

*Beregning af vandløbs
forureningstilstand*

| *Kalibrering og*

| *Verificering 1975.*

*D.v.s ved den første opstilling af
beregningsmodellen*

INDHOLD

	Side
Teori	1
Oversigt over beregningernes kalibrering og verificering	2
Måling af K_2	3
— " — K_r (K_1)	14
— " — Transporttid/Manningstal	21
Verificering på Åmose å	
Målte tilstande	24
Beregnete tilstande	25

Kalibrering

Justering af beregningerne ud fra

Aktuelle

Påvirkninger,

Processer

for at nå frem til

Resultater

der svarer til de målte

Verificering

Eftervisning af beregningerne
for en situation der forekommer med en

Statistisk valgt hyppighed!

Så vidt muligt måles samhørende

Påvirkninger,

Processer og

Resultater

for vandkvalitetsparametre.

Biologiske resultater kan

eftervises ud fra tilsyn med

Påvirkninger og

Forureningstilstande (resultater)

fordelt over længere tid

2
Modellen blev i 1975

Kalibreret ud fra undersøgelser
i Suså og Ringsted å 1974

M₁ - valget til 2.5

K₂ - god overensstemmelse mellem
målte værdier og Thackston

K_r - fik vi fra VK!

Verificeret ud fra spille-
vandsbelastning og konstaterede
forureningstilstande i Amose å
systemet. - ja, disse!

7.3.

Den korresponderende døgnundersøgelse

7.3. Beregning af geniltningshastigheder

Symbolforklaring til beregningerne af geniltningshastigheder.

Q	=	vandføringen i m ³ /s.
V _m	=	middelvandhastigheden i m/s.
A	=	vandtværnsnitsarealet i m ²
T _H	=	transporttiden mellem 2 givne punkter (døgn)
DO	=	aktuelt iltindhold i mg/l
T ^o	=	aktuel temperatur i °C
C _s ^{10°}	=	iltmætningskoncentrationen ved 10° i mg/l
B	=	iltindholdsændringen i mg/l pr. døgn
Δ	=	(delta) = forskellen mellem aktuel middeliltindhold og iltindholdet ved 100% mætning
E _K	=	temperaturkorrektionsfaktor for geniltningshastigheden, K ₂
I _R	=	temperaturkorrektionsfaktor for respirationen R
d _m	=	middelvanddybden i m for den betragtede vandløbsstrækning
i _m	=	vandspejlets middelfald for den betragtede vandløbsstrækning
K ₂	=	geniltningshastigheden ved 20°C (pr. døgn)
R	=	respirationen ved 20°C (mg/l pr. døgn)

Beregning af geniltningshastigheder i Suså-systemet på baggrund af målinger natten mellem 23. og 24. april 1974.

Strækning 1: I Suså mellem Eskildstrup Bro og Nymølle Bro.

Afstanden er 2527 m.

TH = 2 h 23 min. (målt med sporstof). 0,0993 dø

Måleresultaterne til brug for opstilling af ligning I:

Eskildstrup Bro kl. 24⁰⁰ : DO = 8,95, T° = 11°C.

Nymølle Bro kl. 2²³ : DO = 7,21, T° = 10°C.

$$C_s^{10,5^\circ\text{C}} = 11,14 \text{ mg/l}$$

$$E_{K,I} = 0,798$$

$$I_{R,I} = 0,525$$

$$B_I = \frac{7,21 - 8,95}{0,0993} = -17,576$$

$$\Delta_I = 11,14 - 8,08 = 3,06$$

$$D_I = K_2 \cdot 0,798 \cdot 3,06 = 2,442 K_2$$

$$R_I = R \cdot 0,525 = 0,525 R$$

$$\text{Ligning I: } 2,442 K_2 - 0,525 R + 17,576 = 0$$

Måleresultater til brug for opstilling af ligning II:

Eskildstrup Bro kl. 22³⁷ : DO = 9,74, T° = 11°C. T°_m = 10

Nymølle Bro kl. 1⁰⁰ : DO = 7,55, T° = 10°C.

$$C_s^{10,5^\circ\text{C}} = 11,14 \text{ mg/l}$$

$$E_{K,II} = 0,798$$

$$I_{R,II} = 0,525$$

7.3.

$$B_{II} = \frac{7,55 - 9,24}{0,099} = -22,12$$

$$\Delta_{II} = 11,14 - 8,645 = 2,495$$

$$D_{II} = K_2 \cdot 0,798 \cdot 2,495 = 1,991 K_2$$

$$R_{II} = R \cdot 0,525 = 0,525 R$$

$$\text{Ligning II: } 1,991 K_2 - 0,525 R + 22,12 = 0$$

Når ligning I og II løses sammen fås:

$$K_2 = \frac{4,544}{0,451} = 10,08 \text{ pr. døgn.}$$

$$R = \frac{42,18}{0,525} = 80,34 \text{ mg } O_2 \text{ pr. døgn.}$$

Til sammenligning er K_2 bestemt ved hjælp af empirisk formel:

$$K_2 = 25 \left(1 + \sqrt{\frac{v_m}{\sqrt{9,81 \text{ dm}}}} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{i_m \cdot 9,81}{\text{dm}}} \right) \text{ pr. døgn.}$$

$$i_m = 1,73 \text{ ‰}$$

$$v_m = \frac{2527}{0,099 \cdot 86400} = 0,295 \text{ m/s.}$$

$$Q = 0,544 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$Q = A \cdot v \Rightarrow A = \frac{Q}{v} = \frac{0,544}{0,295} = 1,844 \text{ m}^2$$

$$A = (3,5 \text{ dm} + \text{dm}^2) = 1,844 \text{ m}^2 \Rightarrow \text{dm} = 0,465$$

$$K_2 = 25 \left(1 + \sqrt{\frac{0,295}{\sqrt{9,81 \cdot 0,465}}} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{0,00173 \cdot 9,81}{0,465}} \right)$$

$$K_2 = 25 (1,372) (0,19) = 6,55 \text{ pr. døgn.}$$

7.3.

Iltmålinger i Suså mellem solnedgang og -opgang

A: Eskildstrup Bro

B: Nymølle Bro

mg/l O₂ ↑

.11

10

9

8

7

6

21⁰⁰

22⁰⁰

23⁰⁰

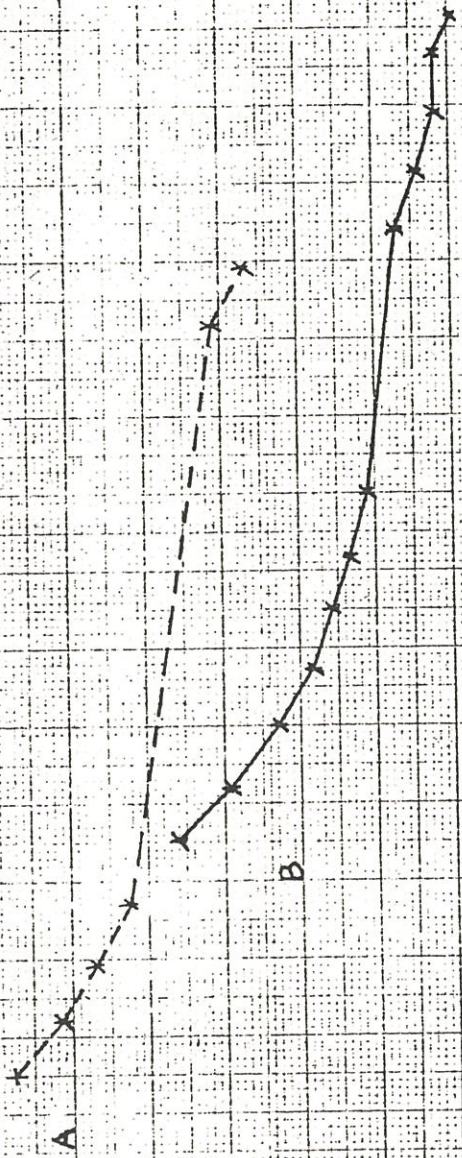
0⁰⁰

1⁰⁰

2⁰⁰

3⁰⁰

4⁰⁰



23-4-1974

26-4-1974

7.3.

Strækning 2: I Suså mellem Veterslev Bro og Vrangstrup Bro.

Afstand 3600 m.

$$Q = 0,635 \text{ m}^3/\text{s. (Hedeselskabets måling)}$$

$$V_m = 0,21 \text{ m/s}$$

$$A = 2,94 \text{ m}^2$$

$$TH = \frac{3600}{0,21 \cdot 8,64 \cdot 10^4} = 0,198 \text{ døgn (4 h 46 min.)}$$

Måleresultater til brug for opstilling af ligning I.

$$\text{Veterslev Bro kl. } 21^{\frac{00}{00}} : DO_1 = 17,13 \text{ mg/l, } T^{\circ} = 10^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Vrangstrup Bro kl. } 1^{\frac{46}{00}} : DO_2 = 12,80 \text{ mg/l, } T^{\circ} = 10^{\circ}\text{C}$$

$$T_m^{\circ} = 10^{\circ}\text{C}$$

$$C_s^{10^{\circ}} = 11,27 \text{ mg/l}$$

$$B_I = \frac{12,80 - 17,13}{0,198} = \div 21,87$$

$$\Delta_I = 11,27 - \frac{17,13 + 12,80}{2} = 3,70$$

$$E_{KI} = 0,789$$

$$I_{RI} = 0,508$$

$$\text{Ligning I: } \div 21,87 = 3,70 \cdot 0,789 \cdot K_2 - 0,508R$$

$$\text{Ligning I: } 2,919 K_2 - 0,508R + 21,87 = 0$$

Måleresultater til brug for opstilling af ligning II.

$$\text{Veterslev Bro kl. } 22^{\frac{59}{00}} : DO = 14,43 \text{ mg/l, } T^{\circ} = 10^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Vrangstrup Bro kl. } 3^{\frac{45}{00}} : D = 11,03 \text{ mg/l, } T^{\circ} = 9,2^{\circ}\text{C}$$

$$T_m^{\circ} = 9,6^{\circ}\text{C}$$

$$C_s^{9,6^{\circ}} = 11,38 \text{ mg/l}$$

$$B_{II} = \frac{11,03 - 14,43}{0,198} = \div 17,17$$

$$\Delta_{II} = 11,38 - \frac{14,43 + 11,03}{2} = 1,35$$

$$E_{K,9,6}^{II} = 0,781$$

$$I_{R,9,6}^{II} = 0,502$$

$$\text{Ligning II: } \div 17,17 = 1,35 \cdot 0,781 \cdot K_2 - 0,502R$$

$$\text{Ligning II: } 1,05K_2 - 0,502R + 17,17 = 0$$

$$\text{I} \cdot 0,502 : 1,465K_2 - 0,255R + 10,979 = 0$$

$$\text{II} \cdot 0,508 : 0,533K_2 - 0,255R + 8,722 = 0$$

$$\hline 0,932 K_2 + \quad \quad \quad 2,257 = 0$$

$$\Rightarrow K_2 = - \frac{2,257}{0,932} = \div 2,42 \text{ pr. døgn}$$

$$1,05 (\div 2,42) \div 0,502R + 17,17 = 0$$

$$\Rightarrow R = \frac{17,17 - 2,541}{0,502} = \underline{29,14 \text{ mg/døgn.}}$$

Sammenligning med resultat fra empirisk formel.

$$K_2 = (25) \left(1 + \sqrt{\frac{v_m}{\sqrt{9,81 \cdot dm}}} \right) \cdot \left(\sqrt{\frac{i \cdot 9,81}{dm}} \right)$$

$$dm = 0,53 \text{ m}$$

$$v_m = 0,21 \text{ m/s}$$

$$i_m = 0,286 \%$$

$$K_2 = 25 \left(1 + \sqrt{\frac{0,21}{\sqrt{9,81 \cdot 0,53}}} \right) \left(\sqrt{\frac{0,000286 \cdot 9,81}{0,53}} \right)$$

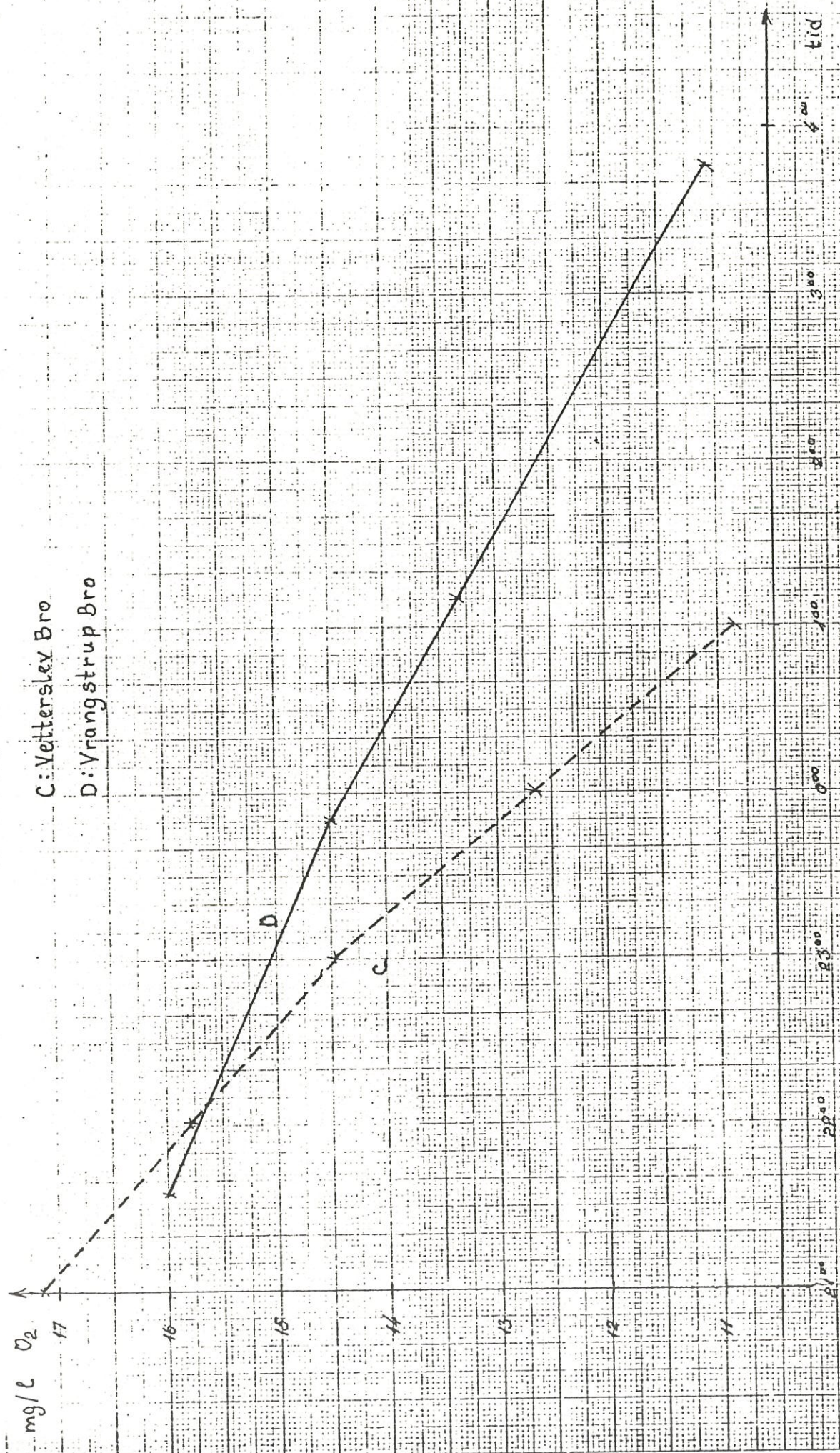
$$\underline{K_2} = 25 \cdot (1,30) (0,0728) = \underline{2,365 \text{ pr. døgn}}$$

heraf ses, at beregningerne ud fra målingerne passer godt med resultatet af den empiriske formel, da $\div 2,42 \approx 2,365$.

7-3.

Iltmålinger i Suså mellem solnedgang og -opgang

C: Veterslev Bro
 D: Vrangstrup Bro



23-4-1974

24-4-1974

Strækning 3: I Ringsted Å mellem et punkt ved Rødstensgård og Englerup Mølle.

Afstand 1430 m

$$Q = 0,544 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_m = 0,146 \text{ m/s}$$

$$A_m = 3,73 \text{ m}^2$$

$$T_H = \frac{1430}{0,146} = 0,113 \text{ døgn (2 h 43 min.)}$$

Måleresultater til brug for opstilling af ligning I.

Rødstensgård kl. 22⁰⁰: DO = 6,99 mg/l, T^o = 10^oC

Englerup Mølle kl. 0⁴³: DO = 3,81 mg/l, T^o = 10,2^oC

T_m^o = 10,1

$$C_s^{10,1^o} = 11,24 \text{ mg/l}$$

$$B_I = (3,81 - 6,99) \frac{1}{0,113} = \div 28,14$$

$$\Delta_I = 11,24 - \frac{3,81+6,99}{2} = 5,84$$

$$E_K^I = 0,791$$

$$I_R^I = 0,511$$

$$\text{Ligning I: } \div 28,14 = 5,84 \cdot 0,791 K_2 - 0,511 R$$

$$\text{Ligning I: } 4,62 K_2 - 0,511R + 28,14 = 0$$

Måleresultater til brug for opstilling af ligning II.

Rødstensgård kl. 0¹⁷: DO = 6,47 mg/l, T^o = 10^oC

Englerup Mølle kl. 3⁰⁰: DO = 3,51 mg/l, T^o = 9,8^oC

T_m^o = 9

$$C_s^{9,9^o} = 11,30 \text{ mg/l.}$$

$$B_I = \frac{3,51 - 6,47}{0,113} = \div 26,19$$

$$\Delta_{II} = 11,30 - \frac{3,51 + 6,47}{2} = 6,31$$

7.3.

$$E_K^{II} = 0,787$$

$$I_R^{II} = 0,505$$

$$\text{Ligning II: } \div 26,19 = 6,31 \cdot 0,787 \cdot K_2 - 0,505 R$$

$$\text{Ligning II: } 4,97 K_2 - 0,505 R + 26,19 = 0$$

$$\text{I} \cdot 0,505 : 2,33 K_2 - 0,258 R + 14,21 = 0$$

$$\text{II} \cdot 0,511 : 2,54 K_2 - 0,258 R + 13,38 = 0$$

$$- 0,21 K_2 + 0,83 = 0$$

$$\Rightarrow K_2 = \frac{0,83}{0,21} = \underline{3,95 \text{ pr. d\o{g}n}}$$

$$\text{Ligning II: } 4,97 \cdot 3,95 - 0,505 R + 26,19 = 0$$

$$\Rightarrow R = \frac{45,74}{0,505} = \underline{90,58 \text{ mg/d\o{g}n.}}$$

Sammenligning med resultatet fra empirisk formel.

$$K_2 = 25 \left(1 + \sqrt{\frac{v_m}{\sqrt{9,81 \cdot d_m}}} \right) \left(\sqrt{\frac{1 \cdot 9,81}{d_m}} \right) \text{ pr. d\o{g}n.}$$

$$V_m = 0,146 \text{ m/s. (iflg. m\aa{ling fra Hedeselskabet)}$$

$$Q = 0,544 \text{ m}^3/\text{s. (iflg. m\aa{ling fra Hedeselskabet)}$$

$$A = 3,73 \text{ m}^2; \quad i = 0,6 \text{ \textperthousand}$$

$$\Rightarrow d_m = 0,40 \text{ m} \quad (B = 9,0 \text{ m})$$

$$K_2 = 25 \left(1 + \sqrt{\frac{0,146}{\sqrt{9,81 \cdot 0,4}}} \right) \left(\sqrt{\frac{0,0006 \cdot 9,81}{0,4}} \right)$$

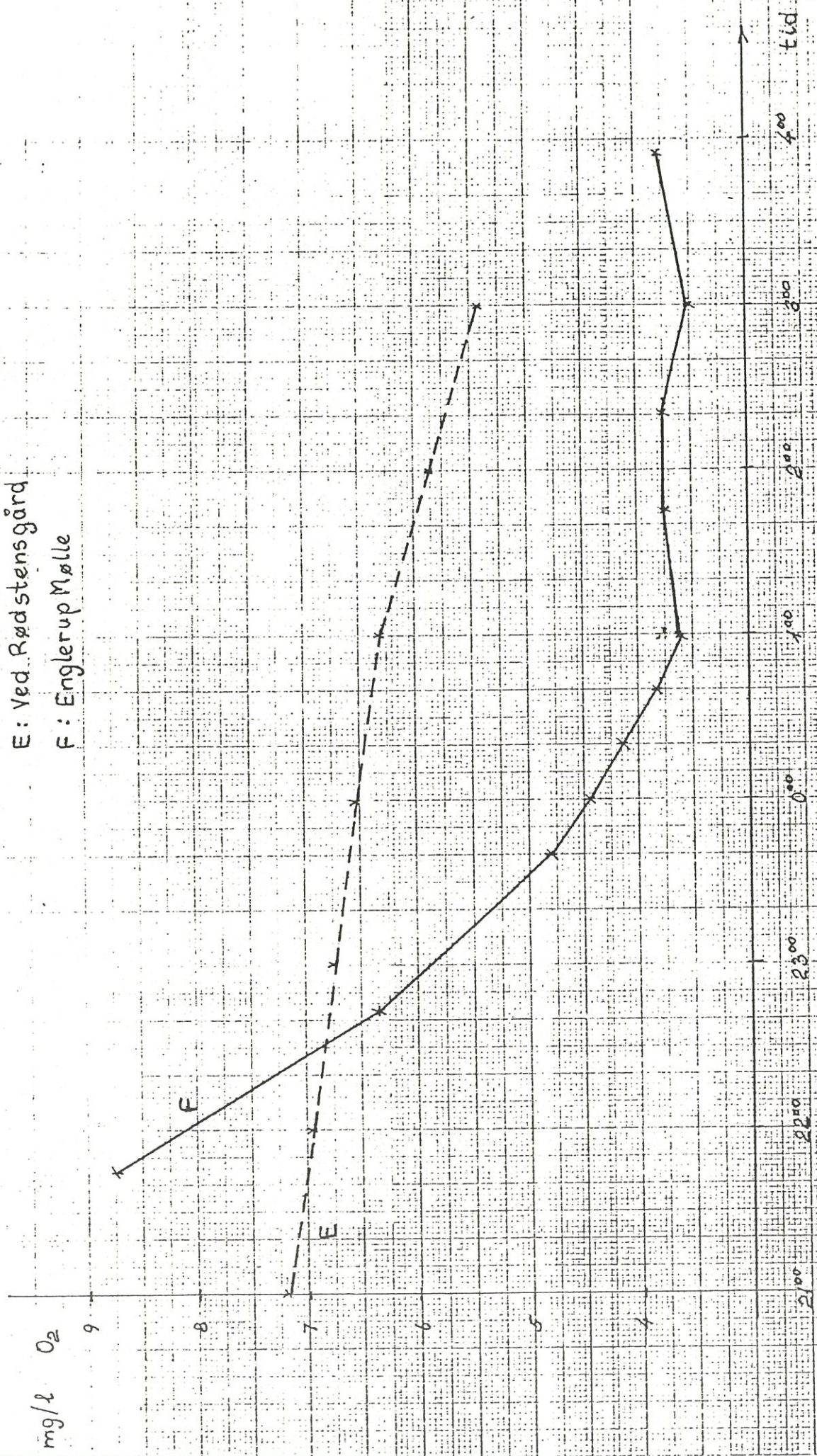
$$\underline{K_2} = 25 (1,27)(0,12) = \underline{3,81 \text{ pr. d\o{g}n}}$$

heraf ses, at beregningerne ud fra m\aa{lingerne passer godt med resultatet af den empiriske formel, da $3,95 \sim 3,81$.

7.3.

Iltmålinger i Ringsted Å mellem solnedgang og -opgang

E: Ved Rødstensgård
 F: Englerup Mølle



23-4-1974
 24-4-1974

Den korresponderende døgnundersøgelse

7.4. Beregning af nedbrydningshastigheden
for organisk stof

Beregning af nedbrydningshastigheden for organisk stof i vandløb.

På analyseautomat er BI10 bestemt.

Resultaterne er indtegnet på kurveblade.

Det ses, at kurverne ^{ikke} beskriver den almindelige exponentielle ligning for nedbrydning af organisk stof. Dette skyldes, at man både har målt kulsyrestadie og nitrifikation oven i hinanden.

Det rigtigste ville have været at bestemme BI10 på en modificeret prøve. Da kun iltforbruget i de første 2-3 døgn har betydning for iltforholdene i vandløbene, er der på baggrund af analyseresultaterne (kurveblad) lavet en ideal kurve for kulsyrestadiet.

Ved st. 4, Veterslev Bro, Suså er

$$BI5 = 5,2 \text{ mg/l}, BI10 = 8,2 \text{ mg/l}.$$

Ved st. 7, Ved Rødstensgård, Ringsted å er

$$BI5 = 9,5 \text{ mg/l}, BI10 = 15,7 \text{ mg/l}.$$

Ved st. 9, Næsby Bro, Suså er

$$BI5 = 9,0 \text{ mg/l}, BI10 = 14,0 \text{ mg/l}.$$

I Susåen ved st. 4, Veterslev Bro "BI10" = 8,2 mg/l.

Tid(t)	mg/l B1a	$K_1 = \frac{1}{t} \ln \left(1 - \frac{B1a}{BI10} \right)$	K_1 pr. døgn
1	1,8	$-\frac{1}{1} \ln \left(1 - \frac{1,8}{8,2} \right)$	0,248
2	2,8	$-\frac{1}{2} \ln \left(1 - \frac{2,8}{8,2} \right)$	0,209
3	3,7	$-\frac{1}{3} \ln \left(1 - \frac{3,7}{8,2} \right)$	0,200
4	4,6	$-\frac{1}{4} \ln \left(1 - \frac{4,6}{8,2} \right)$	0,206
5	5,2	$-\frac{1}{5} \ln \left(1 - \frac{5,2}{8,2} \right)$	0,201
			<hr/> 1,064
$K_1 = \frac{1,064}{5} =$			0,21

I Ringsted å ved Rødstensgård "BI10" = 15,7 mg/l.

Tid (t)	mg/l B _{Ia}	$K_1 = \frac{1}{t} \ln \left(1 - \frac{B_{Ia}}{BI_{10}} \right)$	K_1 pr. døgn
1	2,8	$-\frac{1}{1} \ln \left(1 - \frac{2,8}{15,7} \right)$	0,196
2	4,6	$-\frac{1}{2} \ln \left(1 - \frac{4,6}{15,7} \right)$	0,173
3	6,3	$-\frac{1}{3} \ln \left(1 - \frac{6,3}{15,7} \right)$	0,200
4	8,0	$-\frac{1}{4} \ln \left(1 - \frac{8,0}{15,7} \right)$	0,178
5	9,5	$-\frac{1}{5} \ln \left(1 - \frac{9,5}{15,7} \right)$	0,186
			<hr/> 0,933

$$K_1 = \frac{0,933}{5} = 0,19$$

I Suså ved Næsby Bro "BI10" = 14 mg/l.

Tid (t)	mg/l B _{Ia}	$K_1 = \frac{1}{t} \ln \left(1 - \frac{B_{Ia}}{BI_{10}} \right)$	K_1 pr. døgn
1	2,2	$\frac{1}{1} \ln \left(1 - \frac{2,2}{14} \right)$	0,171
2	4,0	$\frac{1}{2} \ln \left(1 - \frac{4,0}{14} \right)$	0,168
3	5,8	$\frac{1}{3} \ln \left(1 - \frac{5,8}{14} \right)$	0,178
4	7,5	$\frac{1}{4} \ln \left(1 - \frac{7,5}{14} \right)$	0,192
5	9,0	$\frac{1}{5} \ln \left(1 - \frac{9,0}{14} \right)$	0,206
			<hr/> 0,915

$$K_1 = \frac{0,915}{5} = 0,18$$

7.4.

7
Det ses heraf, at K , (nedbrydningshastigheden) tilnærmelsesvis er af samme størrelsesorden.

Ved senere matematiske simuleringer kan K_1 regnes ens for samtlige større vandløb i Suså-systemet.

Forureningsrådet har i deres publikation nr. 12 "Recipientforhold"^C anvendt $K_1 = 0,23$, denne værdi passer tilnærmelsesvis med de ved nærværende undersøgelse fundne resultater.

BI-kurver for vandprøve udtaget d. 24-04-1974
i Suså ved Veterslev Bro

BI
mgO₂/l

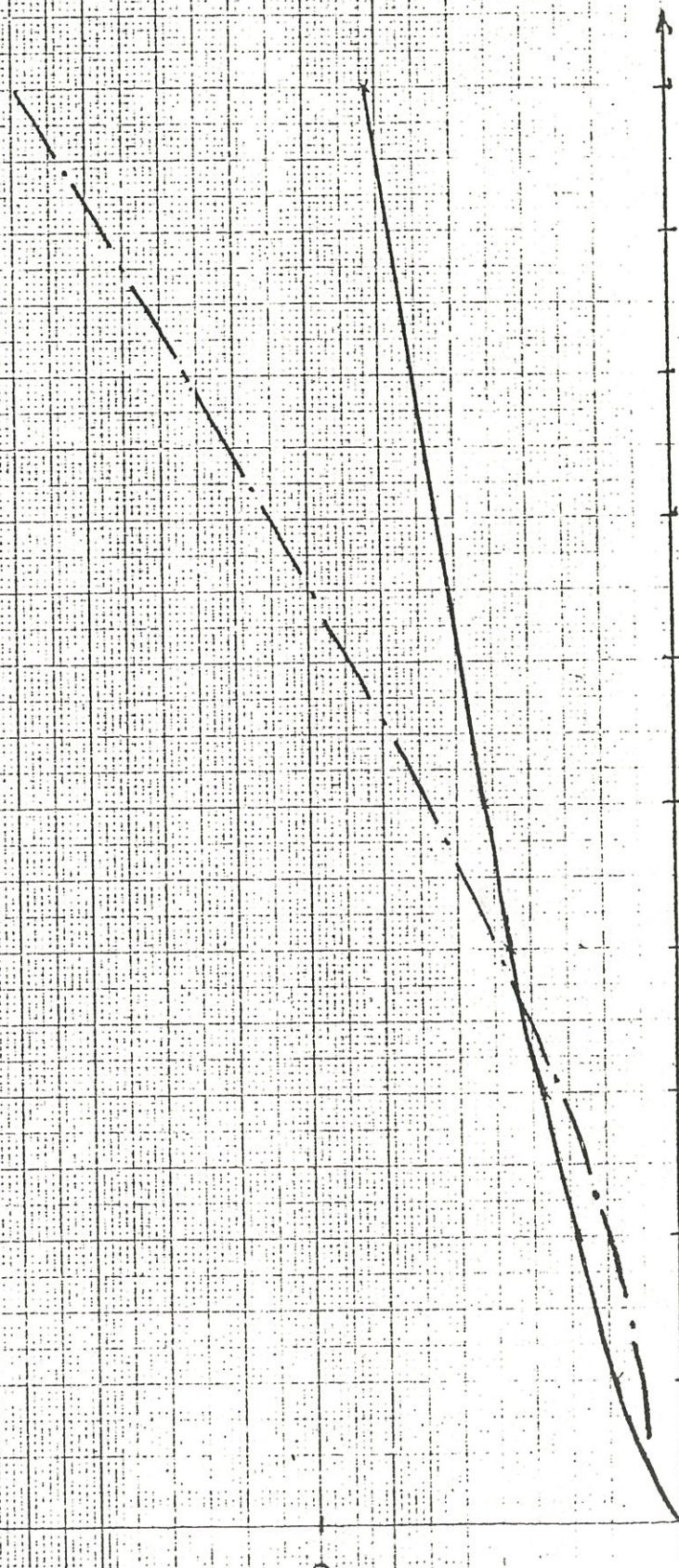
30

20

10

sapromotkurve

idealiseret BI-kurve



dagn 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

BI-kurver for vandprøve udtaget d. 24-04-1974

i Ringsted Å ved Rødstensgård.

BI
mg O₂ / l.

30

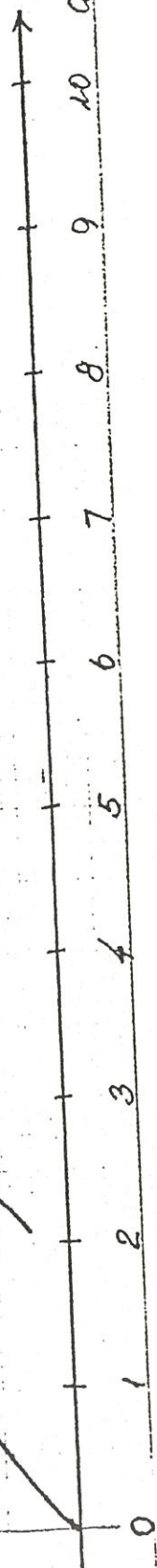
20

10

7.4.

— sammat.kurve

— idealiseret BI-kurve



10 dagn.

BI-kurver for vandprøve udtaget d. 25-04-1914

i Suså ved Næsby Bro

BI
mg O₂/l

30

20

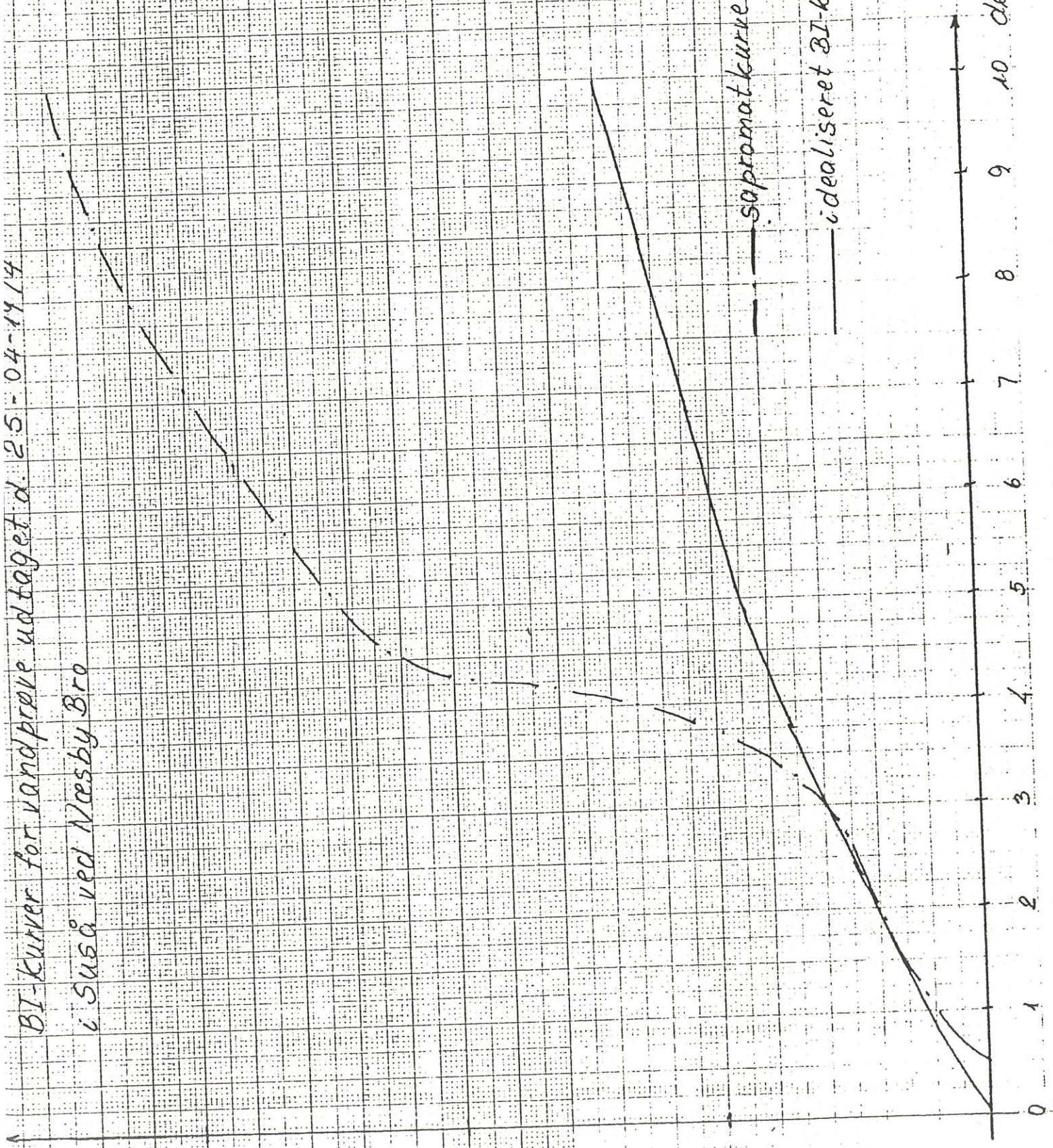
10

7.4.

— sapromatkurve

— idealiseret BI-kurve

10 dagn.



7.5.

Den korresponderende døgnundersøgelse

7.5. Transporttidsbestemmelse

Transporttidsbestemmelse

Transporttiden mellem Eskildstrup Bro og Nymølle Bro i Susåen er bestemt ved hjælp af sporstof.

Det viste sig at teoretisk tid bestemt ved hjælp af Manning-formen med en M-værdi på 30 ikke passer med den virkelige tid.

Således fås:

Strækningen mellem	M=30 Teoretisk	Målt	Afvigelse
Gillesbækken og Eskildstrup Bro	1 h 39 min.	2 h 01 min.	18 %
Eskildstrup Bro og Nymølle Bro	1 h 42 min.	2 h 23 min.	29 %

For strækninger af samme karakter som Susåen mellem Gillesbækken og Eskildstrup Bro fås, at man bør regne med et M, der er ca. 18 % lavere end 30, d.v.s. $M = 25$.

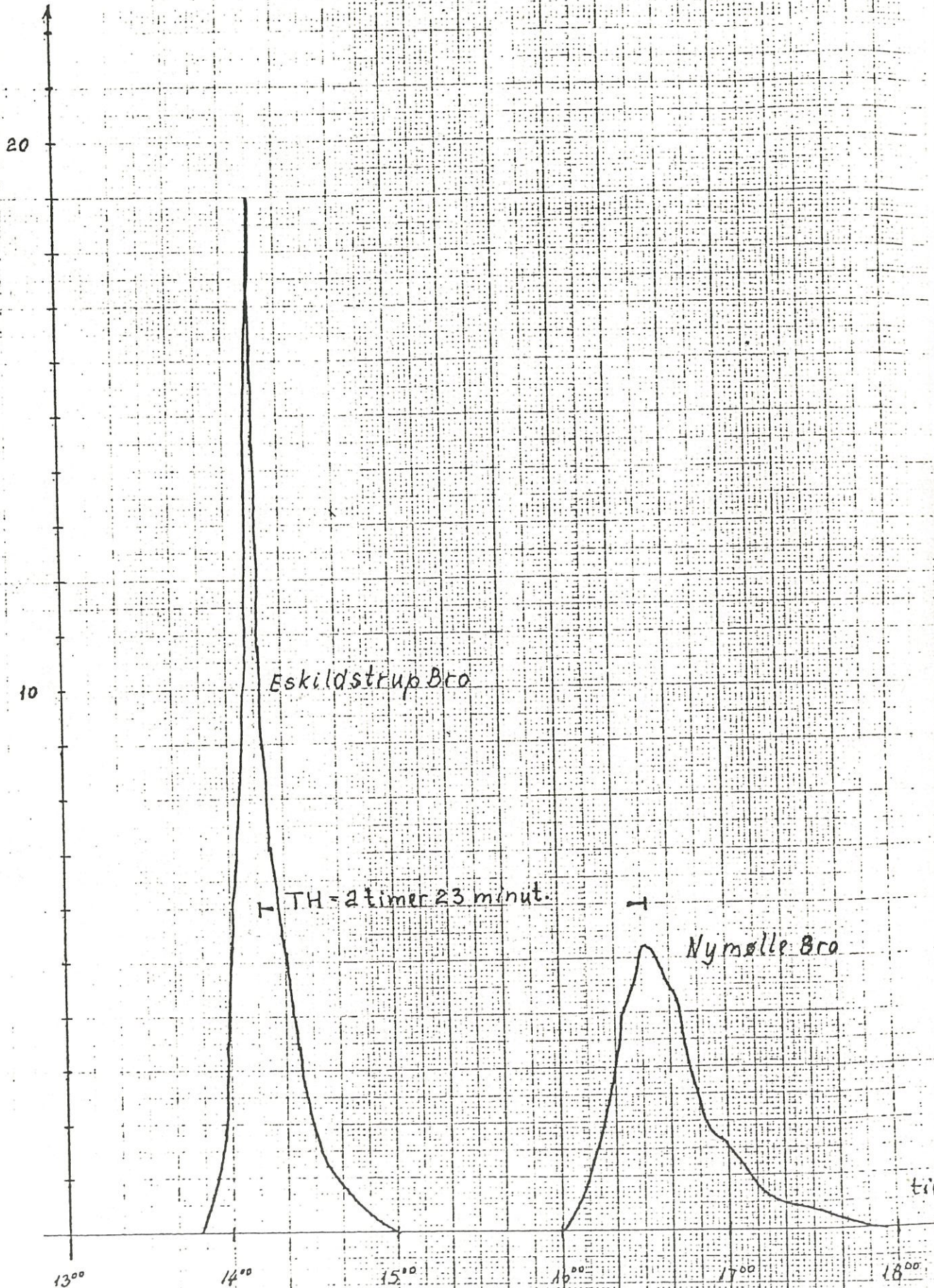
På strækninger der ligner Susåen mellem Eskildstrup Bro og Nymølle Bro bør regne med et $M = 22$.

Da beregningerne er usikre i sig selv, kan man med god tilnærmelse anvende $M = 25$ overalt.

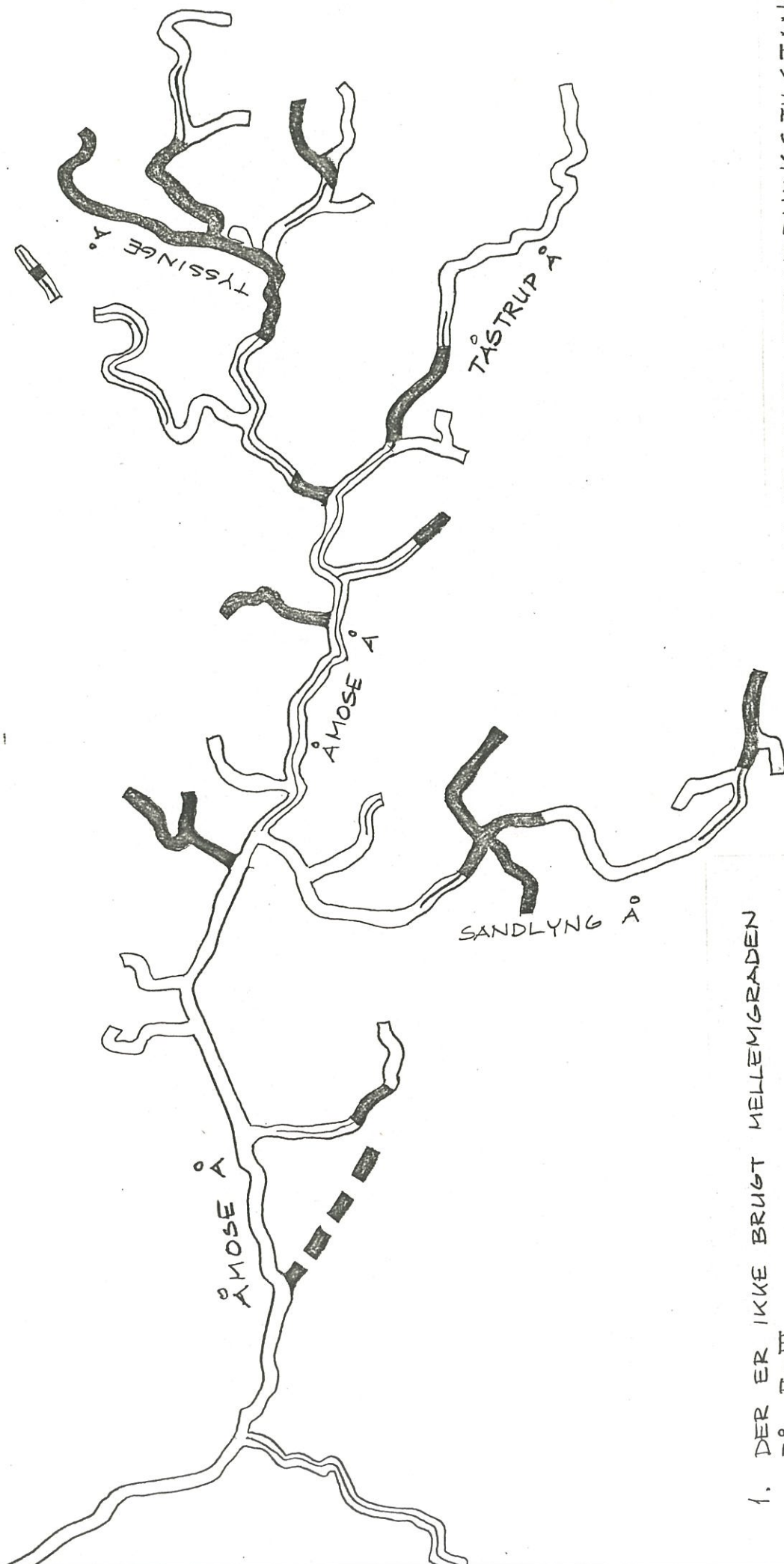
7.5.

Transporttid (Opholdstid) s bestemmelse med sporstof,
på strækningen i Susåen mellem Eskildstrup og Nymølle Broer.

sporstofs koncentration.



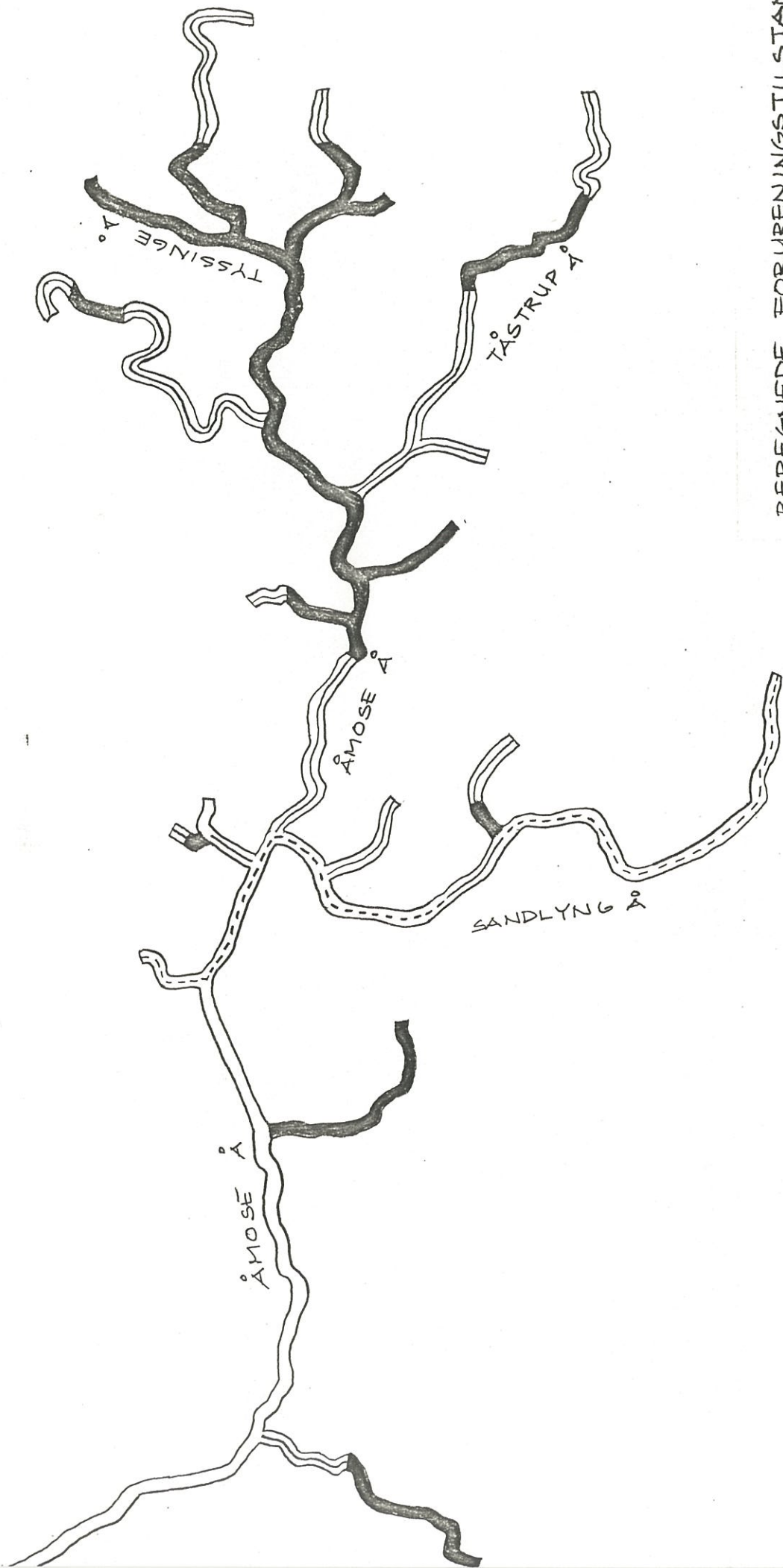
22-4-1974



UNDERSØGTE FORURENINGSTILSTANDE

1971 - 72 EFTER SAPROBIE SYSTEMET

1. DER ER IKKE BRUGT MELLEMGRADE
F. II-III.
2. VANDLØBENE BLEV UNDERSØGT FOR
HVER CA. 200 M. PÅ FORSKELIGE
ÅRSTIDER.
3. ULOVLIGE UDLEDNINGER INDGÅR OGSÅ
I ET UVIST OMFANG.



BEREGNEDE FORURENINGSTILSTANDE

UD FRA DEN TILLADTE SPILDEVANDS-
 UDLEDNINGS AKTUELLE STØRRELSE,
 PLUS BAGGRUNDSFORURENING. 1975

FORURENINGSTILSTANDENE ER ANGIVET EFTER
 SAPROBIESYSTEMET VED BRUG AF MILJØ-
 STYRELSENS SIGNATURVEJLEDNING.