

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

BLINDERN

O - 118/64

OKSYGENERINGSMÅLINGER

VED FORNEBU KLOAKKRENSEANLEGG.

Saksbehandler: Siv.ing. T. Simensen

Rapporten avsluttet 11. mars 1966.

INNHOLDSFORTEGNELSE:

	Side:
1. INNLEDNING	4
2. BEREGNING AV OKSYGENERINGSKAPASITET	4
3. BESKRIVELSE AV OKSYGENERINGSSENHETER OG LUFTETANKEN	7
4. BESKRIVELSE AV FORSØKET	8
5. MÅLERESULTATER	9
6. UTREGNING AV OKSYGENERINGSKAPASITET	10
7. FORHOLDET OKSYGENBEHOV - OKSYGENERINGSKAPASITET	12

TABELLFORTEGNELSE:

	Side:
1. Strømforbruk som funksjon av turtall og neddykking for standard oksygeneringsbørste, \varnothing 42 cm, Dorr Oliver fabrikat	14
2. O ₂ opptak - SERIE A - 8 cm dykking - 90 omdr./min	15
3. - " - - SERIE B - - " - - 120 "	15
4. - " - - SERIE C - - " - - 150 "	15
5. Beregnede verdier av $\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]$ for SERIE A	16
6. " " " - " - for SERIE B	16
7. " " " - " - for SERIE C	16

FIGURFORTEGNELSE:

1. Faktor for omregning av verdier for oksygenets diffusjonshastighet i vann ved forsøkstemperatur t °C til verdien ved 10 °C
2. Skisse av luftetank
3. Målepunktene plassering i luftetanken
4. O ₂ opptak - SERIE A - 8 cm dykking - 90 omdr./min.
5. - " - SERIE B - - " - - 120 "
6. - " - SERIE C - - " - - 150 "
7. - " - gjennomsnittsverdier for 4 målepunkter pr. serie
8. $\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]$ for SERIE A
9. " - " - " SERIE B
10. " - " - " SERIE C
11. Oksygeneringskapasitet som funksjon av oksygeneringsbørsters turtall

1. INNLEDNING

På bakgrunn av en henvendelse fra Bærum kommune v/Vannverket om bestemmelse av oksygeneringskapasiteten på luftningssystemet ved Fornebu kloakkrenseanlegg, gjennomførte vårt institutt, den 5/1 1966, tre sett oksygeneringsforsøk under varierende driftsbetingelser.

Oksygenopptaket i vann ble målt i vannprøver pumpet fra fire målepunkter beliggende i et snitt lagt gjennom luftetanken perpendikulært på tankens midtpunkt.

Prøvene ble tatt ved tre forskjellige turtall på oksygeneringsbørstene og ved konstant neddykking av børstene på 8 cm.

På bakgrunn av de utførte oksygenmålinger og avlesninger av strømforbruk, har vi regnet ut den gjennomsnittlige oksygeneringskapasitet og effektivitet for lufteenheten, angitt henholdsvis som $g O_2/t$ og $g O_2/kWt$, ved 8 cm neddykking og henholdsvis 90, 120 og 150 omdr./min. på oksygeneringsbørstene.

2. BEREGNING AV OKSYGENERINGSKAPASITET

Ved måling av oksygeneringsevnen av en luftningsenhet i et kloakkrenseanlegg (absorpsjonshastighet av oksygen i g/t i fullstendig deoksygenert vann ved $10^{\circ}C$), kan det beregnes en parameter for vurdering av enhetens kapasitet med hensyn til oksygentilførsel og driftsomkostning.

Metoden ble allerede i 1934 anvendt av Kessener og Ribbius og er senere videre utviklet av Pasveer (1,2).

Ved tilførsel av oksygen til vann, slik det blir praktisert i aktiv slambelegg, kan oksygeneringshastigheten uttrykkes i følgende formulering:

$$\frac{dc}{dt} = K_d, \text{ hvor } K_d \text{ er en diffusjonskoeffisient.}$$

Diffusjonen er avhengig av flere faktorer, slik som overflaten (A) og vannvolumet (V) som oksygenet diffunderer gjennom, samt konsentrasjonen av oksygen (C) i vannmassen. Hovedfaktoren er imidlertid differansen mellom metningsverdien for oksygen i vann ved den temperatur forsøket utføres (C_m), og vannets øyeblikkelige oksygenkonsentrasjon (C_o). Differansen $C_m - C_o$ betegnes som vannets oksygendefecit.

Hastighetsformelen kan da gis følgende form:

$$\frac{dc}{dt} = f \frac{A}{V} (C_m - C_o)$$

Koeffisienten f, som er karakteristisk for en gitt oksygeneringsinnretning, og overflaten, A, blir trukket sammen i en ny faktor som betegnes oksygeneringskapasitet (OC).

Etter integrasjon kan formelen omskrives til:

$$OC = C_m \cdot \frac{1}{t_1 - t_o} \cdot \ln \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right] \cdot V$$

OC blir uttrykt som mengden av oppløst oksygen pr. luftningssystem og angitt i g O_2 /t. Endelig innføres det en korreksjonsfaktor $\sqrt{\frac{k_{10}}{k_t}}$ for omregning av verdier for oksygenets diffusjonshastighet i vann ved forsøkestemperatur t °C til verdien ved 10 °C, og den praktisk anvendbare formelen blir følgende:

$$OC = 25,2 \cdot \frac{1}{t_1 - t_o} \cdot \log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right] \cdot \sqrt{\frac{k_{10}}{k_t}} \cdot V \quad \text{g } O_2/\text{t}$$

hvor

OC = oksygeneringskapasitet i g O_2 /t

$t_1 - t_o$ = tiden under forsøket, uttrykt i timer

C_o = vannets oksygenkonsentrasjon i mg O_2 /l ved tiden t_o

C_t = vannets oksygenkonsentrasjon i mg O_2 /l ved tiden t_1

C_m = metningskonsentrasjonen for oksygen i vann ved den temperatur forsøket utføres (5)

k = diffusjonskonstant

$\sqrt{\frac{k_{10}}{k_t}}$ = korreksjonsfaktor for omregning av verdien for oksygenets diffusjonshastighet i vann ved forsøks temperatur til verdien ved 10°C , angitt i fig. 1

25,2 = 2,303 · 10,92, hvor 2,303 er omregningsfaktor fra naturlige til Briggske logaritmer og 10,92 er metningskonsentrasjonen for oksygen i vann ved 10°C og 760 mm Hg, uttrykt i g/m^3 .

Referanser

1. Pasveer, A., "Über die Theorie des Sauerstoffeintrages und das Sauerstoffverbrauches beim Belebtschlammverfahren", München. Beitr. zur Abwasser-Fischerei- und Flussbiologie, Band 5, Tropfkörper und Belebungsbecken, München, 1958.
2. Pasveer, A., "A Contribution to the Development in Activated Sludge Treatment," Jour. Inst. Sew. Purific., Part 4, pp. 436-465, 1959.
3. Baars, J.K. and Muskat, J., "Oxygenation of Water by Bladed Rotors", Research Institute for Public Health Engineering, Report no. 28, The Hague.
4. "Notes on Water Pollution", No. 16, March, 1962. W.P.R.L., Stevenage, England.
5. Truesdale, Downing & Lowdon, 1955.

3. BESKRIVELSE AV OKSYGENERINGSSENHETEN OG LUFTETANKEN

Oksygeneringsenheten består av 2 sammenkoblede standard Kessener-børster, ϕ 42 cm av Dorr-Oliver fabrikat, en hastighetsregulator og en vekselstrømsmotor. Kessenerbørsten består av en aksel med rader av påfestede blader, som er utformet som tenner. Forholdet mellom tann og åpning er 1 : 1, og det går omlag 65 tenner pr. lm. Tennene er ca. 13,5 cm lange og begynner ca. 3 cm fra selve akselen som har en diameter på ca. 9 cm.

Det er 2 like luftetanker på anlegget, hver med sin oksygeneringsenhet.

Motorene har følgende spesifikasjoner:

Süddeutsche - El.motoren - Werke Bruchsal

V 220/380 Per 50 O/min. 1440

A 22,5/13,0 kW 3,5 $\cos \phi = 0,84$

Merko - Type D 544

Hastighetsregulatoren har følgende spesifikasjoner:

Süddeutsche - El.motoren - Werke Bruchsal

Type R 82 V/SR 270

O/min. 197 - 394

$i = 5,15$

Hver luftetank har to børstelengder. Begge disse børstene var opprinnelig 337 cm lange, men på grunn av koblingen mellom børstene er den ene børsten kun 316 cm, dvs. en total børstelengde pr. tank på 653 cm.

Utformingen og innvendige dimensjoner for luftetankene er vist i fig. 2.

Ved 8 cm neddykking av børstene er vannvolumet i 1. luftetank ca. 35 m^3 .

Vannoverflaten er da: $3,6 \cdot 7,5 = 27 \text{ m}^2$ pr. luftetank.

4. BESKRIVELSE AV FORSØKET

Klargjøringen på anlegget startet 3/1 1966, da prøvetakingsutstyret ble rigget opp.

Den ene luftetank var på forhånd tømt, spylt og fylt opp med rent vann, tappet fra vannledningsnett.

Det viste seg imidlertid at tanken ikke var tilstrekkelig rengjort (endel slam ble funnet), den ble derfor på ny tømt, rengjort og fylt med rent vann. Selve prøvetakingen ble derfor noe forsinket og kom først igang 5/1 1966.

Det ble kjørt tre serier med turtall på børstene på henholdsvis 90, 120 og 150 O/min., nedenfor kalt serie A, B og C. Alle forsøkene ble gjennomført ved en konstant neddykking på Kessenerbørstene = 8 cm.

Før start ble det tatt en vannprøve fra tanken for å bestemme oksygenkonsentrasjonen. Med denne konsentrasjonen som utgangspunkt, ble det tilsatt en tilstrekkelig stor mengde $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (oppløst i vann) for å redusere vannets oksygeninnhold til null. Deretter ble det tilsatt $\text{COCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ som katalysator, i en mengde som etter oksygeneringsforsøk i laboratorieskala var funnet å gi et optimalt resultat. Den tilsatte mengde katalysator gav en konsentrasjon i luftetanken på 4 mg/l, regnet som $\text{COCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Øket tilsats av $\text{COCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ble senere ikke foretatt.

Etter tilsats av Na_2SO_3 og COCl_2 ble pH målt (6,6), og deretter justert med Na_2CO_3 til pH 8 - 8,5.

Etter avslutningen av henholdsvis serie A og B ble O_2 -konsentrasjonen i luftetanken igjen bestemt, og tilsvarende mengde $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ tilsatt for å redusere oksygeninnholdet til null. Samtidig ble pH målt og justert og temperatur målt.

For å sikre god blanding i tanken etter tilsats av kjemikalier, ble børstene kjørt på laveste turtall = 70 O/min. Ved denne hastighet oppsto ingen spruting og oppvirvling fra børstene, slik at oksygenet som eventuelt ble bragt inn i vannet, må regnes som minimalt.

Strømforbruket ved de forskjellige børstehastigheter var i middel

Serie A,	90 O/min.	=	14,4 A
" B,	120 "	=	15,5 A
" C,	150 "	=	18,0 A

Med hensyn til prøvepunktene plassering henvises til fig. 3.

Ved alle tre forsøksserier ble første prøve tatt 2 min. etter at børstene var startet, og deretter hvert 2. min. i løpet av en totaltid på 16 min. Prøvene ble pumpet samtidig opp fra alle fire punkter.

5. MÅLERESULTATER

Tabell 1 angir målte verdier for strømforbruk ved de respektive turtall som ble benyttet under forsøket.

Neddykking av børstene var hele tiden konstant lik 8 cm.

Oksygenopptakene, vist i fig. 4, 5, 6 og 7 og i tabell 2, 3 og 4, viser jevnt over gode og teoretisk sett riktige stigningsforhold.

Kurvene har en eksponentiell form hvor $\frac{dc}{dt}$ er størst i begynnelsen av hvert forsøk. Dette skyldes at man under forsøket har en synkende oksygendeficit ($C_m - C_t$).

O₂-opptak uttrykt som % metning gir i henhold til fig. 7 følgende resultat:

SERIE A gir etter 13 min. luftning 36 % metning

" B - " - " - " - 72 " "

" C - " - " - " - 90 " "

Det vil si at:

SERIE B - 120 O/min. = 2 x O₂ opptaket ved 90 O/min.

" C - 150 " = 2,5 x O₂ " " - " -

etter 13 min. luftningstid.

Målte pH-verdier etter justering med Na₂CO₃ var for de forskjellige serier henholdsvis:

SERIE A: 8,4

" B: 8,1

" C: 8,2

Temperaturen var under alle tre forsøk 9,0 °C.

6. UTREGNING AV OKSYGENERINGSKAPASITET

Utregnede verdier av $\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]$ er gitt i tabellene 5, 6 og 7. I figurene 8, 9 og 10 er de respektive log-verdier plottet som funksjon av tid.

Som det fremgår av punktene, så ligger de tilnærmet rettlinjet, hvilket er teoretisk korrekt.

I henhold til vår tidligere angitte formel for oksygeneringskapasitet, vil stigningen på de rettlinjede kurvene i figurene 8, 9 og 10 være

$$\frac{\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]}{t_1 - t_o} = \frac{0C}{25,2 \cdot \sqrt{\frac{k_{10}}{k_t}} \cdot V}$$

slik at oksygeneringskapasiteten kan beregnes ved direkte å måle kurvenes stigningsforhold for de enkelte forsøksserier.

For beregning av brutto wattforbruk for den elektriske motoren har vi benyttet følgende formel:

$$E = U \cdot I \cdot \cos \phi \sqrt{3} = 220 \cdot I \cdot 0,84 \cdot 1,73 = 320 \cdot I,$$

hvor spenningen U er antatt å ha vært konstant lik 220 volt under alle forsøkene.

Beregnete verdier av

$$\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right] / t_1 - t_o, \quad \sqrt{\frac{k_{10}}{k_t}} \quad \text{og } E$$

er angitt i følgende tabell:

Serie	Dykking	Omdr./ min.	$\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right] / t_1 - t_o$	$\sqrt{\frac{k_{10}}{k_t}}$	E
nr.	cm	O/min.	1/t		watt
A	8	90	1,01	1,02	4600
B	8	120	2,54	1,02	4960
C	8	150	4,57	1,02	5760

Beregnete verdier av oksygeneringskapasitet og systemets spesifikke kraftforbruk er gitt nedenfor:

Serie	Dykking	Omdr./ min.	Oksygeneringskapasitet OC	OC/E
nr.	cm	O/min.	g O ₂ /t	g O ₂ /kWh brutto
A	8	90	910 · 2 = 1820	198 · 2 = 396
B	8	120	2280 · 2 = 4560	460 · 2 = 920
C	8	150	4115 · 2 = 8230	714 · 2 = 1428

(NB. De utregnede OC og OC/E verdier omfatter begge luftetanker).

7. FORHOLDET OKSYGENBEHOV - OKSYGENERINGSKAPASITET

Spørsmålet om hvorvidt oksygeneringsbørstenes ytelse tilfredsstillende anleggets oksygenbehov kan best vurderes ved en generell beregning av behovet som funksjon av varierende driftsbetingelser.

Ved fjerning av BOF_5 i et aktivslamanlegg er oksygenforbruket først og fremst avhengig av BOF_5 -belastningen og mengde biologisk slam i anlegget. Dette forholdet kan uttrykkes ved følgende likning:

$$O = a \cdot L + b \cdot W$$

hvor

$$O = \text{kg O}_2/\text{døgn}$$

$$L = \text{kg BOF}_5/\text{døgn}$$

$$W = \text{kg suspendert organisk stoff i luftetank}$$

$$a \text{ og } b = \text{konstanter}$$

Ved å føre inn anleggets belastningsfaktor $f = L/W$ i likningen får vi

$$\text{kg O}_2/\text{time} = \frac{W}{24} (a \cdot f + b)$$

I tillegg til dette minste nødvendige forbruket er oksygenbehovet også avhengig av hvilken oksygenkonsentrasjon man ønsker å opprettholde i luftetanken. I faglitteraturen angis den minste oksygenkonsentrasjonen i luftetanken, for å sikre effektive driftsforhold, å ligge i området 0,5 - 1,5 mg O_2 /l. I henhold til tyske observasjoner vil det være riktig å sette en praktisk nedre grense ved 2 mg O_2 /l. Dette medfører at O_2 -forbruket må økes med ca. 30 %.

Med hensyn til verdien av konstantene a og b i likningen ovenfor, viser amerikanske og tyske målinger at man for husholdningskloakkvann kan regne med $a = 0,5$ og $b = 0,1$.

Føres disse tallene inn i likningen får vi som nødvendig oksygenbehov:

$$\frac{\text{kg O}_2}{\text{time}} = \frac{W}{24} (0,5 \cdot f + 0,1) \cdot 1,3 = \frac{W}{18,5} (0,5 \cdot f + 0,1)$$

Ved å fremstille denne likningen grafisk har vi forsøkt å belyse anleggets driftsmuligheter under varierende belastningsforhold, ved at oksygeneringsbørstenes turtall kan reguleres i henhold til forureningsbelastningen. Dette forholdet er vist i fig. 11.

Tabell 1.

Strømforbruk som funksjon av turtall og neddykking for standard Kessener børste, ϕ 42 cm, Dorr Oliver fabrikat

Serie	Børstenes Neddykking	Børstenes turtall	Strøm- forbruk		Middel
			Måling I Amp.	Måling II Amp.	
	cm	O/min.			Amp.
A	8	90	14,5	14,3	14,4
B	8	120	15,7	15,3	15,5
C	8	150	18,1	17,9	18,0

Tabell 2.

Oksygenopptak angitt som C_t mg O_2 /l for SERIE A,

børstens turtall = 90 O/min., neddykking 8 cm.

$$T = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_m = 11,19 \text{ mg } O_2/l$$

Tid etter start	pkt. 1	pkt. 2	pkt. 3	pkt. 4	Middel
2 min.	0,19	0	0,06	0,32	0,14
4 "	1,18	1,63	1,42	1,26	1,37
6 "	1,65	1,59	2,24	1,76	1,67
8 "	2,44	2,43	2,35	2,35	2,39
10 "	2,80	3,34	4,28	3,11	3,08
12 "	3,69	3,76	3,76	3,62	3,71
14 "	3,60	4,46	4,19	3,96	4,05
16 "	5,42	4,29	5,88	4,78	5,09

Tabell 3.

Oksygenopptak angitt som C_t mg O_2 /l for SERIE B,

børstens turtall = 120 O/min., neddykking 8 cm.

$$T = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_m = 11,19 \text{ mg } O_2/l$$

Tid etter start	pkt. 1	pkt. 2	pkt. 3	pkt. 4	Middel
2 min.	1,47	1,20	1,26	1,76	1,42
4 "	3,40	3,85	3,41	3,75	3,60
6 "	4,91	4,87	4,60	5,13	4,88
8 "	6,13	6,15	5,95	6,11	6,09
10 "	6,92	6,93	7,00	6,91	6,94
12 "	7,78	7,60	7,80	8,00	7,80
14 "	8,25	8,17	7,78	7,95	8,04
16 "	8,56	8,75	8,86	8,40	8,64

Tabell 4.

Oksygenopptak angitt som C_t mg O_2 /l for SERIE C,

børstens turtall = 150 O/min., neddykking 8 cm.

$$T = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_m = 11,19 \text{ mg } O_2/l$$

Tid etter start	pkt. 1	pkt. 2	pkt. 3	pkt. 4	Middel
2 min.	4,16	3,96	3,64	4,00	3,94
4 "	5,90	5,73	5,76	6,08	5,87
6 "	7,48	7,10	7,43	7,76	7,44
8 "	7,56	7,96	8,38	8,25	8,20
10 "	8,58	9,66	9,90	9,05	9,30
12 "	9,71	9,96	10,12	9,08	9,93
14 "	9,95	9,51	10,03	9,62	9,78
16 "	9,80	10,04	10,25	10,25	10,09

Tabell 5.

Beregnete verdier av $\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]$ for SERIE A,

børstens turtall = 90 0/min., neddykking 8 cm.

$T = 9^{\circ}C$

$C_m = 11,19 \text{ mg } O_2/l$

Tid etter start	C_t	$C_m - C_t$	$\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]$
0 min	0	0	0
2 "	0,14	11,05	0,00544
4 "	1,37	9,82	0,05671
6 "	1,67	9,52	0,07018
8 "	2,39	8,80	0,10432
10 "	3,08	8,11	0,13978
12 "	3,71	7,48	0,17490
14 "	4,05	7,14	0,19512
16 "	5,09	6,10	0,26349

Tabell 6.

Beregnete verdier av $\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]$ for SERIE B,

børstens turtall = 120 0/min., neddykking 8 cm.

$T = 9^{\circ}C$

$C_m = 11,19 \text{ mg } O_2/l$

Tid etter start	C_t	$C_m - C_t$	$\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]$
0 min.	0	0	0
2 "	1,42	9,77	0,05892
4 "	3,60	7,59	0,16858
6 "	4,88	6,31	0,24881
8 "	6,09	5,10	0,34126
10 "	6,94	4,25	0,42043
12 "	7,80	3,39	0,51863
14 "	8,04	3,15	0,55051
16 "	8,64	2,55	0,64229

Tabell 7.

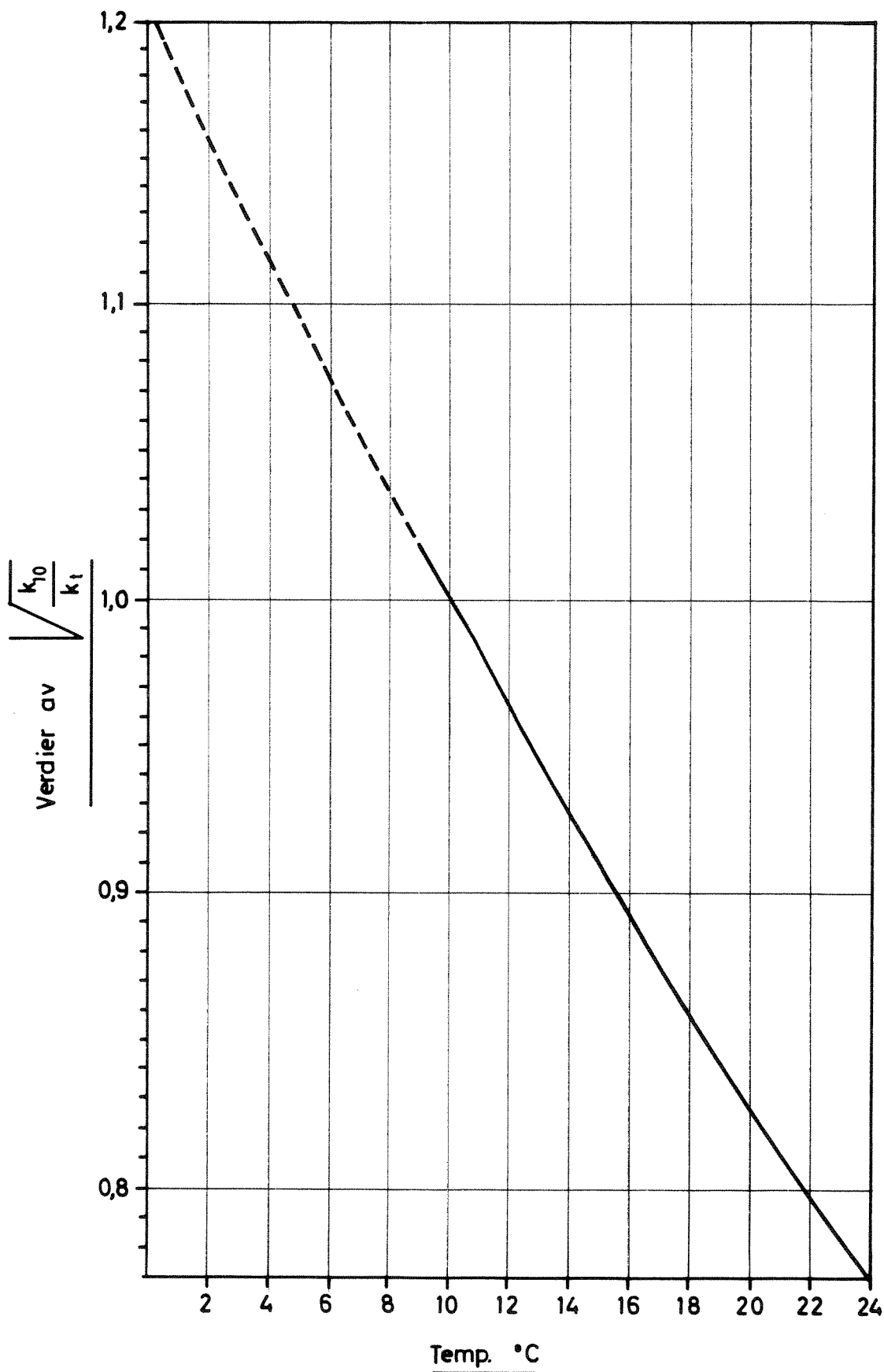
Beregnete verdier av $\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]$ for SERIE C,

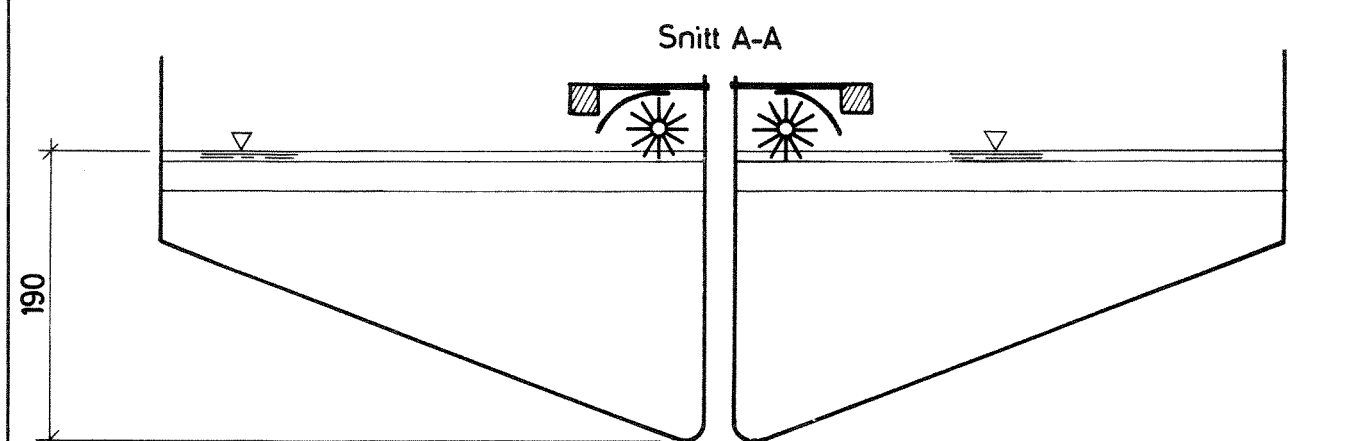
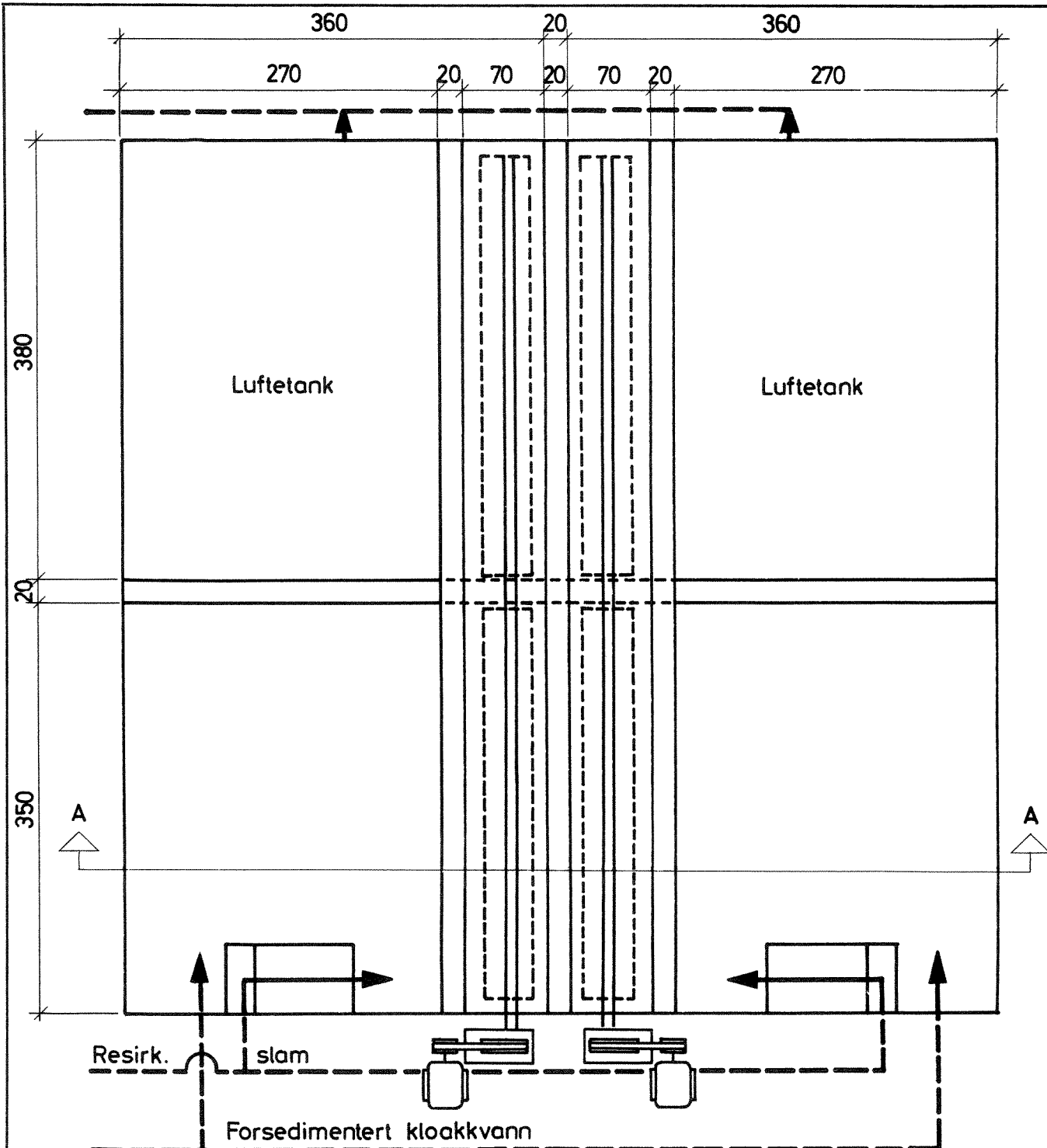
børstens turtall = 150 0/min., neddykking 8 cm.

$T = 9^{\circ}C$

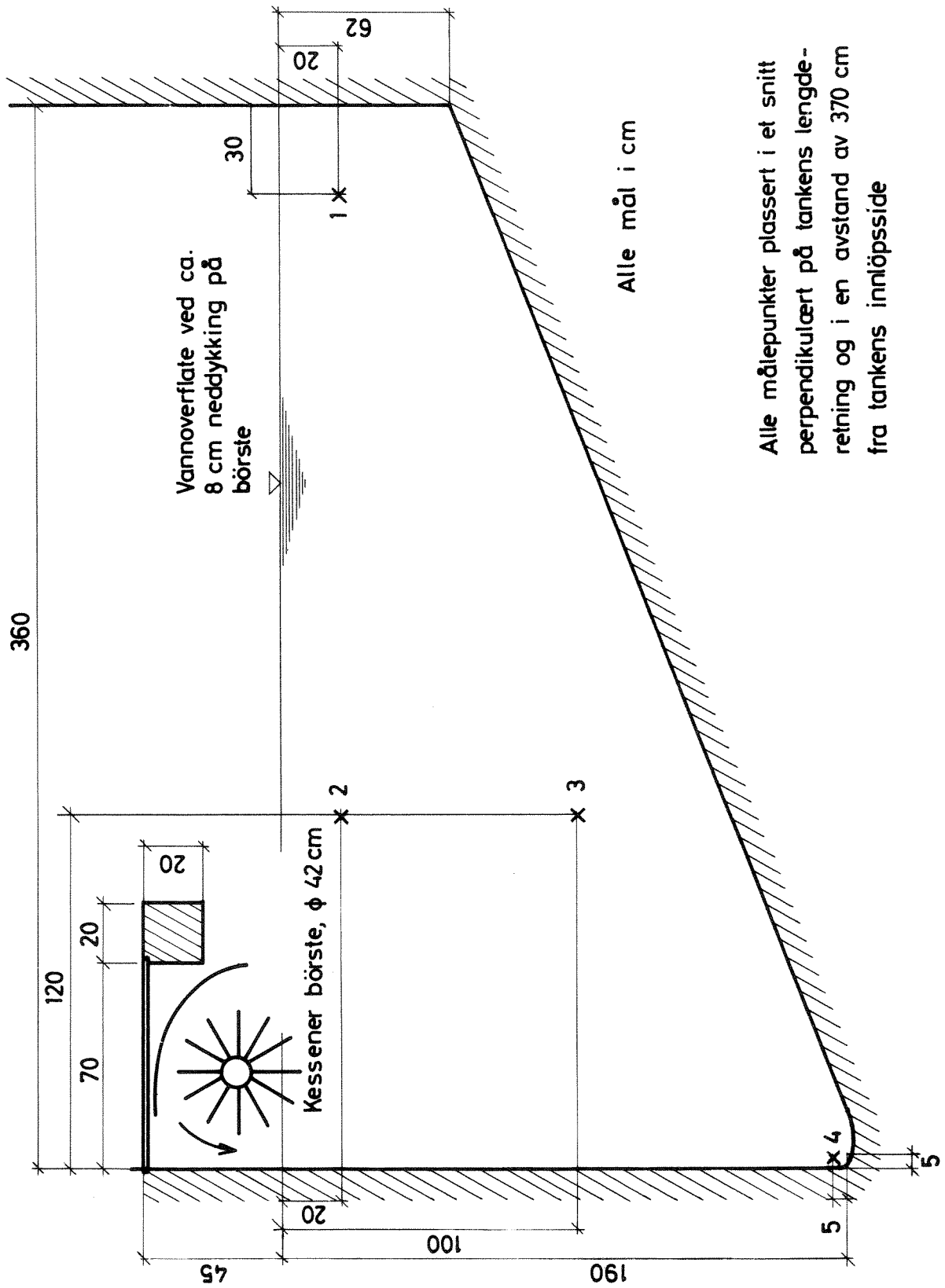
$C_m = 11,19 \text{ mg } O_2/l$

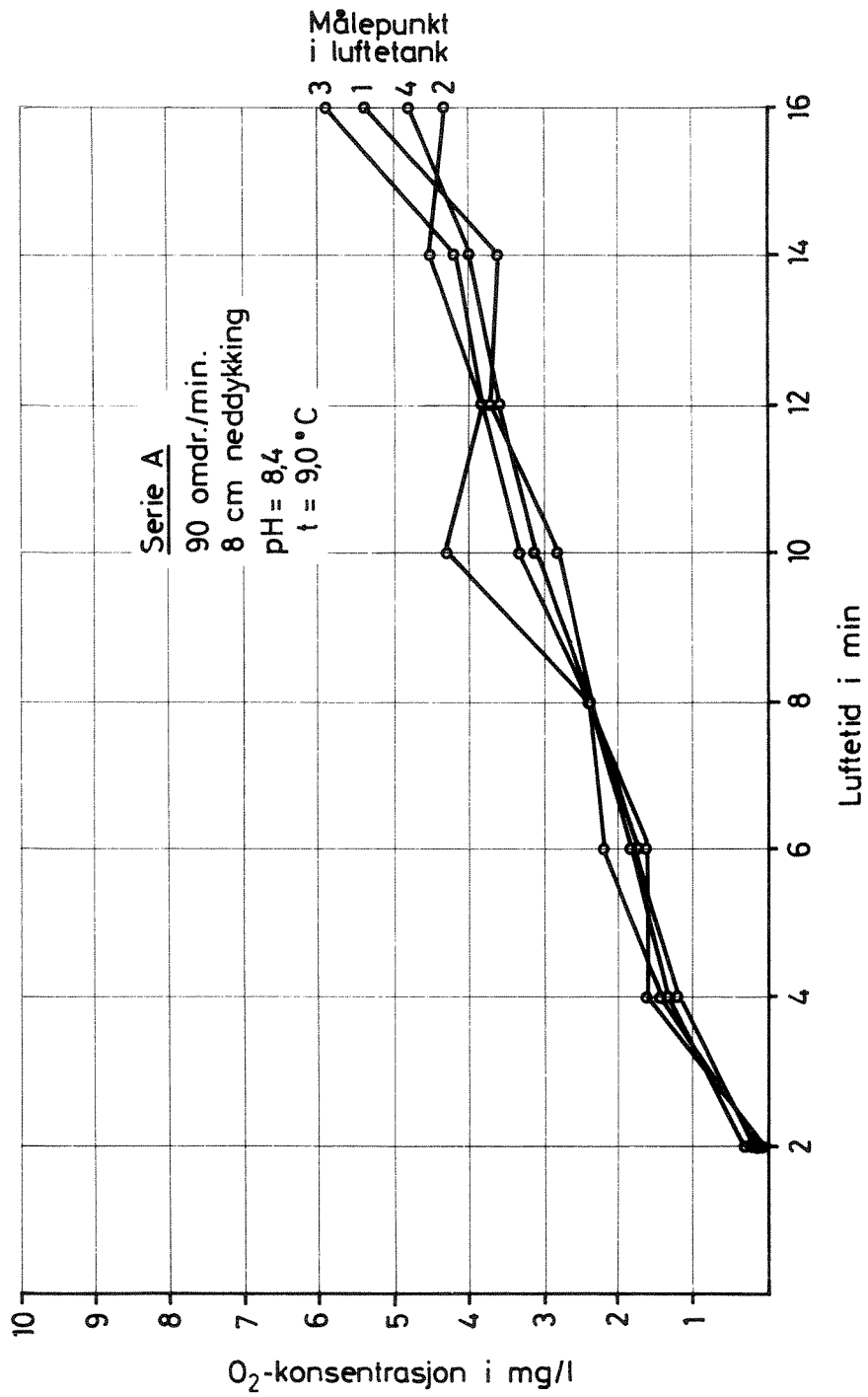
Tid etter start	C_t	$C_m - C_t$	$\log \left[\frac{C_m - C_o}{C_m - C_t} \right]$
0 min.	0	0	0
2 "	3,94	7,25	0,18847
4 "	5,87	5,32	0,32290
6 "	7,44	3,75	0,47479
8 "	8,20	2,99	0,57315
10 "	9,30	1,89	0,77236
12 "	9,93	1,26	0,94845
14 "	9,78	1,41	0,89960
16 "	10,09	1,10	1,00740



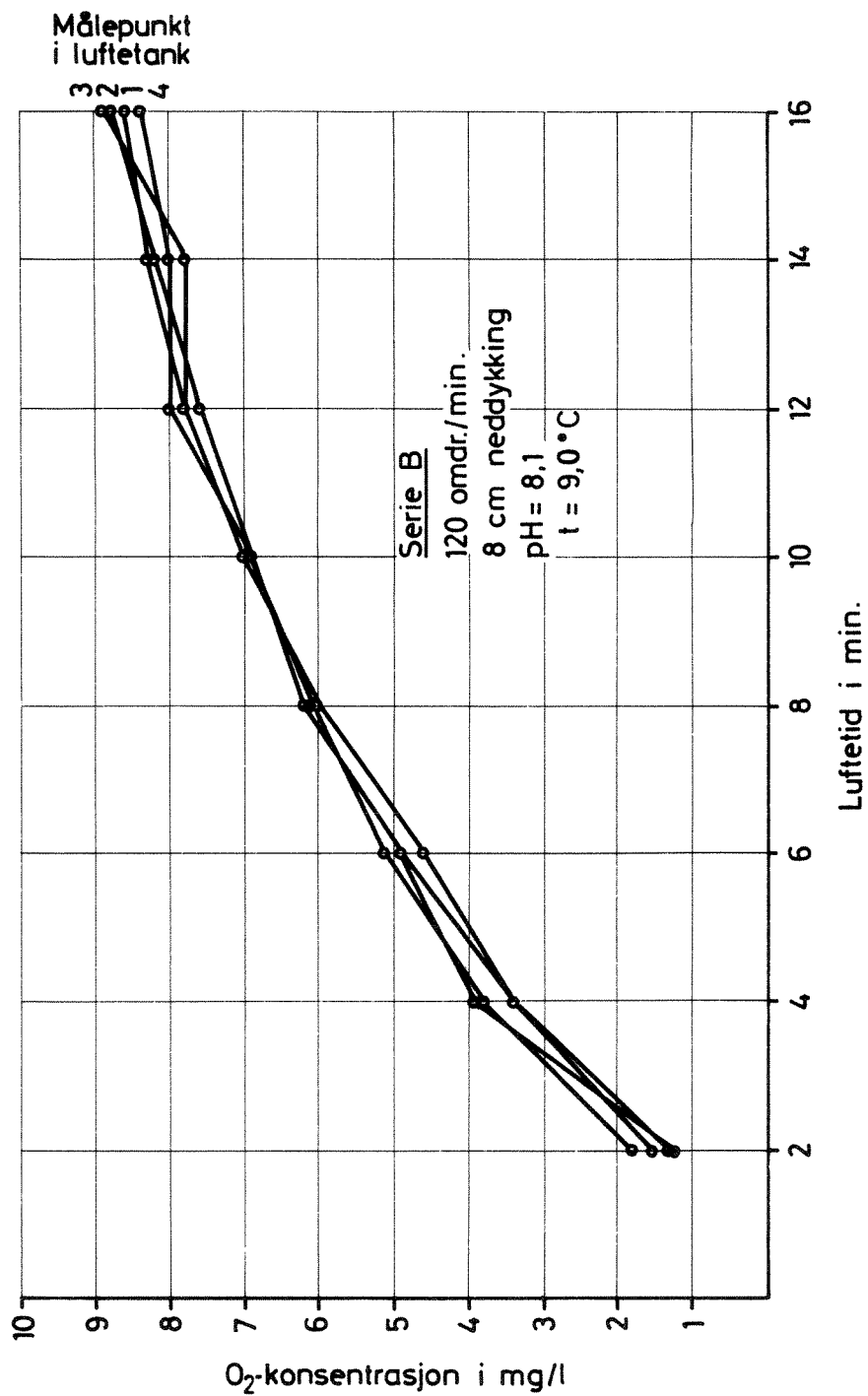


W.B./b.b.

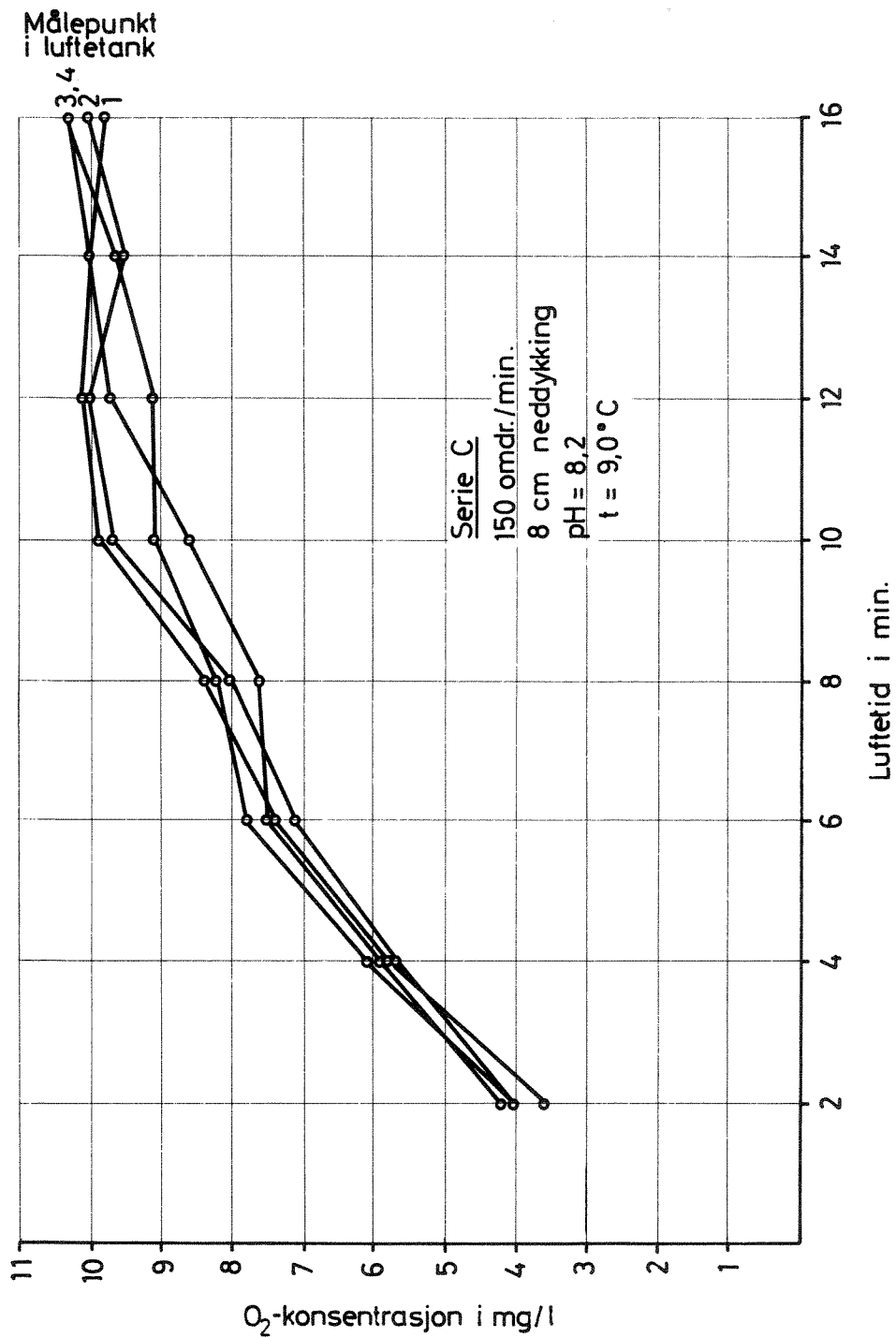




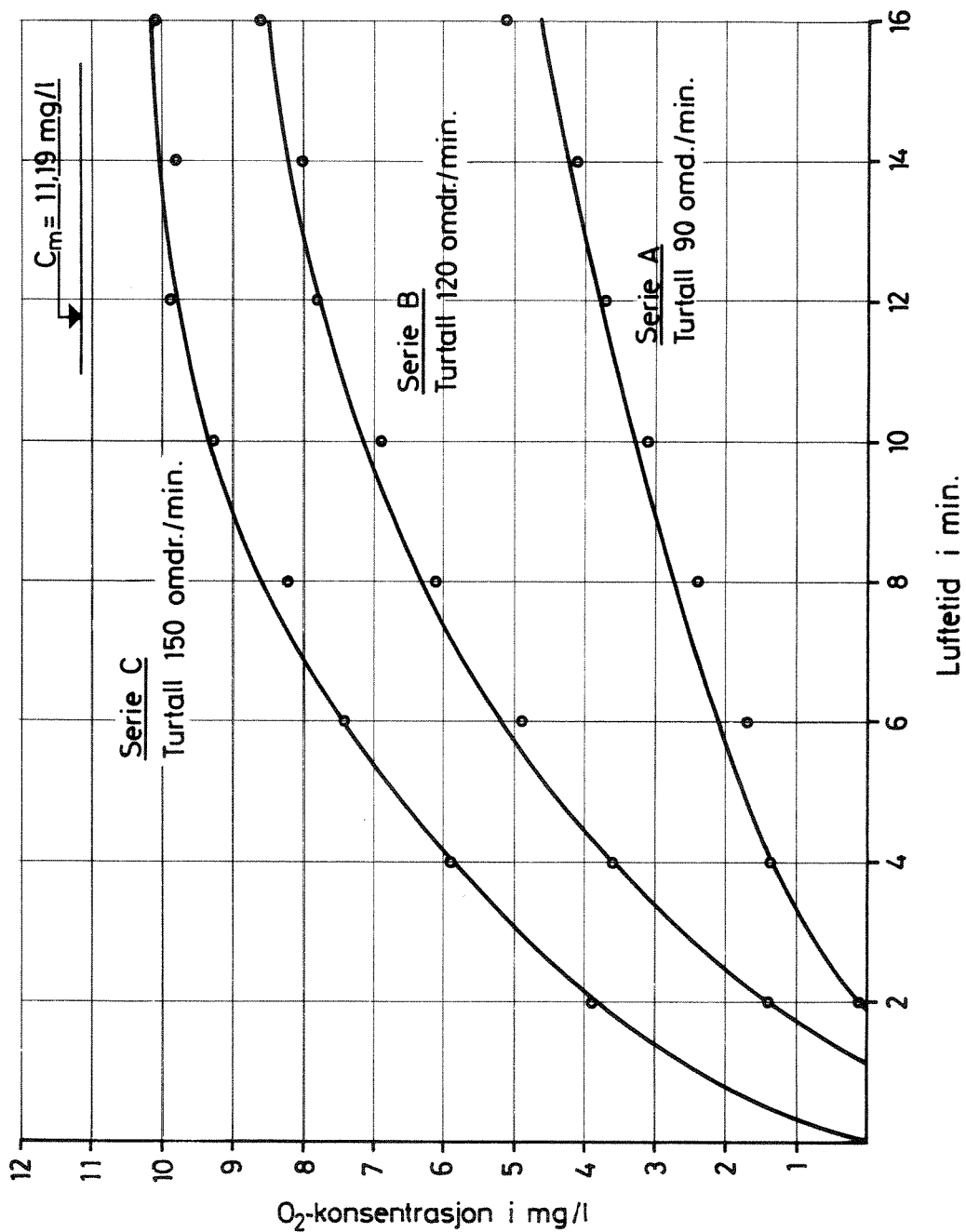
EB/Lr.

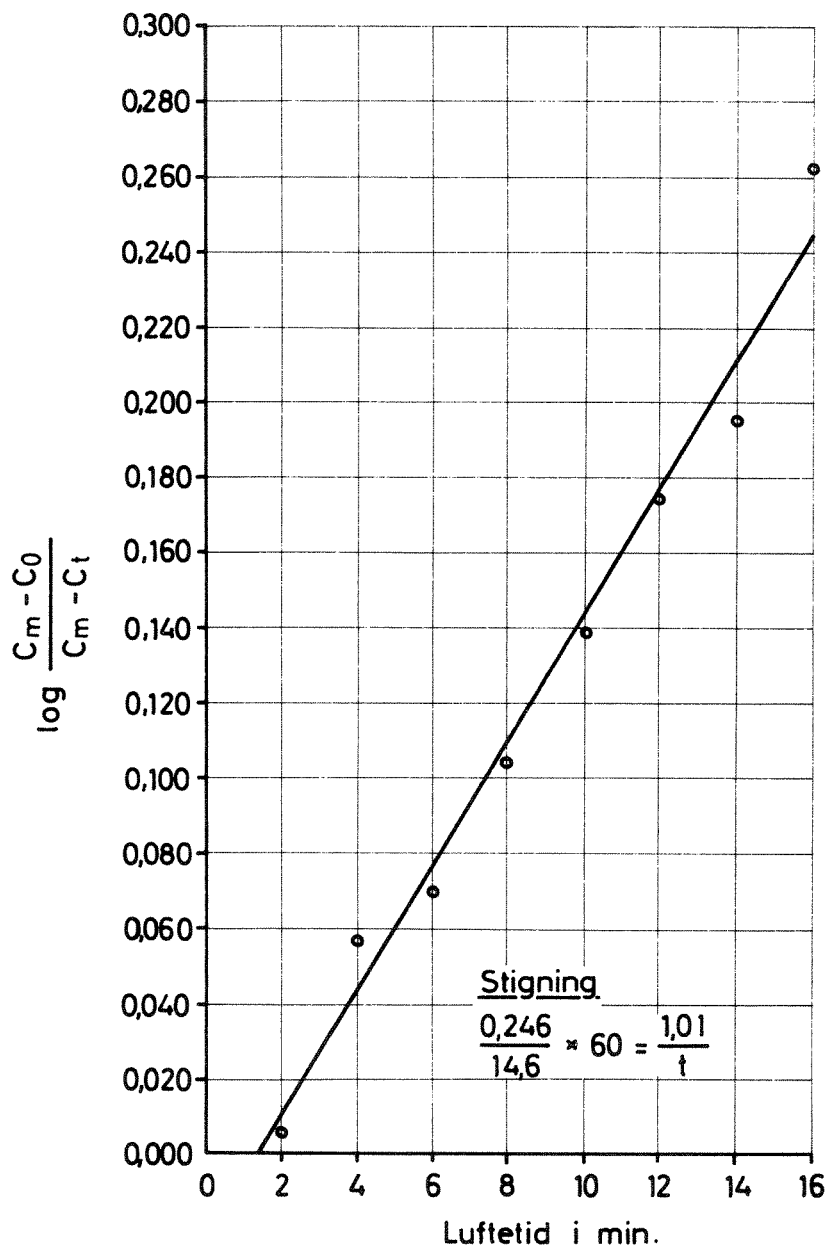


E.B./l.r.



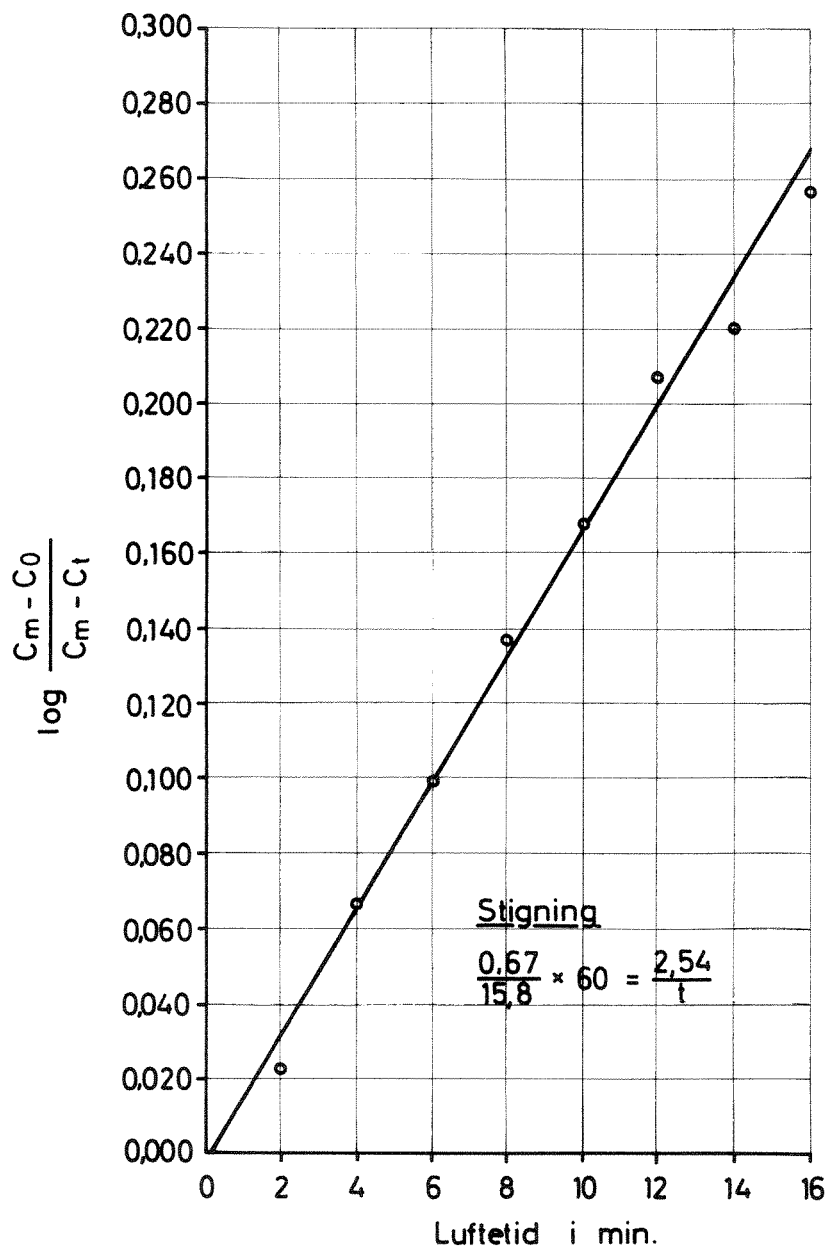
E.B./r.





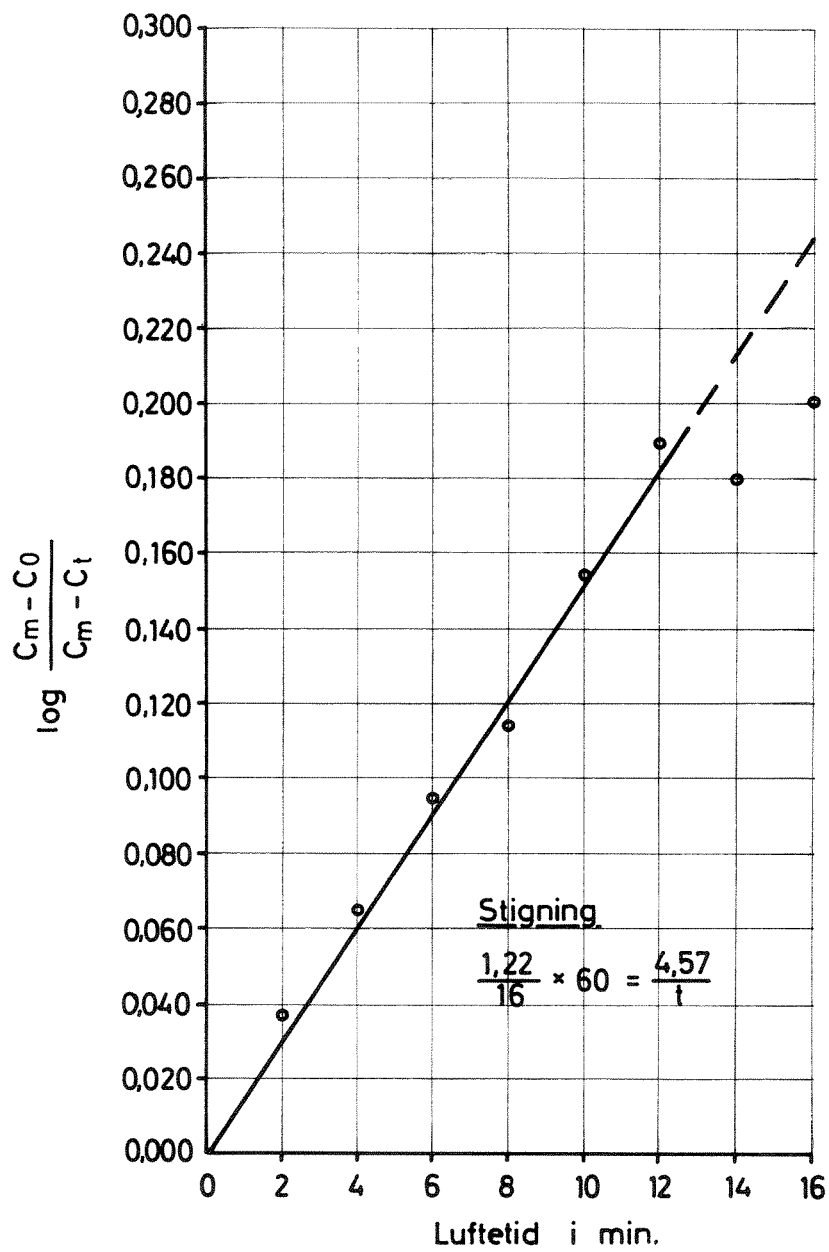
Serie A Turtall 90 omdr./min.
 Neddykking 8 cm

EB/Lr.



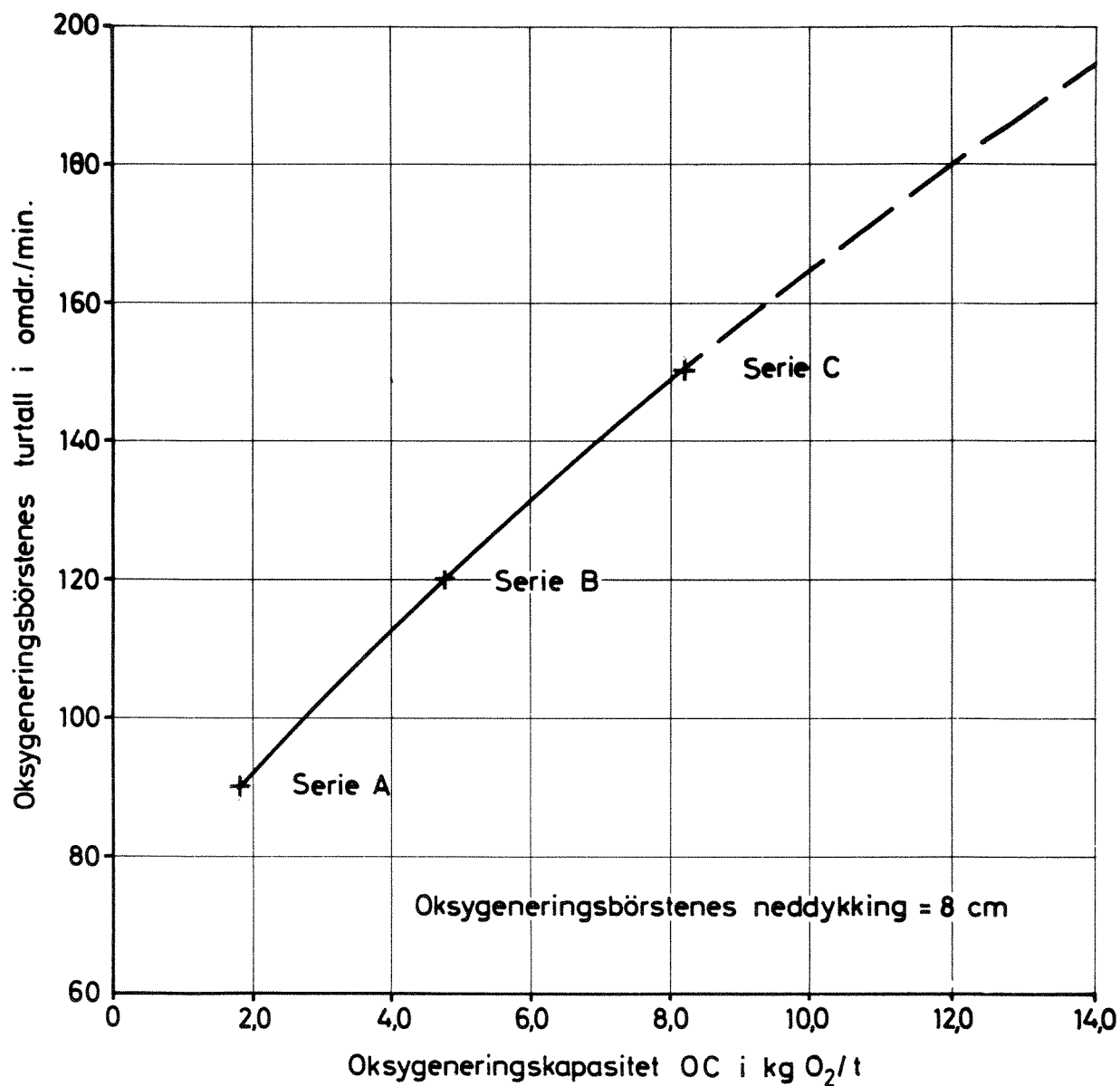
Serie B Turtall 120 omdr./min.
 Neddykking 8 cm

EB/lr.



Serie C Turtall 150 omdr./min.
Neddykking 8 cm

E.B./Lr.



E.B/l.r.

