literatuur of tijdens de enquête gesignaleerd werden en die welke bij het onderzoek door BKH op praktijkschaal waren geconstateerd ook in een model konden worden gereproduceerd en aan welke modelwetten het model beantwoordde.

In de tweede plaats bestuderen van het hydraulisch gedrag van puntbeluchtersystemen.

Tenslotte vinden van oplossingen voor problemen als te lage en instabiele vermogensafgifte door de beluchter zowel als het optreden van cadans.

Gebleken is dat de verschijnselen in het model goed reproduceerbaar waren. De gemeten hydraulische grootheden voldeden aan de modelregel van Froude.

De stroming in de bassins die werden onderzocht bleek een aanzienlijke tangentiële component te hebben.

Deze rotatie bleek op zich geen nadelige invloed op de werking van het systeem te hebben. Wel vertoonde het radiaal circulerende debiet samenhang met een gunstige of minder gunstige werking van het systeem. Dit debiet was van dezelfde orde van grootte als het rotatie-debiet.

Problemen met de vermogensafgifte bleken met kruisschotten op de bodem onder de beluchter goed te kunnen worden opgelost.

Deze kruisschotten beïnvloedden wel de radiale circulatie doch de tangentiële rotatie niet of nauwelijks. Het zuurstoftoevoervermogen kan met deze schotten sterk worden vergroot, het zuurstofinbrengrendement bleef hierbij gelijk.

Er konden enkele richtlijnen worden ontwikkeld voor maatregelen ter voorkoming of onderdrukking van het verschijnsel cadans.

Belangrijk ter voorkoming van cadans bleek een gelijkmatige en gemakkelijk verlopende radiale verticale circulatiebeweging. (Zie ook blz. 98)

Dit wordt o.a. bereikt door een niet te platte bak, kruisschotten op de bodem onder de beluchter en afschuiningen tussen wanden en bodem. Cadans kan op eenvoudige wijze worden onderdrukt door het aanbrengen van horizontale schotten van minimaal ongeveer 1 m breed, echter uiteraard afhankelijk van de bakgeometrie in één of meer hoeken van de bak, juist onder het wateroppervlak.

Bijlagen

1. Modelwetten

Het is aantrekkelijk het hydraulisch gedrag van puntbeluchtersystemen in modellen te bestuderen. Daarbij is vereist dat het proces dat zich in het model afspeelt volledig gelijkvormig is aan het proces in het prototype.

Het proces dat zich in een puntbeluchtingssysteem afspeelt wordt, in hydraulisch opzicht, onder andere bepaald door de volgende variabelen:

- fysische grootheden:

ν	=	kinematische viscositeit van water	$(L^2 T^{-1})$
σ	=	oppervlaktetension van de vloeistof	$(M T^{-2})$
ρ	=	soortelijke dichtheid van de vloeistof	(ML^{-3})
E	=	compressiemodulus van de vloeistof	$(ML^{-1} T^{-2})$

- geometrische grootheden:

d	=	diameter beluchter	(L)
h	=	waterdiepte	(L)
b	=	breedte van de bak	(L)
l	=	algemene lengtemaat (schotten e.d.)	(L)

- dynamische grootheden:

g	=	versnelling zwaartekracht	(LT^{-2})
v	=	snelheid van de vloeistof	(LT^{-1})
P	=	vermogen aan de as	$(ML^2 T^{-3})$
n	=	toerental van de beluchter	(T^{-1})
t	=	periode van de golfbeweging	(T)

Met behulp van het Π -theorema (4) kunnen x variabelen worden gegroepeerd in $x-3$ dimensieloze grootheden Π .

Het te bestuderen proces kan dan worden beschreven door een functie:

$$\emptyset (\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{x-3}) = 0$$

die er voor een puntbeluchtersysteem als volgt uit kan zien:

$$\emptyset \left(\frac{d}{h}, \frac{d}{b}, \frac{d}{l}, \frac{d^2 n}{v}, \frac{\rho d^3 n^2}{\sigma}, \frac{\rho d^2 n^2}{E}, \frac{dn^2}{g}, \right. \\ \left. \frac{v}{dn}, \frac{P}{\rho d^5 n^3}, tn, \dots \right) = 0$$

Een nadere beschouwing van de Π -termen leert:

Π_1	=	$\frac{d}{h}$	
Π_2	=	$\frac{d}{b}$	bepalen de geometrie
Π_3	=	$\frac{d}{l}$	
Π_4	=	$\frac{d^2 n}{\nu}$	getal van Reynolds
Π_5	=	$\frac{\rho d^3 n^2}{\sigma}$	getal van Weber
Π_6	=	$\frac{\rho d^2 n^2}{E}$	getal van Cauchy
Π_7	=	$\frac{dn^2}{g}$	getal van Froude voor de beluchter
Π_8	=	$\frac{\nu}{dn}$	getal van Froude voor de vloeistofsnelheden
Π_9	=	$\frac{P}{\rho d^5 n^3}$	dimensieloos vermogen
Π_{10}	=	tn	dimensieloze trillingstijd

Onderling mogen Π termen met elkaar vermenigvuldigd of door elkaar gedeeld worden.

Het resultaat blijft dan dimensieloos.

Voor gelijkvormigheid tussen model en prototype is nodig dat voor beide alle overeenkomstige kentallen dezelfde waarde hebben.

Zijn de geometrische verhoudingen (Π_1, Π_2, Π_3) voor model en prototype gelijk en zijn, door de vloeistofkeuze, ν, σ, ρ en E gelijk, terwijl ook g gelijk blijft dan blijkt:

uit Π_4	= constant volgt :	$d \cdot n^{\frac{1}{2}} = \text{constant}$
uit Π_5	= constant volgt :	$d \cdot n^{\frac{2}{3}} = \text{constant}$
uit Π_6	= constant volgt :	$d \cdot n^2 = \text{constant}$
uit Π_7	= constant volgt :	$d \cdot n^2 = \text{constant}$

Aan deze vier voorwaarden kan niet tegelijkertijd worden voldaan tenzij model en prototype even groot zijn.

Wordt algemeen gesteld dat het toerental voor het model volgt uit de betrekking

$$d_m \cdot n_m^a = d_p \cdot n_p^a$$

dan moet de waarde a zo worden gekozen dat de gelijkvormigheid in model en prototype ten aanzien van het te bestuderen verschijnsel optimaal is.

Omgekeerd kan, indien voldoende metingen in model en prototype zijn verricht, de juiste waarde van a experimenteel worden bepaald door vast te stellen bij welke waarde van a de termen Π_8 , Π_9 en Π_{10} in model en prototype dezelfde waarde hebben, met andere woorden, welk kental ten aanzien van de te bestuderen verschijnselen een overheersende rol speelt.

Uit dit en andere onderzoek van DHV is steeds gebleken dat het getal van Froude bepalend is en dat dus geldt:

$$a = 2$$

(zie ook paragraaf 3.6.1.)

De bepaling van de afmetingen van het model geschiedde op de volgende wijze:

De schaalfactor was:

$$k = b_m/b_p$$

De andere maten volgen dan uit:

$$\begin{aligned} h_m &= k \cdot h_p \\ d'_m &= k \cdot d_p \end{aligned}$$

d'_m is dan de theoretische beluchterdiameter. Uit de beschikbare beluchtermoedellen werd er dan een gekozen met een diameter d_m die de theoretische diameter het dichtst benaderde. De schaalfactor voor de beluchter was dan

$$k_1 = d_m/d_p$$

Waaruit dan volgt:

$$dd_m = k_1 \cdot dd_p$$

en uit

$$d_m n_m^2 = d_p n_p^2 \quad (\text{Froude})$$

volgde:

$$n_m = k_1^{-\frac{1}{2}} \cdot n_p$$

2. Verwerking van de snelheidsmetingen

Rotatie

In de 9 punten (fig. 1) A 1-2-3, B 1-2-3, C 1-2-3, gelijkmatig verdeeld over een meetraai tussen de beluchter en de zijwand, loodrecht op deze wand, werd de tangentiële snelheidscomponent gemeten. Het gemiddelde van deze 9 waarden, de rotatiesnelheid v_r , vermenigvuldigd met het oppervlak van de raai gaf het rotatiedebiet Q_r volgens:

$$Q_r = v_r \cdot \frac{b_m - d_m}{2} (h_m + dd_m)$$

Circulatie

In de punten D, E, F en G (fig. 1.) werd achtereenvolgens op afstanden $\frac{1}{p} \cdot h_m$, $\frac{2}{p} \cdot h_m$, enz. boven de bodem de radicale snelheidscomponent in de richting van de beluchter gemeten totdat op een afstand $\frac{j}{p} \cdot h_m$ van de bodem een snelheid nul werden gevonden. Voor punt E bijvoorbeeld werden dus bepaald de snelheden:

$$v_{E1}, v_{E2}, \dots, v_{Ej}.$$

De waarde van p was 12 in het model "Almelo" en 6 in het model "Stolwijk".

Door het meetpunt werd een horizontale cirkel met straal r gedacht ($r_D=1,73$ m, $r_E=1,15$ m, $r_G=1,45$ m, punt F bleek geen bruikbaar meetpunt) en een radiaal naar de beluchter gericht debiet werd, bijvoorbeeld voor punt E, berekend volgens:

$$Q_{CE} = 2 \cdot \pi \cdot r_E \cdot \frac{h_m}{p} (v_{E1} + v_{E2} + \dots + v_{Ej})$$

Vervolgens werd een gemiddelde circulatiedebiet berekend volgens:

$$Q_C = (Q_{CD} + Q_{CE} + Q_{CG}) / 3$$

Met grote nadruk wordt erop gewezen dat de aldus berekende waarde slechts een zeer globale indicatie gaf van de grootte van het circulatie-debiet en slechts bruikbaar was voor onderlinge vergelijking van proeven. Hierdoor kon de invloed van bepaalde maatregelen op het stromingspatroon in de bak worden nagegaan.

Visuele waarnemingen van het gedrag van snippers papier in het water leerden dat naast een vrij stabiele rotatiebeweging een grillig circulatiepatroon met neren en wervels bestond.

3. Literatuuropgave

1. Johnstone R.E. en Thring M.W.
"Pilot Plants, Models and Scale-up Methods in Chemical Engineering", New York 1955, McGraw-Hill.
2. Robertson W.S.
"Aeration in the activated sludge process".
Lezing gehouden tijdens symposium "Aspects of Biochemical Engineering of the University of Manchester, december 1969.
3. Knop, E. en Kalbskopf, K.H.
"Energy and Hydraulic Tests on Mechanical Aeration Systems".
Conference of the International Association on Water Pollution Research, Prague 1969.
In: Advances in Water Pollution Research;
Proceedings of the 4th International Conference,
Prague 1969. Edited by S.H. Jenkins.
4. Rouse, H. "Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers".
Dover Publications Inc. New York.
5. Metingen r.w.z.i. Almelo, uitgevoerd in opdracht van het Waterschap Regge en Dinkel door Advies- en Ingenieursbureau Witteveen en Bos.

4. Symbolen

b	=	breedte beluchtingsbak	(m)
h	=	waterdiepte	(m)
l	=	lengte	(m)
d	=	diameter beluchter	(m)
dd	=	dompeldiepte	(cm)
k	=	schaalfactor	-
n	=	toerental beluchter	(omw/min)
v	=	stroomsnelheid	(m/s)
P	=	netto vermogen	(W)
Q	=	debiet	(m ³ /s)
t	=	trillingstijd	(s)
...	=	index "model"	
...	=	index "prototype"	
ν	^m	kinematische viscositeit	(m ² /s)
σ	=	oppervlaktespanning	(N/m)
ρ	=	soortelijke dichtheid	(kg/m ³)
E	=	compressiemodulus	(N/m ³)
C	=	voortplantingssnelheid	(m/s)
L	=	Golflengte	(m)

TABEL I Model "Almelo" zonder kruisschotten.

dd cm	n t/min	\bar{P} W	bijzon- derheden	*	\bar{v}_r cm/S	Q_r m ³ /S	Q_G m ³ /S	OC gO ₂ /h	hO ₂	Frequentie Hz
+5.5	66	110	I		12.5	.17	.13	238	2.16	
+5.5	75	164	I		11.6	.18	.13			
+5.5	83	233	I		11.1	.18	.11	484	2.08	
+5.5	91	266	I		11.5	.18	.11			
+5.5	101	320	I		9.7	.15	.10	803	2.51	
+2.75	66	110	I		11.3	.17	.12			
+2.75	75	153	I		11.0	.17	.15			
+2.75	83	185	I		10.8	.17	.13			
+2.75	91	211	I		11.5	.18	.13			
+2.75	101	275	I		11.0	.17	.13			
0	66	88	I		11.9	.18	.11	200	2.28	
0	75	112	I		11.7	.17	.12			
0	83	140	I		12.7	.19	.11	364	2.64	
0	91	171	I		12.0	.18	.08			
0	101	232	I		12.1	.18	.09	643	2.77	
-2.75	66	73	I		11.2	.16	.04			
-2.75	75	99	I		11.8	.17	.05			
-2.75	83	132	I		10.8	.16	.04			
-2.75	91	158	I		9.4	.13	.06			
-2.75	101	204	I		10.0	.14	.05			
-4.9	88		I	C						0.57
-5.5	66	49	I		10.6	.15	.10	143	2.91	
-5.5	75	77	I	C	11.0	.15	.09			0.57
-5.5	83.6	91	I	C	9.8	.13	.09	264	2.94	0.57
-5.5	91	122	I	C	12.9	.18	.07			0.57
-5.5	101	158	I	C	11.0	.15	.04	450	2.85	0.57

* I = instabiele vermogensafname
C = cadans

TABEL II Model "Almelo" met kruisschotten.

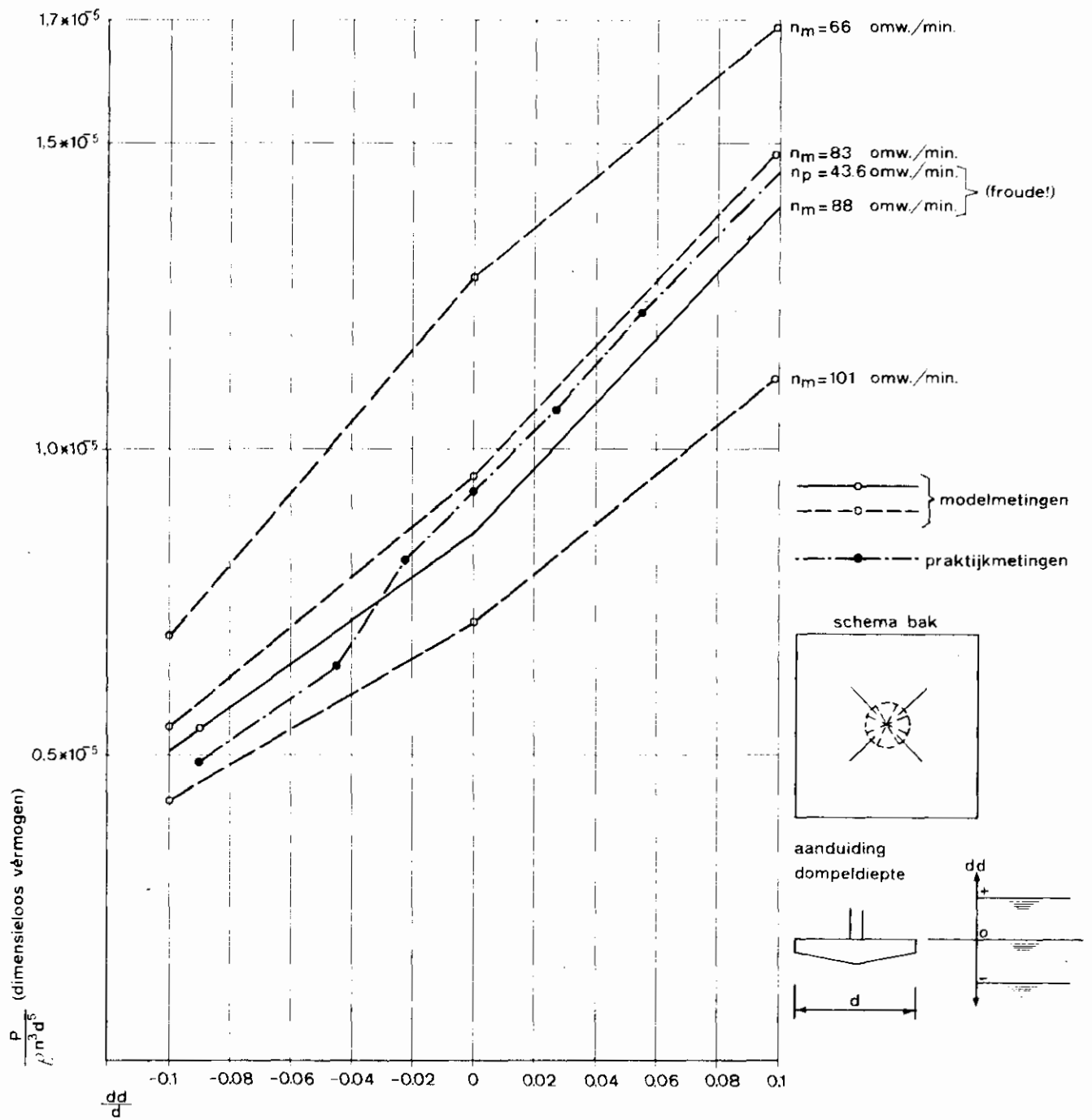
dd cm	n t/min	\bar{P} W	bijzon- [*] derheden	\bar{v}_r cm/S	Q_r m ³ /S	Q_G m ³ /S	OC gO ₂ /h	hO ₂	Frequentie Hz
+5.5	66	223		10.4	.16	.16	507	2.27	
+5.5	83	390		10.6	.16	.16	917	2.36	
+5.5	101	528		11.0	.17	.19	1423	2.70	
0	66	169		10.4	.15	.16	397	2.35	
-0.1	83	247		10.9	.17	.15	655	2.65	
0	101	338		10.9	.17	.14	916	2.71	
-4.9	88	169							
-5.5	66	85	c	10.3	.14	.13	235	2.77	0.57
-5.5	83	142	c	10.7	.15	.12	405	2.85	0.57
-5.5	101	199	(c)	10.5	.14	.11	548	2.75	0.57

* c = cadans
(c) = lichte cadans na lange tijd draaien

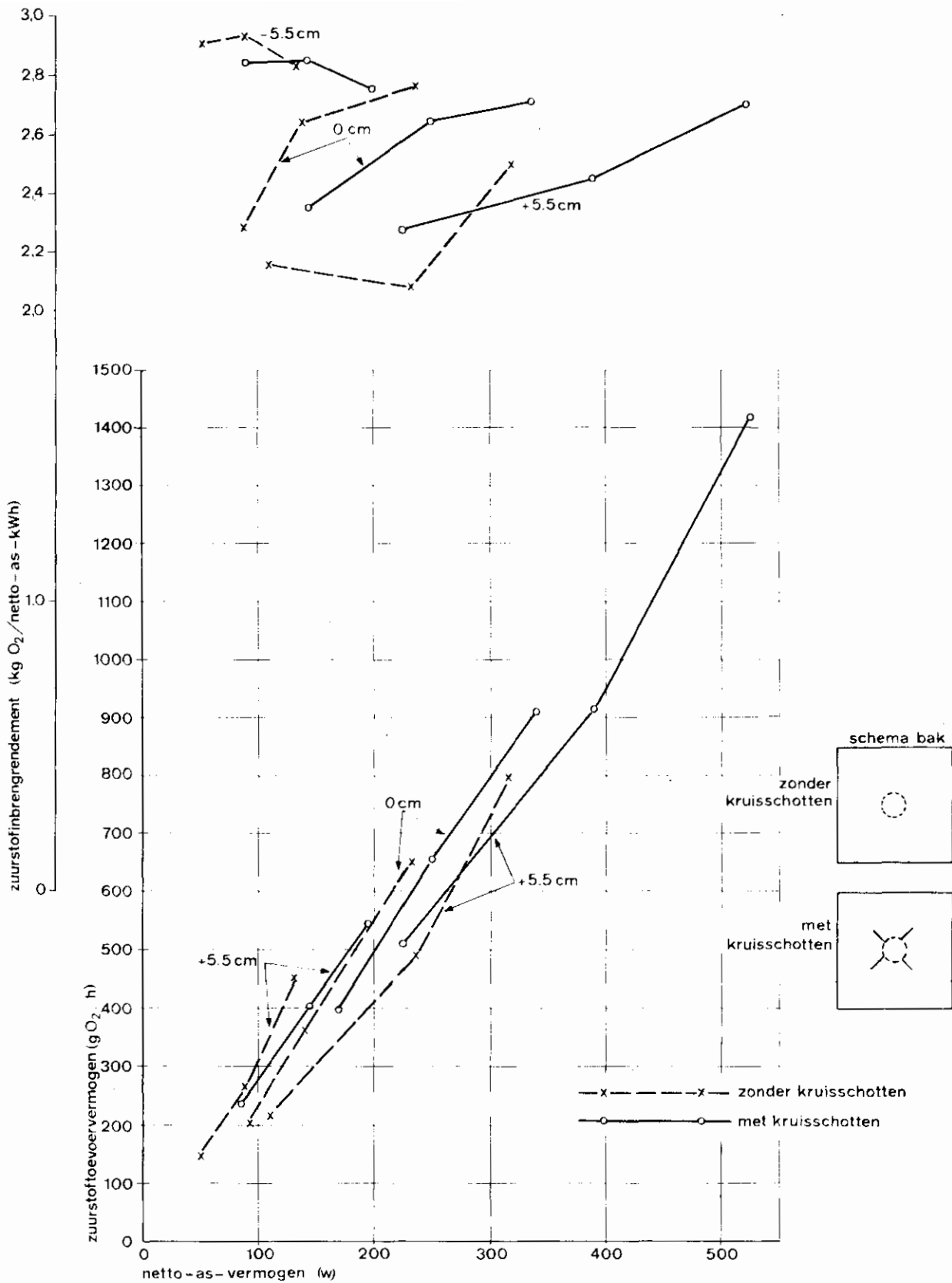
TABEL 3 Model "Stolwijk" bestaande situatie

dd cm	n t/min	\bar{P} W	bijzon- [*] derheden	\bar{v}_r cm/S	Q_r m ³ /S	Q_c m ³ /S	OC gO ₂ /h	hO ₂	Frequentie Hz
+2.8	61	50		10.8	.11	.11	137	2.76	
+2.8	86	97		11.7	.12	.12	288	2.97	
+2.8	111	155		11.7	.12	.09	490	3.13	
0	61	38		10.0	.10	.09	122	3.32	
0	86	74		12.2	.12	.13	234	3.15	
0	111	125		12.3	.12	.11	400	3.20	
-1.4	61	31	C						0.53
-1.4	86		C						0.53
-1.4	111		C						0.53
-2.8	61	26	C	7.8	0.08	.08	726	2.77	0.53
-2.8	86	54	C	9.3	.09	.11	1647	3.07	0.53
-2.8	111	89	C	9.7	.09	.09	293	3.30	0.53

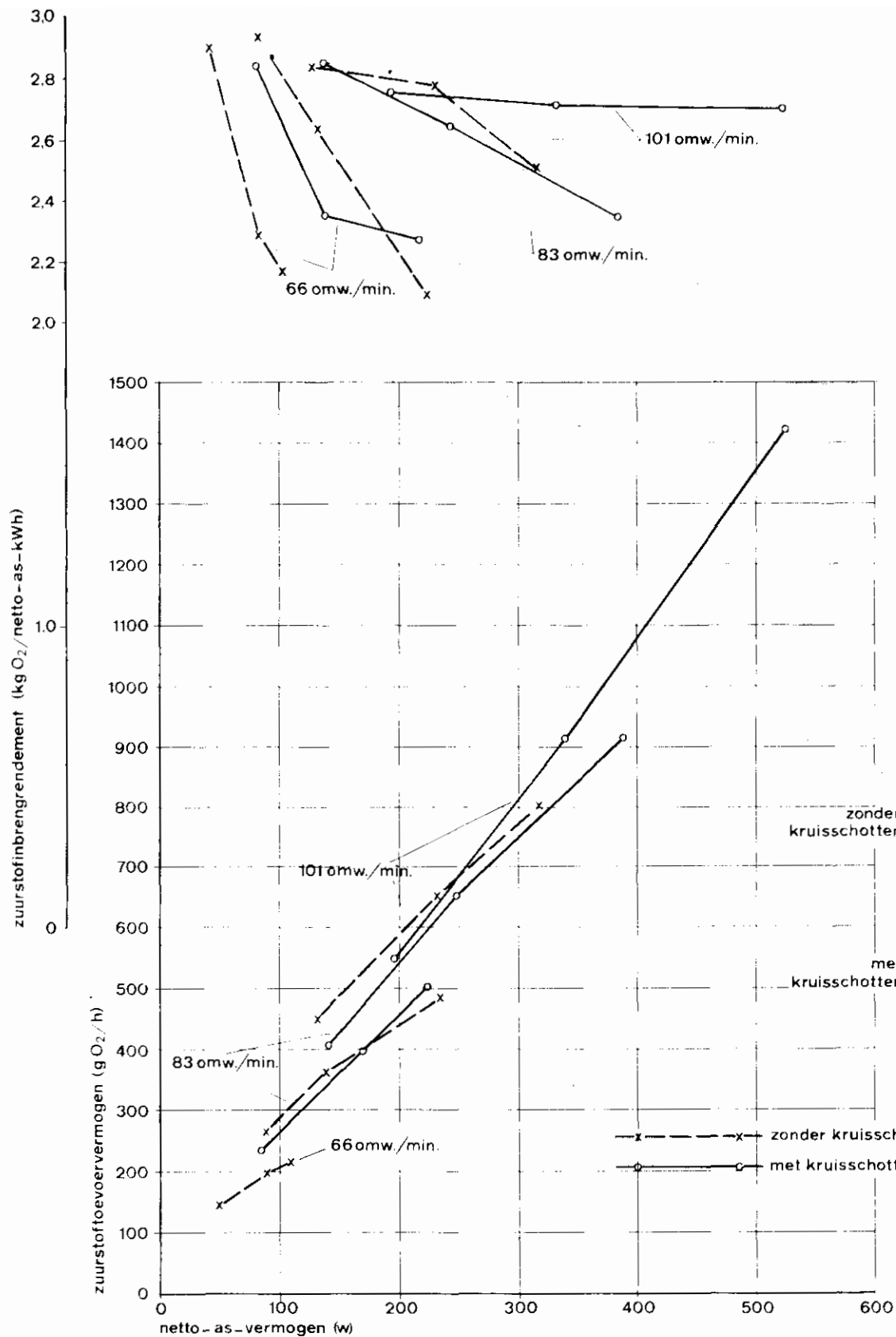
* c = cardans



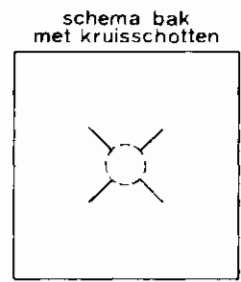
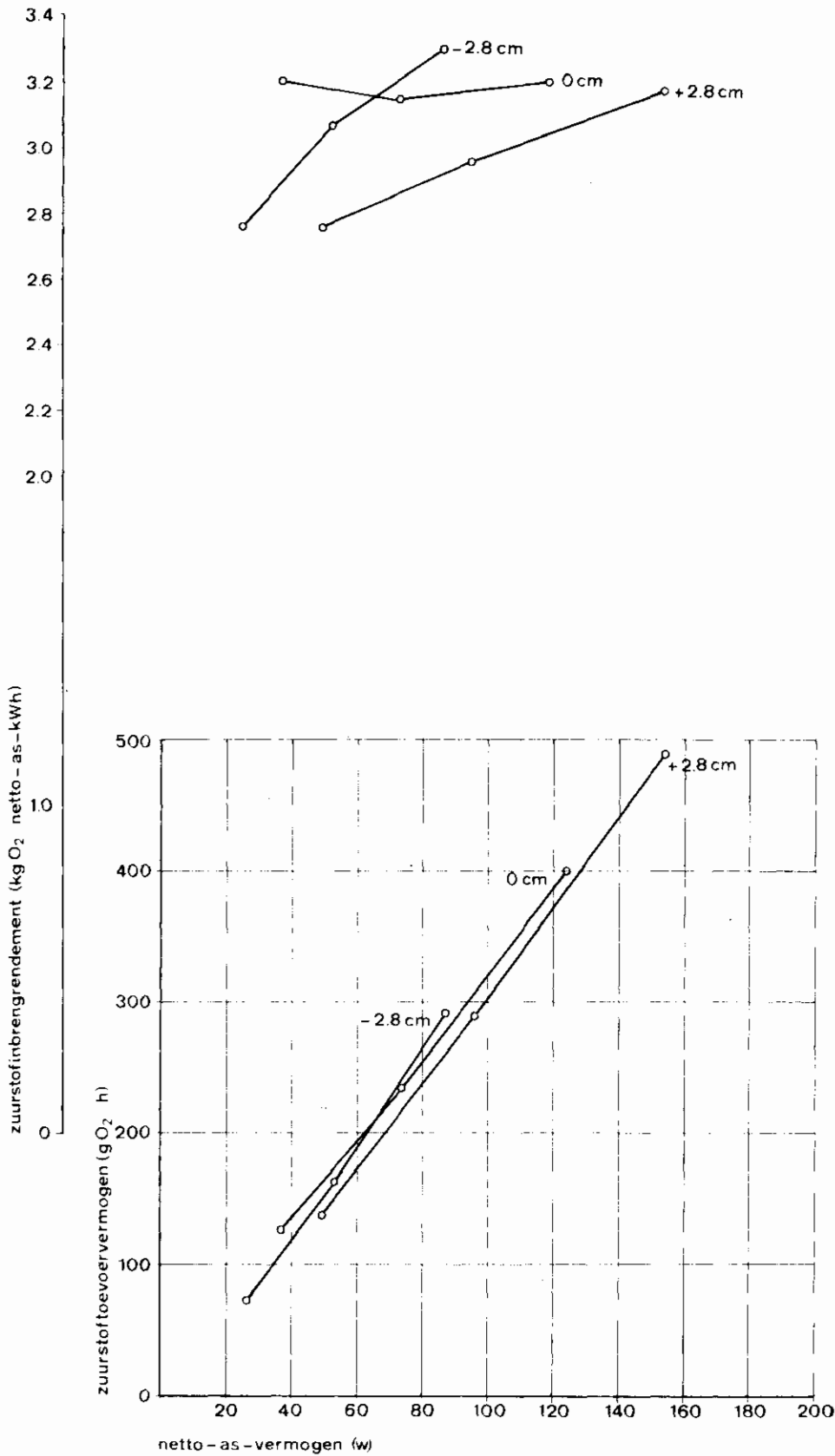
<p>model "almelo" slibmineralisatie</p>	<p>$d_m = 0,54\text{m}$ $d_p = 2,20\text{m}$</p>	<p>vergelijking van model - en praktijkmetingen</p>	<p>grafiek 1</p>
---	--	---	------------------



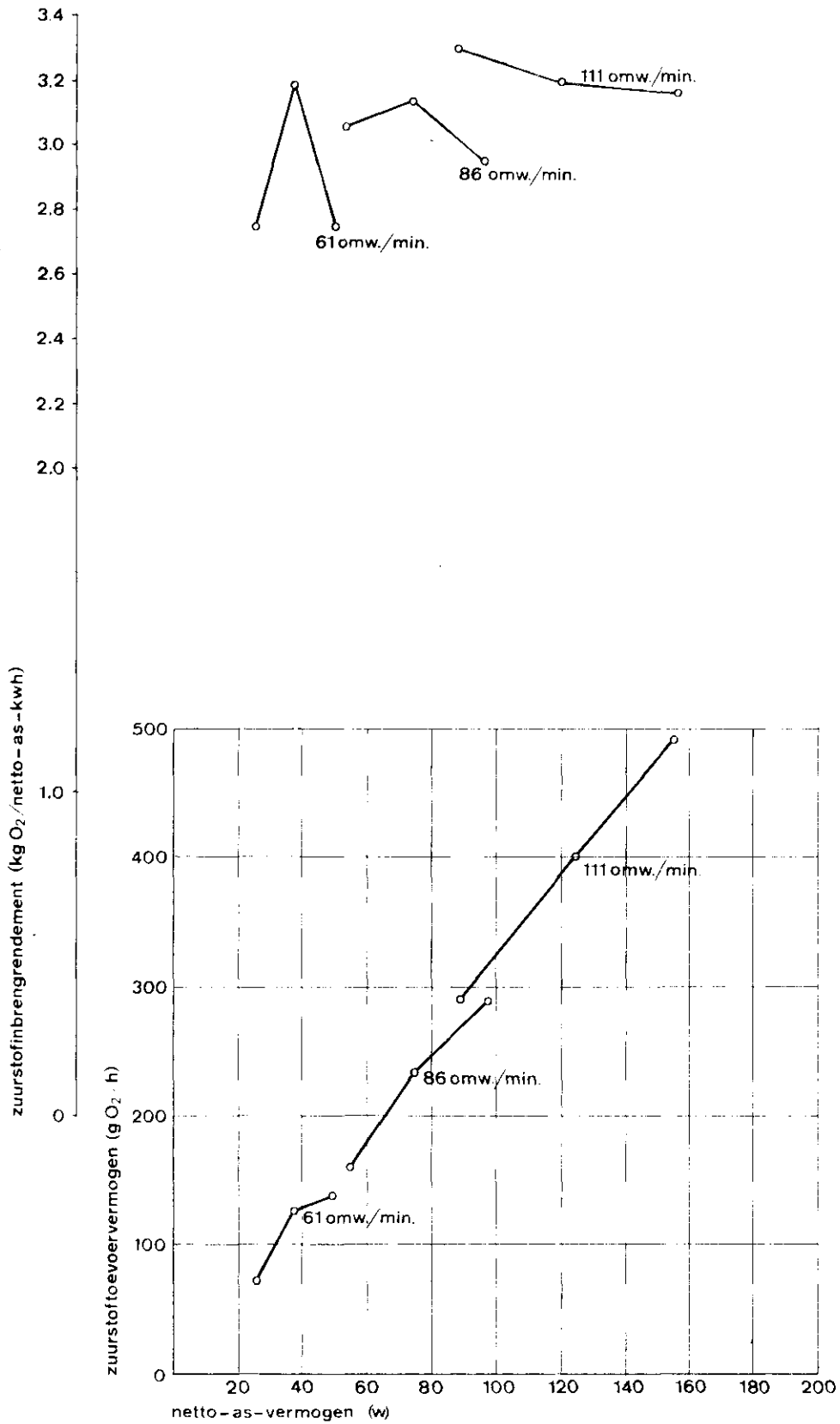
<p>model "almelo"</p> <p>afmetingen: 4,06x4,06x0,84m³</p> <p>beluchter: landy ø 0,54m</p>	<p>toerental: 66 tot 101 omw./min.</p> <p>dompeldiepte: -5.5;0;+5.5 cm</p>	<p>grafiek 2</p>
--	--	------------------



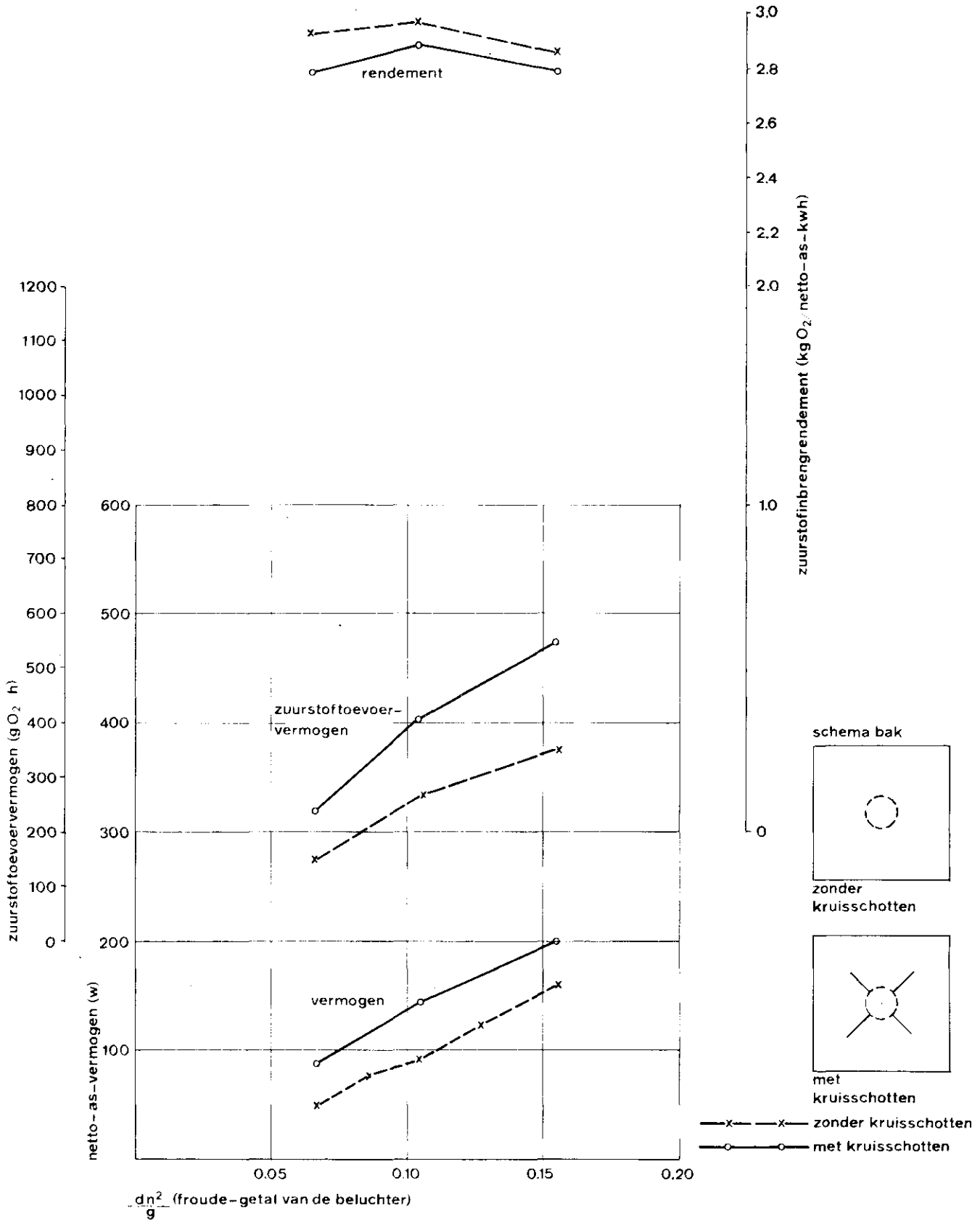
<p>model "almelö"</p> <p>afmetingen: 4,06x4,06x0,84 m³</p> <p>beluchter: landy ø 0,54 m</p>	<p>toerental: 66; 83; 101 omw./min.</p> <p>dompeldiepte: -5.5 tot +5.5 cm</p>	<p>grafiek 3</p>
--	---	------------------



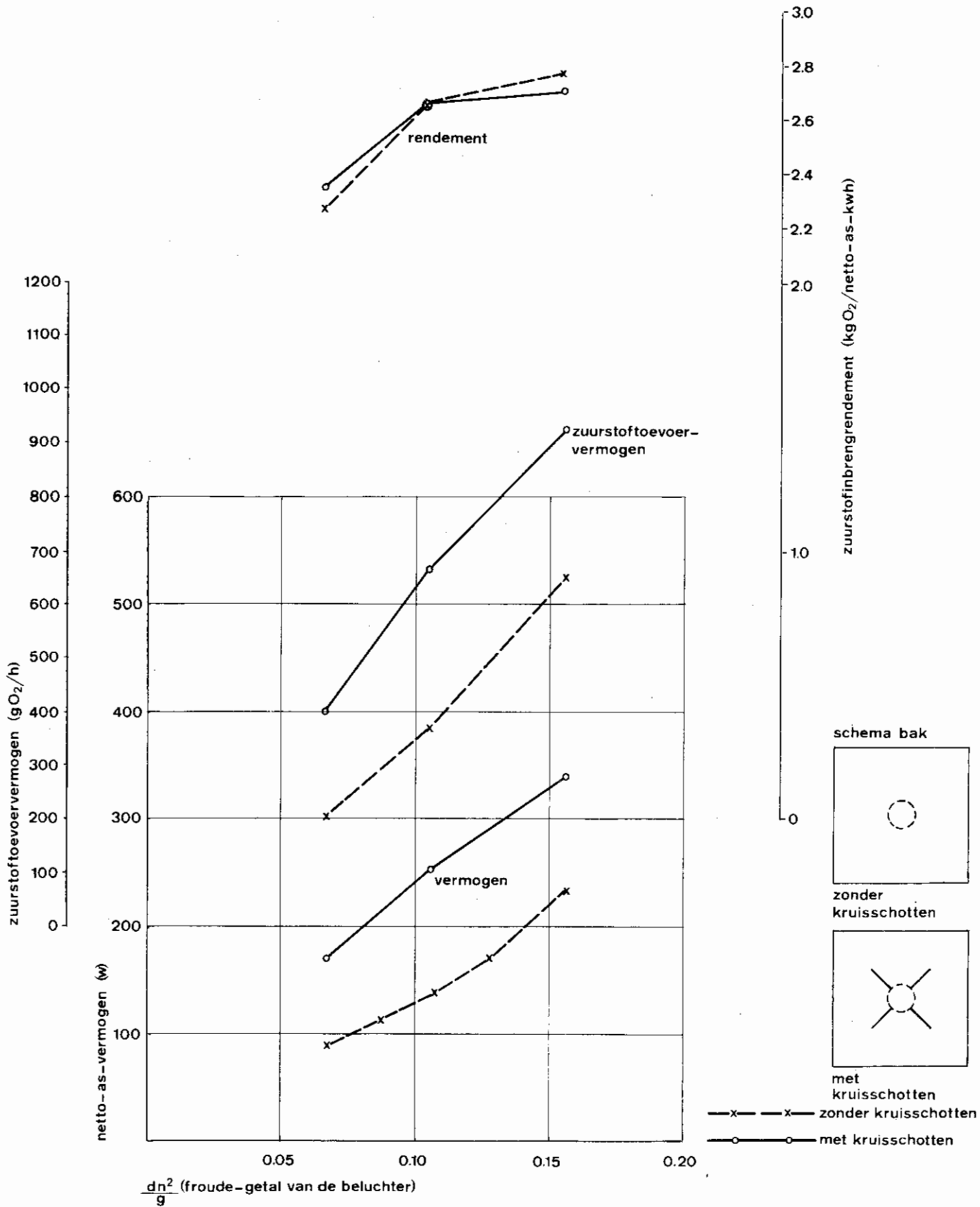
<p>model "stolwijk"</p> <p>afmetingen: 4.06x4.06x0.60 m³</p> <p>beluchter: simcar ø 0.498 m</p>	<p>toerental: 61 tot 111 omw./min.</p> <p>dompeldiepte: -2.8; 0; +2.8 cm</p>	<p>grafiek 4</p>
--	--	------------------



<p>model "stolwijk"</p> <p>afmetingen: 4.06 x 4.06 x 0.60 m³</p> <p>beluchter: simcar ø 0.498 m</p>	<p>toerental: 61;86;111 omw./min.</p> <p>dompeldiepte: -2.8 tot +2.8 cm</p>	<p>grafiek 5</p>
--	---	------------------



<p>model "almelo"</p> <p>afmetingen: 4.06x4.06x0.84 m³</p> <p>beluchter: landy ø 0.54 m</p>	<p>toerental: 66 tot 101 omw./min.</p> <p>dompeldiepte: - 5.5 cm</p>	<p>grafiek 6</p>
--	--	------------------



model "almelo"

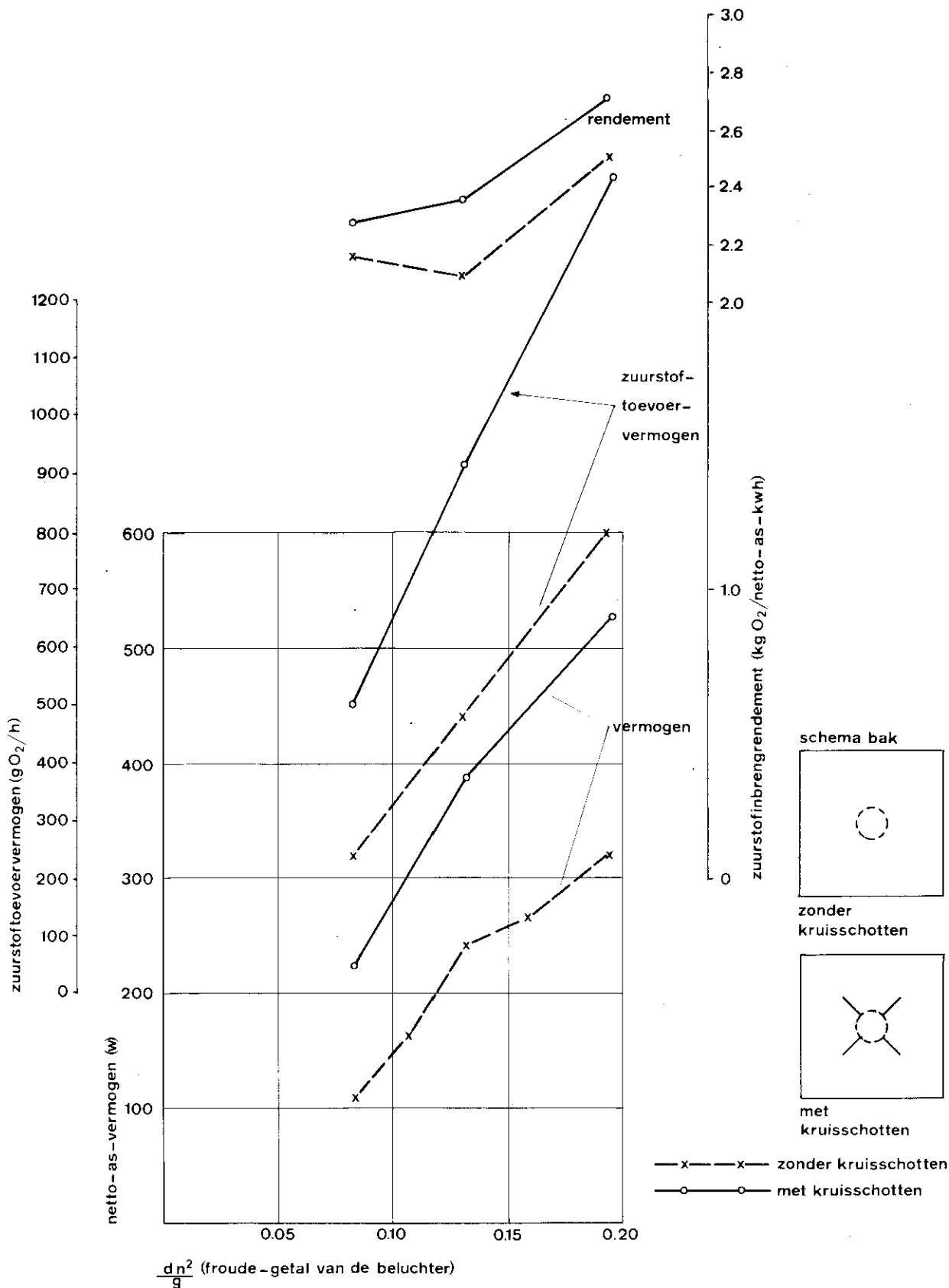
afmetingen: 4.06x4.06x0.84 m³

beluchter: landy ø 0.54 m

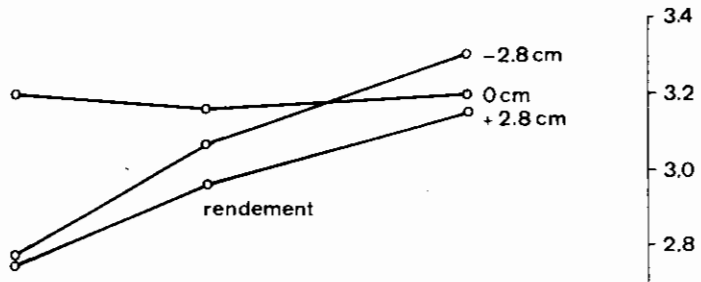
toerental: 66 tot 101 omw./min.

dompeldiepte: 0 cm

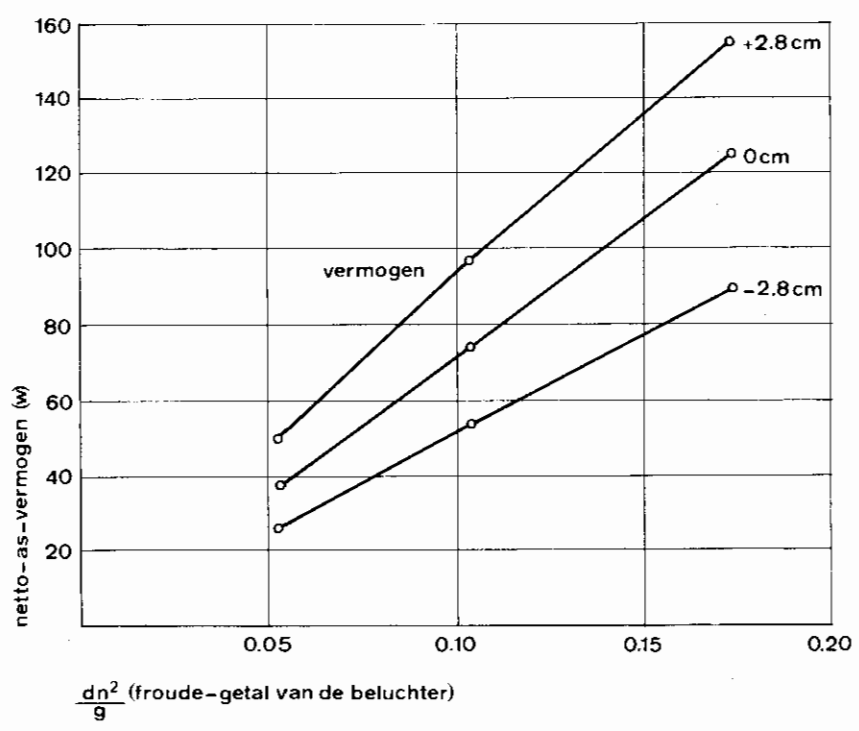
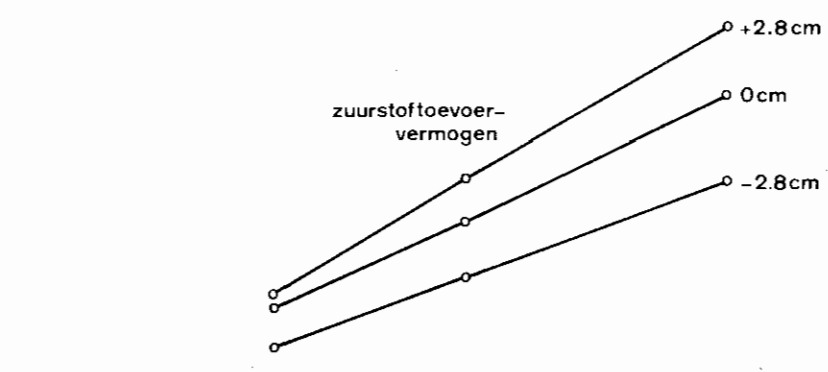
grafiek 7



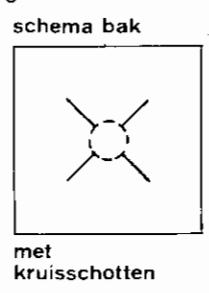
model "almelo" afmetingen: 4.06x4.06x0.84 m ³ beluchter: landy ø 0.54 m	toerental: 66 tot 101 omw./min. dompeldiepte: + 5.5 cm	grafiek 8
--	---	-----------



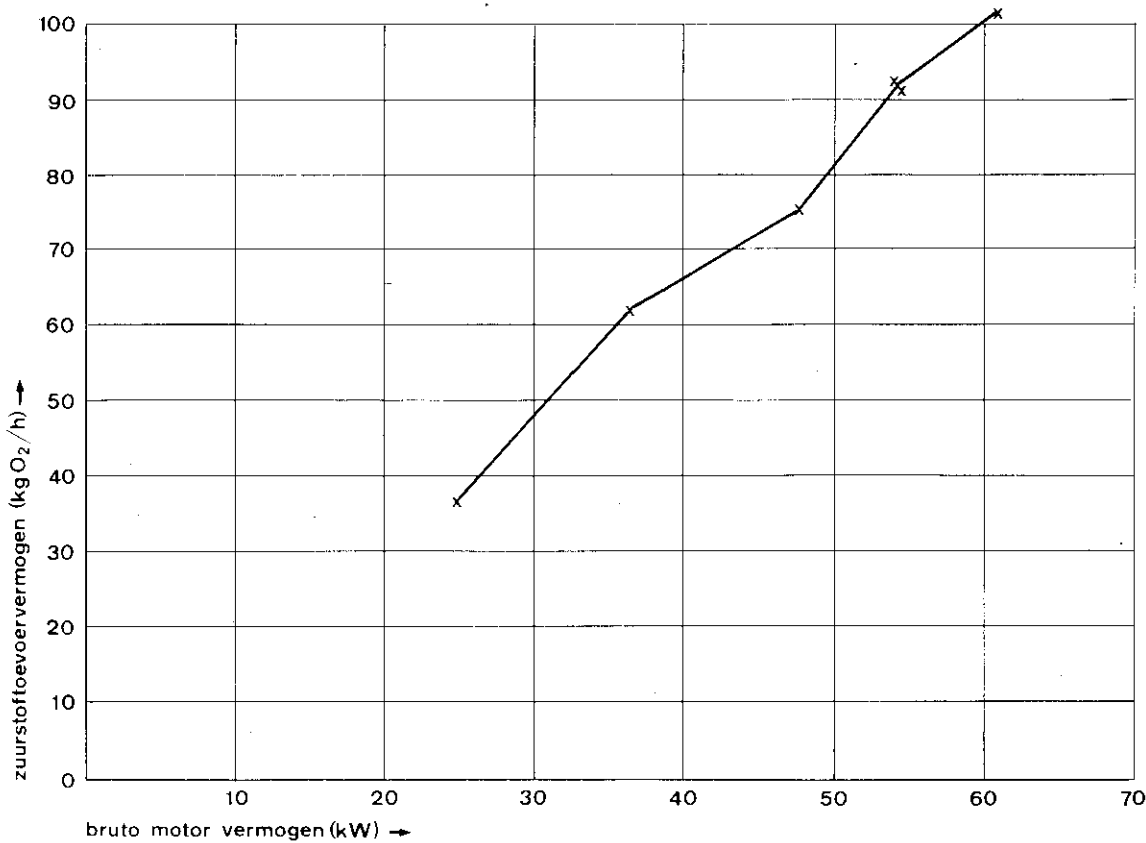
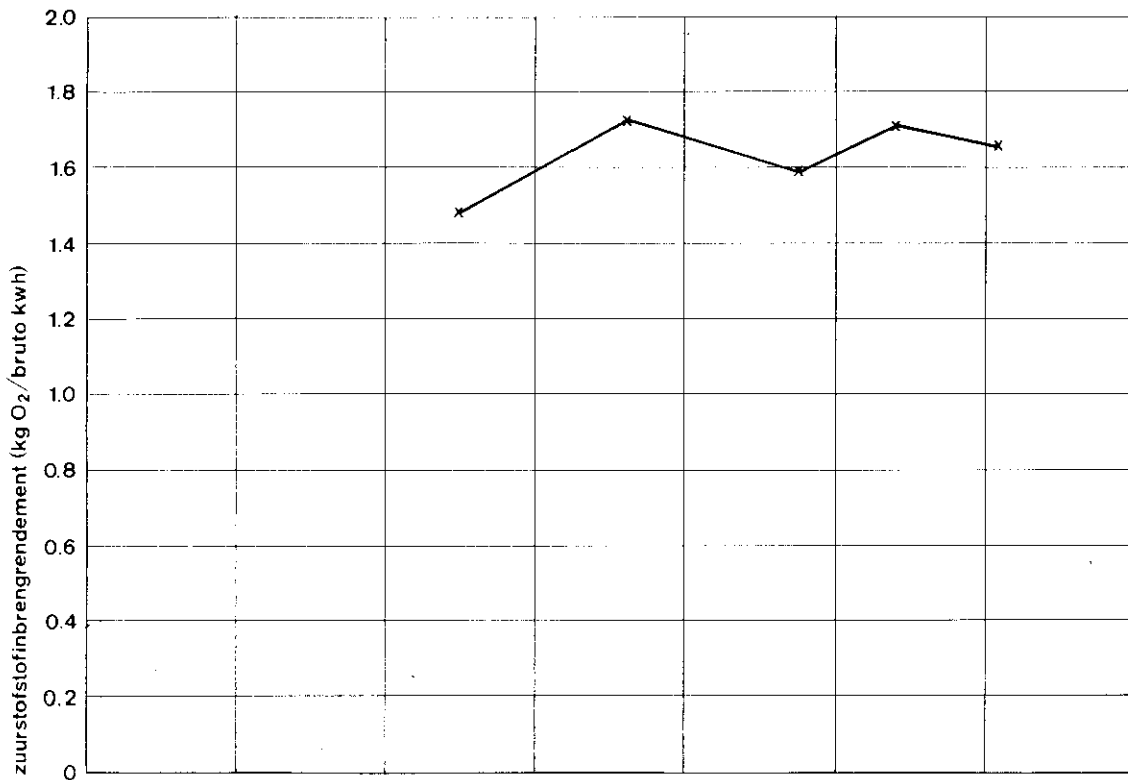
zuurstoftoevoervermogen (g O₂/h)



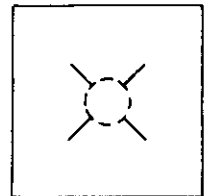
zuurstofinbrengrendement (kg O₂/netto-as-kwh)



<p>model "stolwijk"</p> <p>afmetingen: 4.06x4.06x0.60 m³</p> <p>beluchter: simcar ø 0.498 m</p>	<p>toerental: 61 tot 111 omw./min.</p> <p>dompeldiepte: -2.8;0;+2.8 cm</p>	<p>grafiek 9</p>
--	--	------------------



schema bak met kruisschotten



metingen verricht door
adv.en ing. bureau
"witteveen en bos"

r.w.z.i. almelo, mineralisatie

afmetingen: 15x15x3.1m³

beluchter: landy ø 2.20m

toerental: 43.6 omw./min.

dompeldiepte: -20 tot +12 cm

grafiek 10

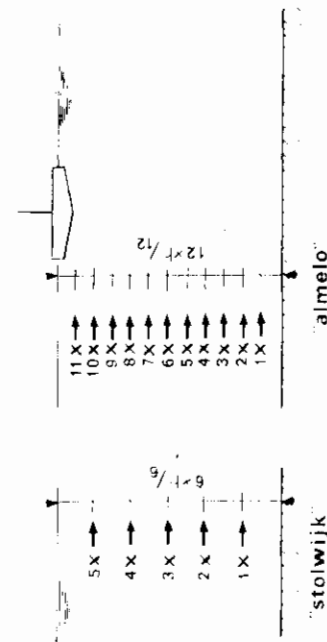
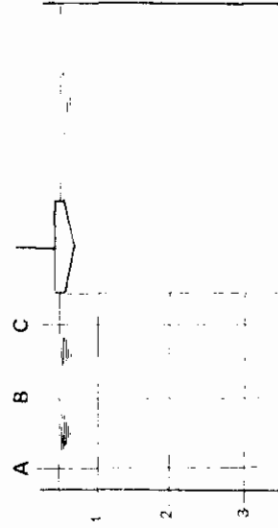
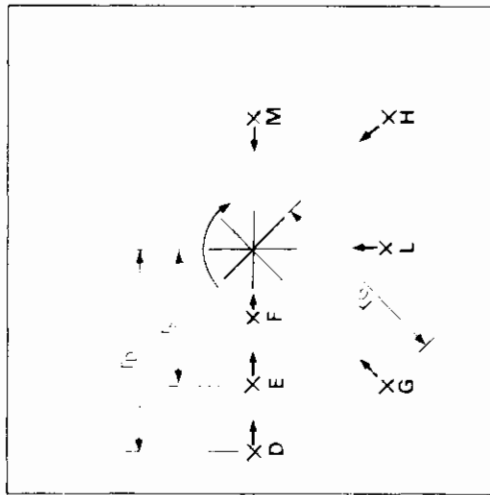
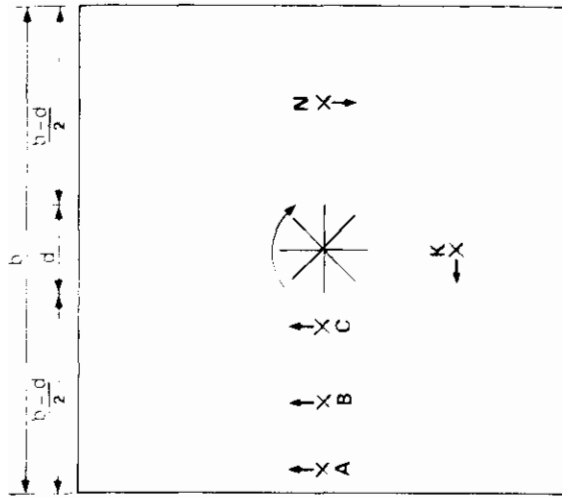


fig: 1

rotatie-meting

circulatie-meting

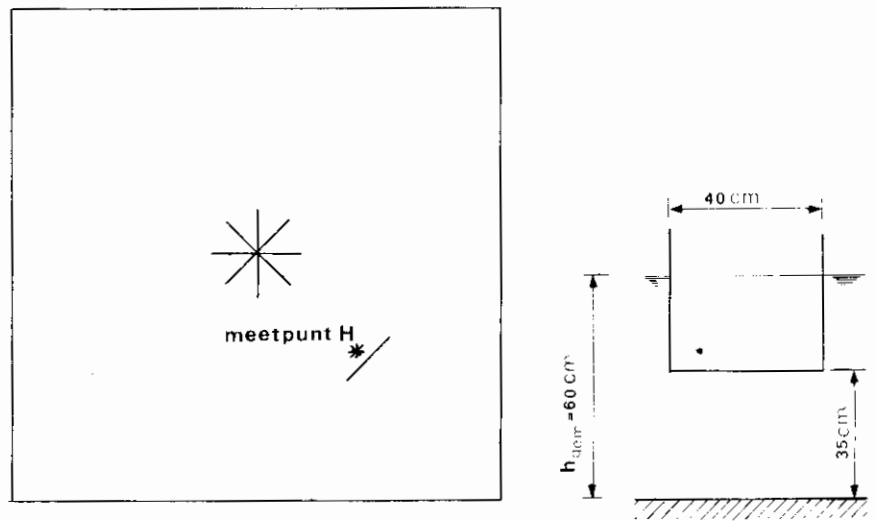


fig:2 proeven met één schot in de knoop van de golf van de golf

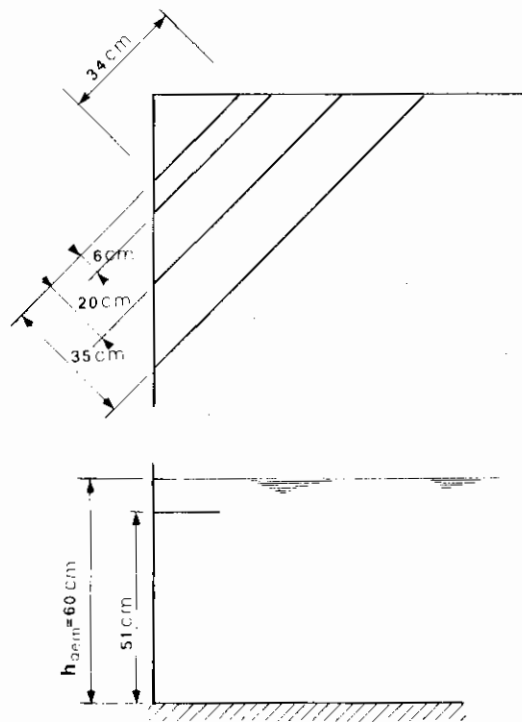


fig:3 horizontale anti-cadans schotten in de vier hoeken

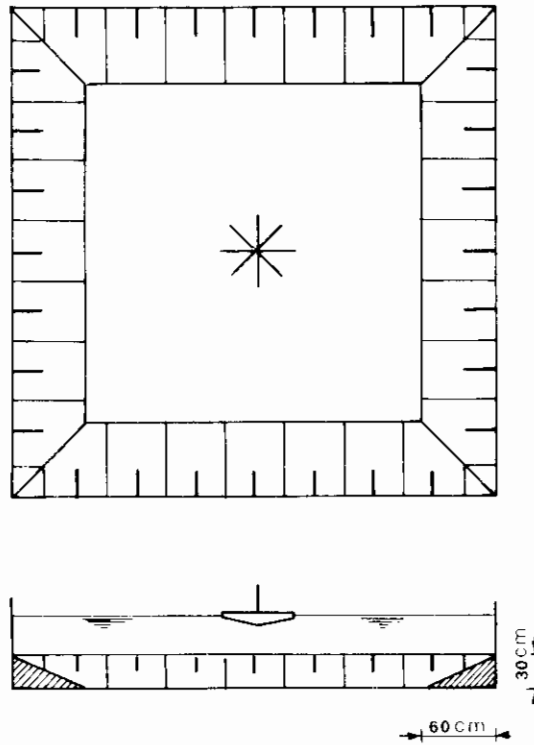


fig:4 afschuiningen in de hoeken langs de bodem

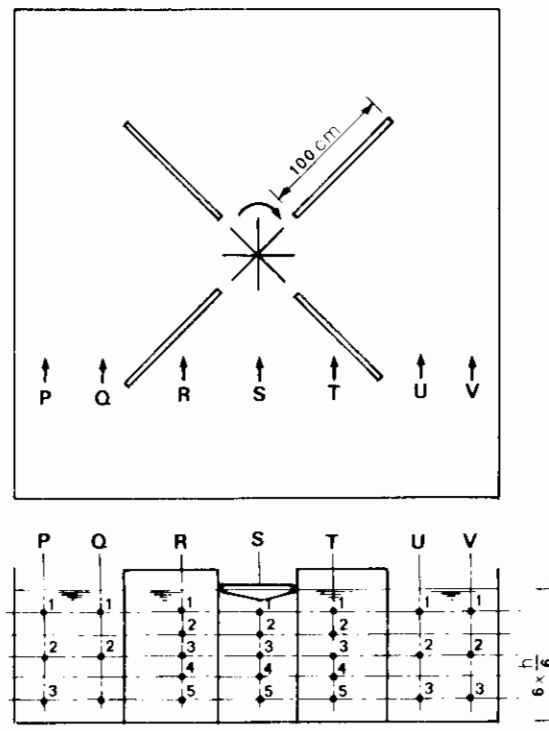


fig:5 geleide-schotten en meetpunten

VI. OMSCHRIJVING VAN GEBRUIKTE BEGRIPPEN

Constante vermogensafgifte

Het energieverbruik door de beluchter vertoont noch kortstondige, noch langdurige fluctuaties.

Stabiele vermogensafgifte

Het gemiddeld energieverbruik is constant doch kan periodieke fluctuaties vertonen met een constante amplitude en periode.

Instabiele vermogensafgifte

Het gemiddelde energieverbruik vertoont spontaan langdurige en a-periodieke fluctuaties. Dit kan gepaard gaan met schommelingen met een constante korte periode rondom het gemiddelde.

Cadans

Hiermee wordt bedoeld het optreden van staande golven in de beluchtingsbak, uiteraard samengaand met periodieke fluctuaties in het energieverbruik.

Rotatie

Dit is de horizontale, in de draairichting van de beluchter rondgaande waterbeweging in de bak.

Circulatie

Dit is de radiale waterbeweging vanaf de beluchter langs het oppervlak in de richting van de zijwand en langs de bodem weer terug naar het midden van de bak.

Spiraalstroming

Dit is de waterbeweging die resulteert uit het samenstellen van rotatie en circulatie.

Kruisschotten

Hiermee worden vier langwerpige schotten bedoeld die met de uiteinden op enige afstand (ongeveer de helft van de beluchterdiameter) van elkaar in de verticale diagonaalvlakken van de bak op de bodem onder de beluchter worden geplaatst.

Anti-cadansschotten

Dit zijn driehoekige of trapeziumvormige schotten die horizontaal vlak onder het wateroppervlak in een of meer hoeken van de bak worden aangebracht.