

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING  
B L I N D E R N .

O - 251

Hastighets- og oksygeneringsmålinger  
i luftningstank  
under anvendelse av ulike luftnings-  
enheter.

Saksbehandler: siv.ing. T. Simensen,  
Dato: November 1961.

INNHOOLD.

Side:

|     |                                      |     |
|-----|--------------------------------------|-----|
| 1.0 | INNLEDNING.                          | 4   |
| 2.0 | NØDVENDIGE MINIMUMSHASTIGHETER.      | 5   |
| 3.0 | BEREGNING AV OKSYGENERINGSPARAMETER. | 7   |
| 4.0 | BESKRIVELSE AV FORSØK OG APPARATUR,  | 8   |
| 4.1 | Luftingstank.                        | 8   |
| 4.2 | Luftingsenheter,.                    | 9   |
| 4.3 | Måling av luftmengde,                | 10  |
| 4.4 | Måling av hastigheter,               | 10  |
| 4.5 | Måling av oksygenopptak.             | 10  |
| 5.0 | RESULTATER,                          | 11  |
| 5.1 | Hastighetsmålinger,                  | 11  |
| 5.2 | Oksygeneringsmålinger.               | 11  |
| 6.0 | DISKUSJON AV RESULTATER.             | 12  |
| 7.0 | KONKLUSJON.                          | 13  |
|     | LITTERATURLISTE.                     | 15. |

TABELLER OG FIGURER.

|        |           |  |
|--------|-----------|--|
| TABELL | 1.        | Verdier av vannhastigheter ved stasjon I.                        |
| "      | 2.        | - " - " - II.  |
| "      | 3.        | - " - " - III.   |
| "      | 4.        | Trykktap gjennom innblåsningenheter.                             |
| "      | 5.        | Målte verdier av oksygeneringskapasitet.                         |
| FIGUR  | 1.        | Minimumshastighet ved varierende partikkeldiameter.              |
| "      | 2.        | Oksygenets diffusjonskoeffisients variasjon med temperatur.      |
| "      | 3.        | Forhold mellom dybde og bredde av lutnings-tanker.               |
| "      | 4.        | Tverrsnitt av forsøksstank.                                      |
| "      | 5.        | Forhold mellom luftmengde og vannhastighet ved 1,6 m neddykning. |
| "      | 6.        | Forhold mellom luftmengde og vannhastighet ved 0,8 m neddykning. |
| "      | 7 og 8.   | Isolinjer for vannhastighet ved stasjon I.                       |
| "      | 9 og 10.  | - " - " - II.  |
| "      | 11 og 12. | - " - " - III.   |
| "      | 13.       | Typisk oksygeneringskurve.                                       |
| "      | 14.       | Målte verdier av oksygeneringskapasitet.                         |
| "      | 15.       | Avhengighet mellom oksygenopptagelse og innblåsingsdyp.          |

## 1. INNLEDNING.

Den aktive slamprosessen har i de senere år vært under en stadig utvikling som følge av intense forsøk på å komme frem til såvel driftsmessige som konstruktive løsninger som er økonomiske og effektive.

Når det gjelder små kloakkrensaneanlegg har det tidligere vært antatt at biologiske filtre har vært det gunstigste for en høygradig rensing. Dette skyldes at et biologisk filter er antatt å kunne være mer motstandsdyktig overfor hurtige variasjoner i vannets mengde enn et aktivslamanlegg. Med den senere tids erfaringer har man imidlertid kommet frem til en drift og konstruktiv utformning som gjør aktivslamanleggene vel egnet for små anlegg.

En av disse anleggstypene er den såkaldte døgnlufter hvor vannet gis en lang oppholdstid (1 døgn) som medfører en effektiv utjevning av variasjoner i vannføring, samtidig som anleggene kjøres med høye slamkonsentrasjoner. Dette gir organismesamfunnet i det aktive slammet en større motstandskraft mot hurtige forandringer i så vel kvalitet som kvantitet av det innkommende kloakkvannet.

På grunn av luftningstankens store volum i et slikt anlegg vil en luftinnblåsing, eller en kombinasjon av luftinnblåsing og mekanisk lufting være det mest hensiktsmessige å benytte.

Luftinnblåsing skal tjene til å tilføre vannet en tilstrekkelig mengde oksygen, forårsake en effektiv turbulens og gi vannet den nødvendige hastighet til at slam ikke avsettes på bunnen av tanken da dette medfører soner med anaerobe forhold.

Oksygenopptakelsen og vannets bunnhastigheter bestemmes av flere ulike konstruktive faktorer: -

1. Luftningstankens utforming.
2. Luftingsinnretningens evne til å fordele luften i vannmassene.
3. Luftingsinnretningens neddykkingsdyp.
4. Tilført luftmengde.

Ved beregning av et anlegg hvor det benyttes en luftingstank med rektangulært tverrsnitt, står man uten mulighet for å bestemme de ovenfor nevnte faktorer ut fra teoretiske overlegninger, og det er dessuten lite som finnes av praktiske erfaringer på dette området.

Ved hjelp av forsøk, under "full-scale" betingelser, er det derfor gjennomført målinger av bunnhastigheter i en luftingstank ved bruk av 4 ulike luftingsinnretninger, samt varierende innblåsdyp og tilført luftmengde. Dessuten er det foretatt observasjoner av de fire luftingsinnretningenes oksygeneringskapasitet under like forhold m.h.t. neddykking og luftmengde.

Da det for denne type kloakkrensaneanlegg vil være mer hensiktsmessig, såvel driftsmessig som anleggsmessig å benytte høytrykkvifter eller såkalte blåsemaskiner fremfor kompressorer for komprimering av luften, er innblåsdypene mindre enn de som er vanlige i konvensjonelle aktiv-slamlegg.

## 2. NØDVENDIGE MINIMUMSHASTIGHETER.

Under laminære strømningsforhold vil en matematisk analyse av et sedimenteringsforløp kunne gjennomføres med en relativt stor grad av nøyaktighet.

For typisk turbulente forhold, som er karakteristisk for strømsituasjonen i luftingstanker, er derimot en slik analyse forbundet med atskillig større usikkerhet.

For imidlertid å kunne gi en indikasjon av størrelsesordenen på de minimumshastigheter som er nødvendige for å forhindre at slam avsettes på bunnen av tanken, kan vi anvende Shields likning (1).

Denne likningen tjener til beregning av grensehastigheter i elver, kanaler og rør, men vil kunne gjøre nytte for vårt formål under forutsetning av at de ulike koeffisienter og variable som likningen inneholder kan fastsettes.

Likningen har følgende form:

$$v_{kr} = K \cdot R^{1/6} \sqrt{f \cdot \frac{s_f - s_v}{s_v} \cdot d}$$

hvor  $v_{kr}$  = vannets minimumshastighet for å hindre sedimentering ( $\frac{m}{sek}$ )

$K$  = friksjonskoeffisient (Manning-Strickler) = 70 for upusset betongflate.

$R$  = hydraulisk radius (m).

$f$  = slamkarakteristikk.

$s_f$  = spesifikk vekt av slampartikler.

$s_v$  = spesifikk vekt av vann ved gjeldende temperatur.

$d$  = gjennomsnittlig partikkeldiameter (m).

Fastsettelsen av en riktig hydraulisk radius for luftingstanken er vanskelig idet et hastighetsprofil gjennom tanken er sammensatt av to motsatte hastighetsretninger for hovedstrømmen. Nå vil imidlertid forandringer i hydraulisk radius gi små variasjoner i hastighet p.g.a. den lave potensen. Ut fra en vurdering av hastighetsprofilene er  $R$  satt lik 0,35 m.

Slamkarakteristikken ( $f$ ) uttrykker forholdet mellom slampartiklens volum og overflate. For rått kloakkslam kan denne settes til 0,06. Imidlertid er det av Shields fremholdt at  $f$ -verdiene varierer mellom 0,04 og 0,8, hvor 0,04 gjelder for en strømningstilstand hvor slampartiklene bare kan bli bragt i bevegelse mens 0,8 gjelder for forhold med en effektiv spylehastighet. Vi velger for våre forhold  $f = 0,8$ .

Den spesifikke vekten av slampartikler kan i tørr tilstand variere mellom 1,0 og 2,5. Antar vi at slammet har et innhold av organiske stoffer på 60% vil spesifikk vekt av det tørre slammet være

$$s_t = \frac{250}{100 + 1,5 \cdot 60} = 1,32$$

mens med et vanninnhold på 95% blir spesifikk vekt av det våte slammet

$$s_f = \frac{100 \cdot 1,32}{95 \cdot 1,32 + (100 - 95)} = 1,015$$

Med relativt usikre tall for de ovenfor beregnede verdier setter vi vannets spesifikke vekt  $s_v = 1,0$ .

Bringer vi de beregnede verdier inn i Shields likning får vi

$$v_{kr} = 70 \cdot 0,35^{1/6} \sqrt{0,8 \cdot \frac{1,015 - 1,000}{1,000} \cdot d}$$

$$v_{kr} = 6,45 \sqrt{d}$$

hvor  $v_{kr}$  = hastighet i m/sek.

$d$  = partikkeldiameter i mm.

Ved å variere  $d$  fra 2 - 20 mm får vi de nedenfor amførte minimumshastigheter på vannet.

| d mm           | 2    | 4    | 6    | 8    | 10    | 12    | 14    | 16   | 18    | 20    |
|----------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| $v_{kr}$ m/sek | 0,09 | 0,13 | 0,16 | 0,18 | 0,204 | 0,224 | 0,242 | 0,26 | 0,274 | 0,288 |

Tallene er fremstilt grafisk i fig. 1.

Av empiriske tall for nødvendig minstehastighet finnes det i litteraturen svært få angivelser.

Professor Fair (3) angir kloakkvannets minstehastighet til 0,15 m/sek, mens det av FSIWA Manual No 8 (4) fremgår at minstehastigheten ikke bør være lavere enn 30 cm/sek og helst i størrelsesområdet 45 cm/sek.

Tapleshay (2) mener det er ønskelig med en såvidt høy hastighet som 60 cm/sek.

### 3. BEREGNING AV OKSYGENERINGSPARAMETER.

For å kunne sammenligne ulike luftingsenheters evne til å tilføre vannmassen oksygen, altså løst mengde oksygen pr. tidsenhet, ble det allerede 1934 av Kessener og Ribbius beregnet en parameter

som ga uttrykk for luftingsenhetens oksygeneringskapasitet (OC).

En videre utvikling av denne metoden er senere gjort av Dr. Pasveer (5).

Oksygeneringskapasiteten kan uttrykkes ved følgende likning:

$$OC = \frac{25,9}{t_1 - t_0} \log \frac{C_m - C_0}{C_m - C_1} \sqrt{\frac{k_{10}}{k_t}}$$

hvor  $C_0$  = vannets oksygenkonsentrasjon i mg/l ved tiden  $t_0$  (timer),

$C_1$  = vannets oksygenkonsentrasjon ved tiden  $t_1$ .

$C_m$  = metningsverdien for oksygen i vann ved den temperaturen forsøket gjennomføres.

$k_{10}$  = oksygenets diffusjonskoeffisient i vann ved  $10^\circ\text{C}$ .

$k_t$  = diffusjonskoeffisient ved  $t^\circ\text{C}$ .

Ved å sette

$$\frac{1}{t_1 - t_0} \log \frac{C_m - C_0}{C_m - C_1} = \text{tgx}$$

får vi

$$OC = 25,9 \text{ tgx} \sqrt{\frac{k_{10}}{k_t}} \text{ g O}_2/\text{m}^3 \cdot \text{time}$$

hvor tgx må bestemmes for hvert enkelt forsøk for å bestemme luftingsenhetens oksygeneringskapasitet.

Verdier av  $\sqrt{k_{10}/k_t}$  kan tas ut fra kurven i fig. 2.

#### 4. BESKRIVELSE AV FORSØK OG APPARATUR.

##### 4.1 Luftingstank.

Ifølge Tapleshay ved Chicago Pump Company (2) er man kommet frem til et gunstig forhold mellom tankens dybde og bredde som vil medvirke til å gi vannet gode strømningsmessige betingelser når luften tilføres vannet gjennom et innblåsingssystem på luftingstankens ene langside. Dette forholdet er gjengitt grafisk i fig.3.



Den anvendte luftingstanken, som er vist i tverrsnitt i fig. 4, holder imidlertid ikke mål som er i overensstemmelse med de angitt i fig. 3, da tankens dybde er 12% mindre enn den angitte. Dette skyldes at en eksisterende betongtank ble brukt for formålet og at dimensjonene derved var bestemt. Tankens lengde var 2,20 m.

Hastighetsmålingene ble foretatt på 3 forskjellige punkter i tanken (St. I, II, III) alle 15 cm over bunnen.

#### 4.2 Luftingsenheter.

De fire typene som ble benyttet var:

1. perforerte aluminiumsrør med 2 mm hullåpning, 200 stk. hull pr. m rørlengde.
2. perforerte aluminiumsrør med 3 mm hullåpning, 100 stk. hull pr. m rørlengde.
3. perforerte aluminiumsrør med 4 mm hullåpning, 67 stk. hull pr. m rørlengde.
4. Schuhmacher Filterzylinder "Brandol" Körnung 120, 70/40 mm Ø.

Det ble dessuten forsøkt med 5 stk. "Dome Diffusers" type Activated Sludge, størrelse 7" \* 1½". Disse viste imidlertid såvidt store trykktap at de vanskelig kunne benyttes under de lave trykkene en sentrifugalvifte kan gi. Det er ikke undersøkt hvilket antall som er nødvendig for å redusere trykktapet til et egnet nivå.

Luftingsenhetene nevnt under pkt. 1 - 4 ble montert slik at de dekket tankenes fulle lengde og at luften ble jevnt fordelt over hele lengden. Trykkluften ble tilført gjennom et vertikaltstilt hovedrør som samtidig tjente som bærekonstruksjon. Ved en enkel klemmeanordning omkring hovedrøret kunne innblåsingdypet enkelt varieres etter behov.

De enkelte dypene som målingene ble foretatt under var 0,80 - 1,0 - 1,30 - 1,60 m målt fra vannoverflaten.

#### 4.3 Måling av luftmengde.

Trykkluft ble forsynt fra to kompressorer med en samlet ytelse på  $3,48 \text{ Nm}^3$  pr. min under et arbeidstrykk på  $7 \text{ kg/cm}^2$ .

Trykket ble redusert ved hjelp av en enkel ventil på hovedledningen og luftmengden målt ved hjelp av blende og vannmanometer.

Blendens diameter var  $51,5 \text{ mm}$  og innsnevringforholdet  $0,74$ . Luftens absolutte trykk og temperatur ble registrert sammen med hver manometeravlesning og luftmengden beregnet iflg.:

$$Q = 0,588 \sqrt{\frac{h \cdot T}{P}}$$

hvor  $Q$  = luftmengde i  $\text{m}^3/\text{min}$ .

$h$  = differentialtrykk i mm V.S.

$T$  = abs. temperatur i  $^{\circ}\text{K}$ .

$P$  = abs. trykk i mm Hg.

#### 4.4 Måling av hastigheter.

Hastighetsmålingene på stasjon 1, 2 og 3 ble foretatt med et Ott-flügel type V på stang. Omdreiningstallet ble elektrisk overført til ringeapparat og tidsperiodene målt ved stoppeklokke.

Alle målingene ble foretatt med propellerakselen i horisontal stilling. Det ble imidlertid, visuelt, observert at vannstrømmen flere steder i tanken hadde betydelige, vertikale hastighetskomponenter. Dette medførte at den reele hastigheten i flere tilfeller var større enn den observerte. Av måletekniske grunner var det ikke gjennomførbart å bestemme de vertikale hastighetskomponentene.

#### 4.5 Måling av oksygenopptak.

Ved oksygeneringsforsøkene ble luftingstanken fylt opp til standard nivå med vann fra det kommunale nett. Etter oppfylling ble det ved hjelp av en bestemmelse av vannets naturlige innhold av løst oksygen fastsatt en nødvendig mengde  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  for å senke oksygenkonsentrasjonen til 0. I tillegg ble det tilført en bestemt mengde  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  som katalysator. Etter at luft ble tilført systemet ble det tatt ut hyppige prøver for å bestemme oksygenopptakets variasjon med tiden.

Alle prøver ble tatt ut ved hjelp av en kontinuerlig gående pumpe for derved å sikre mest mulig konstante forhold under forsøksperioden.

Alle luftingsenhetene ble, under disse forsøkene, plassert på samme dyp (1,6 m) og den spesifikke luftmengden ble holdt konstant på  $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$  pr. m tanklengde.

## 5. RESULTATER.

### 5.1 Hastighetsmålinger.

De målte verdiene for hastighet er fremstilt i tabellene 1,2 og 3 og i figurene 7, 8, 9, 10, 11 og 12 hvor det er trukket opp isolinjer for å gi et grafisk fullstendig bilde.

Ved sammenlikning av observasjonene på de tre målestasjonene (I, II og III) ser man at verdiene for stasjon II er langt høyere enn fra de to andre. Dette skyldes at det på stasjon II og III er målt en horisontal hastighetskomponent av den reelle hastighet som antas å danne en vinkel på  $40 - 50^\circ$  med den observerte. Dette betyr at observasjonene fra stasjon II må antas å ligge nærmere en kritisk minimumsverdi enn de andre.

Av denne grunn er analysene av tallmaterialet konsentrert om observasjonene fra stasjon II. I fig. 5 og 6 er det vist forholdet mellom luftmengde og hastighet ved en neddykking av henholdsvis 1,6 og 0,8 m for stasjon II.

I tabell 4 er det oppført målte verdier av trykktap gjennom de anvendte innblåsingsystemer for ulike verdier av luftmengde. Disse observasjonene er fremkommet som nødvendige avlesninger ved måling av luftmengde, men gjengis her da de vil ha generell verdi ved dimensjonering av luftingssystemer.

### 5.2 Oksygeneringsmålinger.

Alle oksygeneringsforsøk ble gjennomført under konstante forhold med et innblåsingsdyp av 1,6 m og en luftmengde på  $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$  pr. m.

For alle innblåsingsenhetene er det gjennomført to forsøk og oksygeneringskapasiteten beregnet på bakgrunn av de respektive kurver for forholdet tid -  $O_2$  konsentrasjon. En typisk kurve er vist i fig. 13.

De målte verdiene av oksygeneringskapasitet er fremstilt samlet i tabell 5, og fig. 14.

## 6. DISKUSJON AV RESULTATER.

Figurene 5 og 6 viser:

- a. En sterk stigning i hastighet med økende luftmengde i området 0 -  $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$  pr. m.
- b. Relativt liten stigning i hastighet med økende luftmengder for verdier høyere enn  $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$  pr. m.
- c. Denne virkningen gjør seg stort sett gjeldende ved alle innblåsingsdyp.
- d. Av de fire anvendte innblåsingsenheter gir perforert rør med hulldiameter 3 mm de største hastigheter for en gitt luftmengde mens Brandolsylinder 120 gir de laveste verdiene.

Figurene 9 og 10 viser:

- e. Ifølge den generelle hellingsvinkel på isolinjene har innblåsingsdypet en større effekt med hensyn til hastighetsøkning enn den tilførte luftmengden.
- f. Det synes som om den optimale luftmengden, ved anvendelse av  $\emptyset$  2 og 3 mm, er området  $1,0 - 1,5 \text{ m}^3/\text{min}$  pr. m, avhengig av innblåsingsdypet.
- g. For  $\emptyset$  3 mm er det en markert omvendt proporsjonalitet mellom innblåsingsdyp og luftmengde for verdier høyere enn  $0,75 \text{ m}^3/\text{min}$  pr. m.  $\emptyset$  2 mm vier en optimal effekt ved en luftmengde omkring  $1 \text{ m}^3/\text{min}$  pr. m.

Som følge av de sterkt turbulente strømningsforhold målingene er foretatt under må nøyaktigheten av hver enkelt måling betraktes med et visst forbehold. Imidlertid viser isolinjene tydelige tendenser slik at helhetsbildet må kunne antas å være relativt riktig.

Ifølge hastighetsmålinger foretatt i luftingsbassenger ved EAWAG i Sveits og Emsergenossenschaft i Tyskland (6) vil imidlertid større konsentrasjoner av syntetiske vaskemidler i kloakkvannet kunne medføre betydelige reduksjoner i hastighet. Da alle våre målinger er gjennomført med rent vann fra ledningsnett er hensyntagende til eventuelle syntetiske vaskemidler et punkt som bør tas med i vurderingen av resultatene.

Tabell 5 og figur 14 viser:

- h. En markert parallellitet mellom verdiene fra de to gjennomførte forsøksseriene.
- i. Verdiene i forsøksserie nr. 2 ligger 20 - 40 % lavere enn de i serie nr. 1.
- j. I begge forsøksserier gav perforert rør med hull-diameter 3 mm og **Brandolsylinder 120**, noenlunde samme verdier av oksygeneringskapasitet, og disse verdier lå 20 - 30 % høyere enn de for Ø 2 og 4 mm.

Da alle de beregnede verdiene for oksygeneringskapasitet er omregnet til å gjelde under standard betingelser (760 mm Hg, 10°C) kan ikke variasjonene under de to forsøksserier føres tilbake til ulike forhold i trykk og temperatur. På tross av at alle forsøkene ble gjennomført under sterk kontrollerte og standardiserte forhold må en anta at de nevnte variasjonene skyldes ulike kvalitative egenskaper ved vannet.

På grunn av det omfattende arbeid som ligger bak hver observasjon har det ikke vært mulig å gjennomføre oksygeneringsmålinger med varierende innblåsingdyp og luftmengde. I henhold til observasjoner av Ippen og Carver (7) samt Pasveer (8) kan vi imidlertid anta at det finnes et lineært forhold mellom oksygeneringskapasitet og innblåsingdyp. Dette er grafisk vist i fig. 15.

## 7. KONKLUSJON.

Det fins hverken direkte observasjoner eller pålitelige beregnede verdier for å fastsette en minusverdi av vannhastighet i luftingsbassenger.

Med det forhold mellom dybde og bredde av luftingstank som er brukt under disse forsøkene viser det seg at man med enkle innblåsingsenheter og relativt lite trykk på den innblåste luften kan sikre minimumshastigheter på 50-60 cm/sek på bunnen av tanken, under forutsetning av at luftmengden holdes høyere enn  $0,5 \text{ m}^3/\text{min}$  pr. m.

Av de anvendte innblåsingsenhetene gav perforert rør med hulldiameter 2 mm de største hastigheter.

På grunnlag av de målingene som er foretatt av oksygenopptak i vannet gir perforert rør med hulldiameter 3 mm og Brandolsylinder 120 de absolutt beste resultatene. Ved den midlere belastningen man har på små, moderne kloakkrensaneanlegg vil disse to enhetene kunne gi den tilstrekkelige oksygenmengden under de samme forholdene som er brukt ved disse forsøkene.

Ved en vurdering på bakgrunn av såvel vannhastighet som oksygentilførsel må et perforert rør med en hulldiameter 3 mm antas å gi det beste resultat.

Ved dimensjonering av anlegg vil fig. 9 og 10 gi noenlunde sikre tall for valg av innblåsingsdyp og luftmengde.

LITTERATURLISTE.

1. T.R.Camp :  
The Effect of Turbulence on Retarding Settling.  
Proc.Sec.Hydr.Conf., Iowa, Univ.Bull. 27, 1943.
2. J.A.Tapleshay :  
Practical Design Considerations in the Application of Aeration  
Equipment.  
Conf.Biol.Waste Treatm., New York, April 1955.
3. G.M.Fair :  
Water Supply and Waste Water Disposal.  
Wiley & Sons, Inc., New York 1954.
4. FSIWA Manual of Practice No. 8.  
Sewage Treatment Plant Design 1957.
5. A. Pasveer :  
A Contribution to the Development in Activated Sludge Treatment.  
J.Inst.Sew.Purific., Part 4, 1959.
6. K.H.Kalbskopf :  
Ueber den Einfluss von Detergentien auf die Umwälzströmung in  
Belüftungsbecken.  
Techn.-Wissenschaftl.Mitteilungen, Heft 4, Emschergenossen-  
schaft, Juli 1961.
7. A.T.Ippen and C.E.Carver :  
Basic Factors of Oxygen Transfer in Aeration Systems.  
JSIWA, July 1954.
8. A. Pasveer :  
Ueber die Theorie des Sauerstoffeintrages und des Sauerstoff-  
verbrauches beim Belebtschlammverfahren.  
Münchn.Beitr.zur Abwasser-,Fischerei-und Flussbiologie,  
Band 5, Tropfkörper und Belebungsbecken, München 1958.

Tabell 1. VERDIER AV VANNHASTIGHET VED ST. I I FORSØKSTANK (M/SEK)

| Hulldiam.                             | Innblåsings-<br>dyp | L u f t m e n g d e i m <sup>3</sup> /min pr. m |       |       |       |       |       |  |  |
|---------------------------------------|---------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
|                                       |                     | 0,25  | 0,50  | 0,75  | 1,00  | 1,25  | 1,50  |  |  |
| 2 m/m                                 | 0,8 m               | 0,155   | 0,234 | 0,271 | 0,271 | 0,284 | 0,335 |  |  |
|                                       | 1,0 "               | 0,212   | 0,248 | 0,300 | 0,335 | 0,349 | 0,409 |  |  |
|                                       | 1,3 "               | 0,234   | 0,255 | 0,372 | 0,399 | 0,399 | 0,495 |  |  |
|                                       | 1,6 "               | 0,263   | 0,306 | 0,349 | 0,419 | 0,495 | 0,442 |  |  |
| 3 m/m                                 | 0,8 "               | 0,137   | 0,248 | 0,294 | 0,263 | 0,255 | 0,280 |  |  |
|                                       | 1,0 "               | 0,131   | 0,259 | 0,289 | 0,271 | 0,239 | 0,335 |  |  |
|                                       | 1,3 "               | 0,213   | 0,255 | 0,372 | 0,382 | 0,420 | 0,355 |  |  |
|                                       | 1,6 "               | 0,284   | 0,329 | 0,358 | 0,374 | 0,425 | 0,485 |  |  |
| 4 m/m                                 | 0,8 "               | -   | -     | 0,248 | 0,294 | 0,276 | 0,329 |  |  |
|                                       | 1,0 "               | -   | -     | 0,275 | 0,289 | 0,342 | 0,364 |  |  |
|                                       | 1,3 "               | 0,248   | 0,305 | 0,310 | 0,342 | 0,349 | 0,335 |  |  |
|                                       | 1,6 "               | 0,263   | 0,349 | 0,349 | 0,381 | 0,420 | 0,467 |  |  |
| Brandol<br>Zylinder<br>Körnung<br>120 | 0,8 "               | -   | -     | -     | -     | -     | -     |  |  |
|                                       | 1,0 "               | 0,155   | 0,248 | 0,263 | 0,225 | -     | -     |  |  |
|                                       | 1,3 "               | 0,234   | 0,263 | 0,311 | 0,335 | 0,381 | -     |  |  |
|                                       | 1,6 "               | 0,143   | 0,343 | 0,389 | 0,409 | 0,480 | 0,495 |  |  |



VERDIER AV VANNHASTIGHET VED ST. II, I FORSKSTANK (M/SEK).

Tabell 2.

| Hullidien.                            | Innblåsingsdyp | L u f t m e n g d e i m <sup>3</sup> /min pr. m |       |       |       |       |       |  |  |
|---------------------------------------|----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
|                                       |                | 0,25  | 0,50  | 0,75  | 1,00  | 1,25  | 1,50  |  |  |
| 2 m/m                                 | 0,8 m          | 0,223   | 0,316 | 0,335 | 0,381 | 0,454 | 0,441 |  |  |
|                                       | 1,0 "          | 0,322   | 0,335 | 0,409 | 0,442 | 0,442 | 0,409 |  |  |
|                                       | 1,3 "          | 0,364   | 0,442 | 0,466 | 0,495 | 0,399 | 0,495 |  |  |
|                                       | 1,6 "          | 0,365   | 0,530 | 0,585 | 0,655 | 0,545 | 0,620 |  |  |
| 3 m/m                                 | 0,8 "          | 0,196   | 0,316 | 0,335 | 0,381 | 0,399 | 0,399 |  |  |
|                                       | 1,0 "          | 0,225   | 0,356 | 0,372 | 0,466 | 0,441 | 0,390 |  |  |
|                                       | 1,3 "          | 0,322   | 0,420 | 0,495 | 0,528 | 0,495 | 0,565 |  |  |
|                                       | 1,6 "          | 0,453   | 0,480 | 0,495 | 0,510 | 0,525 | 0,545 |  |  |
| 4 m/m                                 | 0,8 "          | -   | -     | 0,356 | 0,335 | 0,419 | 0,399 |  |  |
|                                       | 1,0 "          | -   | -     | 0,380 | 0,335 | 0,399 | 0,419 |  |  |
|                                       | 1,3 "          | 0,355   | 0,381 | 0,442 | 0,510 | 0,527 | 0,545 |  |  |
|                                       | 1,6 "          | 0,310   | 0,495 | 0,510 | 0,564 | 0,607 | 0,527 |  |  |
| Brandol<br>Zylinder<br>Körnung<br>120 | 0,8 "          | -   | -     | -     | -     | -     | -     |  |  |
|                                       | 1,0 "          | 0,198   | 0,310 | 0,335 | 0,335 | -     | -     |  |  |
|                                       | 1,3 "          | 0,300   | 0,328 | 0,364 | 0,420 | 0,442 | -     |  |  |
|                                       | 1,6 "          | 0,193   | 0,430 | 0,480 | 0,510 | 0,526 | 0,545 |  |  |

Tabell 3.

VERDIER AV VANNHASTIGHET VED ST. III I FORSOEKSTANK (M/SEK).

| Hulldiam.                             | Imblåsingsdyp | L u f t m e n g d e i m <sup>3</sup> /min pr.m |       |       |       |       |       |      |  |  |
|---------------------------------------|---------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|--|
|                                       |               | 0,25   | 0,50  | 0,75  | 1,00  | 1,25  | 1,50  |      |  |  |
| 2 m/m                                 | 0,8 m         | 0,155  | 0,234 | 0,271 | 0,271 | 0,284 | 0,335 | 1,50 |  |  |
|                                       | 1,0 "         | 0,212  | 0,248 | 0,300 | 0,335 | 0,349 | 0,409 |      |  |  |
|                                       | 1,3 "         | 0,254  | 0,255 | 0,372 | 0,399 | 0,399 | 0,495 |      |  |  |
|                                       | 1,6 "         | 0,263  | 0,306 | 0,349 | 0,419 | 0,495 | 0,442 |      |  |  |
| 3 m/m                                 | 0,8 "         | 0,137  | 0,248 | 0,294 | 0,263 | 0,255 | 0,280 |      |  |  |
|                                       | 1,0 "         | 0,131  | 0,259 | 0,289 | 0,271 | 0,289 | 0,335 |      |  |  |
|                                       | 1,3 "         | 0,213  | 0,255 | 0,372 | 0,382 | 0,420 | 0,355 |      |  |  |
|                                       | 1,6 "         | 0,284  | 0,329 | 0,358 | 0,374 | 0,425 | 0,485 |      |  |  |
| 4 m/m                                 | 0,8 "         | -  | -     | 0,248 | 0,294 | 0,276 | 0,329 |      |  |  |
|                                       | 1,0 "         | -  | -     | 0,275 | 0,289 | 0,342 | 0,364 |      |  |  |
|                                       | 1,3 "         | 0,248  | 0,305 | 0,310 | 0,342 | 0,349 | 0,355 |      |  |  |
|                                       | 1,6 "         | 0,263  | 0,349 | 0,349 | 0,381 | 0,420 | 0,467 |      |  |  |
| Brandol<br>Zylinder<br>Körnung<br>120 | 0,8 "         | -  | -     | -     | -     | -     | -     |      |  |  |
|                                       | 1,0 "         | 0,155  | 0,248 | 0,263 | 0,225 | -     | -     |      |  |  |
|                                       | 1,3 "         | 0,234  | 0,263 | 0,311 | 0,335 | 0,381 | -     |      |  |  |
|                                       | 1,6 "         | 0,143  | 0,343 | 0,389 | 0,409 | 0,480 | 0,495 |      |  |  |

T a b e l l 4 .

TRYKKTAP GJENNOM INNBLÅSINGSSENHETER.

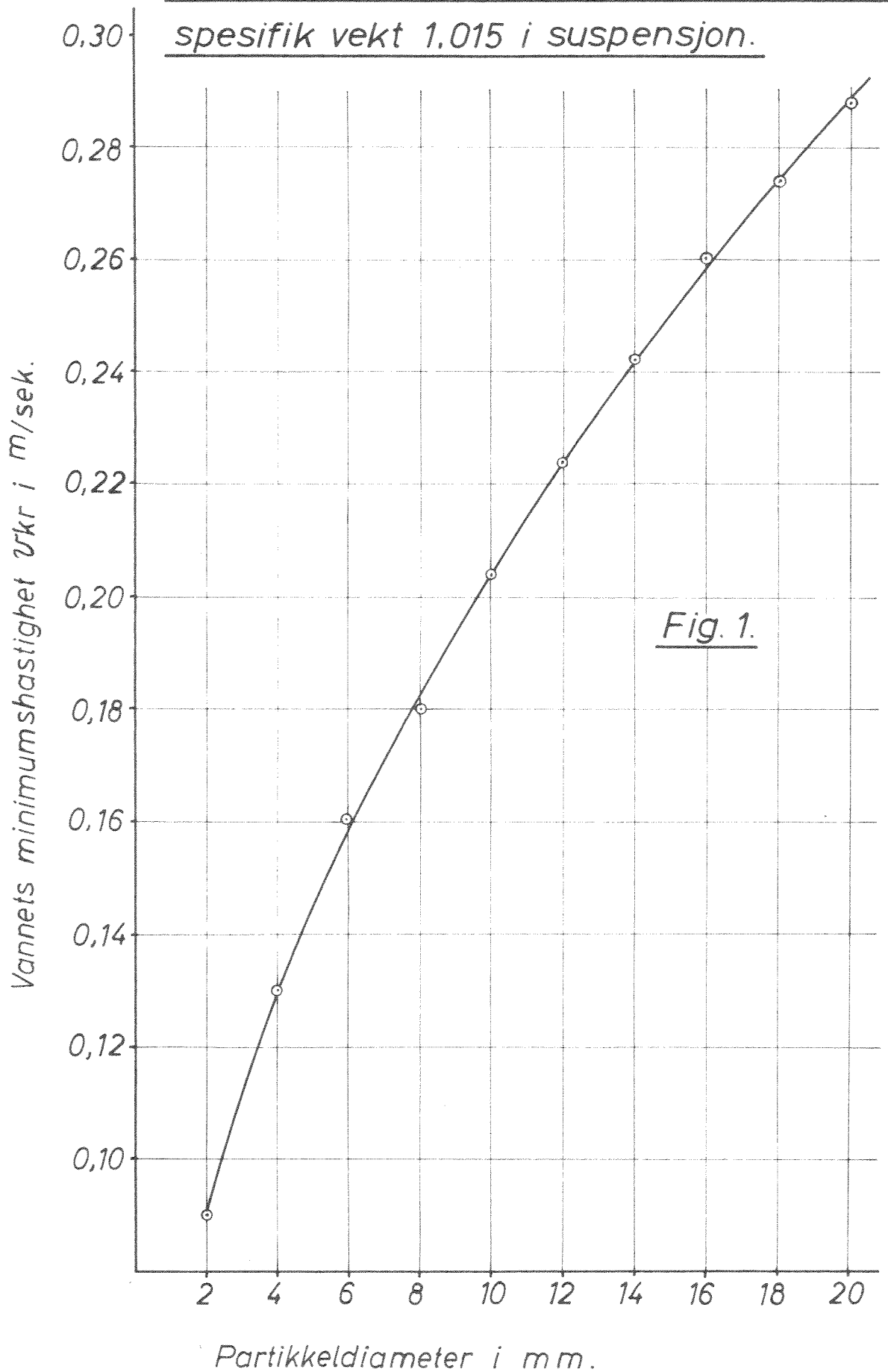
| Trykktap i cm V.S.                        |                   |                    |                     |                            |
|---|-------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|
| Luftmengde i<br>m <sup>3</sup> /min pr. m | Ø 2mm<br>c/c 5 mm | Ø 3mm<br>c/c 10 mm | Ø 4 mm<br>c/c 15 mm | Brandol<br>Zylinder<br>120 |
| 0,25                                      | 8                 | 6                  | 6                   | 12                         |
| 0,50                                      | 10                | 9                  | 8                   | 13                         |
| 0,75                                      | 17                | 11                 | 11                  | 35                         |
| 1,00                                      | 20                | 19                 | 18                  | 64                         |
| 1,35                                      | 28                | 23                 | 22                  | 100                        |
| 1,50                                      | 32                | 27                 | 26                  | >100                       |

T a b e l l 5 .

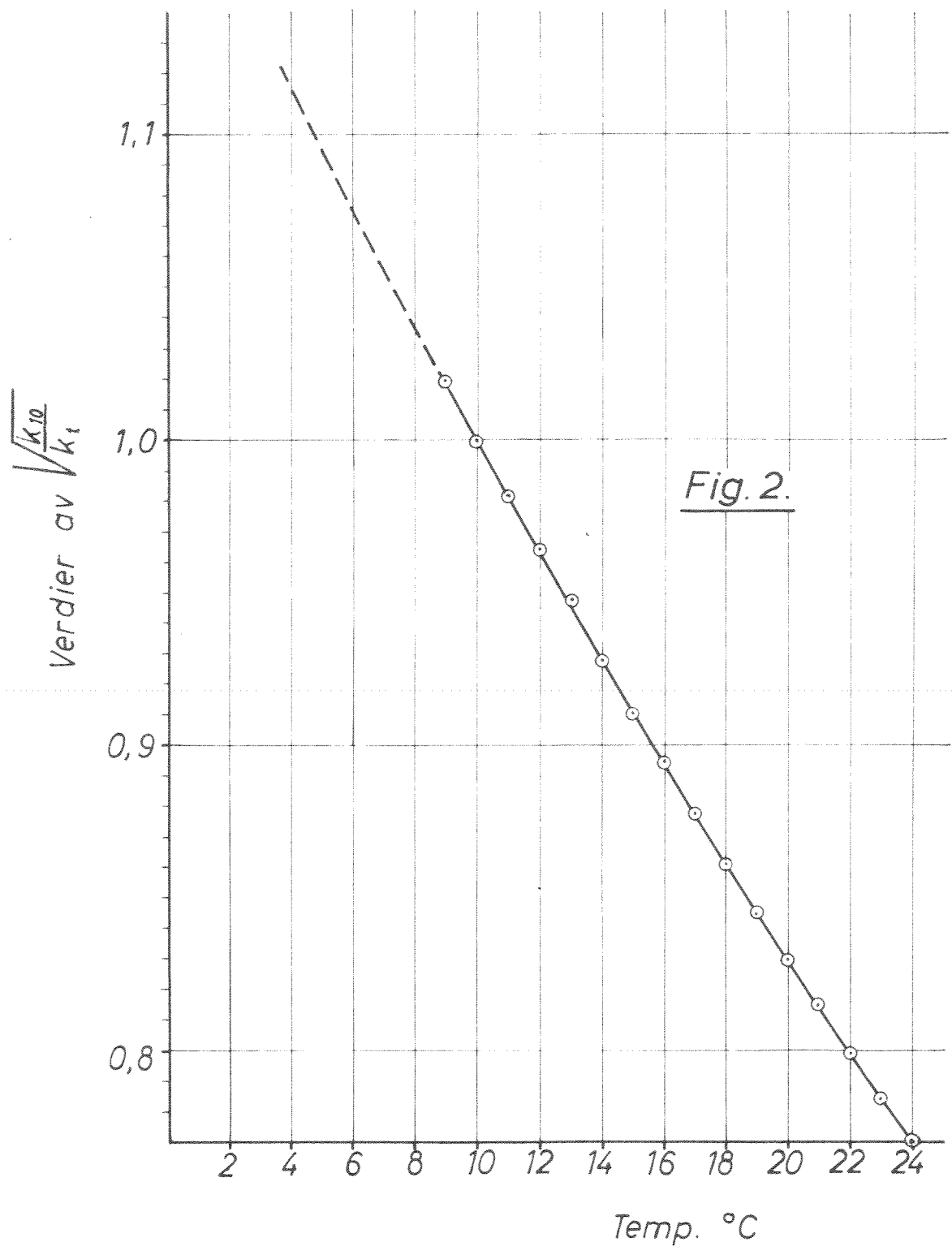
MÅLTE VERDIER AV OKSYGENERINGSKAPASITET.

| Dato:   | System:     | Hulldiam.:<br>mm         | Innblåsings-<br>dyp i m | Luft.:<br>m <sup>3</sup> /min·m | Oks.kap.:<br>g O <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> t |
|---------|-------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------|---|
| 6/12-60 | Alum.rør    | <u>2.</u><br>(c/c= 5 mm) | 1,6                     | 0,5                             | 22,9  |
| 9/12-60 | - " -       | <u>3.</u><br>(c/c=10mm)  | 1,6                     | 0,5                             | 32,6  |
| 8/12-60 | - " -       | <u>4.</u><br>(c/c=15mm)  | 1,6                     | 0,5                             | 27,0  |
| 1/3 -61 | Brandol 120 | -                        | 1,6                     | 0,5                             | 32,8  |
| 19/4-61 | Alum.rør    | <u>2.</u><br>(c/c= 5mm)  | 1,6                     | 0,5                             | 18,4  |
| 14/4-61 | - " -       | <u>3.</u><br>(c/c=10mm)  | 1,6                     | 0,5                             | 23,4  |
| 18/4-61 | - " -       | <u>4.</u><br>(c/c=15mm)  | 1,6                     | 0,5                             | 15,3  |
| 25/4-61 | Brandol 120 | -                        | 1,6                     | 0,5                             | 23,0  |

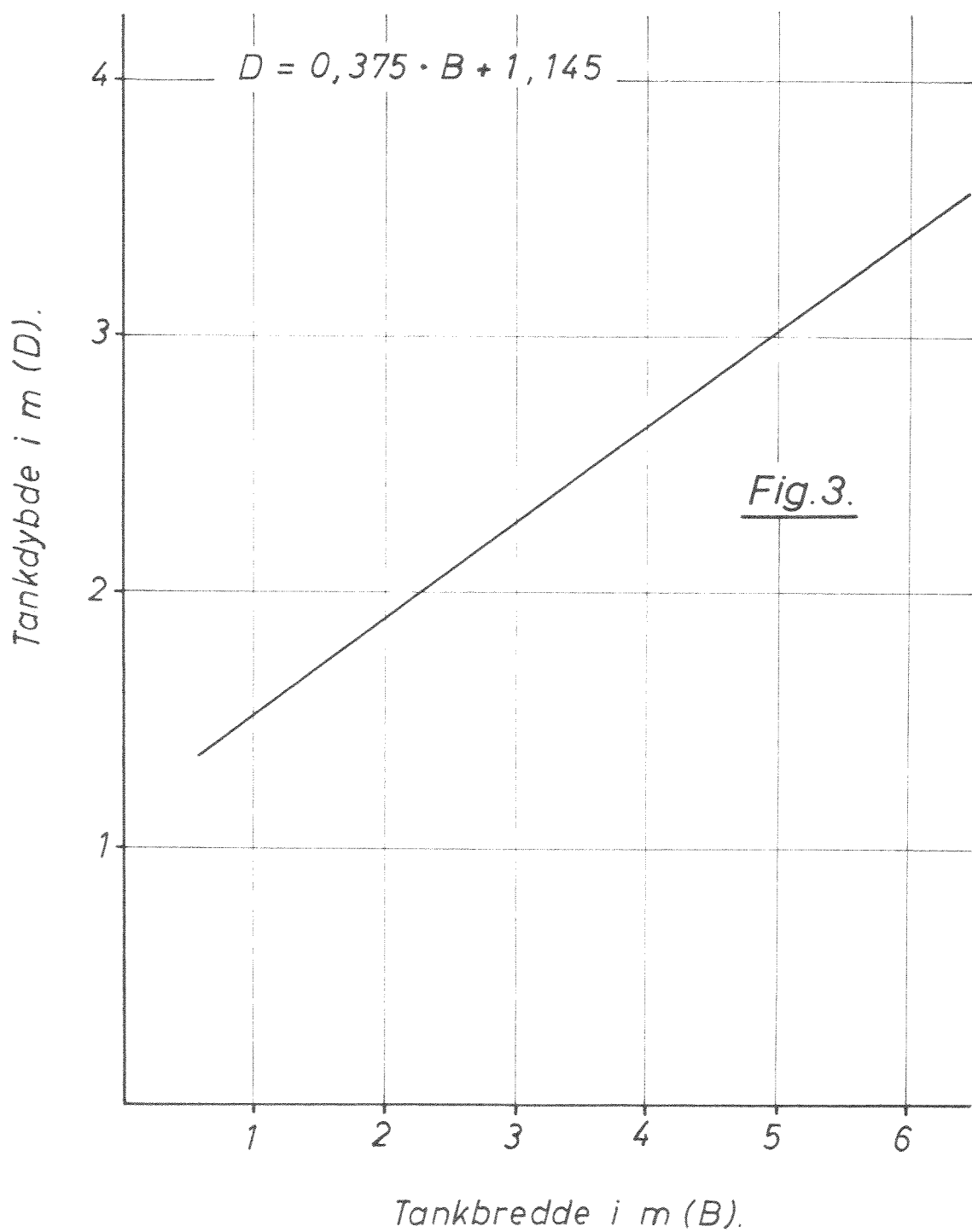
Beregnende minimumshastigheter som er nødvendige for å holde partikler med spesifikk vekt 1,015 i suspensjon.



Faktor for omregning av verdier  
for oksygenets diffusjonshastighet  
i vann ved forsökstemperatur t °C.  
til verdien ved 10 °C.



Forhold mellom dybde og  
bredde av luftningstanker.

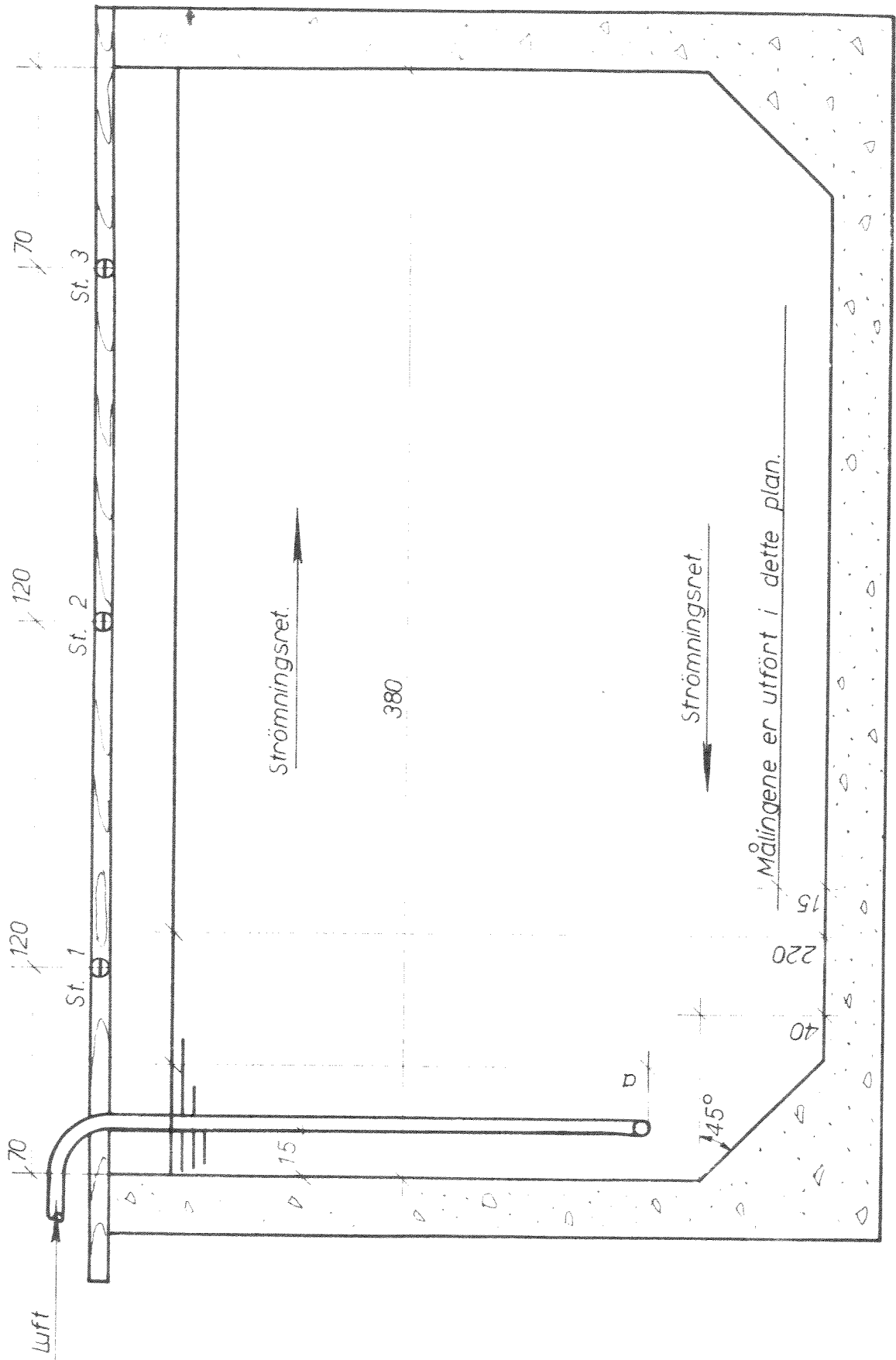


# Tverrsnitt av försökstank.

Fig. 4.

Alle mål er i cm.

$a = 80, 100, 130$  og  $160$  cm.

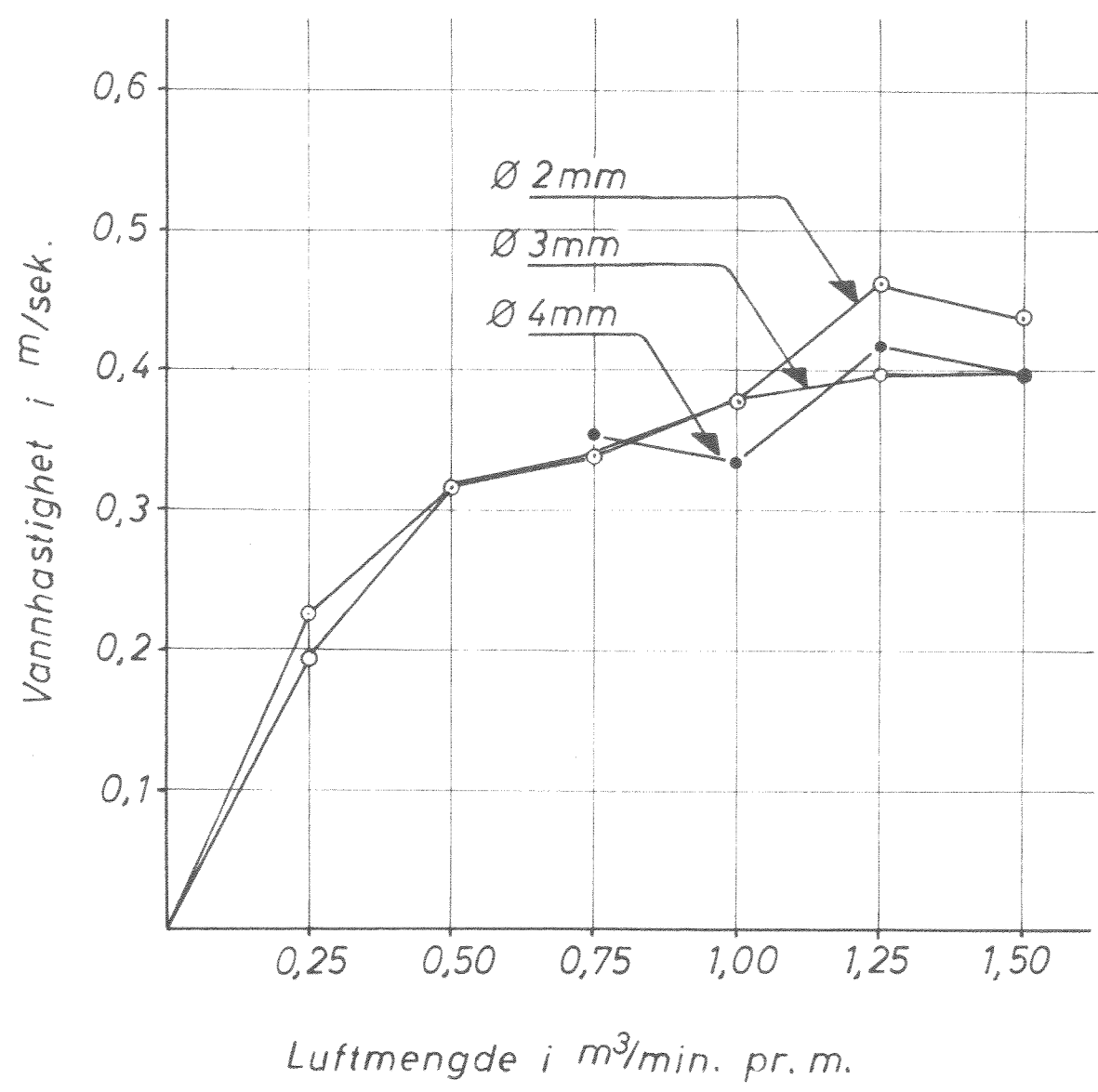




Forholdet mellom luftmengde og vannhastighet for ulike innblåsningsenheter ved en neddykning av 0,8 m.

St.2.

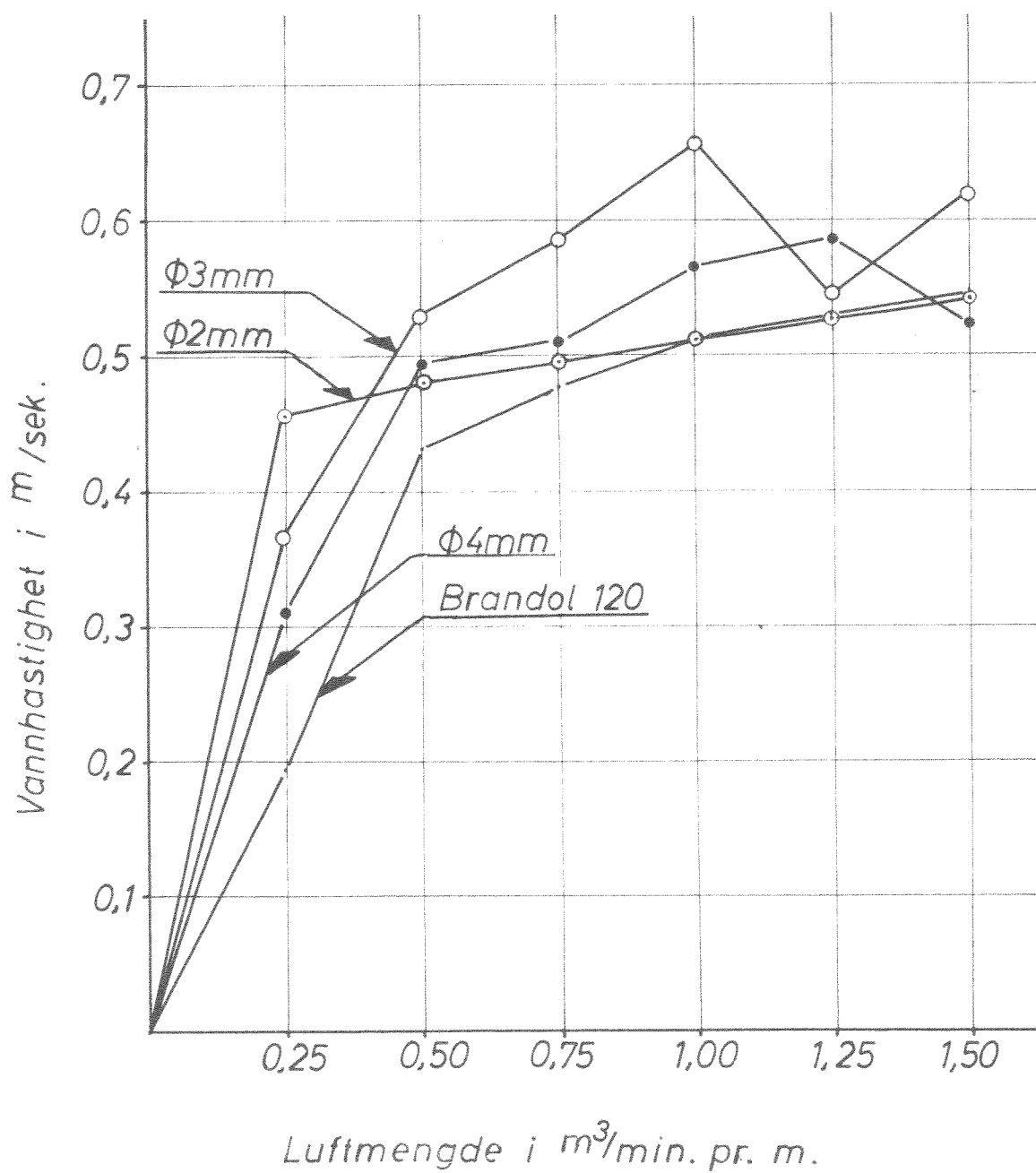
Fig. 6.



Forholdet mellom luftmengde og vannhastighet for ulike innblåsningsenheter ved en neddykning av 1,6m.

St. 2.

Fig. 5.



# Hastighetsmålningar i luftbasseng for St. I.

Fig. 8.

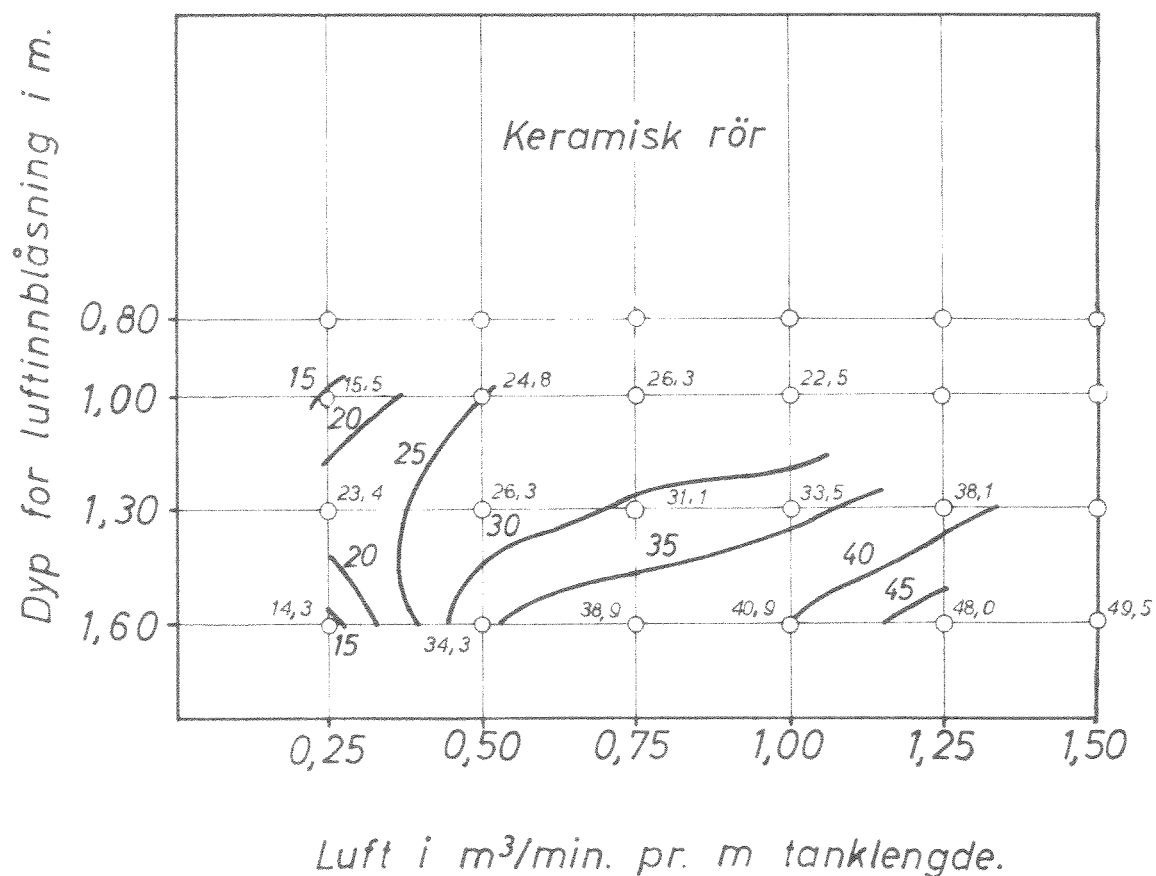
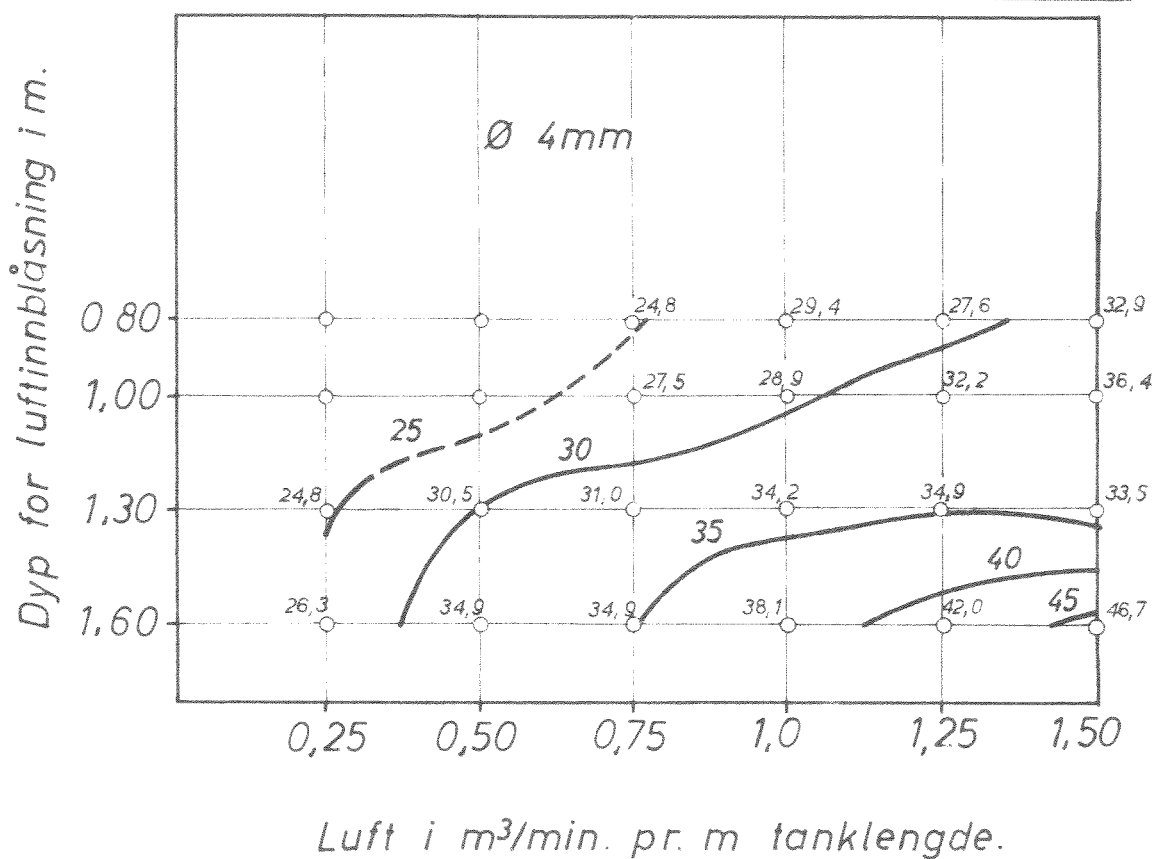
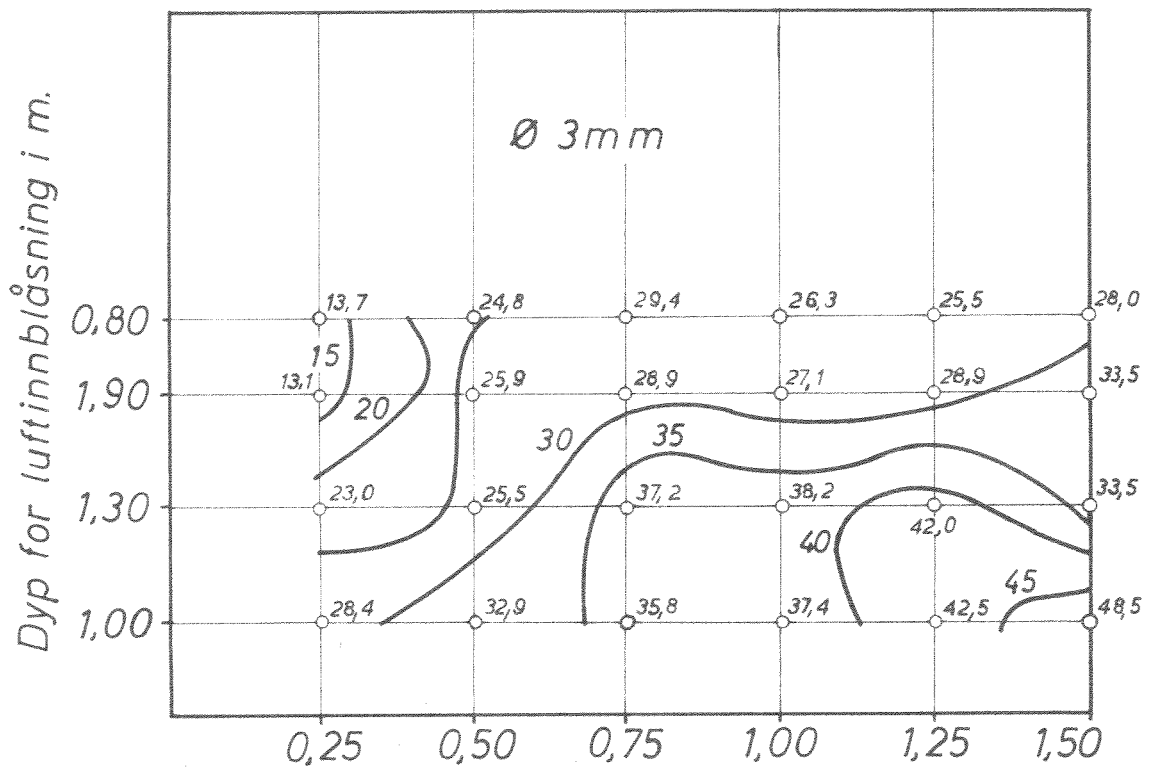
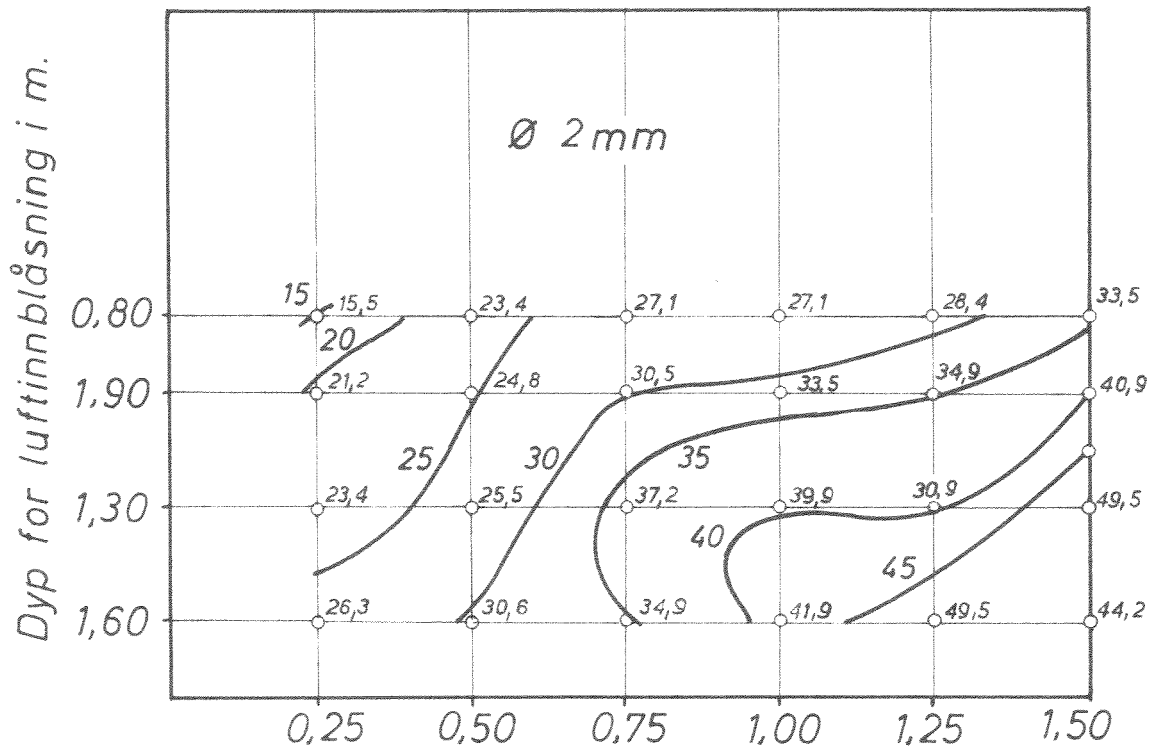


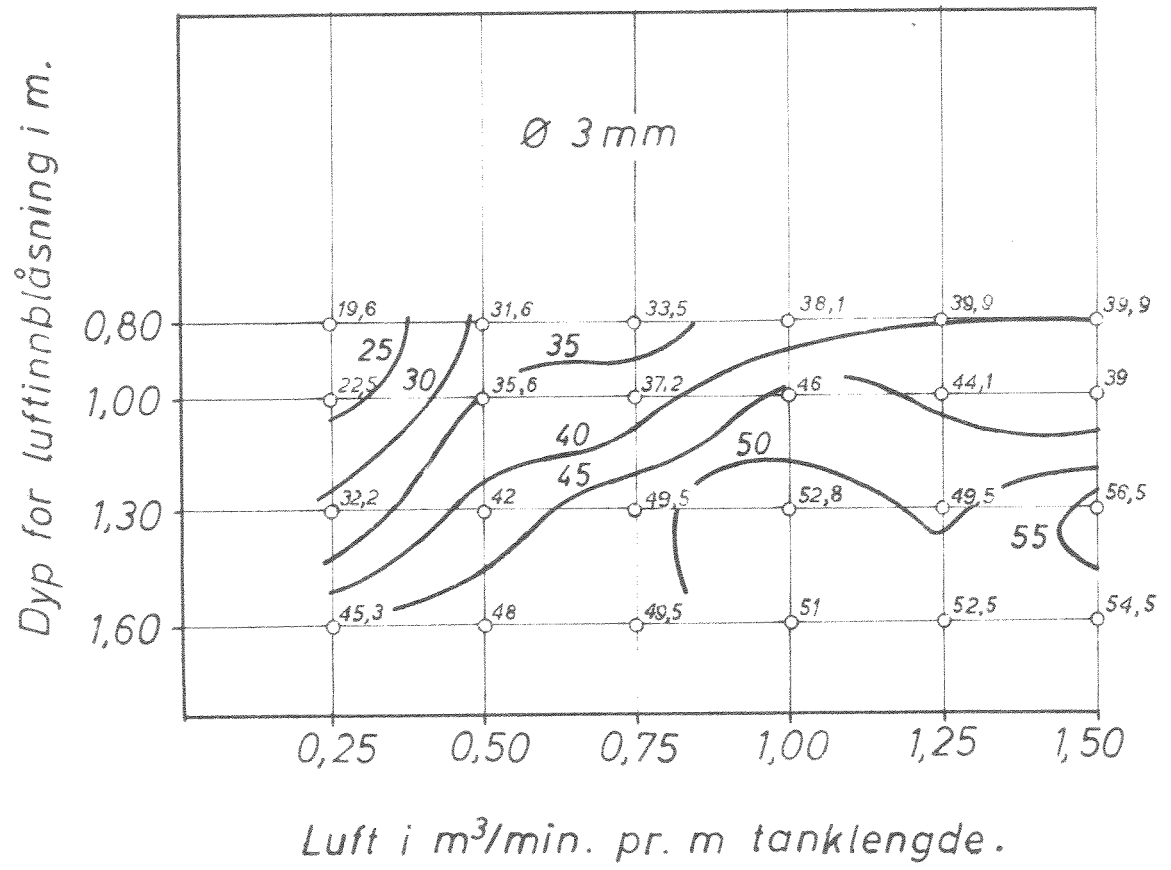
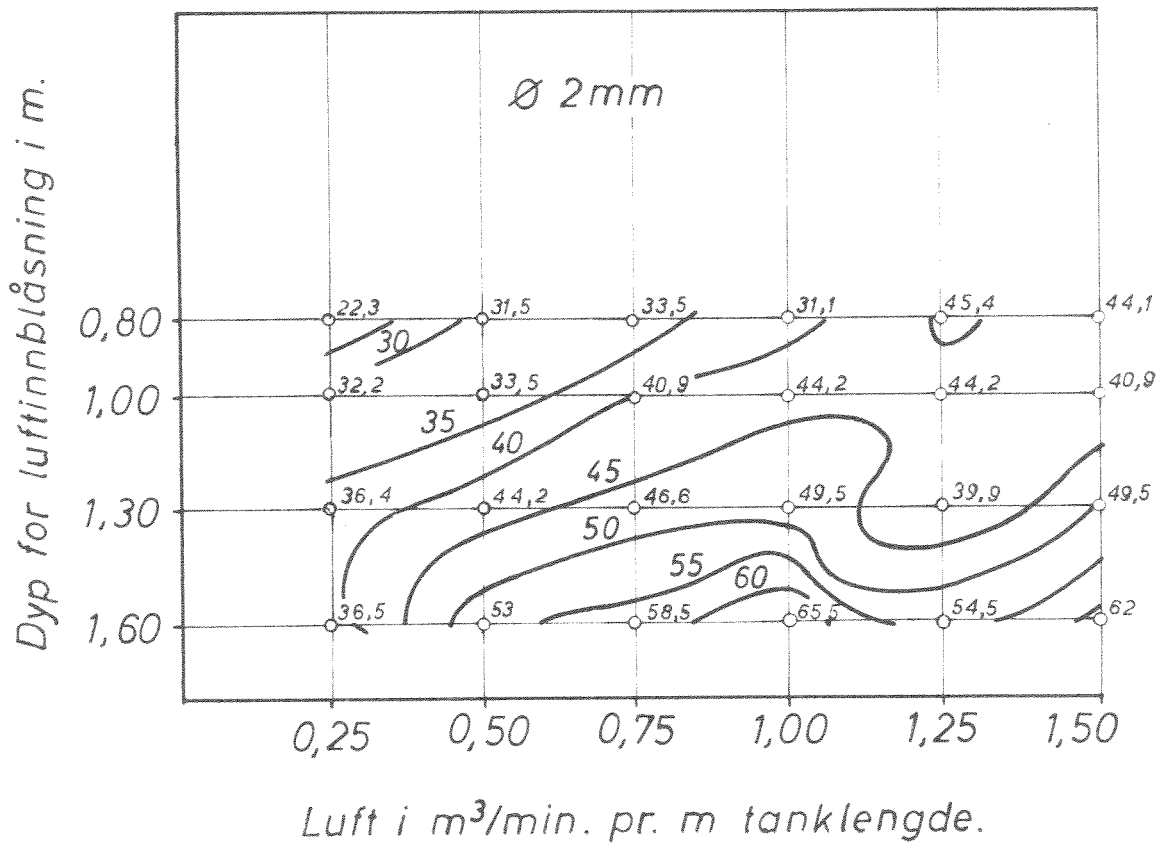
Fig. 7.



# Hastighetsmålinger i luftebasseng

for St. II.

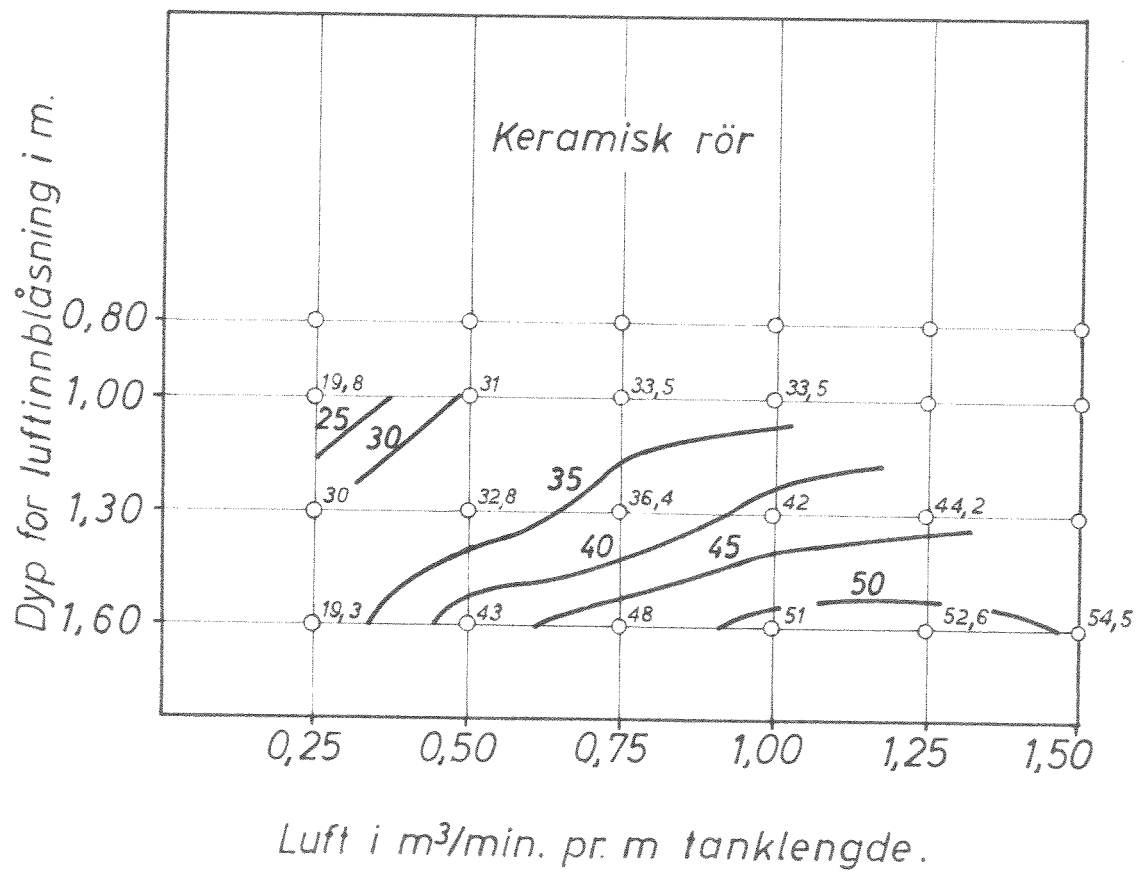
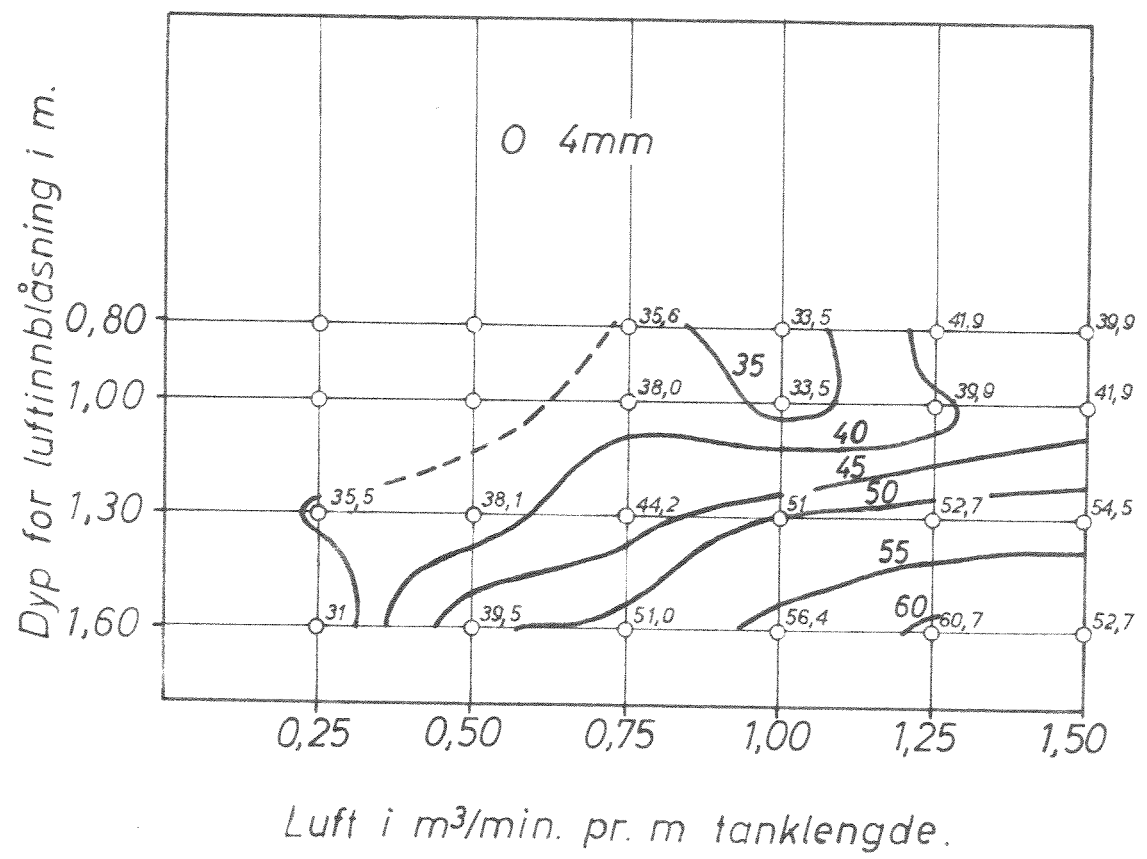
Fig. 9.



# Hastighetsmålinger i luftebasseng

for St. II.

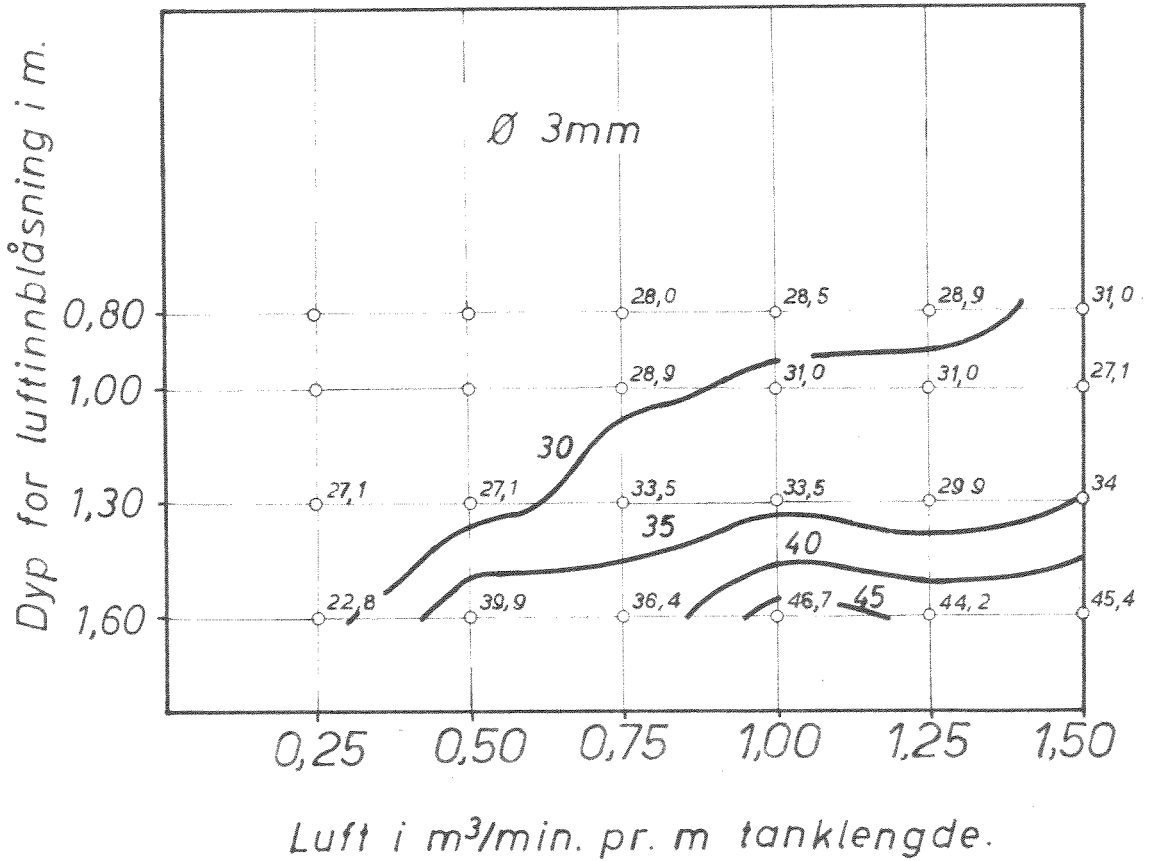
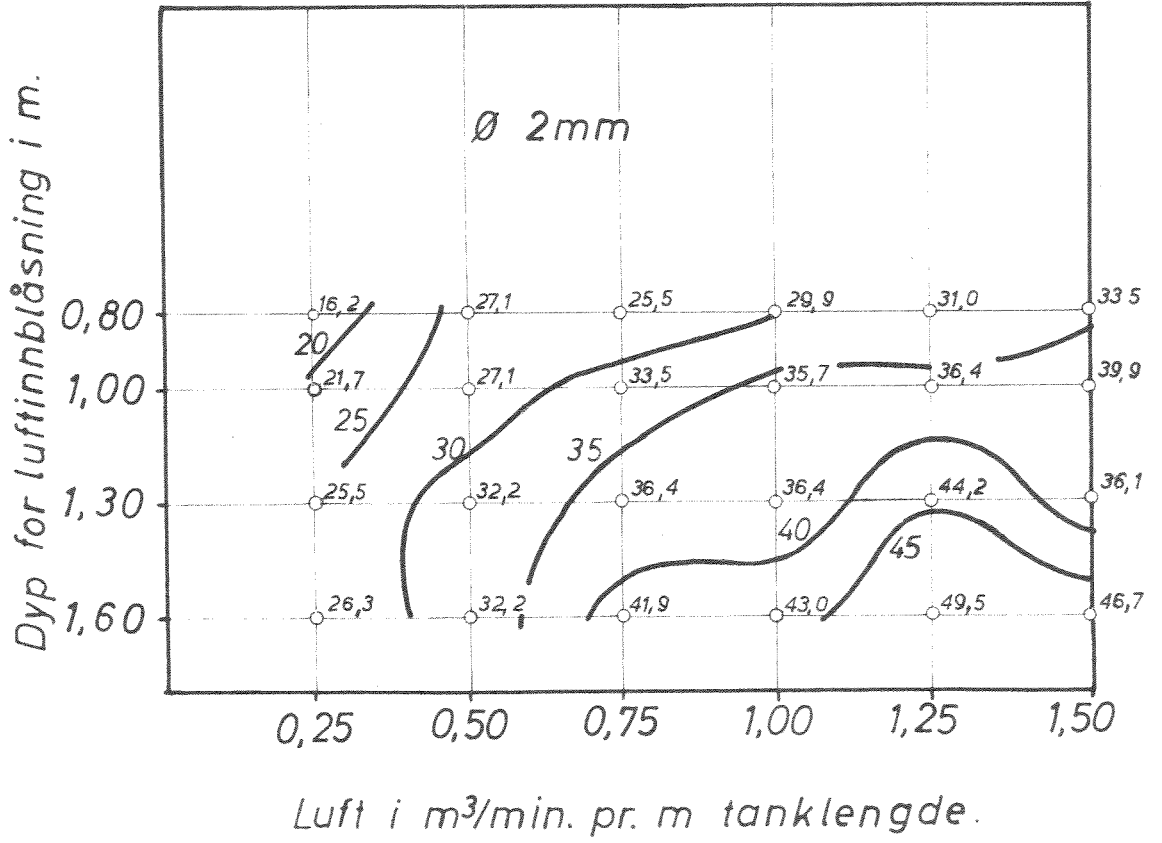
Fig. 10.



Hastighetsmålinger i luftbasseng

for St. III.

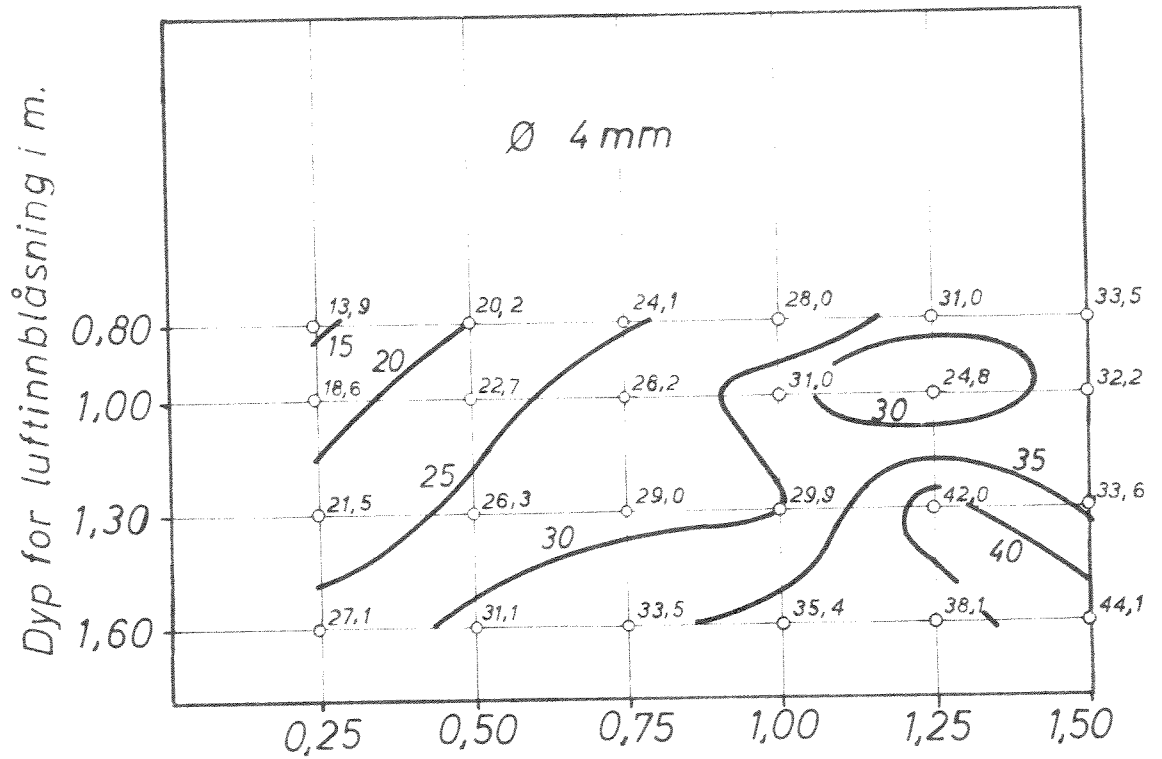
Fig. 11.



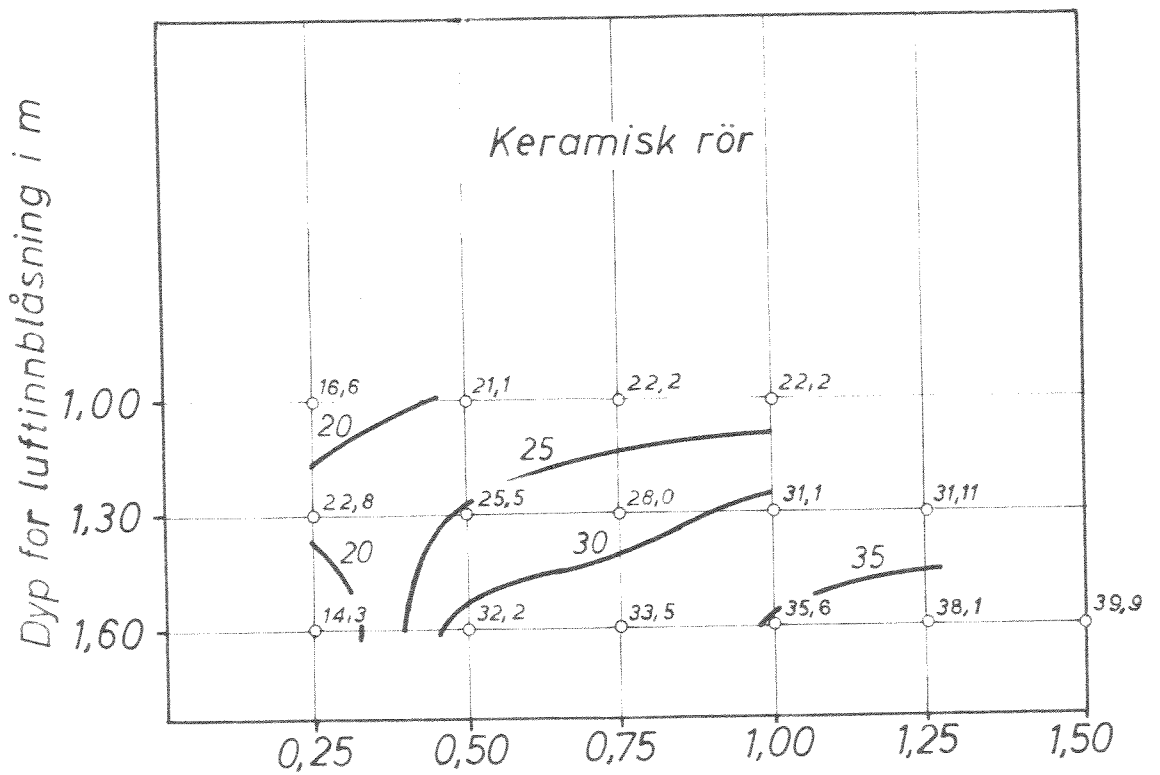
Hastighetsmålningar i luftbasseng

for St. III.

Fig. 12.

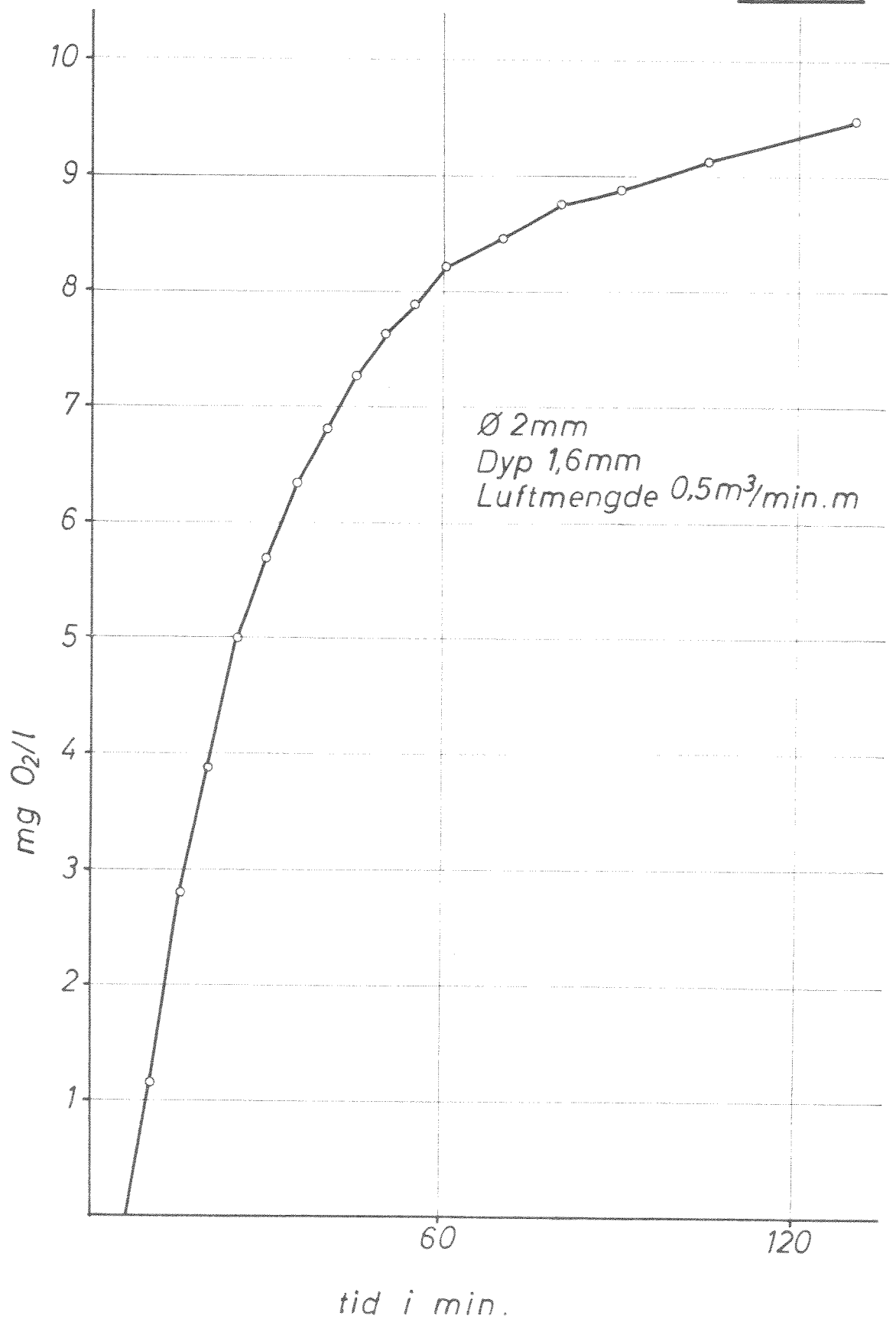


Luft i m<sup>3</sup>/min. pr. m tanklengde.



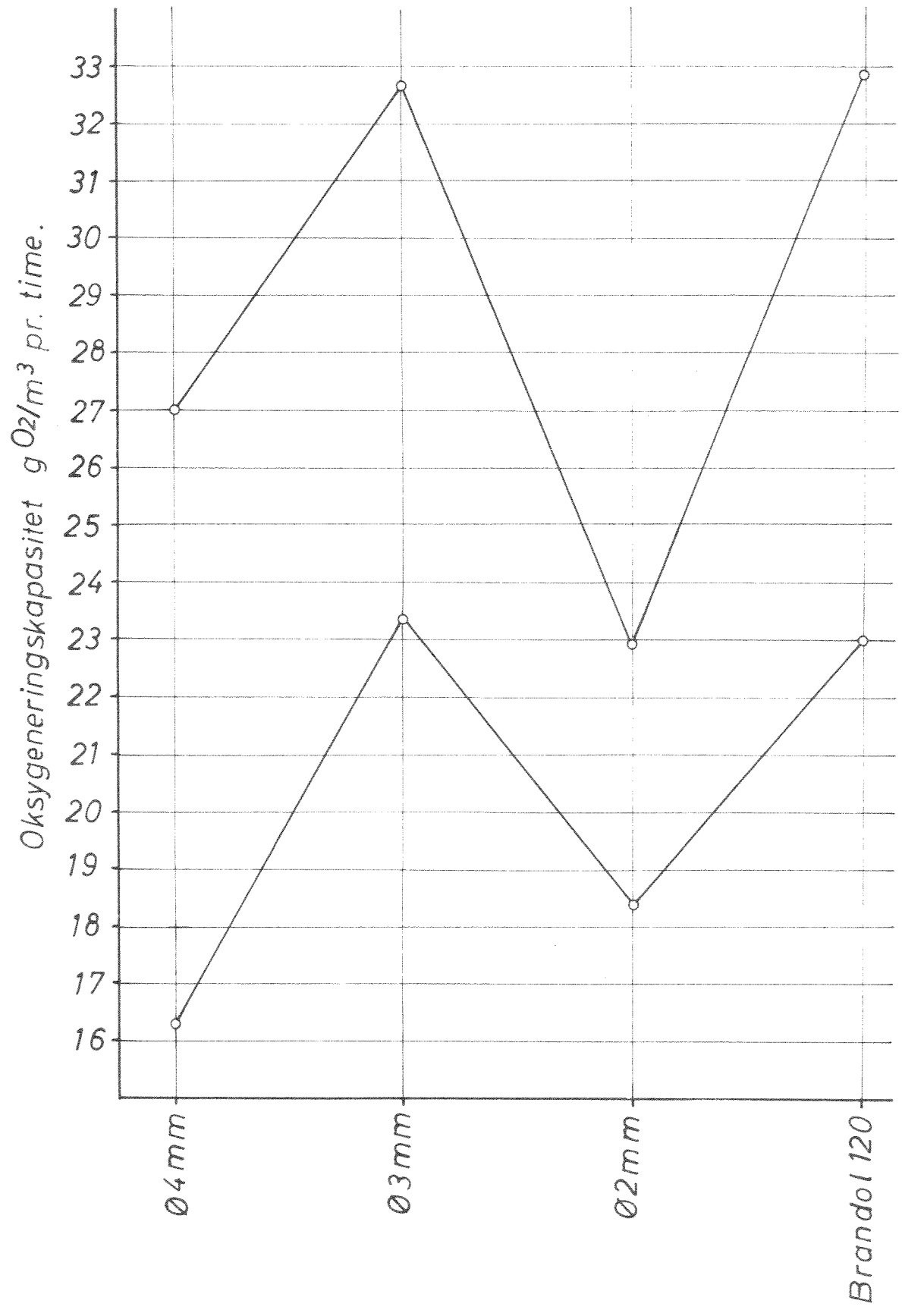
Luft i m<sup>3</sup>/min. pr. m tanklengde.



Oksygeneneringsforsök den 19/4-61.Full metning 12,64 mg/l.Fig. 13.

Målte verdier av oksygenerings-  
kapasitet.

Fig. 14.



Avhengighet mellom oksygenopptagelse  
og innblåsningsdyp.

Fig. 15.

