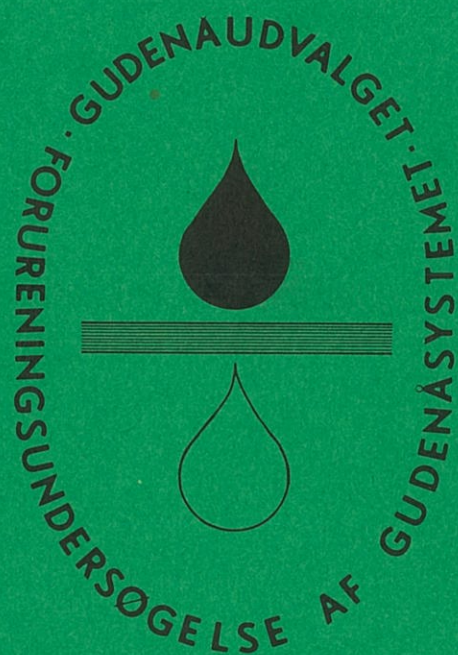


RAPPORT NR. 11



GUDENÅUNDERSØGELSEN  
Intensive vandløbsundersøgelser

MILJØSTYRELSENS  
FERSKVANDSLABORATORIUM

Lysbrogade 52  
8600 Silkeborg  
Telefon 06 - 81 07 22

30/6 82

G U D E N Å U N D E R S Ø G E L S E N

1973 - 1975

INTENSIVE VANDLØBSUNDERSØGELSER

VANDKVALITETSINSTITUTTET, ATV  
Agern Allé 11, 2970 Hørsholm

Sagsnr.: 25.4.166  
1976-04-01 - LR-WF-WWT

Sagsbehandlere:

Civ.ing. Jørgen Simonsen  
Civ.ing. Knud Strange Nielsen  
Civ.ing. Poul B. Heise

## I N D H O L D S F O R T E G N E L S E

	SIDE
0. SAMMENFATNING OG KONKLUSION	1
1. INDLEDNING	9
2. VANDLØBSMODEL	12
2.1 TEORI OG FORUDSÆTNINGER	12
2.2 BESTEMMELSE AF MODELLENS HY- DRAULISKE PARAMETRE	18
3. GUDENÅEN, STRÆKNING TØRRING-MOSSØ	22
3.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT	22
3.2 HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD	26
3.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD	30
3.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE	39
3.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIVUNDERSØGELSEN AF GUDENÅ-STRÆKNINGEN TØRRING - MOSSØ	44
4. GUDENÅEN, STRÆKNING RESENBRO - KONGENSBRO	46
4.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT	46
4.2 HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD	49

	SIDE	
4.3	FYSISK/KEMISKE FORHOLD	52
4.4	BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE	61
4.5	KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIVUNDERSØGELSEN AF GUDEN- ÅSTRÆKNINGEN RESENBRO - KONGENS- BRO	63
5.	GUDENÅEN, STRÆKNING TANGE SØ - LANGÅ	66
5.1	BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT	66
5.2	HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD	66
5.3	FYSISK/KEMISKE FORHOLD	70
5.4	BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE	76
5.5	KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIVUNDERSØGELSEN AF GUDENÅ- EN FRA TANGEVÆRKET TIL ÅBRO	78
6.	MATTRUP Å, STRÆKNING VINGUM BRO - LILLE BRO	80
6.1	BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT	80
6.2	HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD	83
6.3	FYSISK/KEMISKE FORHOLD	83
6.4	BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE	90
6.5	KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIVUNDERSØGELSEN AF MATTRUP Å FRA VINGUM BRO TIL LILLE BRO	92

	SIDE
7. HADSTEN LILLEÅ, STRÆKNING GRUNDFØR MØLLE - LØJSTRUP	94
7.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT	94
7.2 HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD	97
7.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD	98
7.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE	109
7.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIVUNDERSØGELSEN AF HADSTEN LILLEÅ PÅ STRÆKNINGEN GRUNDFØR MØLLE - LØJSTRUP	112
7.6 BEREGNING AF ILTKONCENTRATIONER	113
8. TANGE Å, STRÆKNING KNUDSTRUP - TANGE BRO	116
8.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT	116
8.2 HYDRAULISKE FORHOLD	116
8.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD	119
8.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE	126
8.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIVUNDERSØGELSEN AF TANGE Å FRA KNUDSTRUP TIL TANGE BRO	128

	SIDE
9. NØRRE Å, STRÆKNING VEDSØ - BRUNSHÅB	130
9.1 STATIONSOVERSIGT	130
9.2 HYDROLOGISKE/HYDRAULISKE FORHOLD	132
9.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD	132
9.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBSPARA- METRENE	139
9.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIVUNDERSØGELSEN AF NØRRE Å, ØVRE DEL	141
10. REFERENCER	143

## 0. SAMMENFATNING OG KONKLUSION

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973-75 har Vandkvalitetsinstituttet (VKI) gennemført en række "intensive undersøgelser" af

Gudenåens hovedvandløbsstrækninger  
(fra Tørring til Langå)

og sidetilløbene

Matstrup å

Salten å

Tange å

Hadsten lilleå

Nørreåen.

Ved disse undersøgelser har desuden Hedeselskabet, Isotopcentralen, Laboratoriet for teknisk Hygiejne, Vejle-, Viborg- og Århus amtsvandvæsener medvirket .

Formålet med de "intensive undersøgelser" har været at fremskaffe et materiale, der belyser sammenhængen mellem nedbrydningen af organisk stof, plantevæksten, geniltningen og iltindholdet i vandløbet i sommerperioder, hvor vandføringen er mindst mulig og temperaturen den højst mulige.

Datamaterialet er benyttet til at opstille modeller, der kan beregne iltindholdet som funktion af f.eks. spildevandsudledninger. Modelberegninger er gennemført for udvalgte strækninger, f.eks. Hadsten lilleå.

I nærværende rapport er redegjort for undersøgelsesresultater (hydrauliske og fysisk-kemiske) for vandløbsstrækningerne. Stofftilførslerne (organisk stof og kvælstof) er opgjort på døgnbasis for sommer-situationen.

Tabel 0.1 indeholder sammenfatning af de målte koncentrationer af tilstandsvariablerne opløst ilt,  $BI_5$ , total-kvælstof, ammoniak, nitrit og nitrat på de undersøgte strækninger. Iltkoncentrationer er opgivet som maksimale og minimale værdier, som er målt for hver delstrækning. Det ses, at Hadsten lilleå's kvalitet med hensyn til opløst ilt er uacceptabel, og at en del af såvel Tange å som Nørreå ligger på et lavt iltniveau. For de øvrige strækninger har der ikke i måledøgnene været konstateret iltindhold under 4 mg/l. De øvrige tilstandsvariabler i tabel 0.1 er angivet som intervaller for gennemsnit af målte koncentrationer for hver målestation.

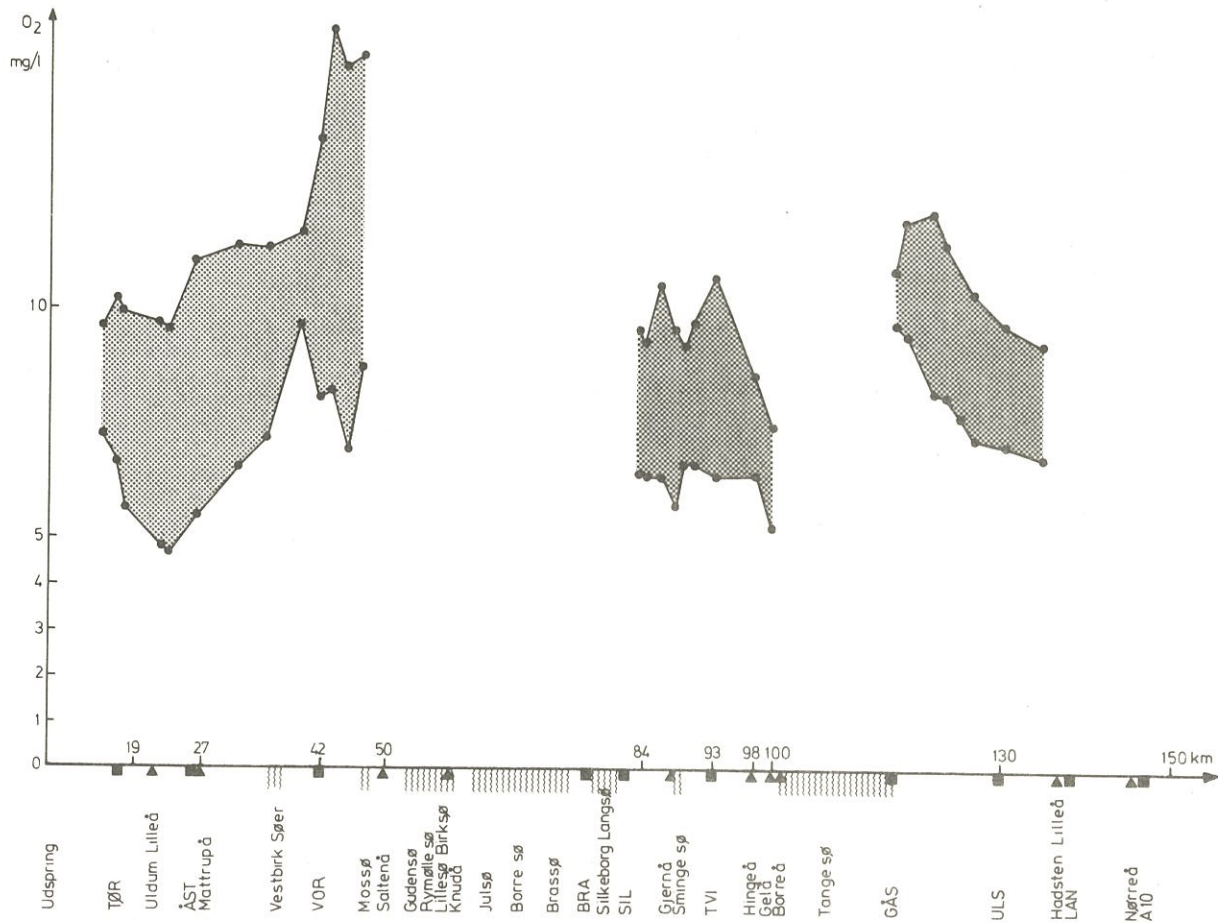
I tabel 0.2 vurderes betydningen af side-tilløb til de undersøgte delstrækninger af Gudenå-systemet med hensyn til  $BI_5$ - og total-kvælstoftransport.

På grundlag af de intensive målinger er der beregnet en gennemsnitlig transport af  $BI_5$  og total-kvælstof i mg/sek. i såvel hovedløb som tilløb. Det må bemærkes, at de i tabellen anførte værdier er at betragte som stikprøver, idet procentsatserne vil variere betydeligt over året i takt med stoftransportens variation i åsystemet. For rensningsanlæggenes vedkommende kan procenttallene i tabel 0.2 betragtes som maksimalværdier, da alle



Strækning	Maximum og minimum iltkoncentration mg/l	Variation og koncentrationssiddelværdier ned ad åen, mg/l				
		BI <sub>5</sub>	Total-N	NH <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N
Gudenå						
Tørring - Bredvad mølle	4 - 11	1 - 3	1,6 - 2,3	0,2 - 0,4	<0,1	1,0 - 1,7
Vestbirk sø - Klosterkær	7 - 16	4 - 7,5	1,5 - 1,7	<0,1	<0,1	0,6 - 1,0
Resebro - Kongensbro	5 - 10,5	6 - 7,5	1,5 - 1,9	0,1 - 1,9	<0,1	0,2 - 0,4
Tange sø - Langå	7 - 12	3 - 4	0,8 - 1,0	0,1 - 0,2	0	0,1 - 0,25
Mattrup å	6 - 14	3 - 7	1,4 - 2,2	0,1 - 0,2	<0,1	0,2 - 1,2
Hadsten lilleå	0 - 14	2 - 17	2,5 - 5,5	0,1 - 2,9	<0,2	0,2 - 3,1
Tange å	2 - 10	1,5 - 6	1,7 - 3,2	0,2 - 2,0	<0,1	0,6 - 1,3
Nørreå øvre del	3,5 - 5,1	4 - 6	~ 1,5	~ 0,4	<0,2	0,1 - 0,4

Tabel o.1 Intervaller for målte tilstandsvariabler i Gudenåsystemet i de intensive perioder. Iltkoncentration er givet som målte ekstremværdier, mens de øvrige koncentrationer er givet som intervaller for middelværdierne for hver station. I figur o.1 er vist døgnvariation af opløst ilt ned ad Gudenåen.



Figur o.1 Døgnvariation af opløst ilt ned ad Gudenåen, som blev målt i de intensive perioder.

SIDETILLØB						Transport i HOVEDLØB opstrøms tilløb	
Betegnelse	Station nr.	BI <sub>5</sub>		Total-N		BI <sub>5</sub>	Total-N
		mg/s	% forøgelse af hovedløbets transport	mg/s	% forøgelse af hovedløbets transport		
<u>Gudenåen</u>							
Alsted møllebæk	702	581	94	359	39	615	932
Tørring rensningsanlæg	704	490	33	210	17	1473	1228
Uldum lilleå	708	136	6	244	14	2403	1685
Åle rensningsanlæg	710	157	12	156	9	1364	1755
Matstrup å	832	1756	135	1266	51	1304	2472
Åstruplund bæk	714	43	1	194	5	2895	4184
Linå	837	209	0,3	432	3	74113	16818
Voel bæk	756	30	0,04	97	0,5	83257	20096
Gjern å	841	1897	2	2348	12	83257	20096
Hinge å	842	4901	6	1189	6	82931	21206
Bjerringbro rensningsanl.	768	480	1	904	9	40298	9820
Ulstrup rensningsanl.	772	651	2	145	1	34546	10696
<u>Matstrup å</u>							
Skade dambrug	728	79	5	156	26	1533	599
Klovborg rensningsanl.	730	32	2	56	7	1629	779
Bregnholm mølle dambrug		919	54	140	13	1396	1049
<u>Hadsten lilleå</u>							
Spørring å	730	297	59	623	88	501	712
Hadsten by		5847	1052	781	63	556	1236
Vissing bæk	734	57	1	26	1	6403	2017
Faurskov bæk	736	17	0,5	130	7	3649	1771
Voer mølleå	738	276	13	69	4	2092	1806
Granslev å	740	529	24	756	13	2167	1952
<u>Tange å</u>							
Thoring rensningsanl.	3	8	27	15	56	30	27
Kjellerup rensningsanl.	7	660	128	483	101	514	479
Levring bæk	10	186	11	136	13	1768	1035
Vindelsbæk	13	523	19	229	18	2685	1259
<u>Nørreå</u>							
Vedsø	A1	7526	77	1207	47	} 9765	} 2584
Rødeå	A3	375	4	258	10		
Rindsholm dambr.	A4	1794	18	1102	42		
Rindsholm rensningsanl.	A5	70	1	17	1		

Tabel 0.2 Vurdering af sidetilløbenes bidrag til transport af BI<sub>5</sub> og kvælstof i Gudenåsystemet. For hvert betydningsfuldt sidetilløb til de undersøgte strækninger er den gennemsnitlige transport af BI<sub>5</sub> og total-N i måledøgnet beregnet og sat i relation til transporten i hovedløbet umiddelbart oven for tilløbet.

Strækning	Genluftningskonstant ved 20°C $K_2$ døgn <sup>-1</sup>	Nedbrydningskonstant for BI <sub>5</sub> ved 20°C $K_1$ døgn <sup>-1</sup>	Total produktion P g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /d	Total respiration ved 20°C R g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /d
Gudenå				
Tørring - Bredvad mølle	2,0 - 6,1	0,5 - 6,0	3,9 -17,6	1,7 -29,9
Vestbirk sø - Klosterkær	2,4 - 2,8	0,5 - 0,75	11,8 -27,7	7,9 -19,2
Resenbro - Kongensbro	0,4 - 3,4	0,25- 2,0	3,8 -22,5	3,9 -26,4
Tange sø - Langå	0,7 - 1,5	0,25- 1,75	2,0 -25,9	3,0 -29,6
Mattrup å	1,0 - 9,7	0,5 - 2,0	1,0 -17,8	9,6 -46,7
Hadsten lilleå	2,9 - 4,2	1,7 - 6,9	3,9 -13,0	12,3 -21,3
Tange å	5,1 -15,9	0,25- 2,0	1,1 - 4,0	0,5 - 8,0
Nørreå	0,4 - 3,8	0,75- 1,7	0 - 8,2	4,0 -17,1

Tabel 0.3 Intervaller for vandløbsparametre for de undersøgte vandløbsstrækninger.

undersøgelser er gennemført i en vandføringssituation, som er nær minimumssituationen.

En samlet vurdering af de fundne vandløbsparametre fremgår af tabel 0.3, mens hver delstrækningsparametre er vurderet i afsnittene 3.5, 4.5, 5.5, 6.5, 7.5, 8.5 og 9.5.

Genluftningskonstanten er hydraulisk bestemt, hvilket forklarer den fundne variation. Vandløb med lille dybde og/eller stor hastighed har større genluftningskonstanter, mens dybe vandløb og langsomtflydende vandløb har små genluftningskonstanter.

Nedbrydningskonstanten for  $BI_5$  ( $K_1$ ) varierer meget jævnt over tabel 0.3. De høje værdier af  $K_1$  er fundet i vandløbsstrækninger, som er procentuelt højt belastet med spildevand (Gudenåen ved Tørring og Uldum, og Hadsten lilleå ved Hadsten by).

Respirationen er på nogle strækninger meget stor (Matstrup å). Det kan foruden plantetætheden hænge sammen med, at nitrifikation yder et bidrag til totalrespirationen. Dette er givet tilfældet i Hadsten lilleå. Produktionen varierer fra strækning til strækning afhængigt af både lysintensitet den aktuelle dag og grødetætheden.

Alle de gennemførte undersøgelser er foretaget i vandføringssituationer, der ligger i nærheden af minimumssituationen og ved en temperatur, som er nær det maksimalt forekommende, således at de fundne vandløbsparametre må vurderes som egnede til at beskrive den biologisk set mest kritiske vandløbs-

situation, og de opstillede modeller vil være egnede til prognostisering.

Situationer med særlige forhold, ekstreme situationer, er dog ikke behandlet. Det anbefales derfor, at der som kontrolundersøgelser gennemføres undersøgelser, der belyser følgende ekstremesituationer:

1. Regnvejrssituation

I f.eks. Nørreåen er der konstateret ekstraordinære, kraftige stofudledninger under regn. Virkningerne heraf kendes ikke eksakt, men da denne situation belastningsmæssigt er langt større end tørvejrbelastningen, må det forventes, at vandkvaliteten under og umiddelbart efter et regnskyl er stærkt forringet. Til belysning heraf er der i forbindelse med den særskilte rapportering af Nørreå-undersøgelsen foretaget en teoretisk vurdering af regnvejrssituationen.

2. Reduktion af vandføring

Det er konstateret, at der f.eks. på strækningen Silkeborg langsø - Kongensbro i korte perioder sker en reduktion i vandføringen på grund af opstemning af vand i Brassø. En analog nedsættelse i vandtransporten kan forventes i forbindelse med oppumpning af åvand til markvanding. De intensive undersøgelser redegør ikke for sådanne kortvarige indgreb i vandtransporten.

3. Reduktion i stofbelastning

En væsentlig reduktion og ændring i arten af stofbelastning, således som det er sket f.eks. i Hadsten lilleå, vil betyde væsentlige ændringer for vandløbets tilstandsvariabler og fysisk-kemiske konstanter. Virkningen af gennemførte renseforbedrende foranstaltninger bør derfor kontrolleres ved gennemførelse af et intensivt måleprogram.

4. Grødehøstning

De intensive undersøgelser redegør ikke for de særlige problemer, der kan opstå i forbindelse med den fysiske gennemførelse af grønne høstning. Der tænkes her på den slamophvirvling, der finder sted ved grønne høstningen, som kan være årsag til transport af organisk stof m.m. ned ad åen i en såkaldt "skidtprop". Samtidigt kan ophvirvling af sediment, som indeholder reducerende stoffer (fx.  $H_2S$ ), bevirke et momentant iltforbrug i åens vand.

5. Ekstreme udledninger

I forbindelse med ekstreme udledninger, f.eks. dambrugenes mandagsudskylninger, driftsstop på renseanlæg, uheld (væltede tankbiler etc.), bør der foretages kontrolmålinger af udledningernes udbredelse samt mængder, og virkningen i recipienten bør konstateres og kontrolleres.

## 1. INDLEDNING

I forbindelse med Gudenåundersøgelsen 1973-75 er der gennemført en række vandløbsundersøgelser med henblik på at belyse samspillet mellem

nedbrydning af organisk stof  
plantevækst (fotosyntese og respiration)  
genluftning

og iltindholdet på den pågældende vandløbsstrækning.

Disse undersøgelser er benævnt "Intensive undersøgelser", idet måleprogrammet er gennemført som et døgnprogram med høj intensitet i prøvetagnings- og analysefrekvens.

De intensive undersøgelser er gennemført på følgende strækninger jf. figur 1.1:

Gudenåens hovedløb

Fra Tørring til Mossø

Fra Silkeborg langsø til Tange sø

Fra Tange sø til Langå

og sidetilløbene

Mattrup å

Hadsten lilleå

Salten å, rapporteret i /12/

Tange å

Nørreå, øvre del

Nørreå fra Brunshåb til Økær bro, rapporteret i

/8/.

# Gudenå - systemet



Figur 1.1



De intensive undersøgelser er gennemført i perioder med mindst mulig vandtransport, høj temperatur og kraftig grødevækst, altså forhold hvor iltindholdet i vandløbene må forventes at blive lavest.

De intensive undersøgelser er gennemført af Vandkvalitetsinstituttet med praktisk støtte af medarbejdere fra Århus, Vejle og Viborg amtsvandvæsen. Desuden har Hedeselskabet, Slagelse bistået med gennemførelsen af vandføringsmåleprogram ved eks. hovedstationer, og Isotopcentralen har gennemført sporstofmålinger med henblik på at fremskaffe viden om opholdstider og spredningsforhold. De kommunale laboratorier i Horsens og Silkeborg har medvirket ved analysering - hovedsageligt analyser for organisk stof. Laboratoriet for teknisk Hygiejne, Danmarks tekniske Højskole har ydet konsulentbistand.

Resultaterne af de intensive undersøgelser er benyttet til at opstille modeller, der beskriver iltforholdene i vandløbene. For udvalgte strækninger er herefter vurderet effekten af bl.a. ændrede spildevandsudledninger og rensningsindgreb.

I nærværende rapport er især behandlet resultaterne fra de enkelte intensive undersøgelser, hvorimod undersøgelseteknikken og teorien for iltbalancemodeller er beskrevet i rapporten vedrørende Nørreå, Intensive Undersøgelser, 1973, /8/.

Salten å er rapporteret i en speciel rapport, /12/.

## 2. VANDLØBSMODEL

For de i afsnit 1 nævnte delstrækninger af Gudenåsystemet er den af Laboratoriet for teknisk Hygiejne og VKI udviklede vandløbsmodel opstillet. Modellen er udførligt beskrevet af Dahl-Madsen og Simonsen, / 2 /. En beskrivelse af samt et eksempel på modellens anvendelse findes i Nørre å-rapporten, udarbejdet af Vandkvalitetsinstituttet til Gudenåudvalget 1974.

### 2.1 TEORI OG FORUDSÆTNINGER

En vandløbsstrækning kan betragtes som et system bestående af en række tilstandsvariabler. Disse variabler kan være opløst ilt,  $BI_5$ -koncentrationer eller forureningsgrader. Tilstandsvariablerne påvirkes af en række processer, f.eks. fotosyntese, respiration, genluftning, nedbrydning og nitrifikation.

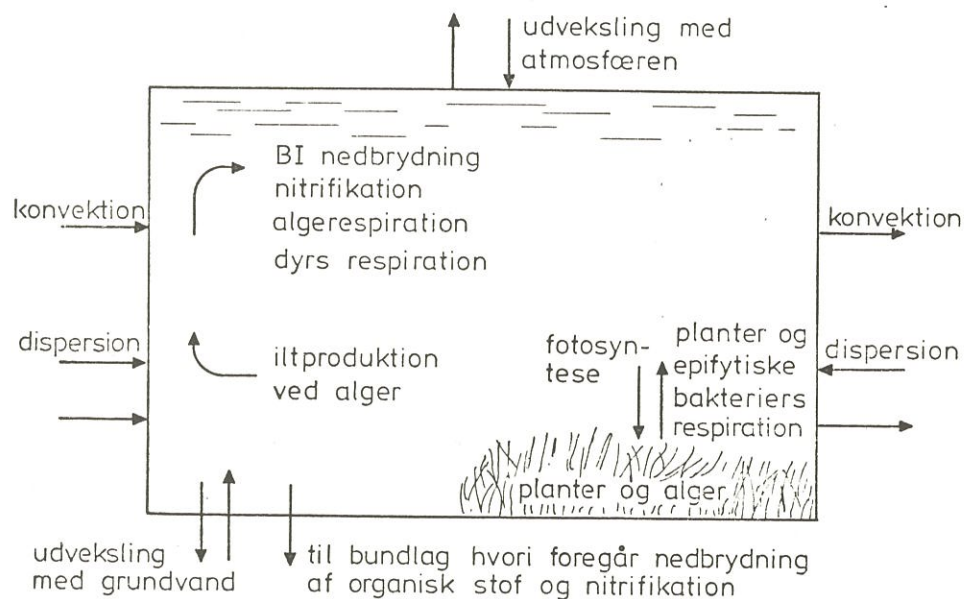
Vandløbs tilstandsvariabler påvirkes, foruden af processer i vandløbet og på bunden af vandløbet, af ydre processer, som kan kaldes tvangsfunktioner, f.eks. lys, temperatur og tilledning af spildevand.

I det følgende gives en kort beskrivelse af det system, som udgøres af en vandløbsstrækning med henblik især på den afgørende tilstandsvariabel, opløst ilt.

Figur 2.1 viser skematisk de vigtigste iltinfluerende processer for en vandløbsstrækning og dennes udveksling af ilt med omgivelserne.

De tilstandsvariabler, der er taget i regning ved de processer, der er vist i figur 2.1, er:

- opløst ilt
- organisk stof (målt som biokemisk iltforbrug)
- plantebiomasse (storbladede vandplanter og alger)
- kvælstof (ammoniak, nitrit, nitrat)
- bentiske og epifytiske bakterier
- dyr.



Figur 2.1 Illustration af iltinfluerende processer i vandløb. Pilene viser iltstrømme.

Hovedvægten ved beregningerne er lagt på opløst ilt, men de øvrige nævnte tilstandsvariabler må tages med, fordi de influerer på vandløbets iltkoncentration.

De processer, der styrer ændringerne i vandløbets tilstandsvariable, er hovedsagelig følgende:

nedbrydning af organisk stof  
planternes fotosyntese og respiration  
nitrifikation (omsætning af ammoniak via  
nitrit til nitrat)  
udveksling af ilt med atmosfæren.

De tvangsfunktioner, der er medtaget ved systembeskrivelsen, er:

lys  
temperatur  
tilledninger af ilt, organisk stof og  
ammoniakkvælstof  
vandføringer.

Tilstandsvariabler, processer og tvangsfunktioner sammenknyttes gennem en massebalance for den betragtede sektion. Det vil sige koncentrationsændring pr. tidsenhed er lig med en hydraulisk styret ændring (konvektion og dispersion) plus en processtyret ændring. På ligningsform er dette udtrykt i ligning 2.1.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{1}{A(X,t)} \frac{\partial}{\partial X} (Q(X,t) \cdot C) + \frac{\partial}{\partial X} (D_L \cdot \frac{\partial C}{\partial X}) + \sum_{i=1}^n S_i(C, X, t) \quad (2.1)$$

hvor

- C er koncentrationen af en tilstandsvariabel
- A(X,t) er vandløbsstrækningens tværsnitsareal
- Q(X,t) er vandføringen
- D<sub>L</sub> er den longitudinale dispersionskoefficient
- S<sub>i</sub> er kilder og dræn, herunder regnes også ændringer via de forskellige processer
- X er en længdekoordinat langs sektionen
- t er tiden.

Af ligning 2.1 ses, at vandløbssektionen er betragtet som et éndimensionalt system, det vil sige, at opblandingen på tværs og i dybden er antaget at være total, (alle punkter i et givet tværsnit har samme koncentrationer af tilstandsvariabler).

Ligning 2.1, der beskriver koncentrationerne i tid og sted af en vilkårlig tilstandsvariabel, kan for koncentrationen af opløst ilt's vedkommende udspecificeres som vist i ligning 2.2..

$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \frac{1}{A(X,t)} \frac{\partial}{\partial X} (Q(X,t) \cdot C) + \frac{\partial}{\partial X} (D_L \cdot \frac{\partial C}{\partial X}) + f_1 - f_2 - f_3 + f_4 - f_5 + T(X,t) \quad (2.2)$$

Sidste led (kilder og dræn) i ligning 2.1 er nu opdelt i:

$f_1$  udveksling med atmosfæren.

f.eks.  $f_1 = K_2(C_s - C)$

hvor

$K_2$  er geniltningkonstant for strækningen

$C_s$  er mætningskoncentration af opløst ilt.

$f_2$  iltforbrug ved nedbrydning af organisk stof

f.eks.  $f_2 = L_o \exp(-K_1 \cdot t)$

hvor

$L_o$  er koncentrationen af organisk stof til  $t = 0$

$K_1$  er nedbrydningskonstanten for organisk stof.

$f_3$  iltforbrug til nitrifikation

f.eks. En monod model, se /2 /.

$f_4$  fotosyntetisk iltproduktion

f.eks.  $f_4 = P(X,t) = P_{\max} \sin \frac{2\pi}{\alpha T} \cdot t \quad 0 \leq t \leq \frac{\alpha}{2} T$

$P(X,t) = 0 \quad T \cdot \frac{\alpha}{2} \leq t \leq T$

hvor

$T$  er 1 døgn

$\alpha$  er relativ daglængde (aktuel daglængde/daglængde ved jævndøgn)

$t$  er tidspunkt i døgn regnet fra solopgang.

$f_5$  respiration (planter, bakterier og dyr)

f.eks.  $f_5 = R$ , som er en funktion af temperaturen.

$T(X,t)$  tilløb og evt. afløb fra sektionen.

Til løsning benyttes en numerisk løsningsmetode, som angivet i Bella, /1 /.

## 2.2 BESTEMMELSE AF MODELLENS HYDRAULISKE PARAMETRE

Modellen beskriver et vandløbssystem hydraulisk ud fra den forudsætning, at manningformlen kan anvendes. Ud fra kendskab til manningtallet,  $M$ , som er bestemt ud fra transporttidsmålinger, beregnes den naturlige dybde ved den implicitte formel 2.3, /5/.

$$Y_o = \left( \frac{Q}{B \cdot M \cdot \sqrt{I_o}} \right)^{3/5} \cdot \left( 1 + 2 \frac{Y_o}{B} \right)^{2/5} \quad (2.3)$$

hvor

$Y_o$	er den naturlige dybde, m
$Q$	er vandføringen, $m^3/s$
$B$	er vandløbets bredde, m
$I_o$	er hældningen på energilini- en, m/m
$M$	er manningtallet, $m^{1/3}/s$

Af de i modellen anvendte vandløbsparametre er genluftningskonstanten,  $K_2$ , som styrer udvekslingen af ilt med atmosfæren, en vigtig parameter. Denne er antaget at være hydraulisk bestemt og formel 2.4 anvendes til bestemmelse af  $K_2$  ved  $20^\circ C$ , /7/.



$$K_2(20^\circ) = 0,000288 \left( 1 + \sqrt{\frac{v}{g \cdot Y_0}} \right) \sqrt{\frac{I_0 \cdot g}{Y_0}} \quad (2.4)$$

hvor

V er vandets strømhastighed, m/s  
g er tyngdeaccelerationen, m/s<sup>2</sup>  
K<sub>2</sub>(20<sup>o</sup>) er genluftningskonstanten ved 20°C, sek<sup>-1</sup>

K<sub>2</sub> ved en anden temperatur, T, end 20<sup>o</sup> findes da efter formel 2.5 fra Elmore, / 4 /.

$$K_2(T) = K_2(20) \cdot 1,0241^{T-20} \quad (2.5)$$

### 2.3 KALIBRERING AF VANDLØBSMODELLEN

Proceduren ved kalibreringen af modellen er følgende:

1. Tilpasning af modellen til strækningens hydraulik og geometri.
2. Kalibrering af hver enkelt af strækningens sektioner, således at de simulerede koncentrationsvariationer passer med de observerede.

ad 1. Basismateriale fra amtskommunerne ved Gudenåen, vandføringsmålinger fra Hedeselskabet og VKI samt opholdstidsmålinger fra Isotopcentralen er grundlaget for modellens tilpasning. Geometri, vandføring og opholdstidsfordelinger er fastlagt, og manningtal beregnet, så de med modellen beregnede opholdstider passer med de målte.

ad 2. Hver enkelt delstrækning kalibreres med hensyn til de kemiske tilstandsvariabler: Opløst ilt,  $BI_5$  og temperatur. Input ved den opstrøms ende af en sektion er målte døgnvariationer af de tre tilstandsvariabler.

Sektionens parametre tilpasses, så output ved den nedstrøms ende af sektionen stemmer overens med de målte døgnvariationer. Følgende rækkefølge er anvendt ved kalibreringerne

- 1) temperaturkurven tilpasses ved ændringer i
  - a) tilført varme fra solen
  - b) tidspunkt for maximal varmetilførsel
  - c) varmeafgivelse til omgivelserne.
  
- 2)  $BI_5$ -kurven tilpasses ved ændringer i
  - a) nedbrydningskonstanten og evt.
  - b) "diffus" tilledning af organisk stof langs hele strækningen. Den diffuse tilledning kan være negativ svarende til, at der fjernes stof.

- 3) Iltkurven tilpasses i nattetimerne ved ændring af totalrespirationen, (kurven er i forvejen påvirket af  $BI_5$ -nedbrydningen og genluftningen).
  
- 4) Iltkurven tilpasses i dagtimerne ved ændring af
  - a) fotosyntesens maximalværdi
  - b) tidspunkt for den maximale fotosyntese.

### 3. GUDENAEN, STRÆKNING TØRRING - MOSSØ

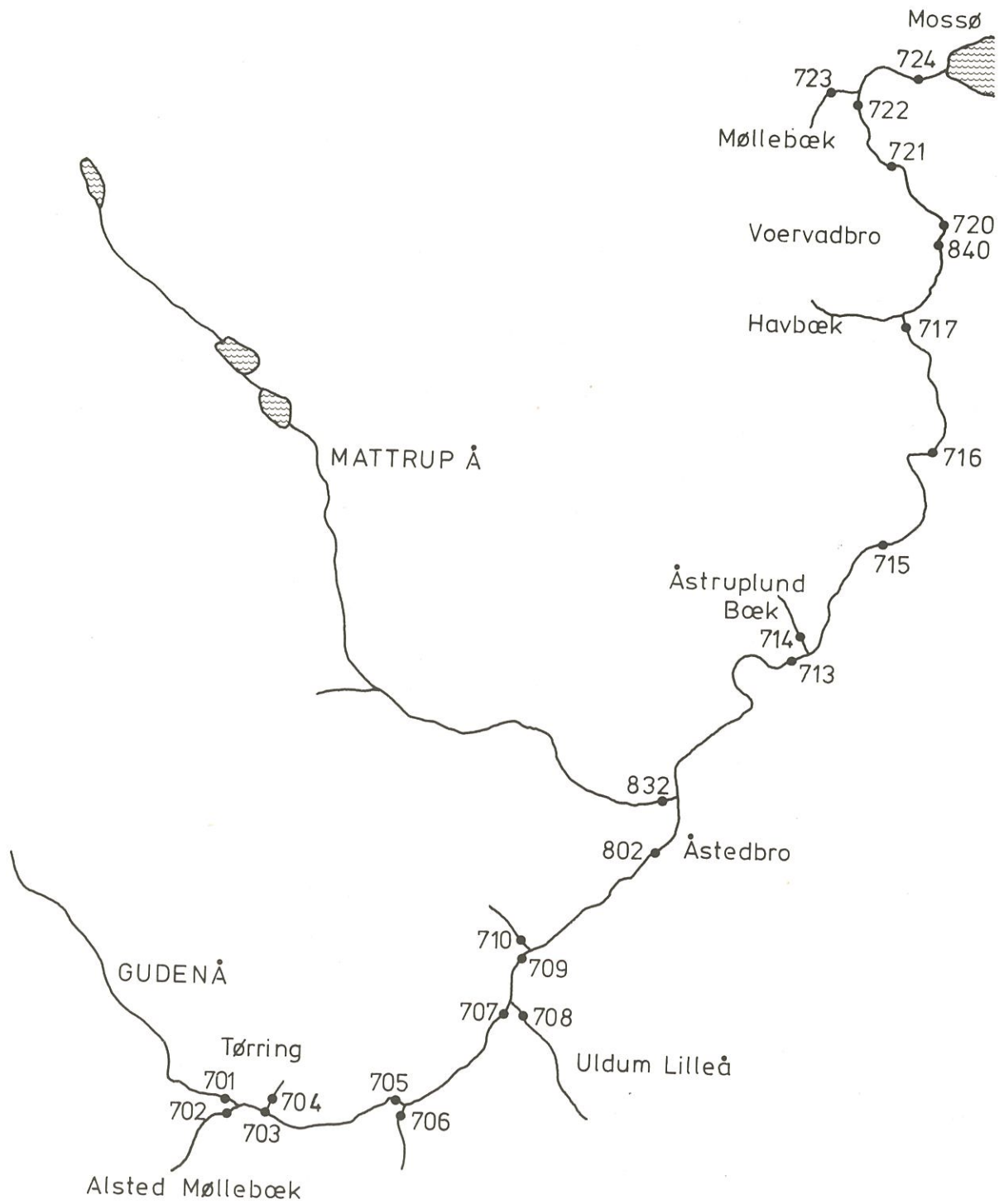
Denne del af Gudenåsystemet undersøgtes intensivt af to omgange, idet den første del fra Tørring til Bredvad mølle undersøgtes i perioden 25. - 26. juni 1974, og den sidste del fra Vestbirk sø til Klosterkær undersøgtes i perioden 2. - 3. juli 1974.

#### 3.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT

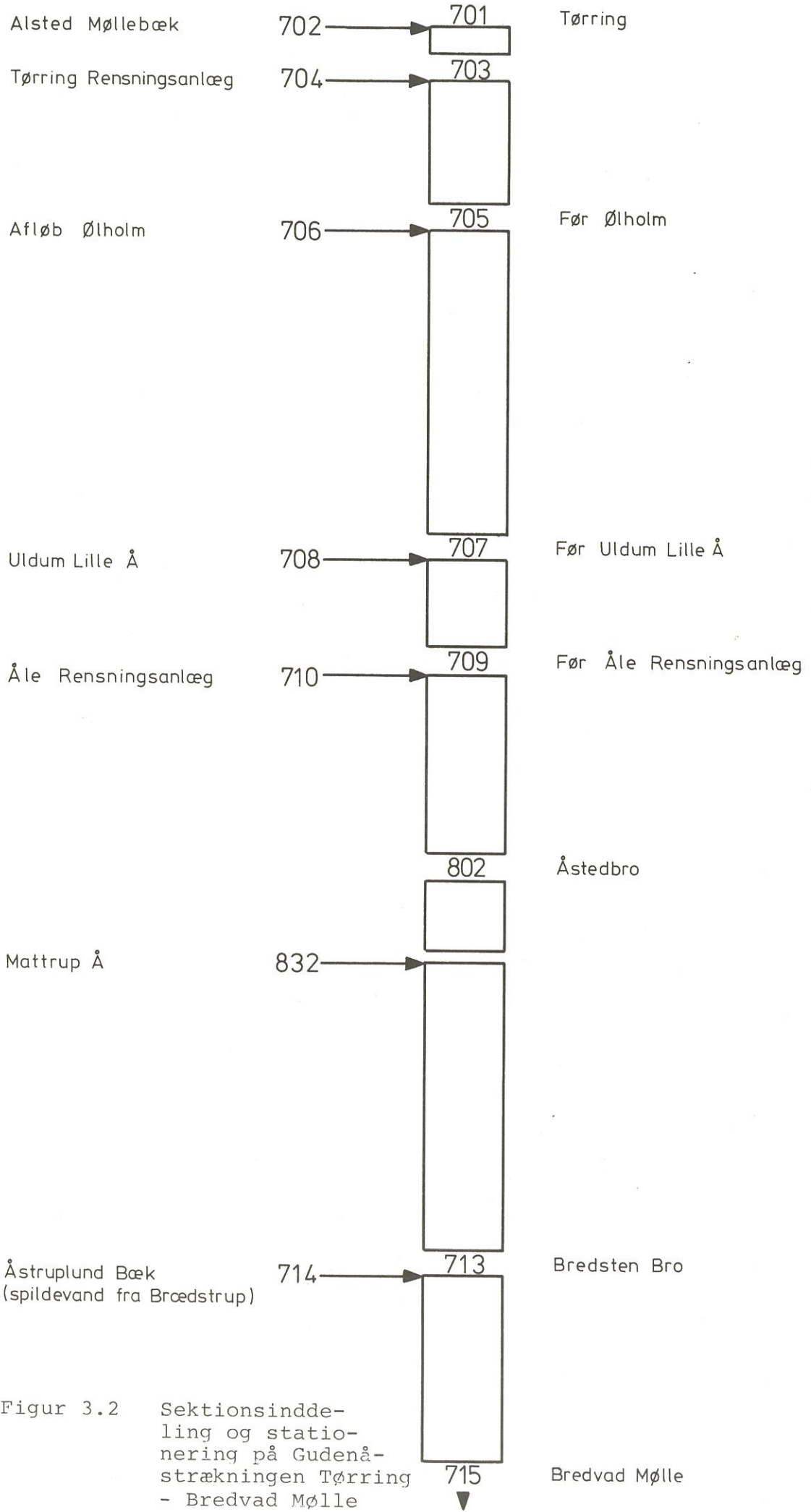
Gudenåstrækningen fra Tørring til Mossø er ca. 39 km lang inklusiv gennemløbet af Vestbirk sø. I den opstillede model er åen opdelt i to strækninger, nemlig én fra Tørring til Bredvad mølle og én fra udløbet af Vestbirk sø til Klosterkær ved Mossø.

På den første strækning er der indlagt 8 målestationer på selve Gudenåen, og der er indlagt målestationer på 7 tilløb, hvoraf et er Mattrup å. Mattrup å er blevet særskilt undersøgt og er nærmere beskrevet i afsnit 6.

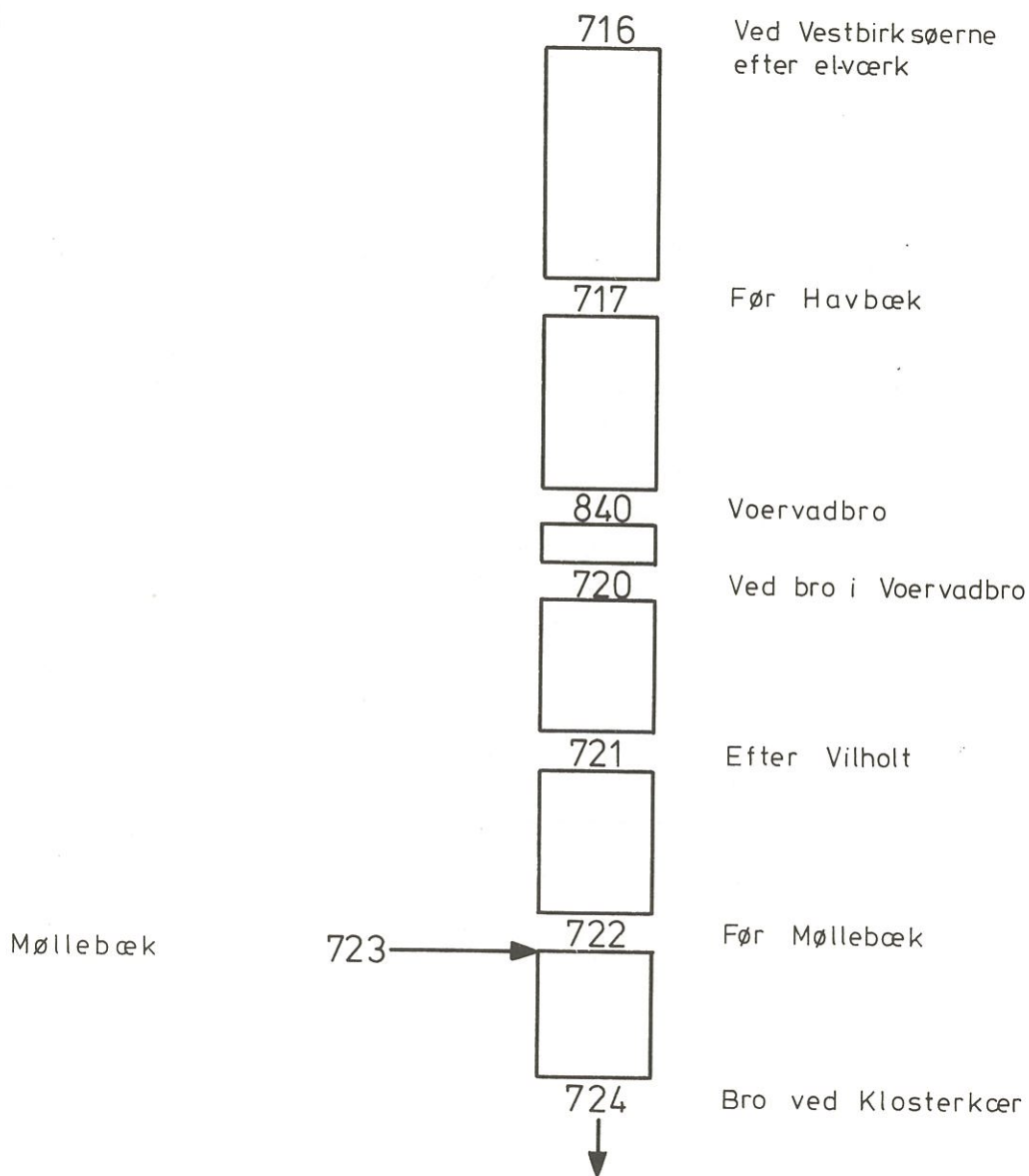
På strækningen fra Vestbirk sø til Klosterkær er der indlagt 7 målestationer på Gudenåens løb. Den første er anbragt lige neden for el-værket og den sidste ved broen ved Klosterkær. Af medtagne side-tilløb kan nævnes målestationerne i Møllebækken og Åstruplundbæk før disses udløb i Gudenåen. Gennem Åstruplund bæk tilføres Gudenåen spildevand - biologisk rensat - fra Brødstrup. En stationsoversigt fremgår af figur 3.1.



Figur 3.1 Stationsoversigt for Gudena på strækningen Tørring - Mossø.



Figur 3.2 Sektionsinddeling og stationering på Gudenaåstrækningen Tørring - Bredvad Mølle



Figur 3.3 Sektionsinddeling og stationering på Gudenastrækningen fra Vestbirksø til Klosterkær.

Hovedprincip ved placeringen af stationerne er, at en station anbringes lige før et betydeligt tilløb, og en station anbringes i tilløbet.

Figurerne 3.2 og 3.3 viser en skematisk fremstilling af åen med sektionsopdeling og målte side-tilløb samt spildevandsudledninger,

### 3.2 HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD

Der er foretaget langtidsafstrømningsmålinger af Det danske Hedeselskab på en hydrometrisk station, nemlig ved Åstedbro. Målingerne går tilbage til år 1917. Oplandet ved Åstedbro er  $187 \text{ km}^2$  og middelfafstrømningen fra år 1917/1918 til 1959/1960 var  $13,1 \text{ l/sek/km}^2$  eller  $2,45 \text{ m}^3/\text{sek}$ , mens middelfafstrømningen for juni måned i samme periode var  $7,0 \text{ l/sek/km}^2$  eller  $1,309 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Hermed kan sammenlignes Hedeselskabets målinger fra juni 1974, hvor der den 13. juni blev målt  $1,060 \text{ m}^3/\text{sek}$  og den 25. juni blev målt  $1,110 \text{ m}^3/\text{sek}$ .

Isotopcentralen har i måleperioden foretaget sporstofundersøgelser for at klarlægge transporttider og dispersionsforhold. Radioaktivt sporstof blev doseret ved Tørring og ved udløbet fra Vestbirk sø, mens opholdstidsfordelingskurver blev registreret ved Åle, Åstedbro, Bredvad mølle, Voervadbros og Klosterkær.

Længdeprofilmålingerne er foretaget af Vejle amtskommune, der også har registreret tværsnitsprofiler på udvalgte stationer langs vandløbet.



Hedeselskabet har målt vandføring på stationerne 703, 707, 708, 802, 832 og 840. Vejle amtskommune har målt vandføring på stationerne 702, 704, 706, 710, 832, 713, 714, 716, 723 og 724 ved de intensive målerunder. Målinger og beregninger af hydrauliske forhold fremgår af tabellerne 3.1 og 3.2.

Den samlede transporttid fra Tørring til Bredvad mølle er bestemt til 27 timer og 34 minutter, svarende til en middelstrømhastighed på 0,24 m/sek, med den største hastighed ved den øvre ende af strækningen.

Transporttiden fra Vestbirk sø til Klosterkær er bestemt til 17 timer, svarende til en middelstrømhastighed på 0,18 m/sek.

GUDENAEN, STRÆKNING TØRRING-BREDVAD MØLLE		Stations- nummer	Stræk- nings- længde m	Energi- gradient m/m $\cdot 10^4$	Middel- dybde m	Middel- bredde m	Middel- vandfø- ring $m^3$ /sek	Middel- strøm- hastig- hed m/sek	Manning tal $m^{1/3}$ /sek	Trans- porttid gennem sektionen T.min.	Trans- porttid fra start T.min.	Disper- sions- koeffi- cient $m^2$ /sek
STATIONSBETEGNELSE												
	Før Alstrup møllebæk	701	450	8,00	0,32	5,95	(0,594)	0,404	33,0	0,19	0,00	2,9
	Før Tørring renseanl.	703	2350	7,02	0,31	6,35	0,746	0,378	33,0	1,44	0,19	2,9
	Før tilløb i Ølholm	705	5823	4,38	0,34	7,05	(0,740)	0,315	33,0	5,09	2,03	2,9
	Før Uldum lilleå	707	1632	2,21	0,39	8,55	0,785	0,251	33,7	1,48	7,12	6,6
	Før Åle renseanlæg	709	3431	4,05	0,39	9,50	-	0,268	26,1	3,34	9,00	6,6
	Åstedbro	802	1316	4,18	0,68	10,00	1,110	0,168	11,5	2,11	12,34	3,5
	Før Mattrup å	832*	5500	6,91	0,57	13,80	(1,320)	0,239	13,9	6,24	14,45	3,5
	Bredstenbro	713	3600	3,89	0,83	15,10	1,9266	0,156	9,6	6,25	21,09	3,5
	Bredvad mølle	715					-				27,34	

Tabel 3.1

Hydraulik og geometri for Gudenåstrækningen Tørring-Bredvad mølle.

Vandføringsdata er målt 25.-26.6.1974. Tal i parentes er interpolerede værdier.

GUDENAEN, STRÆKNING VESTBIRKSØRNERE-KLOSTERKÆR	Stationsnummer	Strækningens længde m	Energi- gradient $\frac{m}{m} \cdot 10^4$	Middel- dybde m	Middel- bredde m	Middel- vandfø- ring $m^3/sek$	Middel- strøm- hastig- hed m/sek	Manning tal $m^{1/3}/sek$	Trans- porttid gennem sektionen T.min.	Trans- porttid fra start T.min.	Disper- sions- koeffi- cient $m^2/sek$
Trappe v. Vestbirk- søerne	716	3040	5,03	0,79	13,05	1,828	0,190	10,7	4,27	0,00	3,8
Før Horbæk	717	2300	7,32	0,89	10,90	(2,033)	0,218	9,6	2,56	4,27	3,8
Voervadbro	840	480	7,32	0,91	10,90	2,190	0,220	9,6	0,36	7,23	3,8
Ved bro i Voervadbro	720	1700	7,32	1,11	12,80	-	0,156	6,0	3,02	7,59	2,8
Efter Vilholt	721	1920	7,29	1,10	12,95	-	0,155	6,0	3,26	11,01	2,8
Før Møllebæk	722	1700	9,88	1,15	11,60	-	0,183	6,0	2,35	14,27	2,8
Bro v. Klosterkær	724					2,435				17,02	2,8

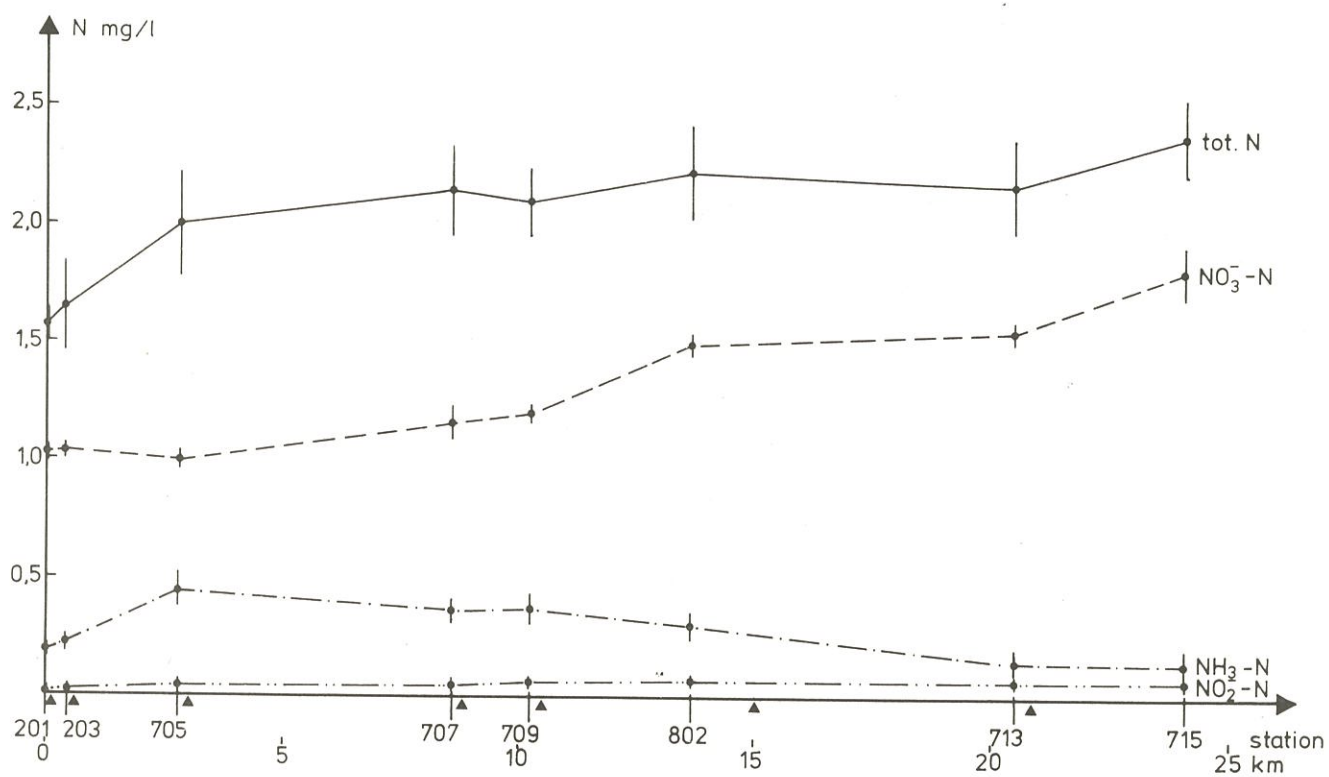
Tabel 3.2  
Hydraulik og geometri for Gudenåstrækningen fra Vestbirk søerne til Klosterkær. Vandføringerne er målt 2.-3.7.1974. Tal i parentes er interpolerede værdier.

### 3.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD

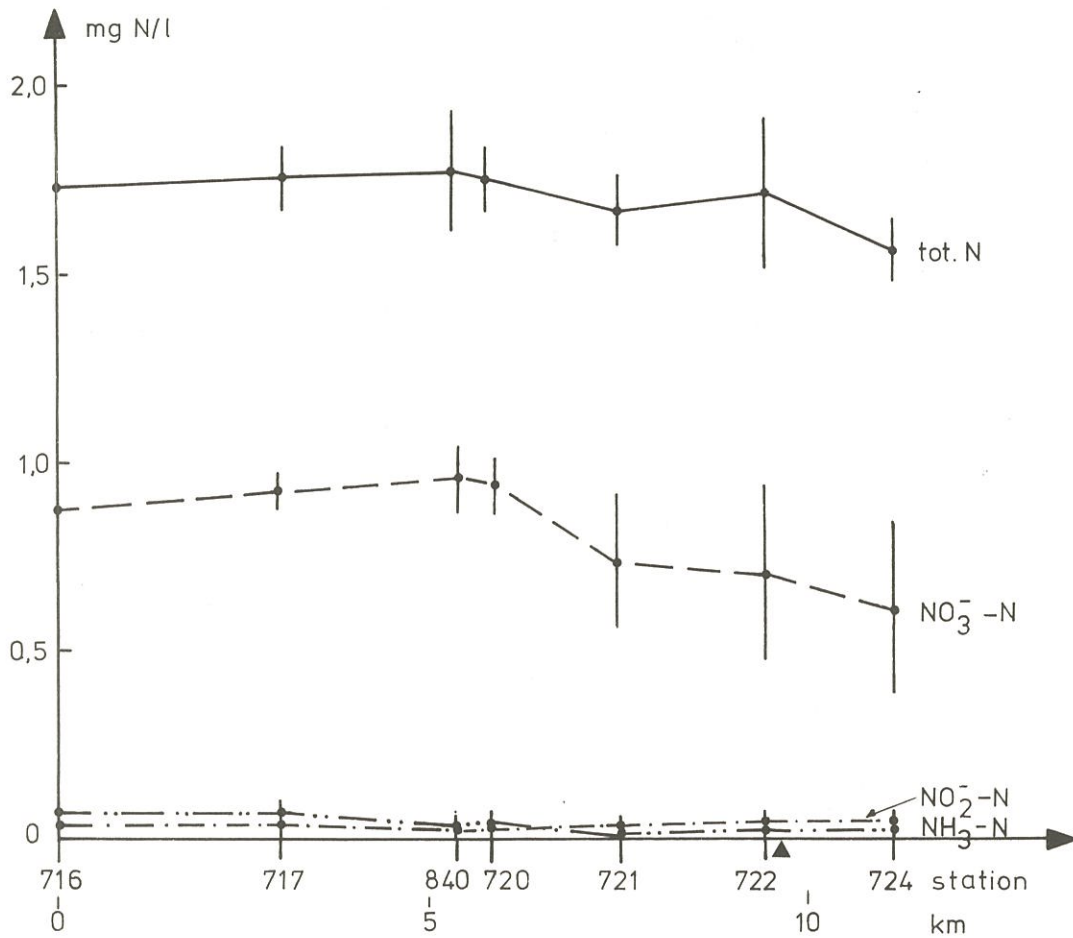
Til belysning af fysisk/kemiske forhold og til klarlæggelse af iltforbrugende stoffers tilførsel til og transport gennem systemet er der i de intensive måledøgn foretaget prøvetagning og analyser af en række tilstandsvariabler. De vigtigste resultater af analyserne er vist i figurerne 3.4, 3.5, 3.6 og 3.7. De to første figurer viser kvælstofvariablernes koncentrationsvariation ned ad systemet. På den del af Gudenåen, som ligger oven for Vestbirk sø, forsvinder der øjensynlig en vis mængde  $\text{NO}_3^-$ -N, hvilket kan tyde på, at der sker nitrifikation. Den ammoniakmængde, der forsvinder, er dog så lille (ca. 0,2 mg/l på 20 timer), at selv om nitrifikation var årsag til nedgangen i  $\text{NH}_3$ -N koncentration ville konsekvenserne for iltforholdene være marginale (under ca. 5 % af den totale respiration i vandløbet). Hertil kommer, at det næppe er sandsynligt, at nitrifikation er årsag til hele nedgangen i  $\text{NH}_3$ -N, idet en del kan afgives til atmosfæren, og en del kan optages i planter. At  $\text{NO}_3^-$ -N koncentrationen stiger skyldes, foruden nitrifikation, landbrugs- og spildevandstilførsel.

Figurerne 3.6 og 3.7 viser variationen af  $\text{BI}_5$  ned ad åen samt forløbet af døgnvariationerne af opløst ilt ned ad åen.

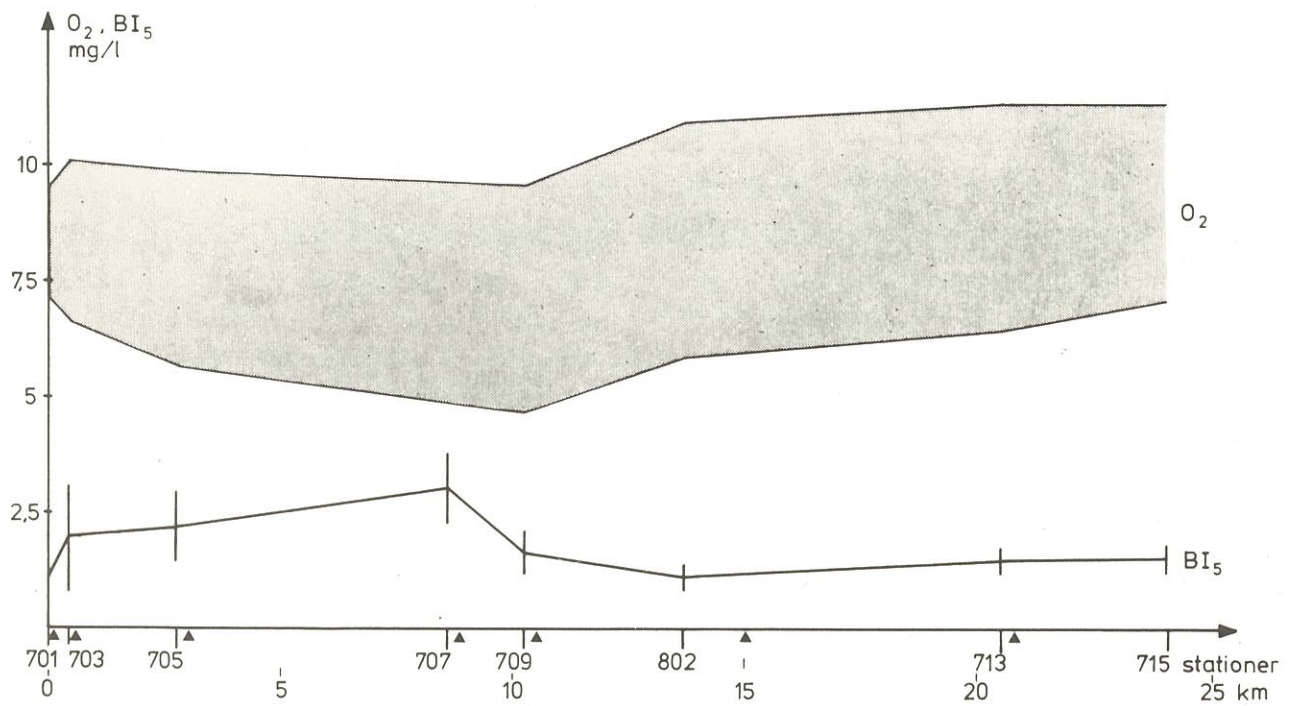
På den sidste del af strækningen Tørring - Bredvad mølle ses en tendens til den klassiske iltsvindskurve, idet  $\text{BI}_5$ -koncentrationen falder, mens middeliltkoncentrationen viser det karakteristiske dyk med efterfølgende stigning.



Figur 3.4 Kvälstofkoncentrationer på Gudenåstrækningen Tørring - Bredvad mølle den 25. - 26. juni 1974. De lodrette linier i hver station viser standardafvigelseerne.

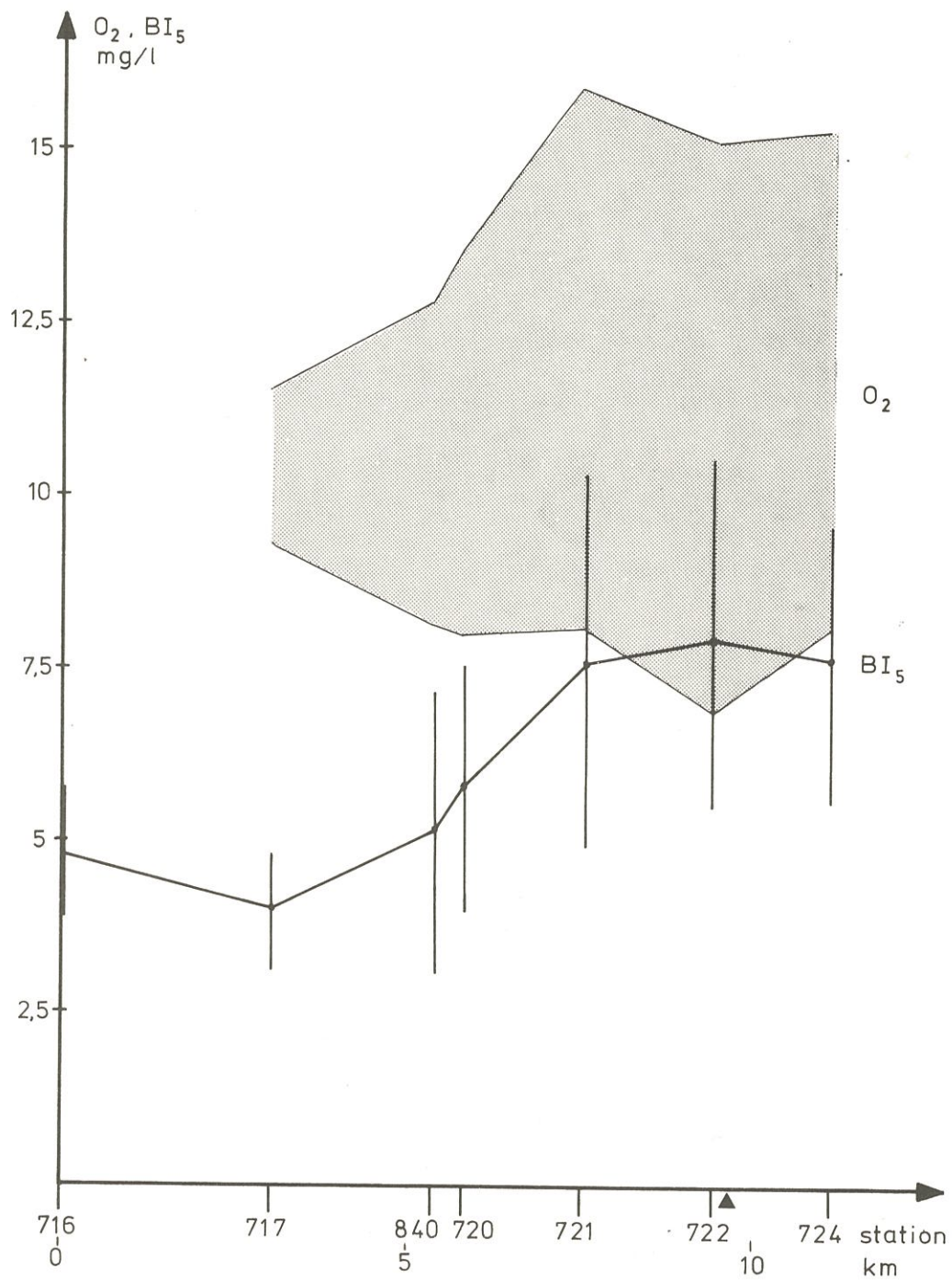


Figur 3.5 Kvalstofkoncentrationer på Gudenaen fra Vestbirk sø til Klosterkær den 2. - 3. juli 1974. De lodrette linier viser standardafvigelse.



Figur 3.6 BI<sub>5</sub> og døgnsvingninger af ilt på Gudenåstrækningen fra Tørring til Bredvad mølle den 25. - 26. juni 1974.

For BI<sub>5</sub>-koncentrationerne er vist standardafvigelserne ved lodrette linier.



Figur 3.7 BI<sub>5</sub> og døgnsvingninger af ilt på Gudenåstrækningen fra Vestbirk sø til Klosterkær den 2. - 3. juli 1974. For BI<sub>5</sub> er standardafvigelserne vist ved lodrette linier.

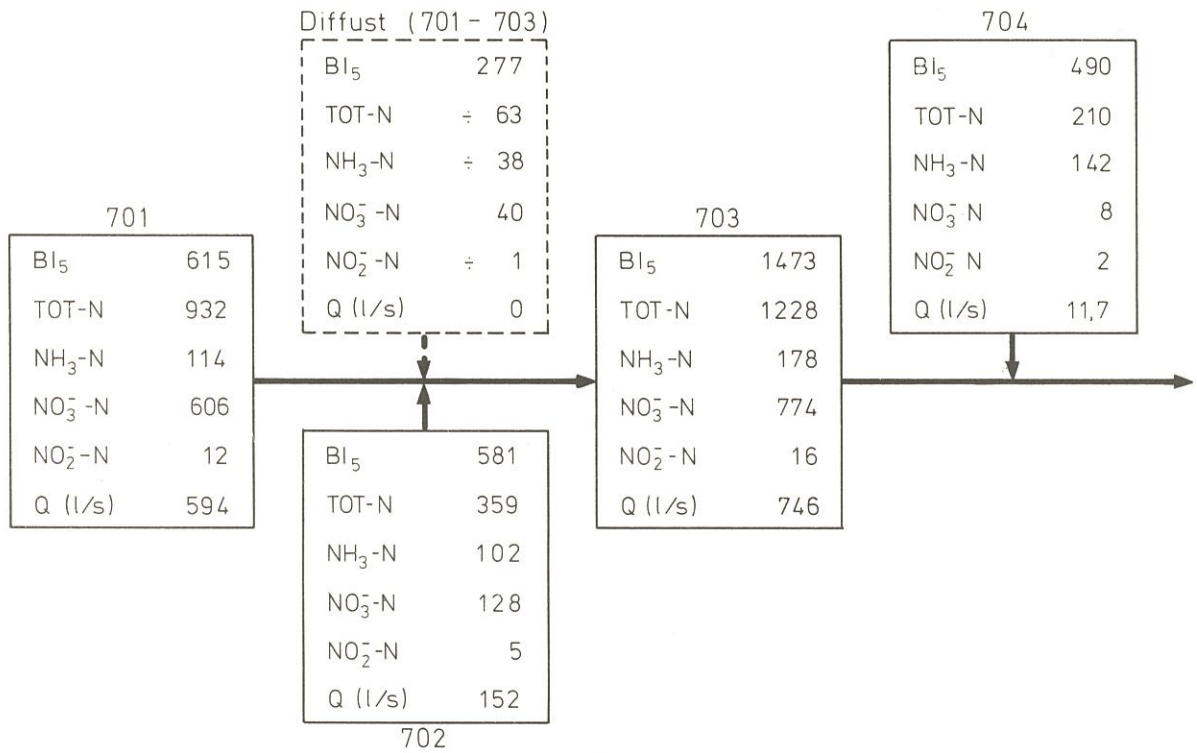


På strækningen fra Vestbirk sø til Klosterkær stiger  $BI_5$ -koncentrationen væsentligt især på grund af spildevand fra Voervadbro by og mejeri. Vilholt Papirfabriks spildevandsudledning bidrager ikke væsentligt til en  $BI_5$ -koncentration i Gudenåen. Der udledes derimod store mængder suspenderet organisk stof, som på visse strækninger bundfældes. Dermed forøges vandløbets totale respiration, jvf. tabel 3.4. Iltsvingningerne i åen er forsvindende lige efter Vestbirk sø, men antager, efterhånden som afstanden fra søen øges, en betydelig størrelse. Også her ses tendensen til iltsvind på grund af  $BI_5$ -nedbrydning.

Til vurdering af betydningen af de enkelte tilledninger er figurerne 3.8, 3.9 og 3.10 vist. Disse figurer er massebalancer for  $BI_5$  og kvælstof på udvalgte knudepunkter i systemet.

Opstrøms station 701 er Gudenåen belastet med dambrug og spildevand fra blandt andet Hastrup, hvilket kan ses på stofkoncentrationerne ved station 701, som er højere end i et ubelastet vandløb, f.eks. Salten å før Ansø dambrug /12/. Tilførslen fra Alsted møllebæk (702) skyldes hovedsagelig dambrug.  $BI_5$  og  $NH_3$ -N belastningen fra Alsted møllebæk er af samme størrelsesorden som transporten i Gudenåen på dette sted.  $NO_3^-$ -N tilførslen er derimod, som forventeligt, mindre end transporten i åen. Tørring renseanlæg (704) er et betydeligt tilførselsløb med hensyn til  $BI_5$  og total-N.

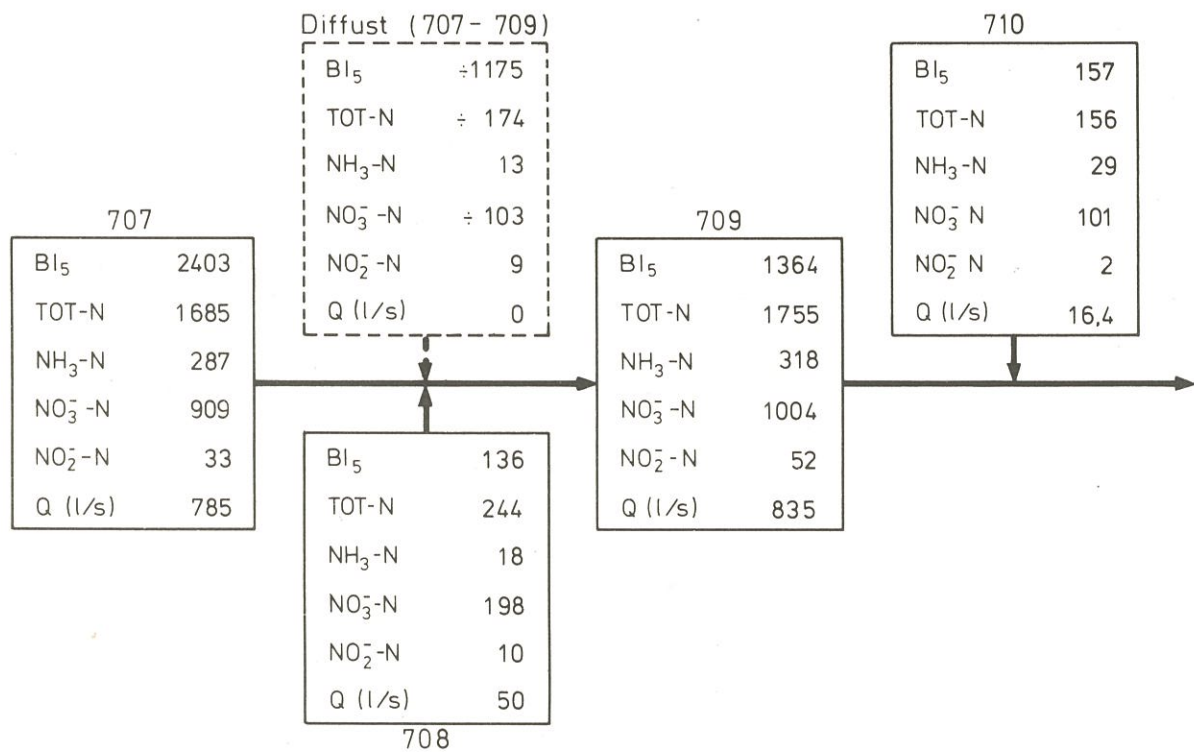
Uldum (708) og Åle (710) rensningsanlæg bidrager med betydelige tilførsler, hver med ca. 10 % af transporten i åen de pågældende steder.



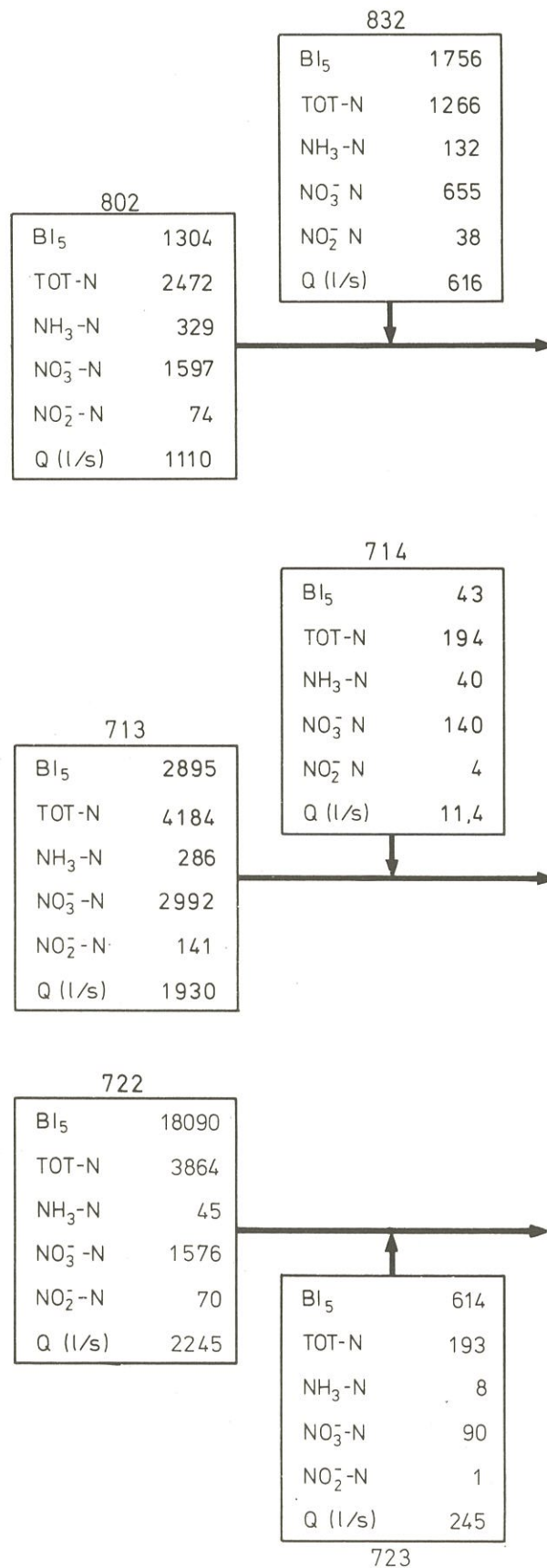
Figur 3.8 Massebalance for BI<sub>5</sub> og kvælstof på den øvre del af Gudenaen (ved Tørring).

Enheder er mg/sek.

Tallene er døgngennemsnit fra den 25. - 26. juni 1974.



Figur 3.9 Massebalance for BI<sub>5</sub>, kvælstof og vand på den del af Gudenåen, hvor Uldum (708) og Åle (710) rensningsanlæg tilgår.  
 Enheder er mg/sek.  
 Tallene er døgn gennemsnit for døgnet 25.  
 - 26. juni 1974.



Figur 3.10 Massebalancer på Gudenaen, hvor Mattrup å tilgår (832), Åstruplund bæk (714), som medfører spildevand fra Brødstrup, 4500 PE og Møllebæk (723). Tallene er i mg/sek og er udregnet som døgn-gennemsnit for døgnnet 25. - 26. juni 1974.

Matstrup å (832) er det betydeligste tilløb på hele strækningen. Derimod er Åstruplund bæk (714), der fører biologisk rensede spildevand fra 4500 PE fra Brødstrup til Gudenå, af mindre betydning. Der er tale om dels en selvrensings- og dels en nedslivningsproces i Ålstruplund bæk.

Foruden målingerne i de intensive døgn er der på udvalgte stationer gennemført døgntransportmålinger i alt 22 gange i 1974 og 3 gange i 1975. Disse målinger er rapporteret i Stoftransportundersøgelsesrapporten / 9 /.

### 3.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE

Efter tilpasning af modellen til de hydrauliske forhold i systemet er den kemiske kalibrering af de to strækninger Tørring - Bredvad mølle og Vestbirk sø - Klosterkær foretaget efter de principper, som er skitseret i afsnit 2.

En skematisk fremstilling af de to vandløbsstrækninger samt den i modellen anvendte sektionsoptdeling fremgår af figurerne 3.2 og 3.3

Resultaterne fremgår af tabellerne 3.3 og 3.4. I tabellerne er også anført den anvendte middeleniltningskonstant, selv om denne er hydraulisk bestemt efter formel 2.4 og formel 2.5, side 19.

Station	Nr.	Middel gen- iltning- konstant v. 20°C døgn <sup>-1</sup>	Nedbrydnings- konstant for BI <sub>5</sub> v. 20°C døgn <sup>-1</sup>	Total respi- ration v. 20°C g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Maximal fo- tosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / time	Total fo- tosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Tilledning af org. stof kg BI <sub>5</sub> /m/ døgn	Afstand fra start m
Før Alsted Møllebæk	701	6,07	-	29,89	1,585	17,56	-	0
Før Tørring rensninganlæg	703	5,41	4,0	10,77	0,673	7,46	-	450
Før tilløb i Ølholm	705	4,00	1,0	8,14	0,486	5,39	-	2800
Før Uldum Lilleå	707	2,54	6,0	1,93	0,348	3,85	-	8623
Før rensninganlæg	709	3,42	2,5	1,70	0,567	6,28	-	10255
Åstedbro	802	2,42	2,0	11,74	0,856	9,48	-	13686
Før Mattrup Å	832*	3,59	2,0	9,91	0,722	8,00	-	15002
Bredstenbro	713	2,08	0,5	9,31	0,597	6,62	-	20502
Bredvad Mølle	715							24102

Tabel 3.3 Parametre for Gudenåstrækningen fra Tørring til Bredvad mølle.

Station	Nr.	Middel gen- iltnings- konstant v. 20° C døgn <sup>-1</sup>	Nedbrydnings- konstant for BI <sub>5</sub> v. 20° C døgn <sup>-1</sup>	Total respi- ration v. 20° C g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Maximal fo- tosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / time	Total fo- tosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Tilledning af org. stof kg BI <sub>5</sub> /m/ døgn	Afstand fra start m
Trappe v. Vestbirkøerne	716	2,47	0,5	7,89	1,076	11,84	0	0
Før Nørbæk	717	2,84	0,5	8,91	1,215	13,37	0	3040
Voervadbro	840	2,81	0,5	9,12	1,243	13,68	0,2	5340
Ved bro i Voervadbro	720	2,46	0,5	11,06	2,513	27,65	0,15	5820
Efter Vilholt	721	2,44	0,75	19,20	1,995	21,94	0	7520
Før Møllebæk	722	2,83	0,5	11,46	2,084	22,92	0	9440
Bro v. Klosterkær	724							11140

Tabel 3.4 Parametre for Gudenåstrækningen fra Vestbirkøerne til Klosterkær.

Kommentarer til kalibreringen af strækningen Tørring - Bredvad mølle:

Den hydraulisk bestemte genluftningskonstant for strækningen er størst i den øvre ende, hvor dybden er mindst, og hvor strømhastigheden og bundhældningen er størst.

Variationen af genluftningskonstanten er dog kun ringe.

Nedbrydningskonstanter for  $BI_5$  er fundet til 0,5 - 6,0 døgn<sup>-1</sup>. Kun for den sidste sektion er nedbrydningskonstanten mindre end 1,0. Den ret høje nedbrydningskonstant skyldes den betydelige spildevandsmængde, der udledes.

Fotosyntesen varierer ikke markant langs strækningen, dog er den større opstrøms Tørring renseanlæg.

Den totale respiration, d.v.s. alt hvad der bruger ilt i vandløbet undtagen  $BI_5$ -nedbrydningen, varierer en del (fra ca. 30 g ilt/m<sup>2</sup>/døgn til ca. 2 g ilt/m<sup>2</sup>/døgn).

Strækningen fra Uldum lille å til Åstedbro har en lille respiration, d.v.s. bundsedimenter og plantedække er ringe på disse strækninger. Dette skyldes, at netop på denne strækning er grøden høstet ca. 10 dage før.



Kommentarer til kalibreringen af strækningen Vestbirk sø - Klosterkær:

Geniltningkonstanten for vandløbet fra Vestbirk søerne til broen ved Klosterkær viser meget lille variation fra 2,4 til 2,8  $\text{døgn}^{-1}$ , til trods for dybdevariation fra 0,79 til 1,15 m. Strømhastigheden og energigradienten varierer kun lidt.

Nedbrydningskonstanten viser sig at være konstant langs næsten hele strækningen, kun på strækningen mellem Vilholt og Møllebæk er den lidt større.

Fotosyntesen stiger på den første del af strækningen og er ret konstant på den sidste del af strækningen.

Den totale respiration (fraregnet  $\text{BI}_5$ -nedbrydningen) er jævnt stigende langs vandløbsstrækningen. Respirationen er væsentligt forøget på strækningen Vilholt - Møllebæk, samme strækning som har større  $\text{BI}_5$ -nedbrydning. Det vil sige en del af det organiske stof, der kommer til opstrøms denne sektion sedimenterer og øger bundens iltforbrug.

### 3.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIV- UNDERSØGELSEN AF GUDENÅ-STRÆKNINGEN TØRRING - MOSSØ

De resultater, der er opnået på grundlag af intensive målinger og beregning af omsætningshastigheder, må betragtes som et specialtilfælde, hvis generelitet vurderes ud fra kendskab til vandløbets fysiske og kemiske tilstand dels i måletidsrummet, dels i ekstreme situationer, f.eks. i den situation hvor vandføringen er mindst, og/eller hvor temperaturen er højst. Ved minimumsvandføringssituationen udgør spildevand en større procentdel af åens vandføring end i andre vandføringssituationer, og koncentrationen af organisk stof vil da være større.

Ved Åstedbro blev der målt en vandføring den 25/6 1974 på 1,110 m<sup>3</sup>/sek, det registrerede årsminimum i perioden 1917/18 - 1959/60 var 0,505 m<sup>3</sup>/sek, mens middelværdi for juni måned i samme periode var 1,309 m<sup>3</sup>/sek, og årsmiddel var 2,450 m<sup>3</sup>/sek, årsmaksimum var 23,8 m<sup>3</sup>/sek. Medianminimum for perioden 1917/18 - 1959/60 var 0,823 m<sup>3</sup>/sek.

Selv om vandføringen i den intensive måleperiode var større end medianminimum, er den væsentligt mindre end middelvandføringen og må betragtes som en for vandløbet kritisk situation. I den målte situation er ca. 6 % af åens vandføring spildevand, mens ca. 8,4 % er spildevand i medianminimumssituationen.

Temperaturen i åen i måleperioden var i gennemsnit ca. 15°C, hvilket ikke kan betegnes eks-

tremt. I vandløbsmodellen er der derfor indbygget en temperaturkorrektion, således at de beregnede vandløbsparametre refererer til 20°C.

Spildevandsbelastningen af den øvre del af Gudenåen spiller den største rolle indtil Bredvad mølle, hvor nedbrydningskonstanterne er større end på strækningen efter Vestbrik sø. Det er ret høje værdier for nedbrydningskonstanten, der er fundet på denne strækning sammenlignet med andre vandløb, se Samlerapporten. Den direkte betydning af spildevandsudledningen, d.v.s. iltsvind på grund af nedbrydning af organisk stof, er dog begrænset, da de koncentrationer af BI<sub>5</sub>, der er målt i vandløbet er lave.

Figurerne 3.6 og 3.7 viser, at iltkoncentrationerne i åen i det undersøgte døgn altid har været større end 5 mg/l. En øget koncentration af BI<sub>5</sub> i åen vil sænke minimumskoncentrationerne af ilt til et niveau, som kan være utilstrækkeligt for dyrelivet i åen.

#### 4. GUDENÅEN, STRÆKNING RESENBRO - KONGENSBRO

Gudenåstrækningen fra Silkeborg Langsø til Tange sø er undersøgt på strækningen fra Resebro til Kongensbro i perioden 13. - 14.8.1974.

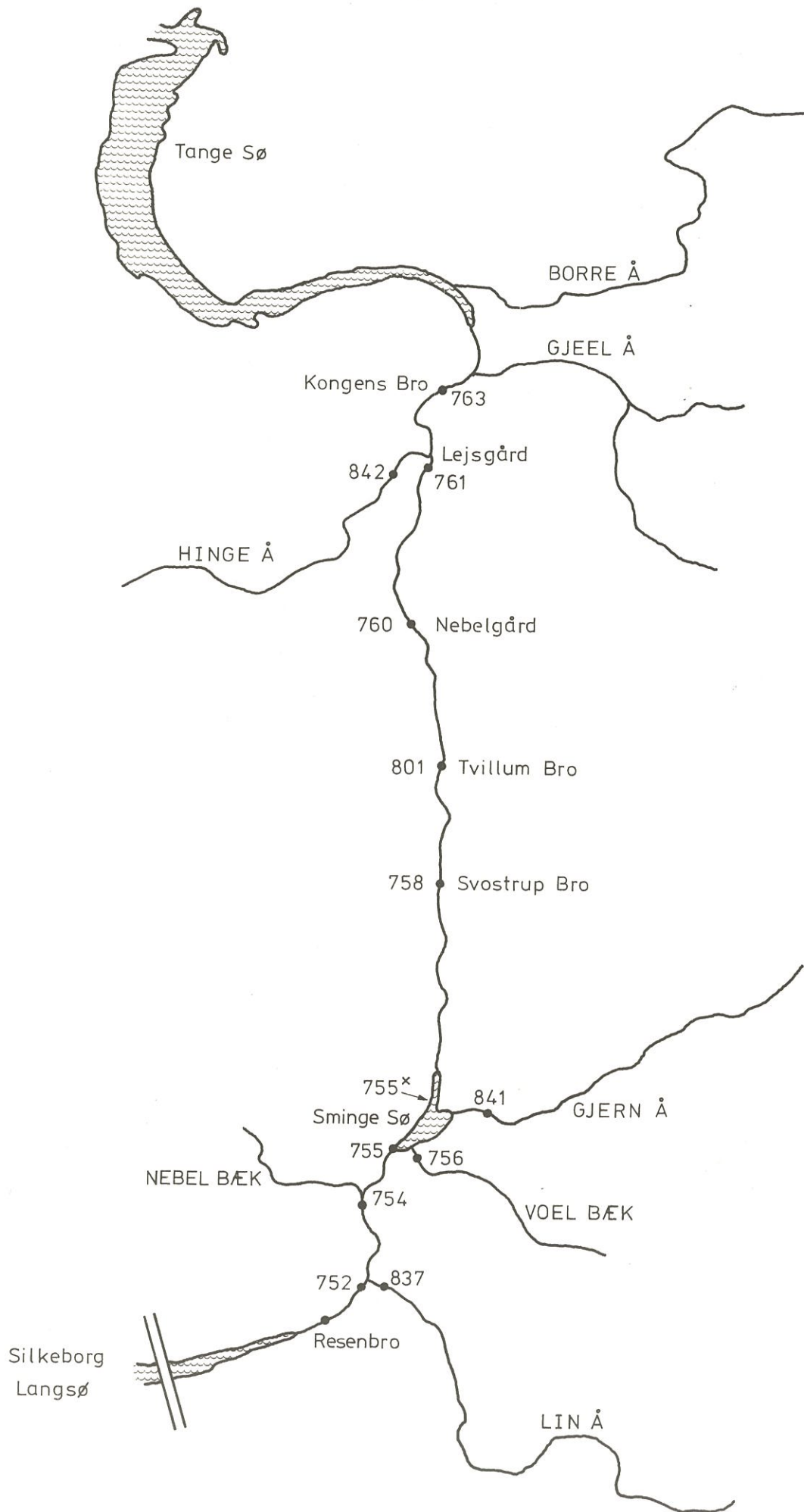
##### 4.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT

Strækningen fra Resebro til Kongensbro er ca. 15 km lang, inklusive Sminge sø.

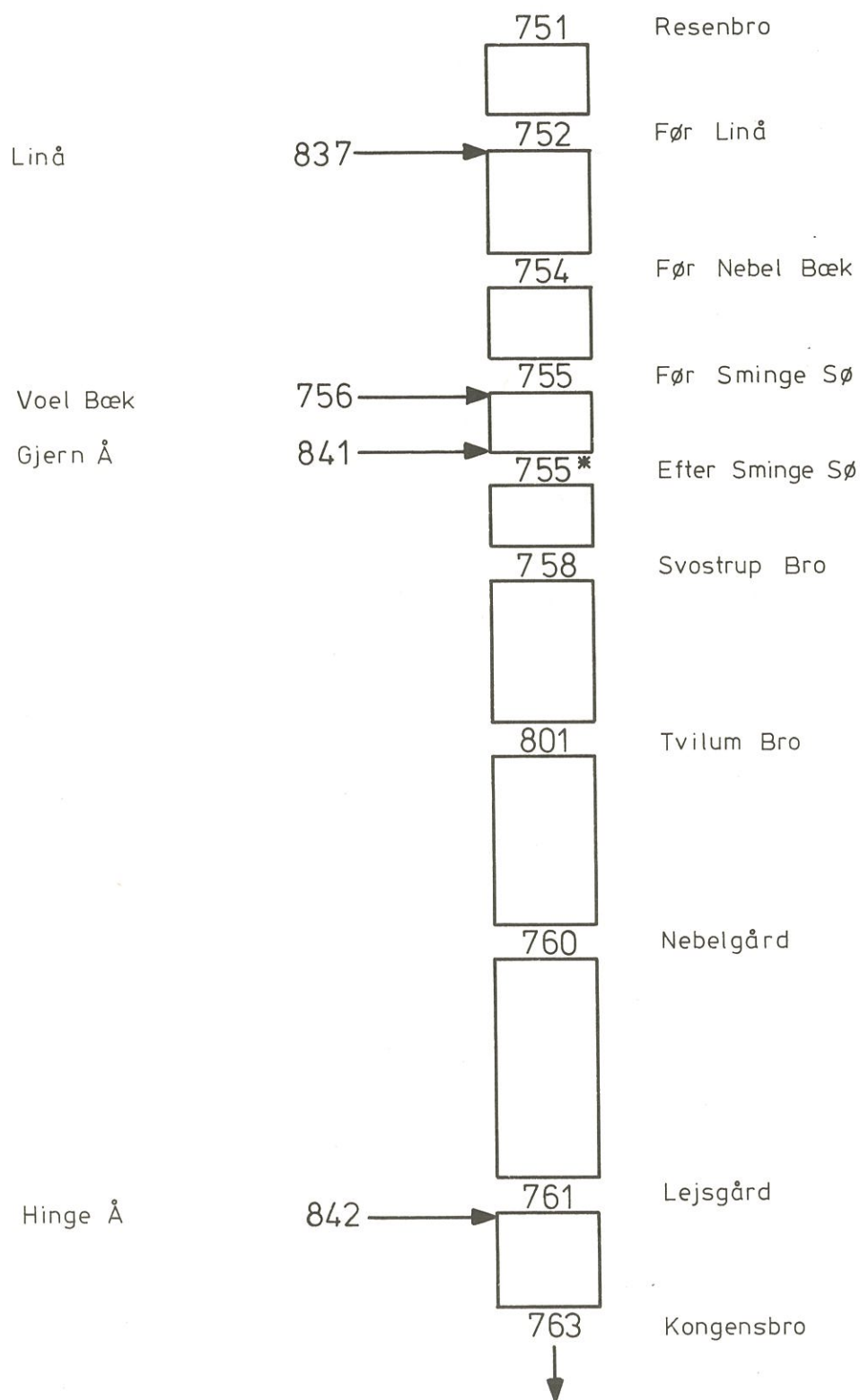
Der er indlagt 9 målestationer på selve Gudenåen på den pågældende strækning og på 4 sidetilløb, nemlig Linå, Voel bæk, Gjern å og Hinge å. Figur 4.1 er et oversigtskort med målestationerne indlagt.

De største spildevandstilførsler på strækningen stammer fra Silkeborg rensningsanlæg (Søholt) og Silkeborg Papirfabrik, som begge tilgår Silkeborg Langsø. Af mindre rensningsanlæg, der udleder direkte i åen, kan nævnes Resebro og Trust. Indirekte udledes spildevand fra Hammel rensningsanlæg via Søbygaard sø og Gjern å, fra Gjern by og Post Fjerkræ via Gjern å, fra Voel rensningsanlæg via Voel bæk og fra Linå rensningsanlæg via Linå.

Figur 4.2 er en skematisk fremstilling af åstrækningen med sektionsopdeling, stationering og sidetilløb.



Figur 4.1 Stationsoversigt for Gudenaen fra Silkeborg Langsø til Tange sø.



Figur 4.2 Stationering og sektionsinddeling af Gudenaå-strækningen fra Resenbro til Kongensbro.

## 4.2 HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD

Det danske Hedeselskab har siden 1908 målt vandføringer ved Tvilumbro. Oplandet til målestationen ved Tvilumbro er  $1289 \text{ km}^2$ , hvoraf søoverflader udgør 4 %. Middelvandføring i perioden 1908/09 - 1959/60 var  $15,9 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Middelvandføringen for august måned i den ovennævnte periode var  $11,0 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Hermed kan sammenlignes den vandføring, som Hedeselskabet har målt i det intensive måledøgn i 1974, på  $12,0 \text{ m}^3$ .

Isotopcentralen har i måleperioden 13. - 14.8.1974 målt transporttider og dispersionskoefficienter på strækningen. Sporstof blev doseret ved Resenbro og transporttidsfordelingskurver blev registreret ved indløb til Sminge sø, ved udløb af Sminge sø, ved Tvilum bro og ved Kongensbro.

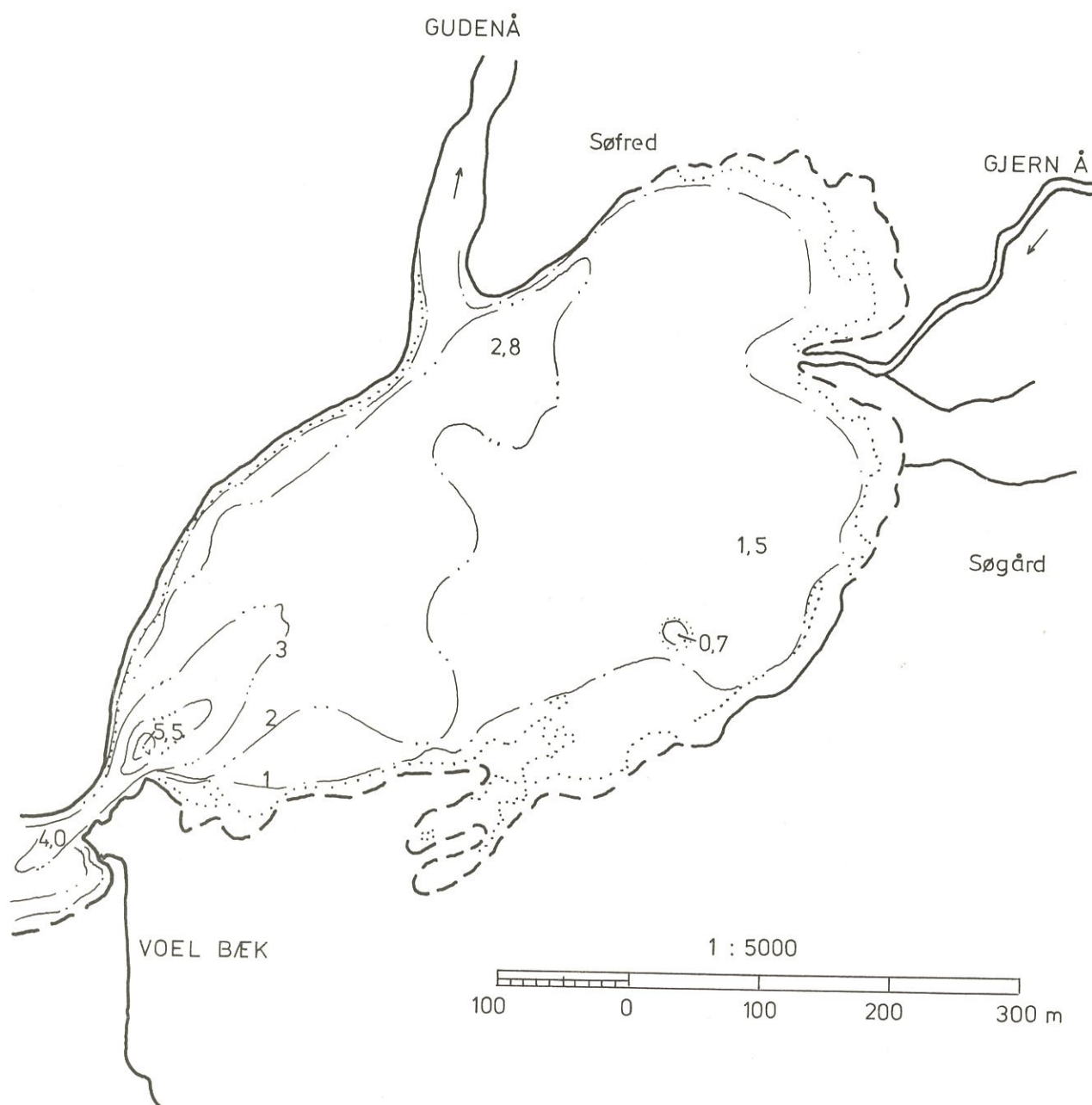
Længdeprofilmålingerne er foretaget af Århus amtskommunes amtsvandvæsen, som også har foretaget opmåling af tværsnitsprofiler.

Vandføringsmålinger i det intensive måledøgn er kun gennemført ved Resenbro, Tvilumbro og Kongensbro samt på de 4 væsentlige sidetilløb. Vandføring ved Resenbro blev bestemt til  $11,2 \text{ m}^3/\text{sek}$ ., ved Tvilumbro  $12,0 \text{ m}^3/\text{sek}$ . og ved Kongensbro  $13,2 \text{ m}^3/\text{sek}$ . altså en mindre stigning gennem åen. På grundlag af de målte vandføringer er de i tabel 4.1 anførte værdier beregnet ved interpolation. Den samlede transporttid fra Resenbro til Kongensbro er 12 timer og 25 min. Gennemstrømningen af Sminge sø varer 3 timer og 40 min. Middelsestrømhastigheden gennem Sminge sø er  $6,6 \text{ cm}/\text{sek}$ . og på resten af strækningen er

GUDENAEN, STRÆKNING RESENBRO-KONGENSBRØ STATIONS BETEGNELSE		Sta- tions- nr.	Stræk- nings- længde m	Energi- gradient m/m $\cdot 10^4$	Middel- dybde m	Middel- bredde m	Middel- vandfø- ring $m^3/\text{sek.}$	Middel- strøm- hast. m/sek.	Manning tal $m^{1/3}/\text{sek}$	Transport- tid gen- nem sek- tionen T min.	Transport- tid fra start T min.	Dispersions- koefficient $m^2/\text{sek.}$
Resenbro		751	1030	2,91	1,04	29,0	11,222	0,374	22,4	0.46	0	42,0
Før Linå		752	1670	1,84	1,18	30,0	(11,222)	0,322	22,4	1.26	0.46	42,0
Før Nebel bæk		754	1050	1,84	1,10	33,5	(11,375)	0,310	22,4	0.56	2.12	42,0
Før Sminge sø		755	880	0,568	2,73	65,0	(11,405)	0,064	4,6	3.48	3.08	42,0
Efter Sminge sø		755*	900	1,11	1,12	30,5	12,000	0,363	33,6	0.41	6.56	35,0
Svostrup bro		758	2060	3,64	0,94	22,0	(12,000)	0,583	33,6	0.59	7.37	35,0
Tvilum bro		801	2560	4,10	0,99	21,0	12,000	0,580	30,5	1.14	8.36	35,0
Nebel gårde		760	2340	6,27	0,75	27,0	(12,124)	0,609	30,5	1.31	9.50	35,0
Lejsgård		761	1410	0,769	1,31	33,0	(12,286)	0,305	30,5	1.17	11.21	35,0
Kongensbro		763					13,203				12.38	

Tabel 4.1 Hydrauliske og geometriske data for Gudenåen på strækningen Resenbro til Kongensbro.





Figur 4.3 Oversigt over Gudenaåen ved Sminge sø med tilløbene Voel bæk og Gjern å. Opmålt og udtegnet af landinspektør Torkil Høy 1974.

transporthastigheden 45 cm/sek. Den største transporthastighed, 60 cm/sek., forekommer på strækningen fra Svostrup bro til Lejsgård, hvor bundhældningen er 2 - 4 gange større end på den øvrige del af åen, se tabel 4.1.

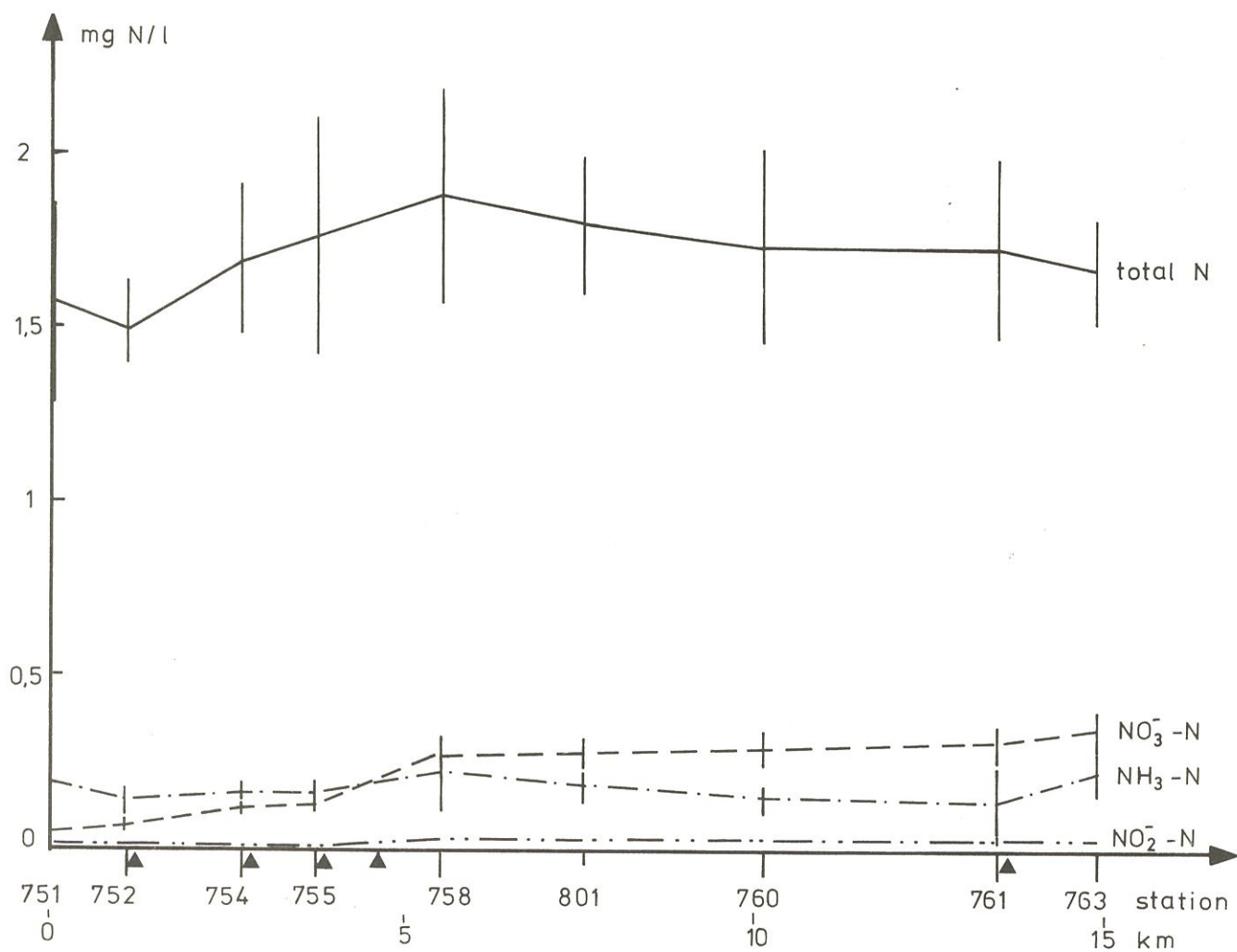
Sminge sø betragtes i modelsammenhæng som en vandløbsstrækning med bredde 65 m. Figur 4.3 er et oversigtskort over Sminge sø med dybdeforhold skitseret. Sporstofmålingen bekræftede en formodning, om at vandet i det væsentlige passerer igennem den vestlige trediedel af søen.

### 4.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD

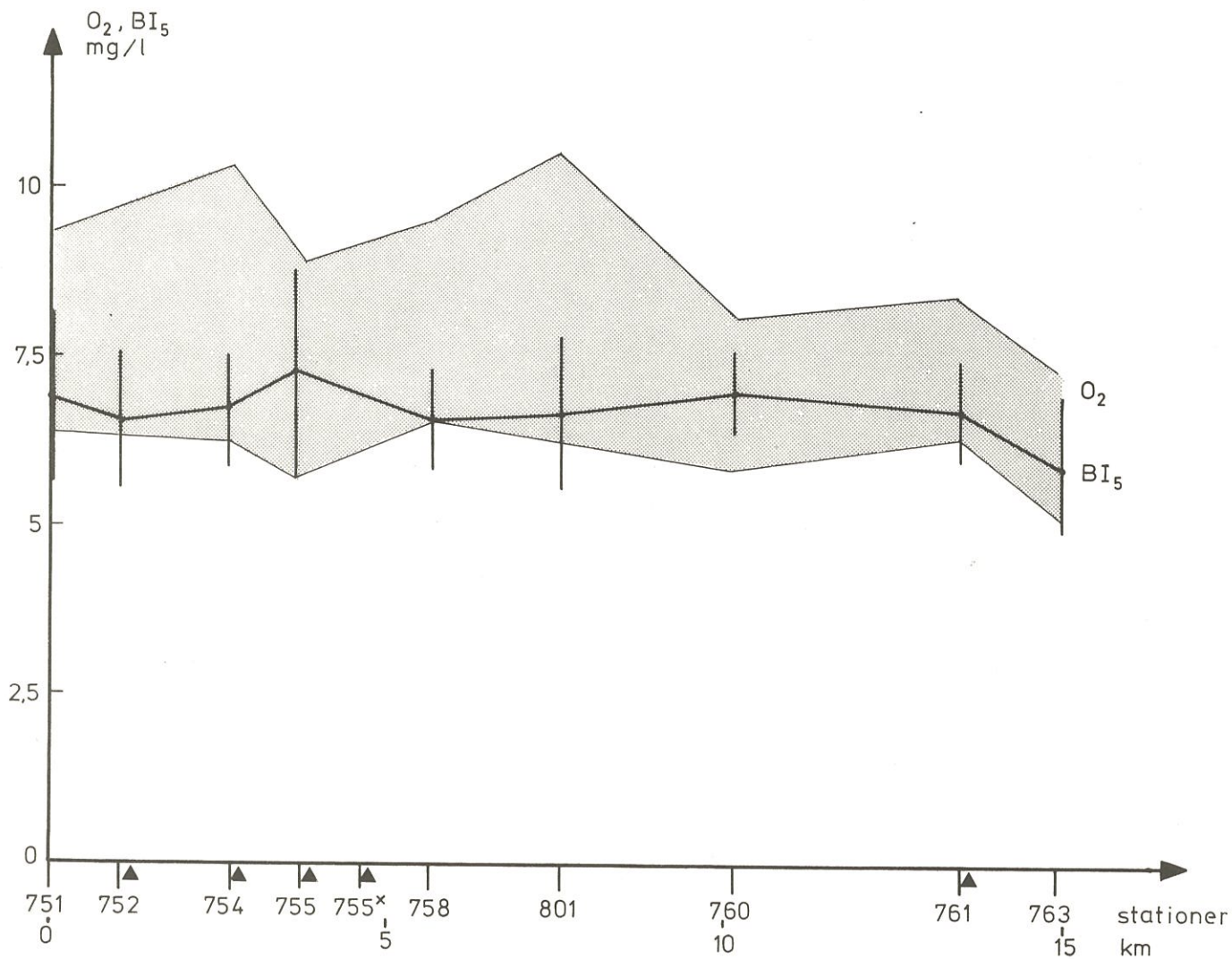
I det intensive måledøgn blev der målt med to timers intervaller på blandt andet kvælstoffraktioner, organisk stof, opløst ilt og temperatur. På figur 4.4 og 4.5 er optegnet koncentrationernes variation ned ad åen.

Totalkvælstofkoncentrationen varierer ikke meget.  $\text{NH}_3\text{-N}$  og  $\text{NO}_2\text{-N}$  koncentrationerne er også næsten konstante ned ad systemet. Nitratkoncentrationen stiger, men kommer ikke over 0,4 mg/l.

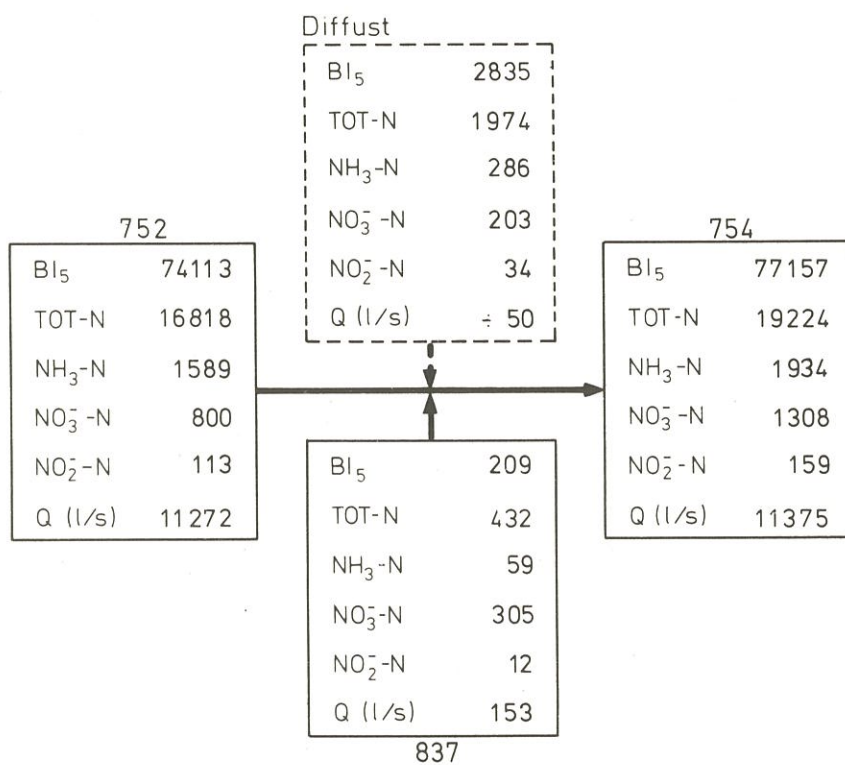
Det ses, at under 1/3 af den totale kvælstofmængde i vandet findes som opløst uorganisk kvælstof. De resterende ca. 2/3 af total-N findes som partikulært og organisk N.  $\text{BI}_5$ -koncentrationen er næsten konstant, idet middelværdierne svinger i intervallet 6 - 7 mg/l.



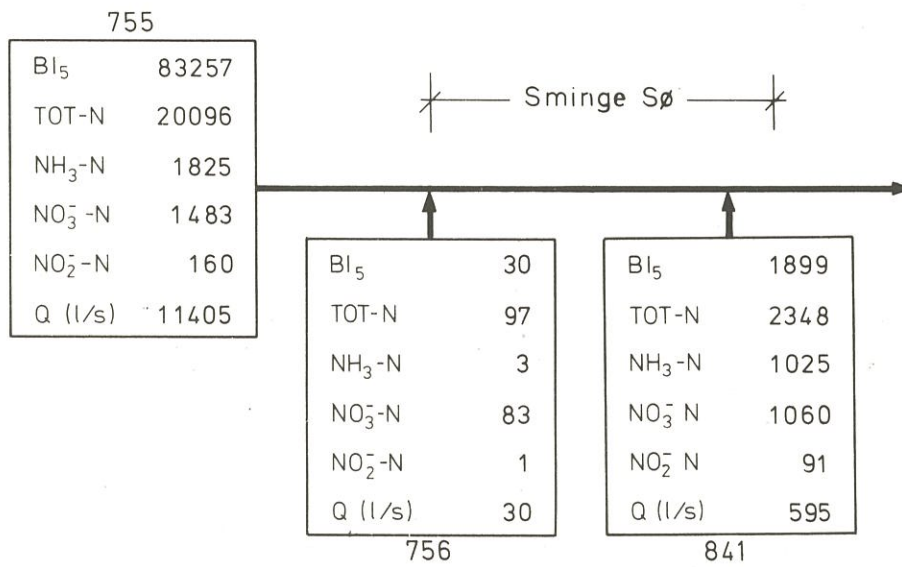
Figur 4.4 Kvalstofkoncentrationer i Gudenåen på strækningen Resenbro - Kongensbro. De lodrette linier viser standardafvigelseerne på gennemsnitsværdierne.



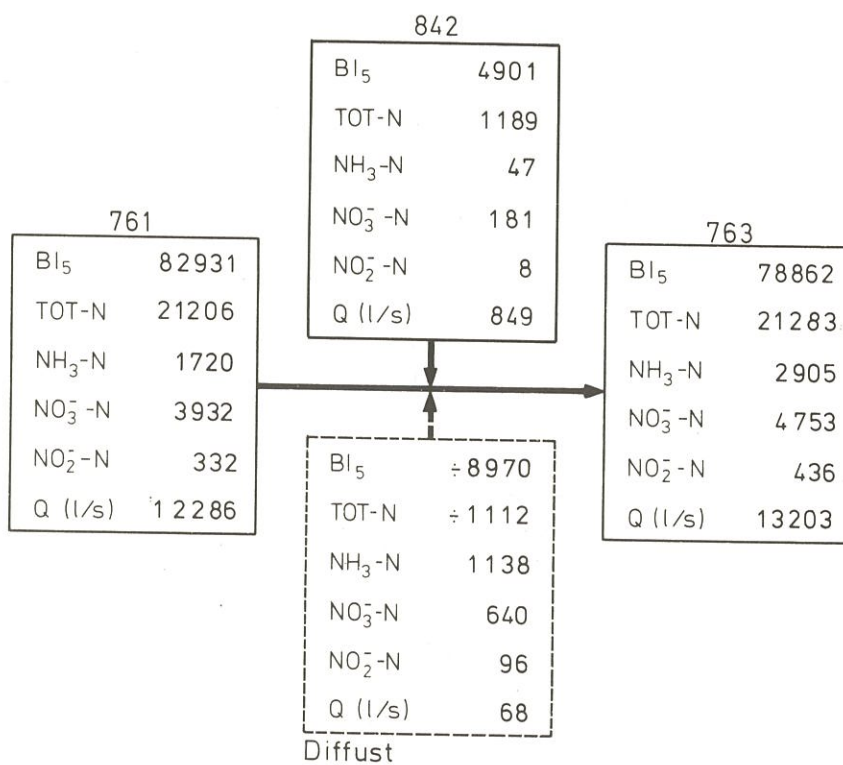
Figur 4.5  $BI_5$ -koncentrationer på Gudenåen fra Resenbro til Kongensbro, vist som middelværdier og standardafvigelse på middelværdierne. Iltsvingningernes variation, vist som maksimum- og minimumværdier.



Figur 4.6 Massebalance for BI<sub>5</sub> og kvælstof på Gudenåen (752) ved Linå (837) til Gudenåen (754) ved Nebel bæk. Enheder er mg/sek.



Figur 4.7 Massebalancebetragtninger på Gudenå-  
en (755), Voel bæk (756) og Gjern å  
(841) ved indløbet i Sminge sø, den  
13. - 14. august 1974.  
Enheder i mg/sek.



Figur 4.8 Massebalance for BI<sub>5</sub> og kvælstof på Gudenåen (761) ved Lejsyård, Hinge å (842) og Gudenåen ved Kongensbro (763). Enheder i mg/sek.

Vurdering af betydningen af sidetilløb og spildevandsbelastningen foretages ved hjælp af figurerne 4.6, 4.7 og 4.8, der er massebalancer for de dele af strækningen, der modtager større enkeltbelastninger og tilløb.

Iltsvingningerne på strækningen er moderate; største udsving er målt ved Tvillum bro, hvor iltkoncentrationen varierer fra ca. 10,5 mg/l til ca. 6,3 mg/l. Den laveste iltkoncentration er målt ved Kongensbro, 5,2 mg/l.

En vurdering af betydningen af Voel bæk, Linå, Gjern å og Hinge å ved hjælp af figurerne 4.6, 4.7 og 4.8 viser, at  $BI_5$ -belastningen fra de 4 åer til Gudenåen er af forsvindende betydning med den nuværende befolkningstæthed og rensningsgrad. Størst påvirkning har Hinge å, der øger  $BI_5$  transporten i Gudenåen med ca. 6 %. Voel bæk og Linå bidrager med henholdsvis 0,03 % og 0,3 % forøgelse af  $BI_5$ -transporten.

Kvælstofbelastningen af Gudenåen fra de 4 tilløb betyder ikke meget for de procentvise forøgelser efter tilløbene. For total-N udgør Linå 3 %, Voel bæk 0,5 %, Gjern å 12 % og Hinge å 6 % belastningsforøgelse.

En sammenligning af enkeltbidrag til belastningen af Gudenåen ved Resebro fremgår af tabel 4.2. Tabellens første halvdel er opgørelser på grundlag af måleresultater ved Resebro i det intensive måledøgn og tal fra Spildevandsbelastningsrapporten /11/ og Papirfabrikrapporten /10/. Vandføringen



	Intensiv måleperiode										Ved opstemning ved Silkeborg Papirfabrik										
	BI <sub>5</sub>					Total-N					Q			BI <sub>5</sub>			Total-N			Q	
	mg/l	mg/s	%	mg/l	%	mg/l	mg/s	%	mg/l	%	mg/l	mg/s	%	mg/l	mg/s	%	mg/l	mg/s	%	l/s	%
Funder å	4,44	48781	62	1,08	67	1270	11857	11	1270	11	4,44	14519	33	1,08	3532	38	1270	36	1270	36	
Silkeborg Langsø midterste bassin																					
Brassø						9709		87									2000	57			
Søholt rensningsanlæg	169	26331	34	35,9	31	156	5440	1	156	1	169	26331	60	35,0	5440	59	156	5	156	5	
Silkeborg Papirfabrik	39	3241	4	1,5	1	83	125	1	83	1	39	3241	7	1,5	125	1	83	2	83	2	
Resenbro rensningsanlæg	26	111	0	48,4	1	4	208	0	4	0	26	111	0	48,4	208	2	4	0	4	0	
Resenbro totalt	7,0	78464	100	1,57	100	11222	17630	100	11222	100	12,6	44202	100	2,64	9305	100	3513	100	3513	100	

Tabel 4.2 Opgørelse over belastningen af Gudenåen ved Resenbro. Belastningstal for Søholt og Resenbro rensningsanlæg er taget fra Spildevandsbelastningsrapporten /10/ og belastningstal for Silkeborg Papirfabrik fra Papirfabrikrapporten /11/. Der er ikke taget hensyn til en eventuel reduktion af stof ved sedimentation og nedbrydning i Silkeborg Langsø's østre bassin.

gennem det midterste bassin af Silkeborg Langsø er ekstrapoleret fra målingerne på Funder å. Vandføringen gennem Brassø er angivet af Hedeselskabet / 6 /.

Transporterne på 48781 mg  $BI_5$ /sek. og 11857 mg total-N/sek. er beregnet som differensen mellem den målte værdi ved Resebro minus spildevands-tilførslerne uden reduktion hidrørende fra eventuel omsætning og sedimentation. Estimering af belastningen af Gudenåen ved Resebro i den situation, hvor Brassø's afløb stemmes op (på nær ca.  $2 \text{ m}^3/\text{sek.}$ ) er sket under forudsætning af, at rensningsanlæggene og papirfabrikken belaster uændret, og at koncentrationerne af  $BI_5$  og total-kvælstof i tilløbene fra Brassø og Ørnsø er uændrede. De vigtigste resultater, som kan fremdrages af tabellen, men som må betragtes som overslagsberegninger, er, at

- 1) i opstemningssituationen er  $BI_5$ -koncentrationen ved Resebro 12,6 mg/l mod det målte 7,0 mg/l, og total kvælstofkoncentrationen er 2,64 mg/l mod den målte 1,57 mg/l,
- 2) vandføringen ved Resebro falder ved opstemningen fra 11,2 til  $3,5 \text{ m}^3/\text{sek.}$

De forhold, der er nævnt under pkt. 1 og 2 vil dog først indtræde fuldt ud efter en vis tid, når magasineffekten fra Silkeborg Langsø er ophørt.

- 3) Søholt rensningsanlæg bidrager med fra 30 til 60 % af belastningen med  $BI_5$  og total-kvælstof,
- 4) Silkeborg Papirfabrik bidrager med fra 4 til 7 % af  $BI_5$ - og med ca. 1 % af total-N-belastningen.

#### 4.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE

Efter principper, som er skitseret i afsnit 2, er vandløbsstrækningernes parametre bestemt. Sektionsopdelingen fremgår af figur 4.2, og de ved kalibreringen af modellen opnåede parameterverdier er anført i tabel 4.3.

Kommentarer til kalibreringen af modellen.

Geniltningkonstanten varierer en del på strækningen. Mindst er den gennem Sminge sø, hvor den er så lav som  $0,4 \text{ døgn}^{-1}$ , og størst er den på sektionen Nebelgård - Lejsgård, hvor den har middelværdien  $3,4 \text{ døgn}^{-1}$ .

Nedbrydningskonstanten for  $BI_5$  falder på den øvre del af strækningen indtil Svostrup bro for derefter at stige igen indtil Kongensbro.

På strækningen lige før Sminge sø og gennem søen er nedbrydningskonstanten lav,  $0,25 \text{ døgn}^{-1}$ .

Både den totale respiration og fotosyntesen varierer langs strækningen, uden at nogen systematik er klar.

GUDENAEN, STRÆKNING RESENBRO-KONGENSBRØ	Stations- nummer	Middel- genilt- nings- konstant ved 20°C -1 døgn	Nedbryd- nings- konstant for BI <sub>5</sub> ved 20°C -1 døgn	Total respira- tion g ilt/m <sup>2</sup> /døgn	Maksimal fotosyn- tese g ilt/m <sup>2</sup> /time	Total fotosyn- tese g ilt/m <sup>2</sup> /døgn	Tilled- ning af organisk stof kg BI <sub>5</sub> /m /døgn	Sedimen- tations- konstant ved L·30 -1 døgn	Afstand fra start m
Resenbro	751	1,76	1,0	-	-	0		0	
Før Linå	752	1,28	0,5	14,11	0,733	7,06	0,15	1030	
Før Nebel bæk	754	1,34	0,25	26,40	1,372	13,20	0	2700	
Før Sminge sø	755	0,40	0,25	13,66	1,419	13,66	0	3750	
Efter Sminge sø	755*	0,97	0,25	5,62	2,335	22,47	0	1,0	4630
Svostrup bro	758	2,18	1,0	14,10	0,488	4,70	0		5530
Tvilum bro	801	2,28	1,0	9,93	0,516	4,96	0,5		7590
Nebelgårde	760	3,37	2,0	11,29	0,391	3,76	0		10150
Lejsgård	761	0,77	2,0	3,93	0,681	6,55	0		13490
Kongensbro	763								14900

Tabel 4.3 Parametre for Gudenåstrækningen fra Resenbro til Kongensbro.

Der sedimenteres, som det skulle forventes, en del organisk stof gennem Sminge sø. På sektionen Tvilum bro - Nebelgårde sker der en tilførsel af organisk stof på 0,5 kg/m/døgn.

#### 4.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIV- UNDERSØGELSEN AF GUDENÅSTRÆKNINGEN RE- SENBRO - KONGENSBRO

Vurdering af den generelle anvendelighed af de resultater, der er opnået, må især ske under hensyntagen til den aktuelle vandføringssituation i relation til minimumsvandføringen og til den aktuelle vandtemperatur i relation til de maksimale forekommende temperaturer.

Ved Tvilum bro er målt en vandføring den 13. - 14.8. 1974 på 12,0 m<sup>3</sup>/sek. En minimumsvandføring kan ifølge Hedeselskabet vanskeligt angives på grund af papirfabrikkernes opstemning og regulering ved Brassø. Et skøn over medianminimumsvandføringen ved Tvilum, til dels baseret på Åstedbro-vandføringen, vil imidlertid ifølge Hedeselskabet være 7,0 - 7,5 m<sup>3</sup>/sek.

Temperaturen var i måledøgnet maksimalt 17,7°C og minimalt 12°C i Gudenåen. Nogle af sidetilløbene varierede mere.

Det aktuelle temperaturinterval 12°C - 18°C er ikke langt fra den situation med de højeste temperaturer omkring 20°C. Den ekstrapolation til f.eks. 20°C, som modellen kan foretage, vil derfor være fagligt forsvarlig. Spildevandsbelastningen på strækning-

gen betyder åbenbart kun lidt for åens iltforhold. Den ret høje  $BI_5$ -koncentration, som findes i åen, forekommer allerede ved Resenbro lige efter udløbet af Silkeborg langsø og må skyldes det organiske stof, der opbygges i søen (alger), samt spildevandsudledning fra Søholt rensningsanlæg.

Iltkoncentrationen viste en døgnsvingning på maksimalt 4 mg/l, omkring en middelværdi på ca. 7,5 mg/l. I den undersøgte periode var der ingen iltsvindproblemer. Der er imidlertid to specielle forhold, som skal tages i betragtning ved vurdering af iltforholdene på strækningen:

- 1) I visse perioder stemmes Gudenåen op før indløbet til Silkeborg langsø i op til 5 dage. Uden om stemmeværket løber da ca.  $2 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Vandføringen ved Resenbro er da disse  $2 \text{ m}^3/\text{sek}$ . plus ca.  $1 \text{ m}^3$  fra Funder å.

Dette vil betyde en væsentlig formindskelse af strømhastigheden i Gudenåen og dermed en dårligere geniltning, en større opholdstid, en mindre fortynding af det udledte spildevand og dermed større iltsvind.

En speciel undersøgelse vil være nødvendig for at belyse denne situation yderligere.

- 2) Ved Forundersøgelsen 1972 /14/ blev der fundet væsentligt lavere iltkoncentrationer i denne del af Gudenåsystemet end ved intensivundersøgelsen 1974. Også på strækningen nord for Tange sø blev der målt lidt lavere værdier i Forunder-

søgelsen end i intensivundersøgelsen. Vandføringen ved Tvillum bro var ved forundersøgelsen  $10,5 \text{ m}^3/\text{sek.}$ , d.v.s. den samme størrelsesorden som i intensivperioden.

Forundersøgelsen faldt sammen med en grødeskæring, hvilket kan forklare, at iltindholdet var ekstremt lavt. Ved grødeskæring vil en del af bundsedimenterne bringes i suspension og give anledning til forøget iltforbrug.

I forbindelse med gennemførelse af modelbeskrivelser af vandløbsstrækninger må det som en generel bemærkning anføres, at der ved Gudenåundersøgelsen er gennemført vandløbsundersøgelser og tilhørende beskrivelser ved minimumssituationer og ved høje temperaturer. Ekstreme situationer, f.eks. ved grødeskæring, regnvejrssituationer (sommer) er ikke undersøgt.

## 5. GUDENAEN - STRÆKNING TANGE SØ - LANGÅ

Gudenå på strækningen fra Tange sø til Langå blev intensivt undersøgt i døgnet 27. - 28. august 1974.

### 5.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONS- OVERSIGT

Gudenåen fra Tange sø til Langå er 21,5 km lang. Den første målestation var anbragt lige efter Tangeværkets udløb og den sidste ved amtmand Hoppes bro ved Langå.

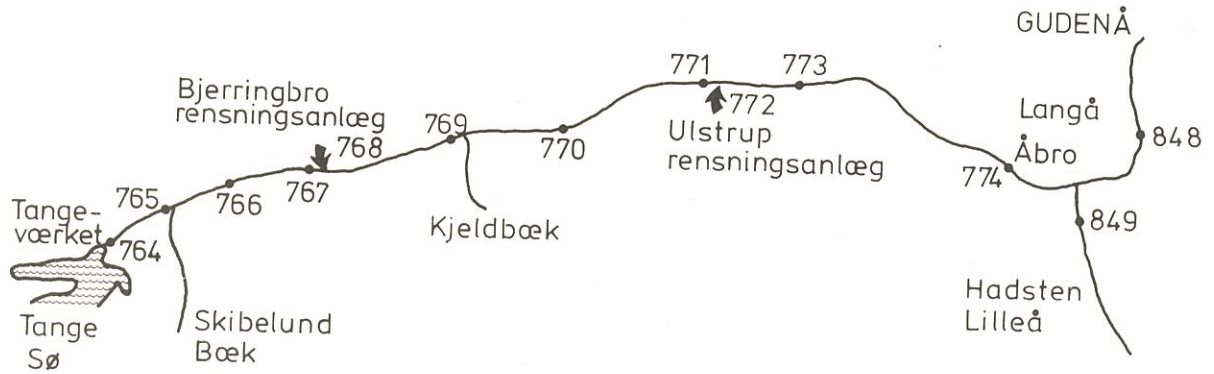
I alt er der indlagt 10 stationer på denne strækning af Gudenåen og 3 stationer på tilløb til Gudenåen, nemlig Bjerringbro rensningsanlæg, Ulstrup rensningsanlæg og Hadsten lilleå ved Løjstrup. Figur 5.1 viser stationsplaceringen. Der blev kun målt intensivt på strækningen Tange sø - Åbro, og modelopstillingen er derfor kun foretaget for denne strækning, som er 19 km lang og vist skematisk på figur 5.2.

### 5.2 HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD

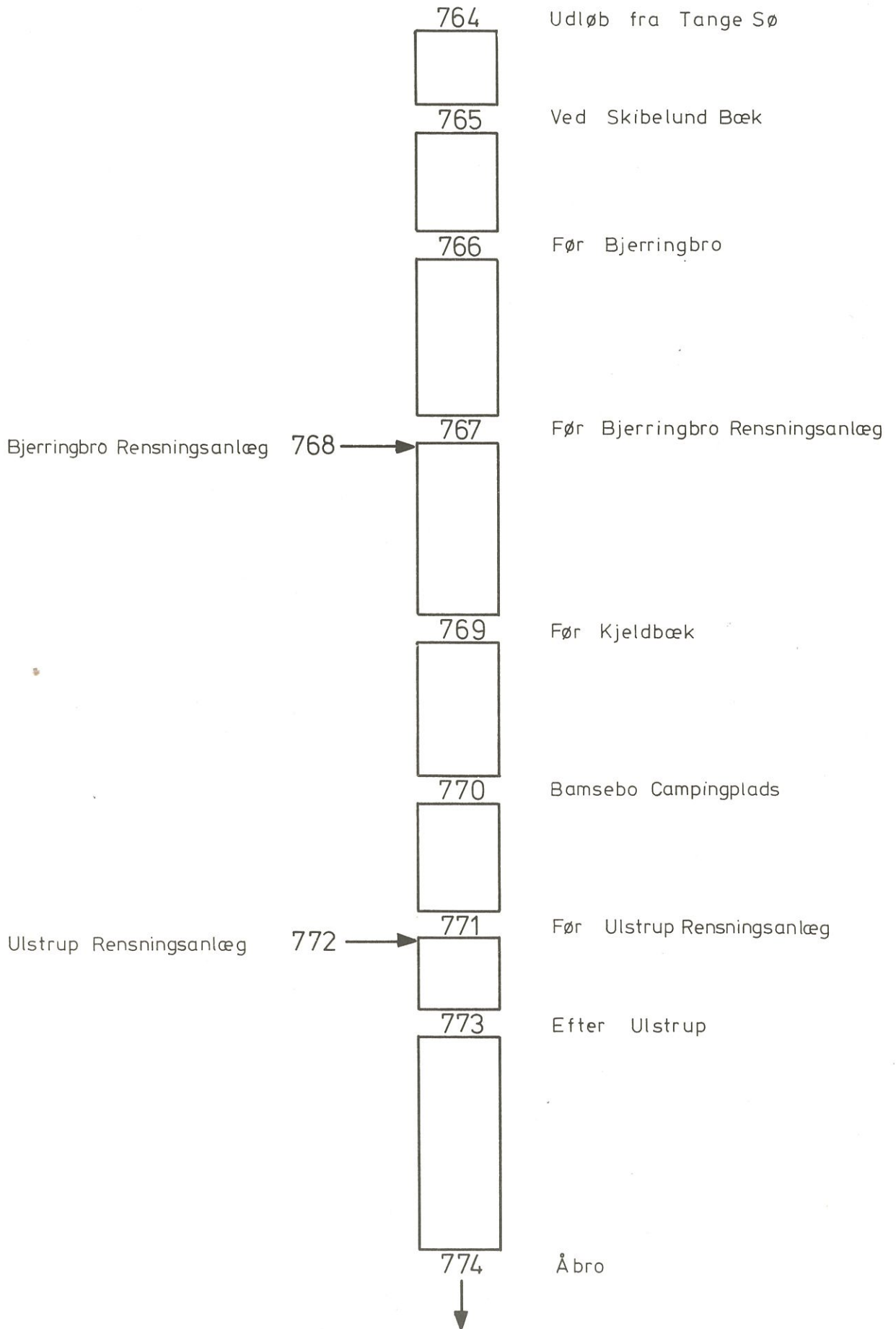
Sporstofmålinger med radioaktivt sporstof er foretaget af Isotopcentralen i det intensive måledøgn. Sporstoffet blev doseret ved Tangeværket, og transporttidsfordelingskurver blev målt ved Rønge, station 770 og ved Åbro, station 774.

Hydrauliske og geometriske data er anført i tabel 5.1.





Figur 5.1 Oversigtskort med stationsplacering på Gudenaåstrækningen Tange sø - Langå.



Figur 5.2 Sektionsinddeling og stationering af Gudenastrækningen Tange sø - Åbro.

GUDENAEN, STRÆKNING TANGEVÆRKET - ÅBRO		Stations- nummer	Stræk- nings- længde	Energi- gradi- ent	Middel- dybde	Middel- bredde	Middel- vand- føring	Middel- strøm- hastig- hed	Manning tal	Trans- port- tid gen- nem sek- tionen	Trans- porttid fra start	Disper- sions- koeffi- cient
STATIONS BETEGNELSE		m	m/m · 105	m	m	m <sup>3</sup> /sek	m/sek	m <sup>1/3</sup> /sek	T · min	T · min	m <sup>2</sup> /sek	
Tangeværket	764	1370	7,98	1,70	16,5	11000	0,394	35,0	0,58	0	15,3	
Ved Skibelund bæk	765	1860	7,98	1,65	17,5	(11097)	0,388	35,0	1,20	0,58	15,3	
Før Bjerringbro	766	2900	7,98	1,44	21,8	(11228)	0,366	35,0	2,12	2,18	15,3	
Før Bjerringbro rens.anlæg	767	3200	20,1	0,99	25,3	(11432)	0,468	35,0	1,54	4,30	15,3	
Før Kjeldbæk	769	2470	20,1	1,01	24,8	(11789)	0,475	35,0	1,27	6,24	15,3	
Bamsebo camping- plads	770	1950	6,69	3,70	24,8	(11963)	0,132	8,0	4,07	7,51	2,2	
Før Ulstrup	771	1290	6,69	3,55	26,3	12100	0,130	8,0	2,45	11,58	2,2	
Efter Ulstrup	723	3940	6,69	3,48	27,0	(12108)	0,129	8,0	8,29	14,43	2,2	
Ved Åbro	724					(12108)				23,12	2,2	

Tabel 5.1 Geometriske og hydrauliske data for Gudenåen fra Tange sø til Åbro.

Vandføringen i Gudenå er kun målt ved Tangeværket, station 764, og ved Ulstrup, station 771. De øvrige vandføringer, som er anført i tabellen, er beregnet ved lineær interpolation. Vandføringen fra Ulstrup til Åbro er antaget konstant. Transporttiden fra Tangeværket til Åbro er målt til 23 timer og 12 minutter. Transporttiden fra Tangeværket til Rønge (770) er målt til 7 timer og 51 minutter. Dette betyder, at vandets strømhastighed er ca. 3 gange større på den første 12 km strækning (nemlig 0,42 m/sek), end på den sidste 7 km strækning, hvor den var 0,13 m/sek.

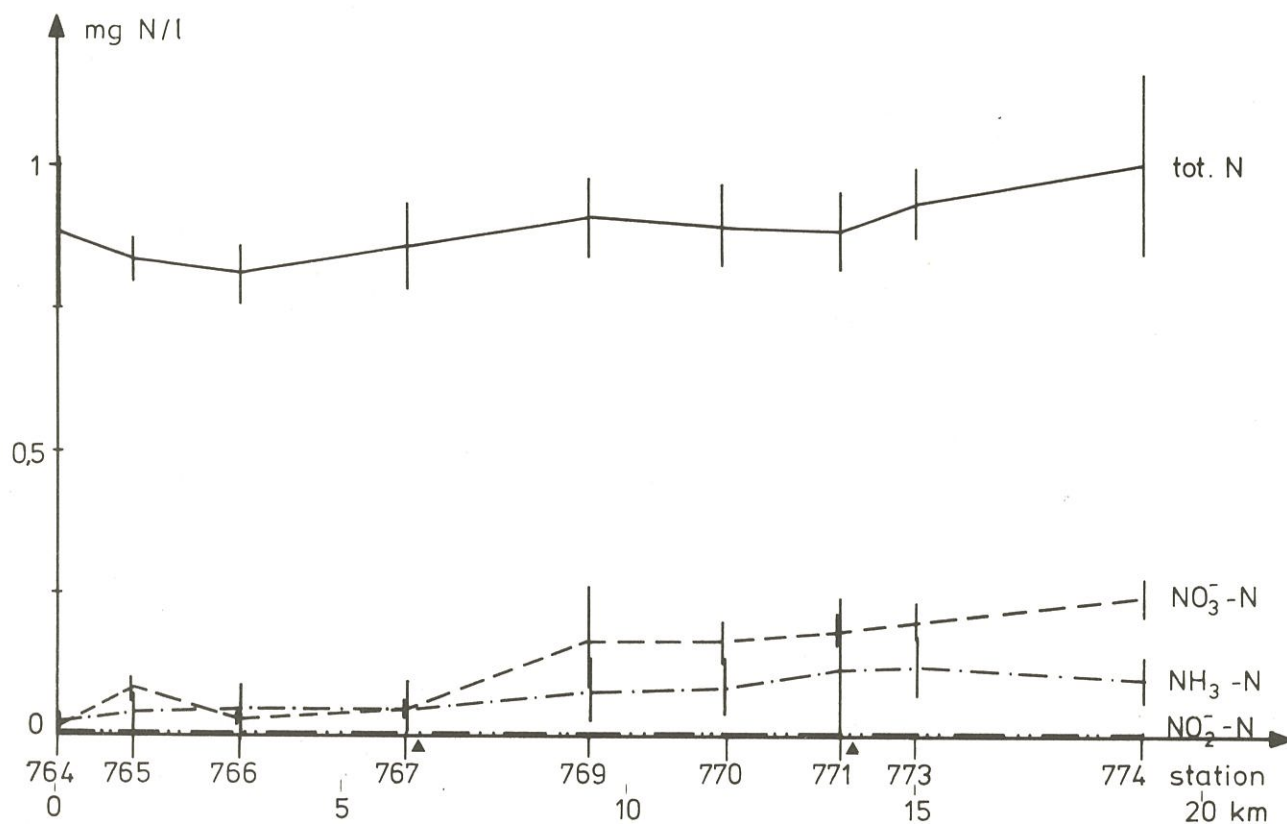
### 5.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD

Kvælstoffraktioner, organisk stof ( $BI_5$ ) og opløst ilt, som sammen med temperaturen blev målt hver anden time i intensiv-døgnet den 27. - 28. august 1974 i de 11 stationer, er vist på figur 5.3 og 5.4.

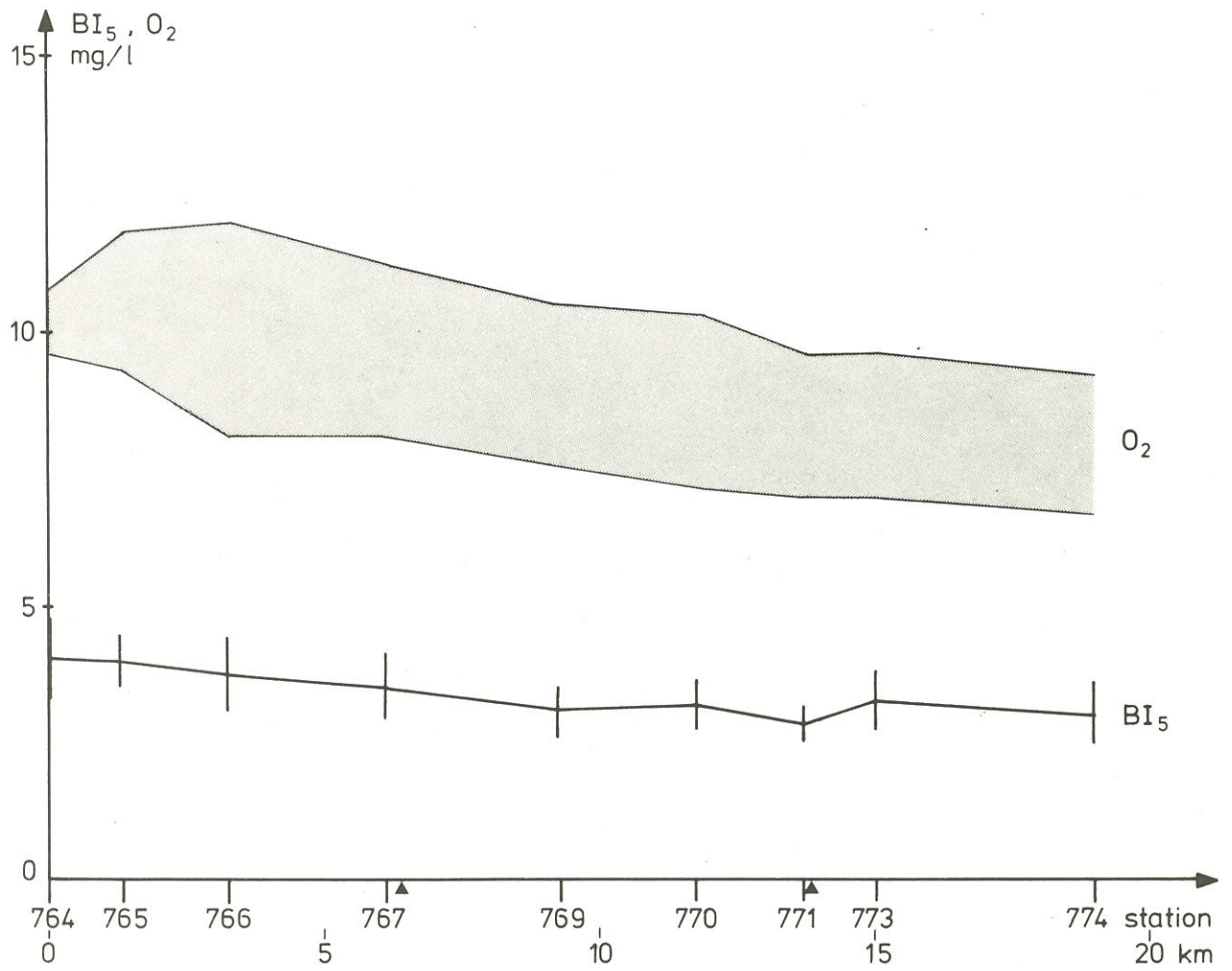
Koncentrationerne af uorganisk kvælstof er beskedne på hele strækningen, dog med en svag stigning af nitrat- og ammoniakkoncentrationerne.

Analogt med Gudenåstrækningen mellem Silkeborg og Tange sø udgør den partikulære og opløste organiske kvælstof en forholdsvis stor fraktion (50 - 80 % af den totale kvælstofmængde), hvilket kan skyldes, at afløbet fra Tange sø indeholder en del alger.

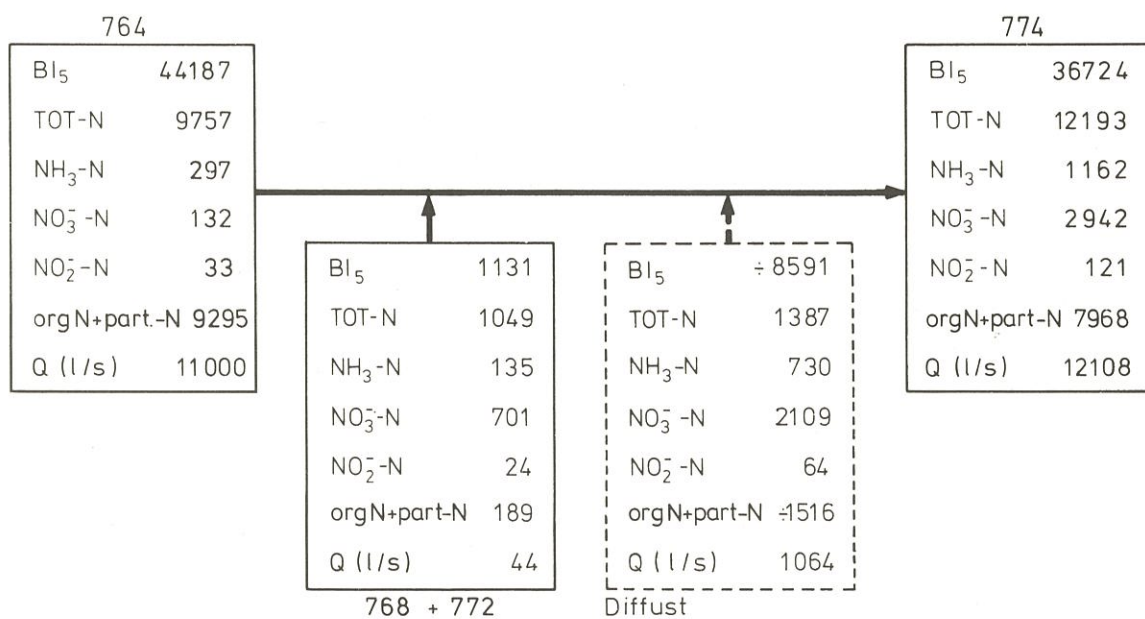
Af kurverne ses, at der sker en mineralisering ned ad systemet, idet den organiske kvælstoffraktion bliver mindre, se massebalancen figur 5.5.



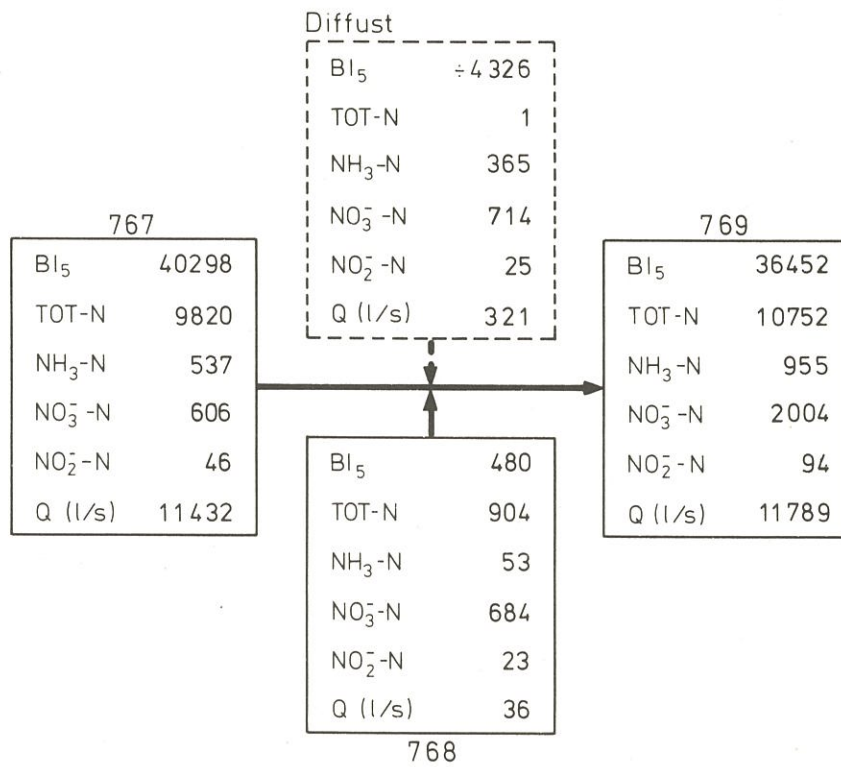
Figur 5.3 Kvælstoffraktioner målt på Gudenåstrækningen Tangeværket (764) - Åbro (774) den 27. - 28. august 1974. De lodrette stave viser standardafvigelse.



Figur 5.4 Iltsvingninger og  $BI_5$ -koncentrationer.  $BI_5$ -koncentrationernes middelværdier og standardafvigelser er vist.

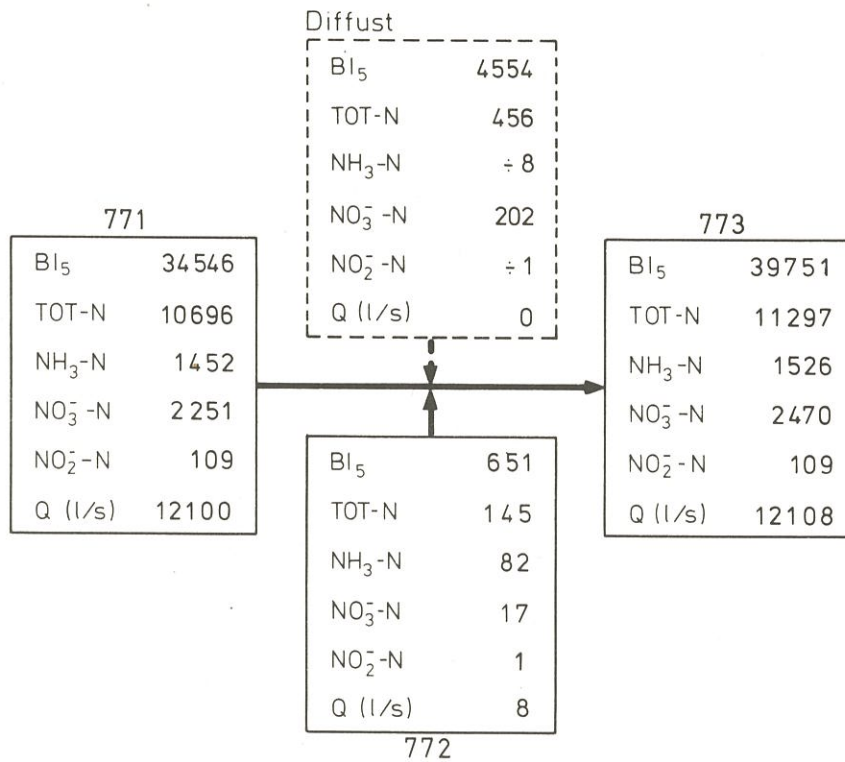


Figur 5.5 Totalopgørelse af BI<sub>5</sub>- og kvælstoftransport samt vandføring for Gudenaen fra Tangeværket til Åbro.  
Enheder: mg/sek.



Figur 5.6 Massebalance til vurdering af Bjerringbro rensningsanlægs (768) påvirkning af Gudenåen (767) og (769), med hensyn til BI<sub>5</sub> og kvælstof. Enheder er mg/sek.





Figur 5.7 Vurdering af Ulstrup rensningsanlægs (772) påvirkning af Gudenaen (771) og (773) med hensyn til BI<sub>5</sub> og kvælstof. Enheder er mg/sek.

BI<sub>5</sub>-koncentrationen falder ned gennem åstrækningen, svarende til en vis mineralisering. BI<sub>5</sub>-koncentrationen falder - til trods for spildevandstilførsel - også på strækningen fra (767), som ligger opstrøms Bjerringbro rensningsanlæg, til station (769), som ligger godt 3 km nedstrøms Bjerringbro. På figur 5.6 ses, at Bjerringbro rensningsanlæg forøger åens BI<sub>5</sub>-koncentration med ca. 1 %, mens totalkvælstof øges med ca. 9 %.

Figur 5.7 viser belastningsfordelingen af organisk stof (BI<sub>5</sub>) og kvælstof fra Ulstrup rensningsanlæg, i forhold til transporten i Gudenåen. Ulstrup forøger koncentrationen af BI<sub>5</sub> og kvælstof i Gudenåen med mindre end 2 %.

#### 5.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE

I afsnit 2 er principperne for modelopstillingen omtalt. Resultaterne af opstilling og kalibrering af modellen fremgår af tabel 5.2.

Kommentarer til de resultater, der er opført i tabel 5.2:

Genluftningskonstanten er på denne åstrækning meget lille sammenlignet med den øvrige del af Gudenåsystemet. Kun på strækningen fra Bjerringbro til Rønge (Bamsebro campingplads) er den større end 1 døgn. Bundhældningen og dybden på Gudenåen fra Tangeværket til Åbro er begge ekstreme i forhold til Gudenåsystemet opstrøms Tange sø. Bundhældningen er mindre, mens dybden er større end i systemet opstrøms Tange sø. De genluftningskonstanter, som er fundet

GUDENAEN, STRÆKNING TANGEVÆRKET - ÅBRO		Stations- nummer	Middel- geniltnings- konstant v. 20°C døgn <sup>-1</sup>	Nedbryd- ningskonstant for BI <sub>5</sub> v/ 20 °C døgn <sup>-1</sup>	Total respiration v. 20°C g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Maximal fotosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Total fotosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Afstand fra start m
STATIONS BETEGNELSE								
Tangeværket		764	0,70	0,50	17,03	1,417	12,77	0
Ved Skibelund bæk		765	0,72	0,50	16,45	1,369	12,34	1370
Før Bjerringbro		766	0,77	0,50	14,36	1,195	10,77	3230
Før Bjerringbro rens.anlæg		767	1,54	1,75	4,93	0,437	3,94	6130
Før Kjeldbæk		769	1,52	1,0	3,03	0,224	2,02	9330
Bamsebo camping- plads		770	0,38	0,75	29,57	2,871	25,88	11800
Før Ulstrup		771	0,39	0,25	14,20	1,182	10,65	13750
Efter Ulstrup		773	0,39	0,75	13,90	1,927	17,37	15040
Ved Åbro		774						18980

Tabel 5.2 Fysiske og kemiske parametre for Gudenaen fra Tange sø til Åbro.

fra Tange sø til Åbro er sammenlignelige med, hvad der måles på floder i udlandet.

For de øvrige parametre bemærkes ingen ekstreme værdier i forhold til systemet opstrøms Tange sø.

Den del af Gudenåstrækningen, som strækker sig fra Bjerringbro til Rønge, udviser for alle parametre en forskel fra de øvrige dele af strækningen Tange sø - Åbro. Dette må ses i sammenhæng med, at bundhældningen (faldet på energilinien) er 3 gange større på denne delstrækning (767 - 770), og at middeldybden 1,5 til 3,5 gange mindre end på strækningerne (764 - 767) og (770 - 724).

## 5.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIVUNDERSØGELSEN AF GUDENÅEN FRA TANGEVÆRKET TIL ÅBRO

Vurdering af undersøgelsesresultaterne i relation til vandløbets ekstremsituation, med hensyn til minimumsvandføring kan det kun lade sig gøre ud fra målinger foretaget af Hedeselskabet i 1974 og 1975 ved Ulstrup. Længere tidsserier af vandføringsmålinger findes ikke. Middelfaststrømning ved Ulstrup i 1974/1975 var 19400 l/sek. Mindste døgnmiddel er målt den 16. august 1975 til 8030 l/sek. I intensivdøgnet blev der registreret 12100 l/sek ved Ulstrup. Denne vandføringssituation er ikke langt fra medianminimumsvandføringen, hvorfor en ekstrapolation er mulig.

Temperaturen var i måledøgnet 16 - 18 °C, som er nær ved det maximalt forekommende i et vandløb af denne størrelse her i landet.

Iltkoncentrationerne i måledøgnet svinger i hver station af åen 2,5 - 4,0 mg/l, undtaget dog stationen lige efter Tangeværket, hvor åen er så meget påvirket af Tange sø, at stigningen bliver væsentligt mindre (ca. 1 mg/l).

Iltkoncentrationsforløbet ned ad åen viser et fald fra en middelkoncentration på 10 mg/l til en middelkoncentration på 7,9 mg/l. Faldet er jævnt og indikerer et iltsvind, idet BI<sub>5</sub>-kurven falder tilsvarende en middelkoncentration på 4,0 mg/l til en middelkoncentration på 3,0 mg/l.

Der er - teoretisk set - fra rensningsanlæggene i Bjerringbro og Ulstrup tilført organisk stof og kvælstof svarende til en middel-BI<sub>5</sub>-forøgelse på 0,2 mg/l og en middel-kvælstofforøgelse på 0,3 mg/l i Gudenåen.

6. MATTRUP Å,  
STRÆKNING VINGUM BRO - LILLE BRO

Matstrup å undersøgtes intensivt i døgnet 4. - 5. juli 1974.

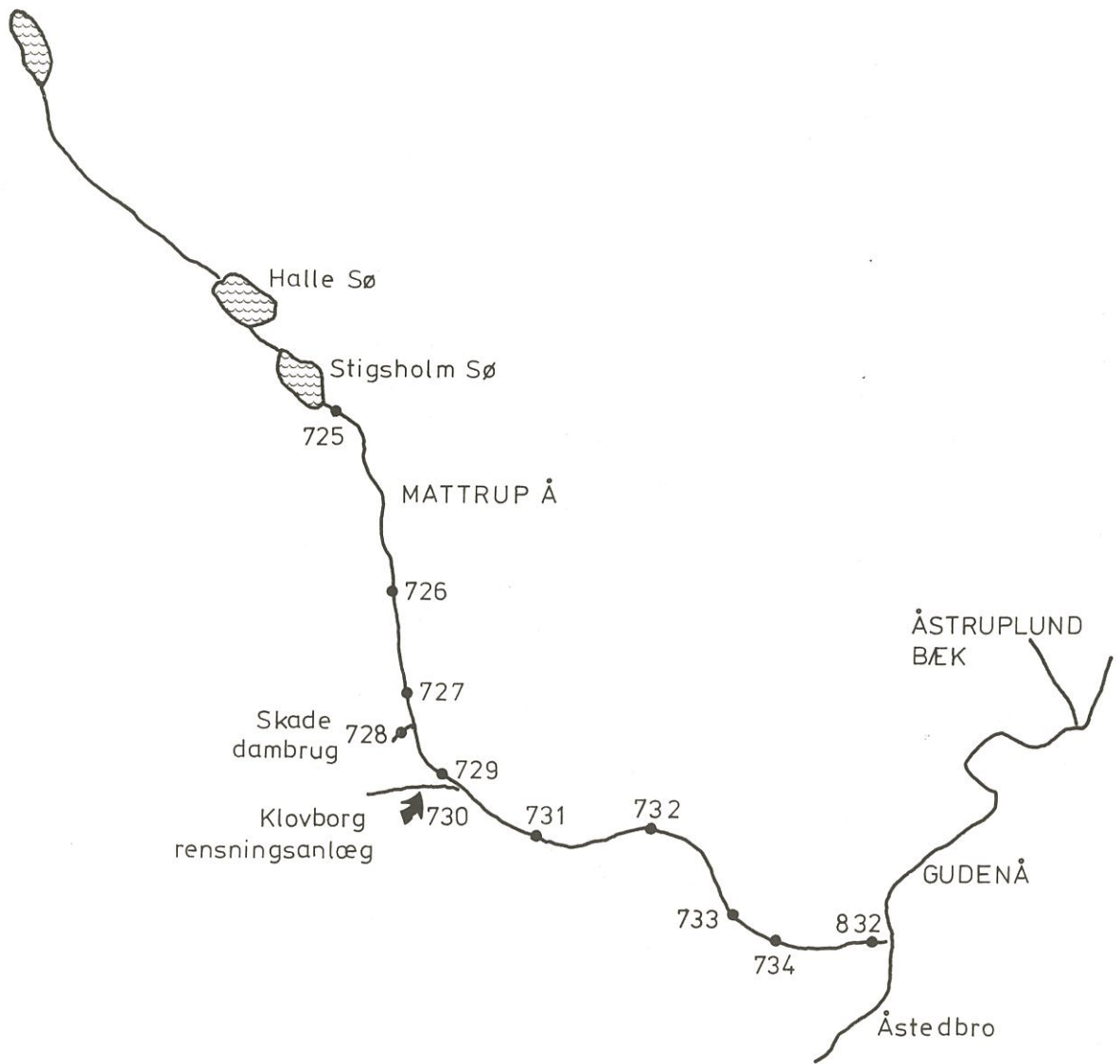
6.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN,  
STATIONSOVERSIGT

Den undersøgte del af Matstrup å er 13,5 km lang. Den første målestation er placeret ved Vingum bro, og den sidste ved Lille bro. I alt er der indlagt 10 målestationer på Matstrup å, idet der ved Stids mølle både er etableret en station oven for og en neden for slusen til registrering af ilt for at måle styrtets eventuelle iltningseffekt.

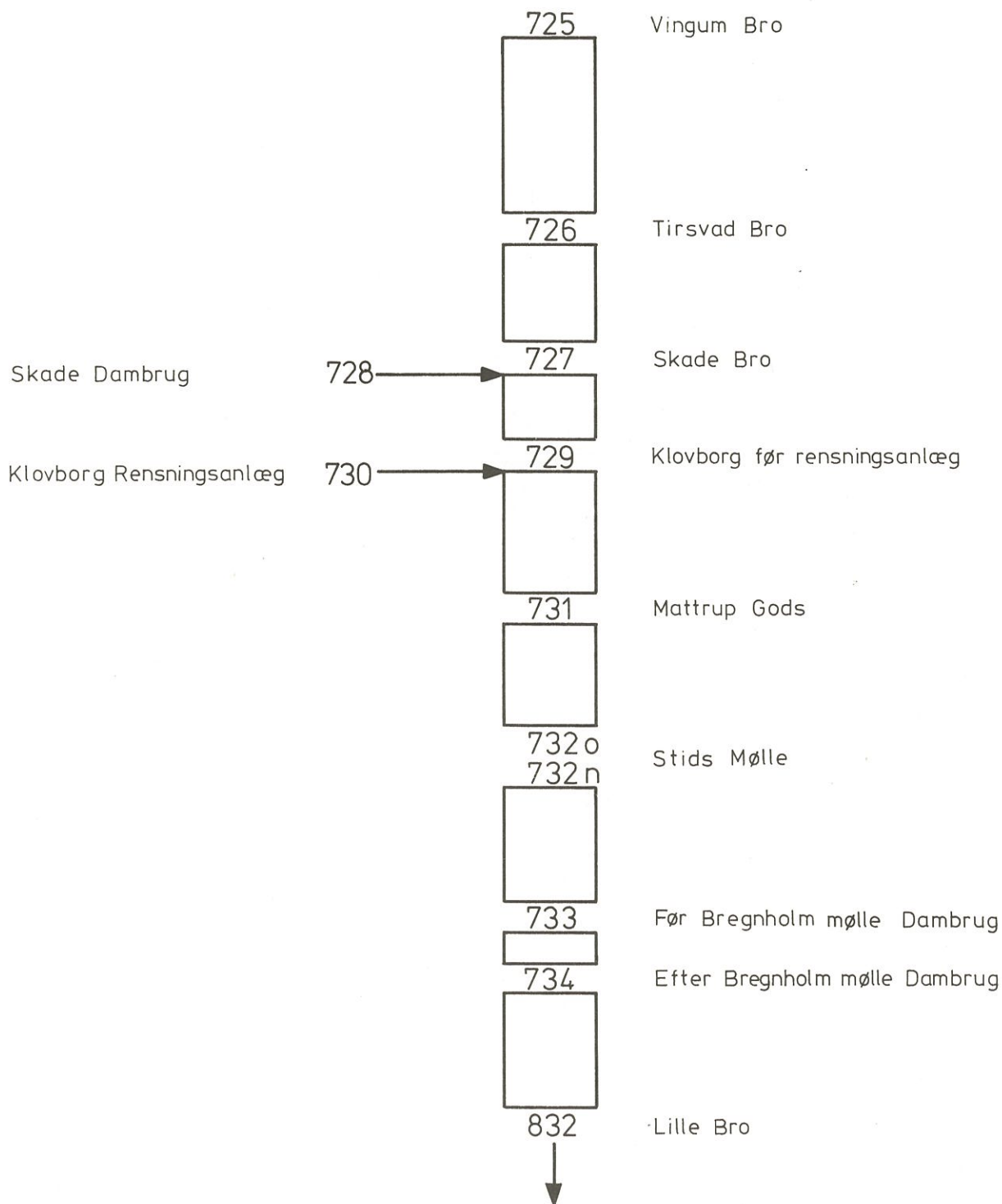
Der er målestationer i de vigtige tilløb Skade dambrug og Klovsborg renseanlæg.

Figur 6.1 viser stationsplaceringen på Matstrup å med sidetilløb.

Figur 6.2 viser en skematisk fremstilling af åen med sektionsopdeling og med angivelse af spildevandstilførsler.



Figur 6.1 Stationsoversigt på Mattrup å fra Vingum bro station (725) til Lille bro station (832).



Figur 6.2 Sektionsinddeling og stationering af Mattrup å fra Vingum bro til Lille bro.



## 6.2 HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD

Isotopcentralen har i måleperioden foretaget sporstofmåling på strækningen. Sporstof blev doseret ved Vingum bro og opholdstidsfordelingskurver (se f.eks. Salten å-rapporten) blev målt ved Matstrup gods, station 731 og ved Lille bro, station 832.

Længdeprofilopmålingerne er foretaget af Vejle amtskommunes vandvæsen.

Hydrauliske og geometriske data for Matstrup å-strækningen er anført i tabel 6.1.

Vandføringen er målt ved Vingum bro, Tirsvad bro, før Klovborg renseanlæg, ved Stids mølle, ved Lille bro og ved de to sidetilløb. Bundhældningen er beregnet for hver sektion, ud fra angivelser i enderne af sektionerne.

Transporttiden gennem hele strækningen er målt til 30,5 timer og den værdi, kalibreringen giver, er 32,0 timer.

## 6.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD

De væsentligste kemiske tilstandsvariabler, som blev målt i Matstrup å den 4. - 5. juli 1974, er vist på figur 6.3 og figur 6.4.

MATTRUP A, STREKNING VINGUM BRO-LILLE BRO		Stations- nummer	Stræk- nings- længde	Energi- gradient	Middel- dybde	Middel- bredde	Middel- vandfø- ring	Middel- strøm- hastig- hed	Manning tal	Trans- porttid gennem sektionen	Trans- porttid fra start	Disper- sionskoeff- ficient
STATIONS BETEGNELSE		m	$m/m \cdot 10^4$	m	m	$m^3/sek$	m/sek	$m^{1/3}/sek$	T . min	T . min	$m^2/sek$	
Vingum bro	725	2870	2,79	0,89	3,85	0,258	0,086	7,1	9,18	0	2,4	
Tirsvad bro	726	1580	16,46	0,44	5,45	0,324	0,141	6,6	3,07	9,18	2,4	
Skade bro	727	1170	1,20	0,98	6,20	(0,340)	0,058	6,5	5,33	12,25	2,4	
Klovborg før R	729	2050	15,71	0,52	5,1	0,356	0,148	6,5	3,50	17,58	2,4	
Matstrup gods	731	1650	15,03	0,71	4,6	(0,413)	0,136	5,3	3,21	22,48	9,75	
Før Stids mølle	732a	-	-	-	-	0,469	-	-	-	26,09	-	
Efter Stids mølle	732b	1830	26,78	0,63	4,9	0,469	0,164	5,0	3,06	26,09	9,75	
Før Bregnholm mølle dambrug	733	460	59,57	0,59	4,15	(0,532)	0,227	5,0	0,34	29,15	9,75	
Efter Bregnholm mølle dambrug	734	1850	(59,57)	0,73	3,5	(0,548)	0,228	4,6	2,15	29,49	12,3	
Lille bro	832					0,610				32,04		

Tabel 6.1 Hydrauliske og geometriske data for Matstrup å fra Vingum bro til Lille bro.

Nitratkoncentrationen stiger på den første del af åen fra Vingum bro til Klovsborg for derefter at være nogenlunde konstant på resten af løbet indtil Lille bro. Ammoniak- og nitritkoncentrationerne stiger svagt ned ad åen, men optræder overalt kun i beskedne koncentrationer. Nitritkoncentrationen er under 0,1 mg/l og ammoniakkoncentrationen er under 0,3 mg/l. Ved passagen af Bregnholm dambrug stiger koncentrationerne af  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_3$  og total-N, se også figur 6.6.

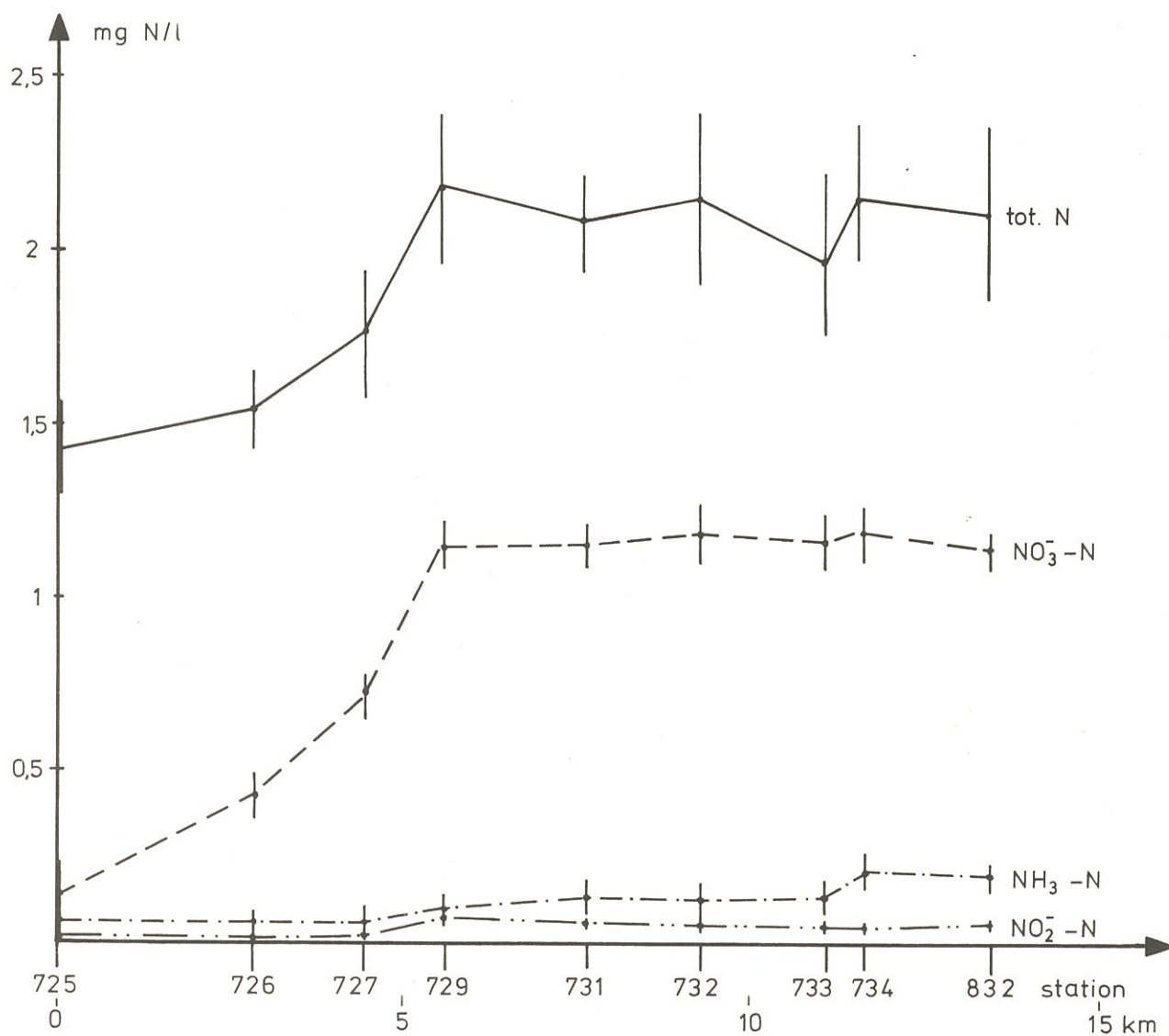
$\text{BI}_5$ -koncentrationen falder fra ca. 7 mg/l ved Vingum bro til ca. 3 mg/l før Bregnholm, efter Bregnholm er den steget til ca. 4,8 mg/l.

Iltsvingningernes amplitude bliver større fra Vingum bro til Skade bro. Derefter klinger svingningen af og bliver praktisk taget nul lige efter Bregnholm. Der er igen opbygget en mindre svingning ved Lille bro.

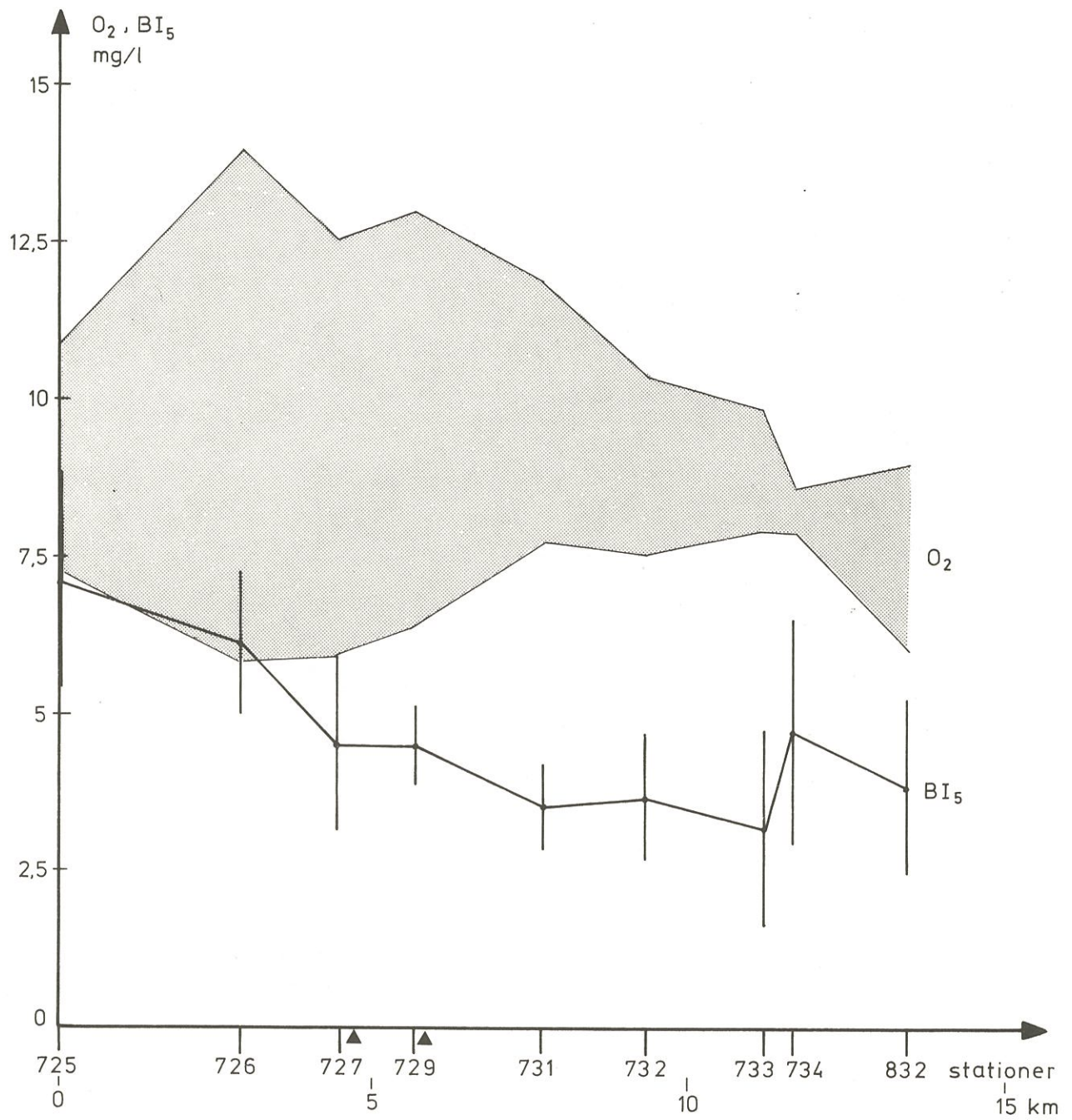
Til belysning af betydningen af de største enkeltbelastninger af Mattrup å er figurerne 6.5 og 6.6 vist.

Figur 6.5 viser stoftilførslerne ved Skade dambrug og Klovsborg rensningsanlæg.  $\text{BI}_5$ -belastningen fra de to tilløb er af ringe betydning, set i relation til de mængder åen i forvejen transporterer. Kvælstofbelastningen svarer derimod til en 30 % forøgelse af åens transport.

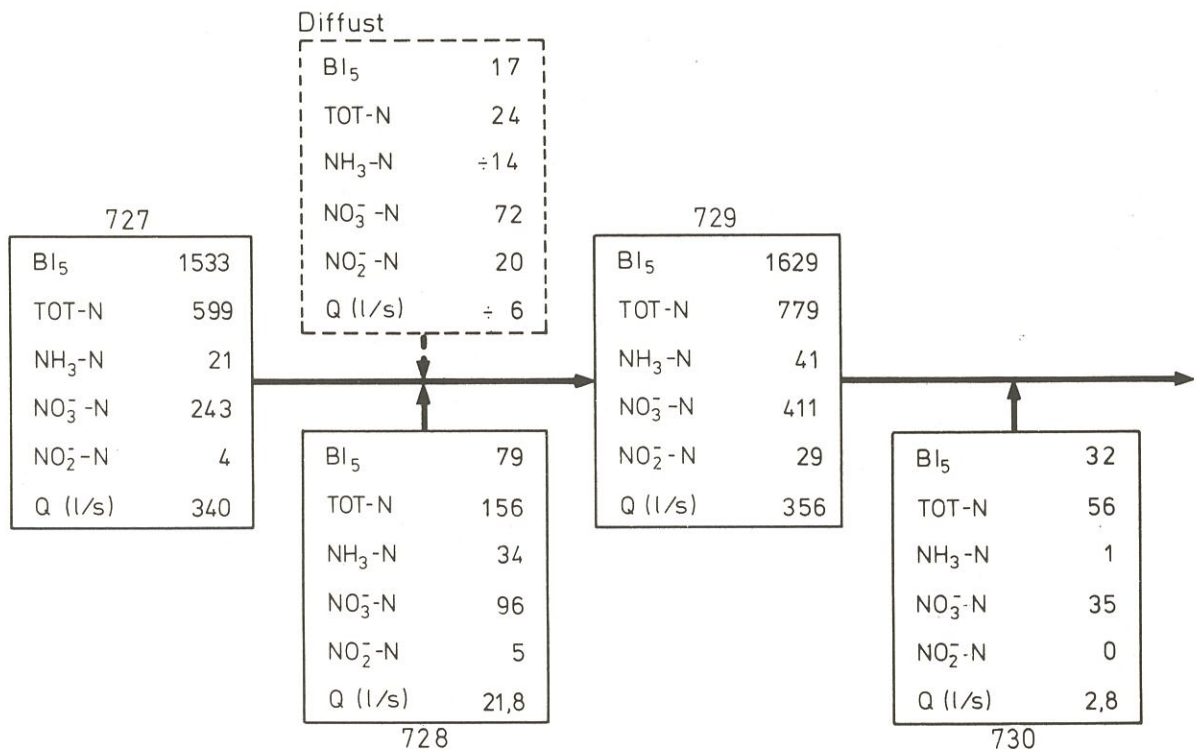
Figur 6.6 er en vurdering af Bregnholm mølle dambrugs belastning af Mattrup å.  $\text{BI}_5$ -belastningen svarer til ca. 50 % forøgelse af transporten, hvorimod kvælstofbelastningen relativt er mindre (svarer til ca. 13 % forøgelse). Der tæres på åens iltindhold (ca. 3 %) ved en del af vandets passage gennem dambruget.



Figur 6.3 Kvalstofkoncentrationer i Mattrup å fra Vingum bro til Lille bro den 4. - 5. juli 1974. De lodrette linier viser standardafvigelse.



Figur 6.4 BI<sub>5</sub> og opløst ilt i Matstrup å den 4. - 5. juli 1974. BI<sub>5</sub> er vist med standardafvigelser, mens iltkoncentrationernes døgnsvingning er vist.



Figur 6.5 Vurdering af transport og tilførsel af kvælstof og BI<sub>5</sub> i Matstrup å ved Skade dambrug (728) og Klovborg rensningsanlæg (730).  
Enheder i mg/sek.

733		734	
BI <sub>5</sub>	1693	BI <sub>5</sub>	2612
TOT-N	1049	TOT-N	1189
NH <sub>3</sub> -N	73	NH <sub>3</sub> -N	111
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	624	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	653
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	25	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	26
O <sub>2</sub>	4652	O <sub>2</sub>	4495
Q (l/s)	532	Q (l/s)	548

Figur 6.6 Massebalance på Mattrup å den 4. - 5. juli 1974 ved Bregnholm. Station 733 ligger lige før Bregnholm mølle dambrug og station 734 lige efter. Enheder er mg/sek.

Foruden målingerne i det intensive måledøgn er der på station 832 gennemført døgnmålinger i forbindelse med årstransportmålingerne i Gudenåsystemet. Disse er rapporteret i Stoftransportrapporten, /9 /.

#### 6.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE

Principperne for modellens tilpasning til åen og dens kalibrering er givet i afsnit 2, og figur 6.2 er en skematisk fremstilling af Matstrup å, opdelt i sektioner. Sektionsopdelingen er grundlag for modelopstillingen.

Beregningsresultaterne fremgår af tabel 6.2.

Kommentarer til kalibreringen Matstrup å, strækningen Vingum bro - Lille bro:

Genluftningskonstanten varierer en del. Den er lav på strækningerne Vingum bro - Tirsvad bro og Skade bro - Klovborg, hvilket hænger sammen med de små energigradienter på disse strækninger, sammenlignet med resten af åen, (der er ca. 1 størrelsesordens forskel på bundhældningen på de to pågældende strækninger og den øvrige del af åen).

Nedbrydningskonstanten for  $BI_5$  varierer fra 0,5 til 2,0 døgn<sup>-1</sup> uden en påviselig systematik. På nogle af strækningerne er  $K_1$  ikke bestemt, fordi koncentrationen af det organiske stof på disse strækninger ikke falder.

Fotosyntesen er størst på den øverste del af åen og aftager indtil passagen af Bregnholm mølle dambrug, på grund af skygning af skove langs åen. På strækningen gennem Bregnholm mølle dambrug er der så godt som ingen fotosyntese.



MATTRUP A, STRÆKNING VINGUM BRO - LILLE BRO	STATIONS- nummer	Middel- genilt- nings- konstant v. 20°C døgn <sup>-1</sup>	Nedbryd- ningskon- stant for BI <sub>5</sub> ved 20 °C døgn <sup>-1</sup>	Total respiration v. 20°C g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Maximal fotosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / time	Middel fotosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Tilledning af organisk stof kg BI <sub>5</sub> /m/ døgn	Afstand fra start m
Vingum bro	725	1,62	-	15,11	1,616	17,78	0	0
Tirsvad bro	726	6,07	2,0	9,63	0,955	10,50	0	2870
Skade bro	727	0,98	0,5	31,37	1,337	14,70	0	4450
Klovborg før R	729	5,36	2,0	-	0,566	6,23	0	5620
Mattrup gods	731	4,42	-	12,02	0,964	10,60	0	7670
Før Stids mølle	732a	-	-	-	-	-	-	9320
Efter Stids mølle	732b	6,38	2,0	10,66	0,285	3,14	0	9320
Før Bregnholm mølle dambrug	733	9,66	0,5	9,94	0,082	0,91	0,125	11150
Efter Bregnholm mølle dambrug	734	9,08	1,0	46,68	1,323	14,56	0	11610
Lille bro	832							13460

Tabel 6.2 Parametre for Mattrup å fra Vingum bro til Lille bro. Bestemt på grundlag af intensivundersøgelsen den 4. - 5. juli 1974.

Respirationen er stor på strækningen Bregnholm - Lille bro og på strækningen Skade bro - Klovborg. Begge disse strækninger ligger lige efter dambrug, som bl.a. belaster åen med suspenderet organisk stof. Det suspenderede stof vil sedimenteres og nedbrydes på bunden under forbrug af ilt.

Dette stemmer overens med de målinger, som Dambrugsundersøgelsen ved Zoologisk Institut, Århus Universitet har foretaget, /3/. I denne undersøgelse konkluderes bl.a., at Matstrup å fra at være et autotroft økosystem oven for Bregnholm mølle dambrug bliver et heterotroft system nedenfor.

## 6.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIV- UNDERSØGELSEN AF MATTRUP Å FRA VINGUM BRO TIL LILLE BRO

De opnåede resultater fra den intensive undersøgelse af Matstrup å den 4. - 5. juli 1974 må vurderes i relation til vandløbets minimumsvandføring. Der eksisterer ingen længere tidsserier fra Matstrup å af den daglige vandførings årsvariation. Hedeselskabet har etableret en hydrometrisk station ved Lille bro i 1973 i forbindelse med Gudenåundersøgelsen.

Det må formodes, at den undersøgte situation ikke er så langt fra minimumssituationen, at en ekstrapolation lader sig udføre.

I de to år, 1974 - 1975, den hydrometriske station ved Lille bro har været i drift, har den daglige minimumsvandføring været 480 l/sek (juli 1975). Den vandføring, der blev målt i døgnet 4. - 5. juli 1974 ved Lille bro, var 610 l/sek.

Karakteristisk for afstrømningen i 1974 ved Lille bro er, at den næsten er konstant fra 1/5 til 1/11. Det er dog ikke tilstrækkeligt med et enkelt års målinger til at opstille en brugbar vandføringsstatistik.

Temperaturen var ret lav, 12 - 17 °C, i måledøgnet, og det må formodes at den bliver betydeligt højere på andre dage. En ekstrapolation til ca. 20° vil være beregningsmæssigt forsvarligt.

Belastningen af Mattrup å med organisk stof skyldes især dambrugsdrift.

Den ret høje BI<sub>5</sub>-koncentration ved Vingum bro (7 mg/l) skyldes de 7 dambrug, der ligger opstrøms samt udskylning af alger fra Stigsholm sø. Bregneholm mølle dambrug tilfører åen betydelige mængder organisk stof. Klovsborg rensningsanlæg, som er det eneste betydende rensningsanlæg ved Mattrup å, tilfører kun ringe mængder organisk stof.

Iltkoncentrationerne i Mattrup å har i måledøgnet ikke været meget under 6 mg/l. En periode med varmere vejr vil dog kunne sænke iltkoncentrationen væsentligt, så åens dyreliv vil kunne påvirkes. Dambrugsundersøgelsen ved Zoologisk Institut, Århus Universitet, / 3 /, har i perioder målt iltkoncentrationer ned til 3,5 mg ilt/l.

## 7. HADSTEN LILLEÅ

### STRÆKNING GRUNDFØR MØLLE - LØJSTRUP

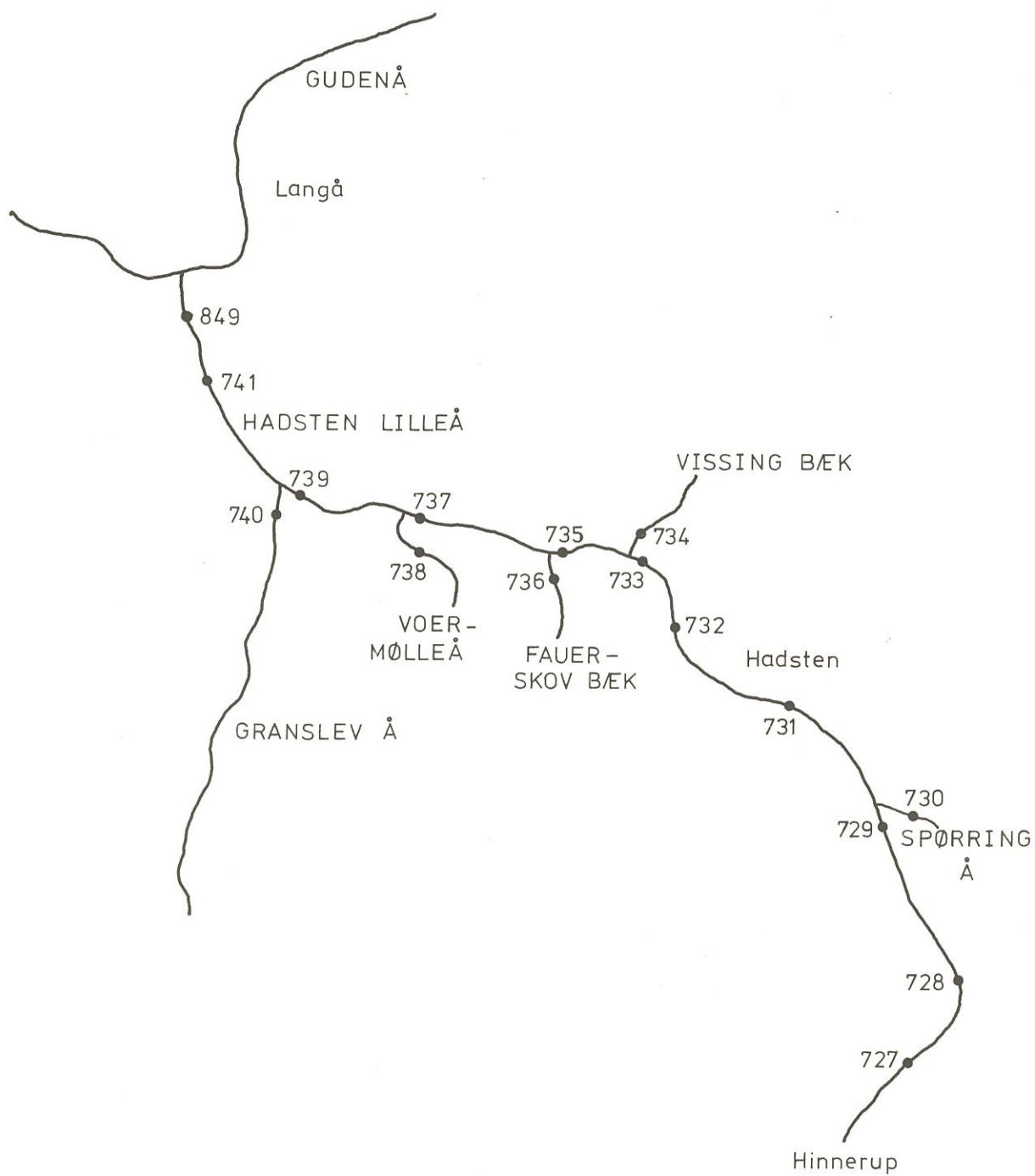
Hadsten lilleå blev undersøgt intensivt den 29. - 30. august 1974.

#### 7.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT

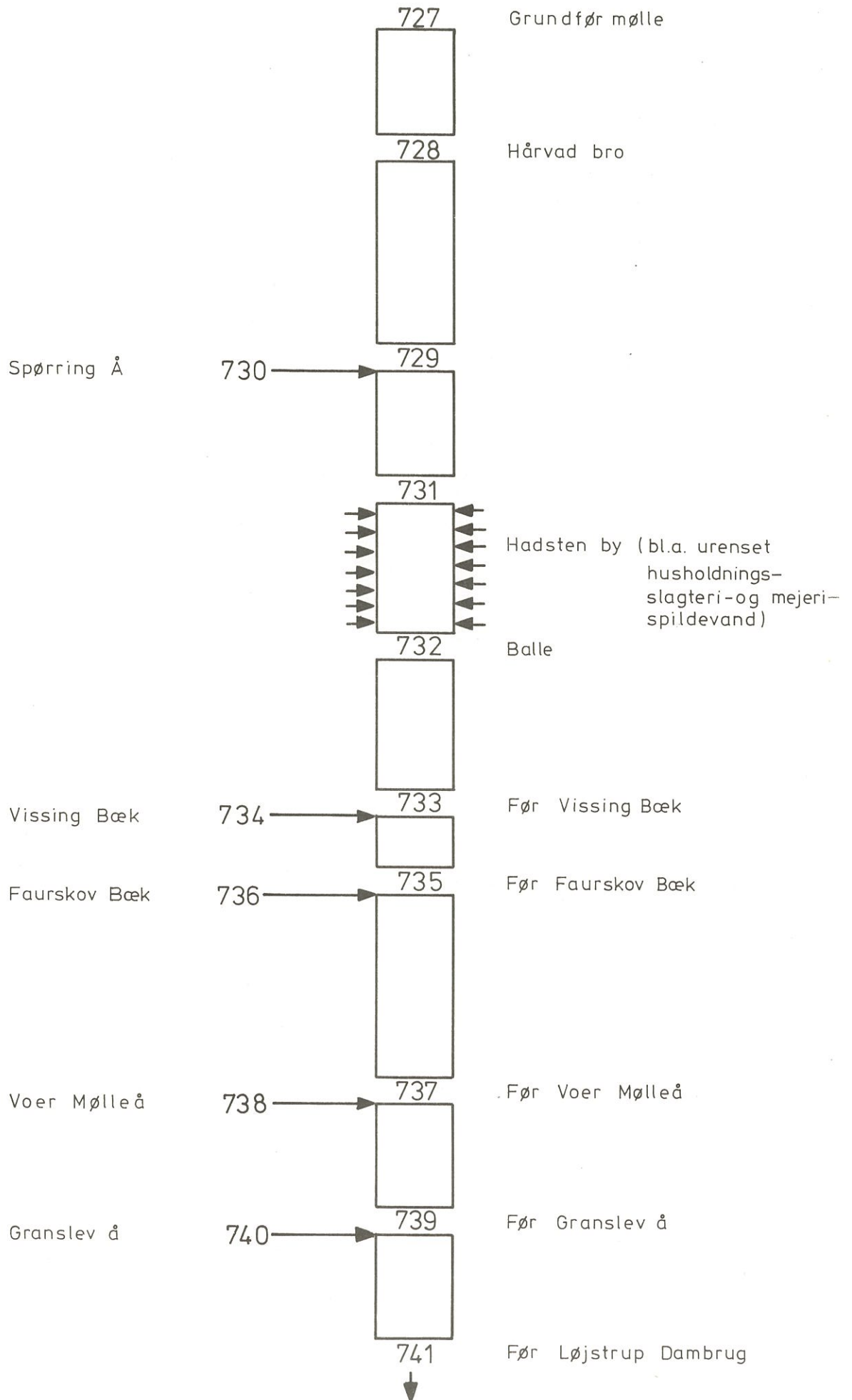
Den undersøgte åstrækning er ca. 22 km lang. Den øverste målestation er anbragt ved Grundfør mølle, og der er lagt i alt 11 stationer på Hadsten lilleå slutende med en station efter Løjstrup dambrug. Der er målestationer i sidetilløbene Spørring å, Vissing bæk, Faurskov bæk, Voer mølleå og Granslev å. Figur 7.1 viser Hadsten lilleå med stationsplaceringer og sidetilløb.

Strækningen er beregningsmæssigt opdelt i 9 sektioner, se figur 7.2, idet modelopstillingen kun er foretaget fra Grundfør mølle til umiddelbart før Løjstrup dambrug (station 741).

Den ene sektion udgøres af åens løb gennem Hadsten by, hvor spildevand fra husholdninger, slagterier, mejerier m.m. tilføres stort set jævnt langs hele strækningen. Det er derfor ikke muligt at opstille vandløbsmodellen for denne strækning, 731 - 732, se også afsnit 7.4.



Figur 7.1 Oversigtskort og stationsplacering på Hadsten lilleå.



Figur 7.2 Sektionsinddeling og stationering på Hadsten lilleå.

## 7.2 HYDROLOGISKE OG HYDRAULISKE FORHOLD

Måling af transporttider og dispersionsforhold på Hadsten Lilleå er foretaget af Isotopcentralen, idet der er doseret sporstof ved Grundfør mølle. Sporstoffets passage blev registreret ved Kollerup lige før Hadsten, ved Balle bro lige efter Hadsten, ved Bidstrup samt ved Langå (d.v.s. Hadsten lilleå umiddelbart før Gudenå).

Længdeprofiler og tværsnit af Hadsten lilleå er opmålt af Århus amts vandvesen.

I tabel 7.1 er de væsentligste hydrauliske og geometriske data anført.

Vandføringen er registreret ved Grundfør mølle, før Hadsten, før Faurskov bæk og efter Løjstrup dambrug. Endvidere er der målt vandføringer i tilløbene Spørring å, Vissing bæk, Faurskov bæk, Voermølle å og Granslev å. Alle de nævnte vandføringsmålinger er foretaget med hydrometrisk vinge undtagen i Vissing bæk, hvor der etableredes trekantoverfald.

Vandmængderne, som er målt i tilløbene, fremgår af figurerne 7.6, 7.7 og 7.8, som er massebalancer opstillet for at vurdere belastningen af Hadsten lilleå med kvælstof og  $BI_5$  fra sidetilløbene.

Den samlede transporttid på strækningen fra Grundfør mølle til Løjstrup er bestemt til 52 timer og 20 minutter. Hertil kommer yderligere ca. 2 timer til udløbet i Gudenåen før Langå.

### 7.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD

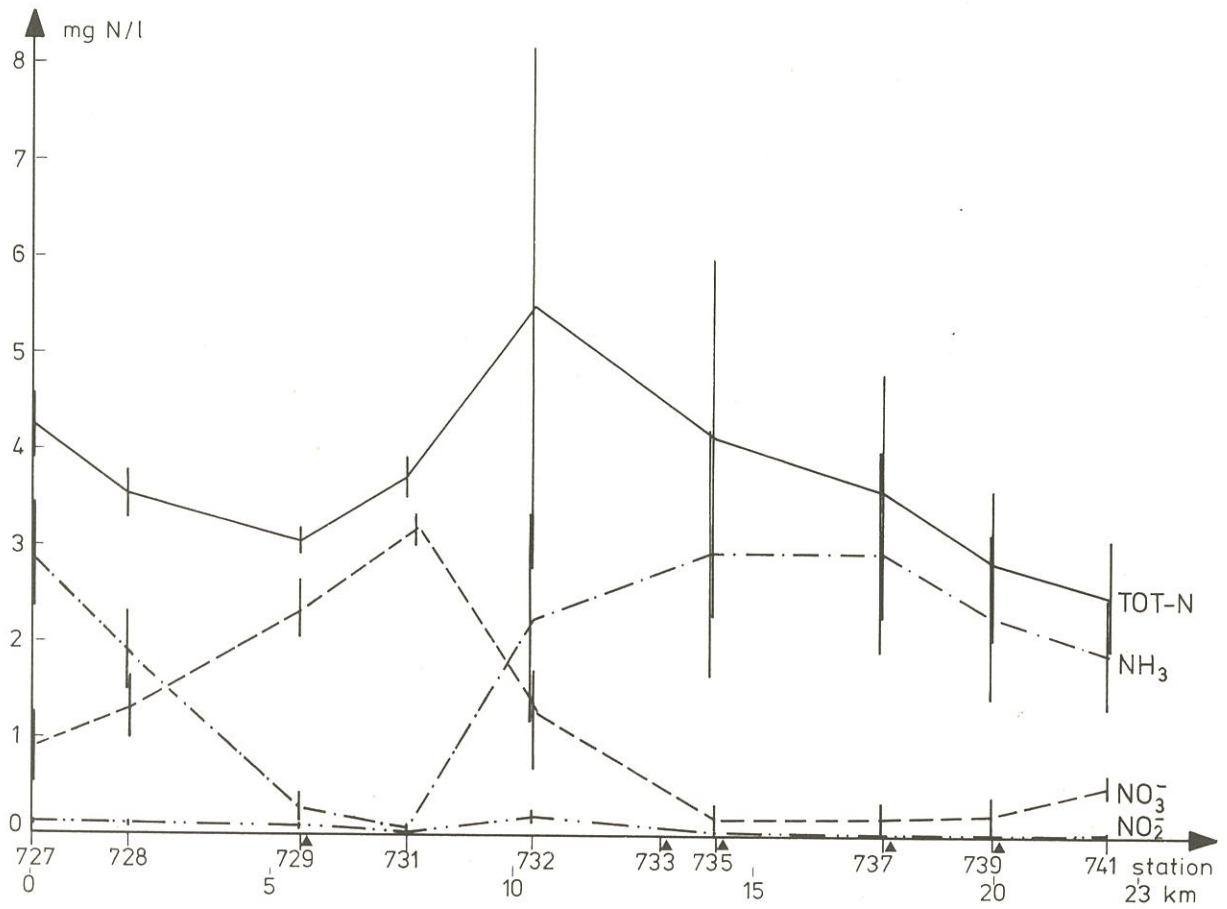
Koncentrationer af kvælstoffraktionerne ned ad åen er vist på figur 7.3, mens koncentrationerne af organisk stof ( $BI_5$ ) og iltsvingningerne fremgår af figur 7.5. Figur 7.4 viser kvælstoftransporterne ned ad åen målt i mg N/sekund.

På den første del af Hadsten Lilleå, d.v.s. indtil station 731, hvor Hadsten by begynder, falder totalkvælstofkoncentrationen, figur 7.3, medens ammoniakindholdet formindskes og nitratkoncentrationen stiger. Sammenlignes med figur 7.4 ses, at totalkvælstoftransporten formindskes på første del af denne strækning. Dette skyldes, at vandføringen bliver mindre mellem station 727 og 729, se tabel 7.1.

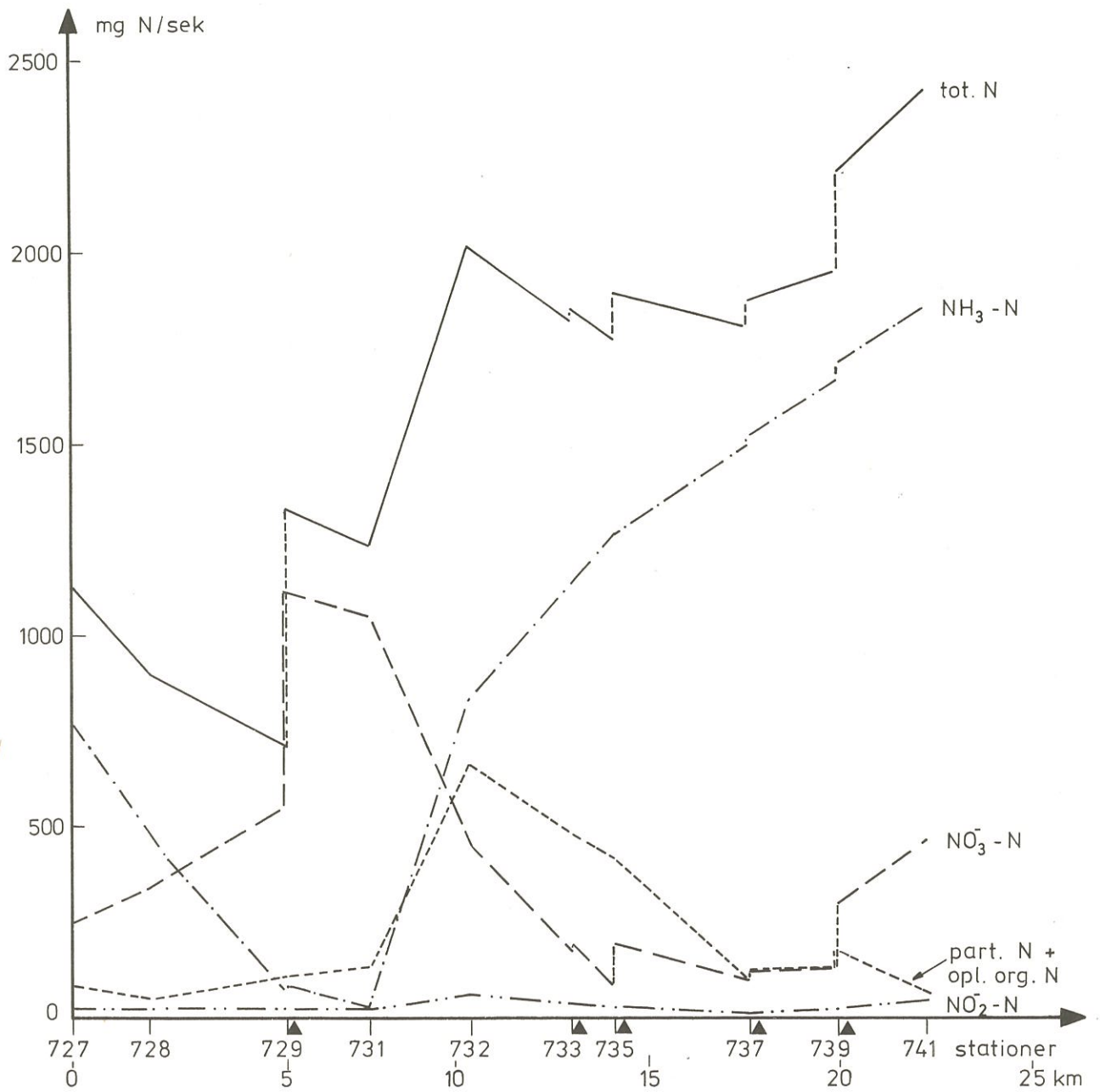
Af figur 7.4 ses, at en del af stigningen i nitrattransport og koncentration på strækning 727 - 731 skyldes tilløb fra Spørring å. Dette forhold til trods tyder på nitrifikation på denne øvre del af Hadsten lilleå. I tabel 7.2 er angivet størrelsesordenen af denne mulige nitrifikation.

På strækningen 731 - 732 stiger koncentration og transport af total-N, partikulært og opløst organisk-N, og ammoniak, hvilket skyldes spildevandsudledninger fra Hadsten by. Videre fra station 732 til station 737 stiger ammoniakkoncentration og ammoniaktransporten, hvilket skyldes diffus tilstrømning og især omsætning af organisk stof i vandløbet (transporten af organisk kvælstof bliver mindre).

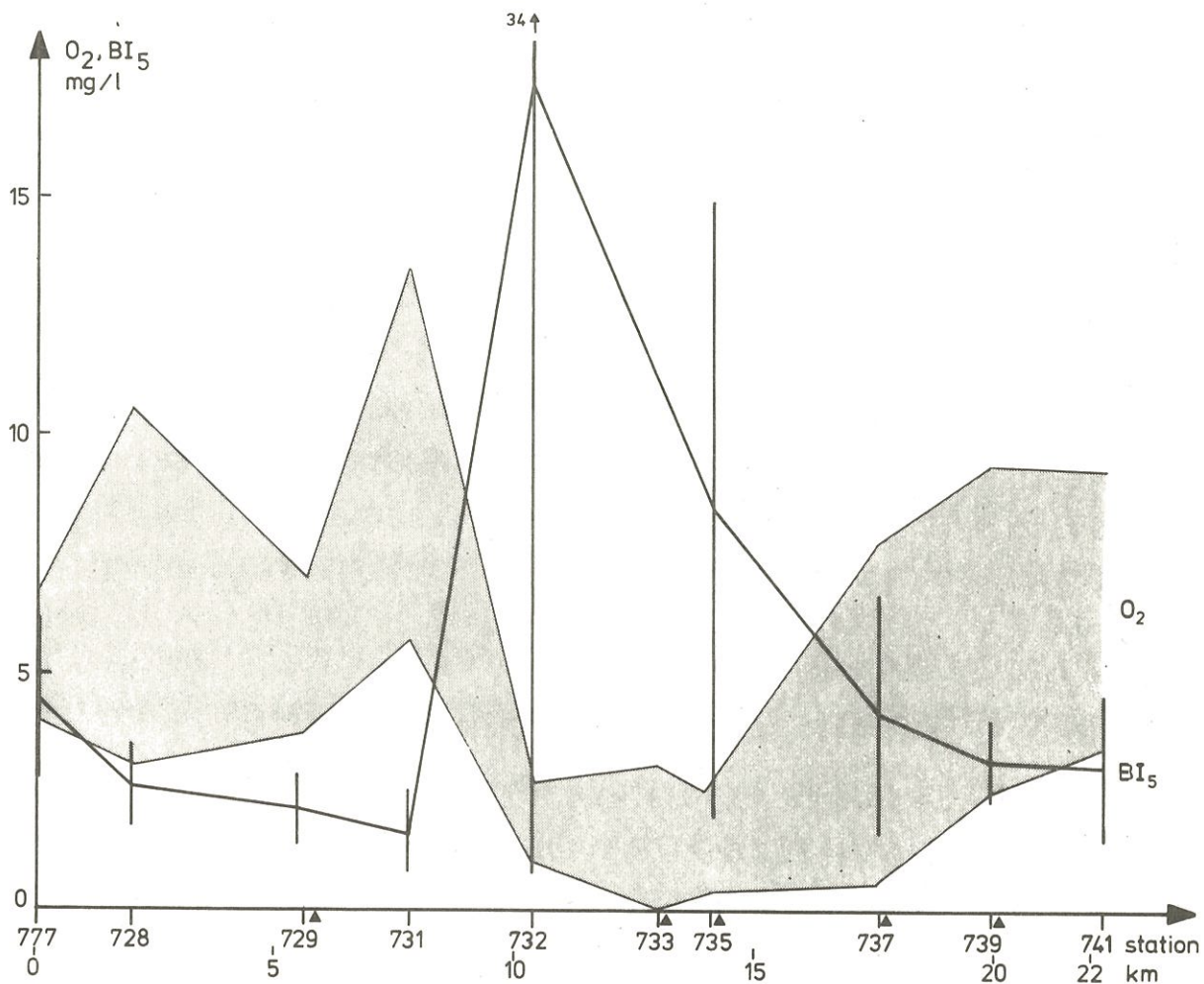




Figur 7.3 Kvælstoffraktionernes koncentrationsfordeling ned ad Hadsten lilleå, målt den 29. - 30. august 1974. De lodrette linier angiver spredningerne.



Figur 7.4 Transporten af kvælstof ned ad Hadsten lilleå målt den 29. - 30. august 1974. De lodrette spring på kurverne viser sidetiløbenes bidrag.



Figur 7,5 Ilt- og BI<sub>5</sub>-koncentrationer, målt i Hadsten lilleå den 29. - 30. august 1974. BI<sub>5</sub>-koncentrationerne er vist som middelværdier og spredninger, mens iltkoncentrationerne er vist med ekstremværdierne.

HADSTEN LILLEA, STRÆKNING GRUNDFØR MØLLE - LØJSTRUP DAMBRUG		Stations- nummer	Stræk- nings- længde m	Energi- gradient m/m •10 <sup>4</sup>	Middel- dybde m	Middel- bredde m	Middel- vandfø- ring m <sup>3</sup> /sek	Middel- strøm- hastig- hed m/sek	Manning tal 1/3 m /sek	Trans- porttid gennem sektion- nen timer min.	Trans- porttid fra start timer min	Disper- sions- koeffi- cient m <sup>2</sup> /sek
STATIONS BETEGNELSE												
GrundfØr MØlle	727	2000	15,0	0,49	5,65	0,266	0,098	4,53	5.40	5.40	5.40	1,7
Hårvad bro	728	3600	6,5	0,68	5,30	(0,254)	0,097	4,53	13.0	18.40	18.40	1,7
FØr SpØrring å	729	2200	9,8	0,63	5,90	(0,233)	0,091	4,53	6.40	25.20	25.20	1,7
FØr Hadsten	731	2600	15,0	-	7,25	0,334	-	-	7.15	32.35	32.35	2,1
Hadsten v. Balle	732	2650	6,2	0,32	7,25	(0,368)	0,164	13,00	4.29	37.04	37.04	7,2
FØr Vissing bæk	733	1100	6,2	0,37	7,30	(0,402)	0,153	12,00	2.00	39.04	39.04	7,2
FØr Faurskov bæk	735	3500	6,5	0,28	9,80	(0,428)	0,171	14,90	5.41	44.45	44.45	7,2
FØr VoermØlle å	737	2300	5,7	0,28	11,40	(0,504)	0,184	14,9	3.28	48.13	48.13	6,8
FØr Granslev å	739	2300	2,8	0,41	13,2	(0,683)	0,154	14,9	4.09	52.22	52.22	6,8
FØr LØgstrup dambrug	741					0,978						

Tabel 7.1 Geometriske og hydrauliske data for Hadsten Lilleå på strækningen GrundfØr mølle - LØjstrup dambrug.

Nitratkoncentrationen og nitrattransporten fra station 731 til 737 bliver betydelig mindre, hvilket kan skyldes denitrifikation i åens sedimenter og i vandfasen, idet iltforholdene er meget dårlige på denne strækning. I en lang periode af døgnet er der målt 0 mg ilt/l i station 733. Biokemisk denitrifikation (reduktion af nitrat til luftformigt kvælstof) kræver totalt iltfrie forhold. Et skøn over de denitrificerede nitratmængder er givet i tabel 7.2.

Af tabellerne 7.2 og 7.4 ses, at op imod halvdelen af vandløbets totalrespiration (tabel 7.4) på strækning 727 - 729 kan skyldes nitrifikation.

Figurerne 7.6, 7.7 og 7.8 er massebalancer for Hadsten Lilleå og de 5 tilløb. Massebalancerne er opstillet for organisk stof ( $BI_5$ ), kvælstof og vand for at vurdere tilløbenes andel i den samlede stoftransport i Hadsten lilleå.

Det mest betydningsfulde bidrag til stoftransporten kommer fra Hadsten by, som tidobler  $BI_5$ -transporten og fordobler kvælstoftransporten. Spørring å øger  $BI_5$ -transporten med 60 % og kvælstoftransporten med 90 %. Granslev å øger åens  $BI_5$ -transport med 25 % og kvælstoftransporten med 13 %. Voermølle å øger  $BI_5$ -transporten med 13 % og kvælstoftransporten med 4 %. Vissing bæk og Faurskov bæk øger  $BI_5$ -transporten med mindre end 1 % og kvælstoftransporten med mindre end 10 %.

Strækning	Ammonifikation g N/m <sup>2</sup> /døgn	Nitrifikation		Denitrifi- kation g N/m <sup>2</sup> /døgn
		g N/m <sup>2</sup> /døgn	g O <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /døgn	
727 - 728	-	2,2	9,6	-
728 - 729	-	1,9	8,1	-
729 - 731	-	0,4	1,6	0,8
731 - 732	-	-	-	2,5
732 - 735	0,8	-	-	1,2
735 - 737	0,6	-	-	0,2

Tabel 7.2 Estimerede omsætninger af kvælstof i Hadstenlilleåden 29. - 30. august 1974. Tallene angiver størrelsesordener og må tages med forbehold, idet der ikke her er indregnet fjernelse af kvælstof, f.eks. ved plantevækst samt eventuel diffus tilførsel. Iltforbruget ved nitrifikation er beregnet således: iltning af 1 mg NH<sub>3</sub>-N til NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N kræver 4,3 mg ilt.

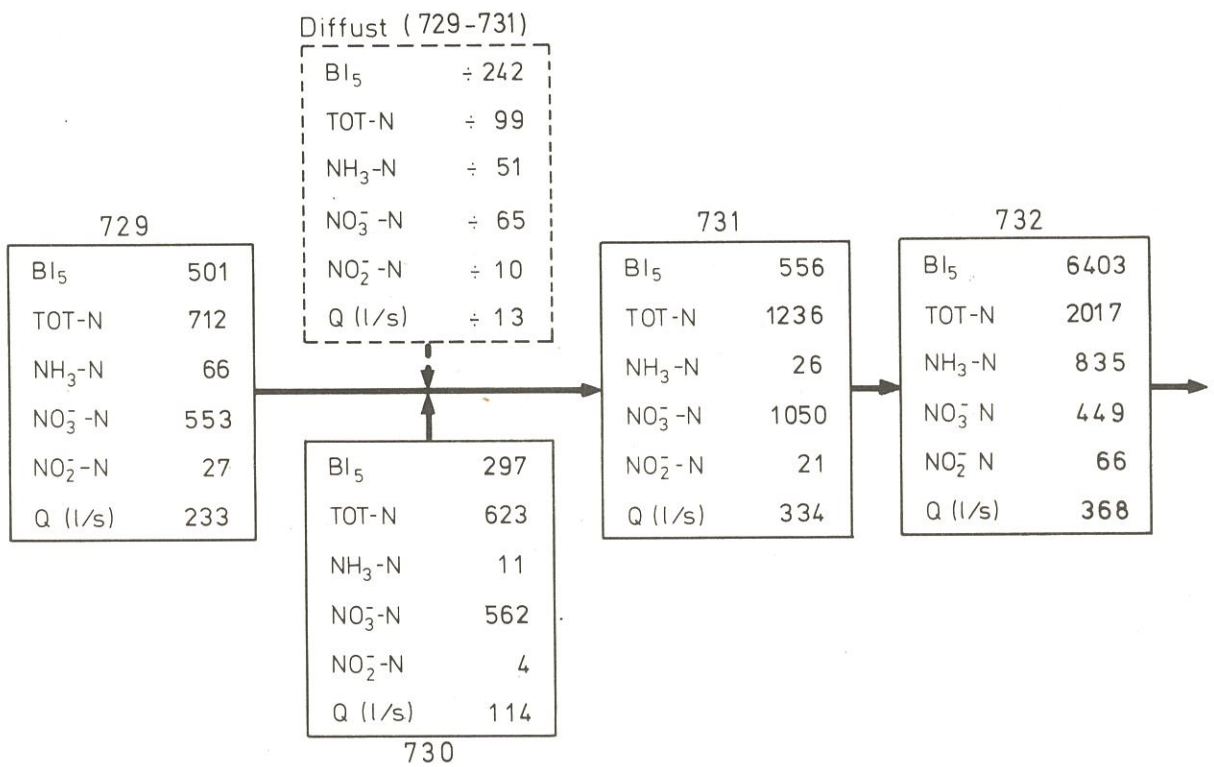
Vandløbs- strækning	BI <sub>5</sub> antal PE	Total-N antal PE	Skønnet antal PE udledt
Hadsten Lilleå opstrøms st. 729	720	5100	4000
Spørring å st. 730	430	4500	2500
Hadsten Lilleå st. 731 - 732 (Hadsten by)	8500	5600	>10000

Tabel 7.3 Overslag over antal PE udledt i Hadsten lilleå opstrøms station 732.  
(PE = personækvivalent)

Tabel 7.3 er et overslag over antal af PE som beregningsmæssigt (på grundlag af stoftransporter) tilledes Hadsten lilleå sammenlignet med et overslag over det skønnede antal PE som udledes.

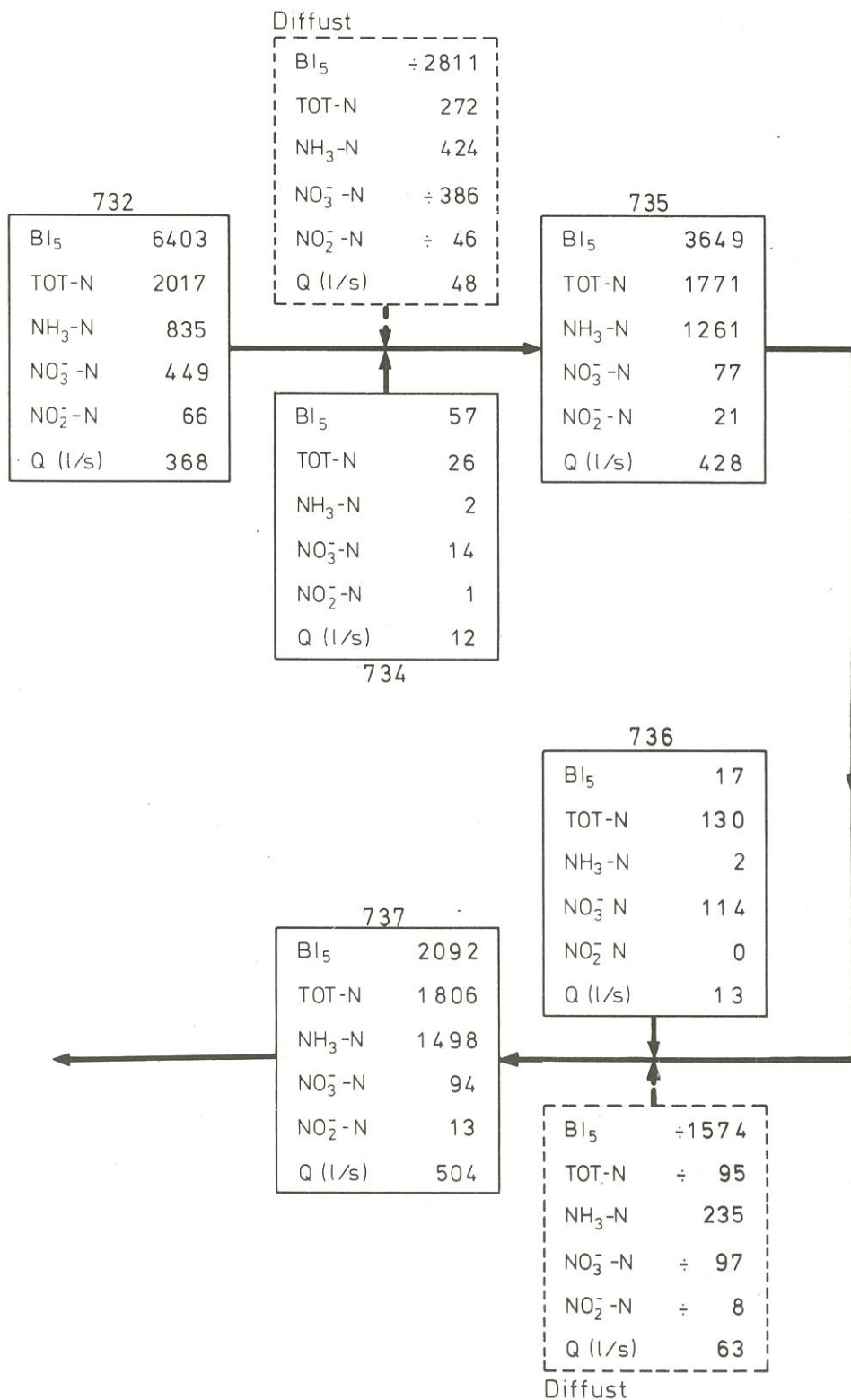
De udledte mængder BI<sub>5</sub> er mindre end forventeligt på grund af, at en del af det udledte organiske stof sedimenteres og således ikke registreres ved BI<sub>5</sub>-målinger. (Nedbrydningen af det sedimenterede stof kommer beregningsmæssigt til udtryk gennem totalrespirationen.) Ved station 729 og station 730 vil en del af den opstrøms udledte BI<sub>5</sub>-mængde være nedbrudt.

De udledte kvælstofmængder omfatter også landbrugsbidrag og er derfor større end forventeligt undtagen for strækningen gennem Hadsten by, hvor en del kvælstof kan denitrificeres.

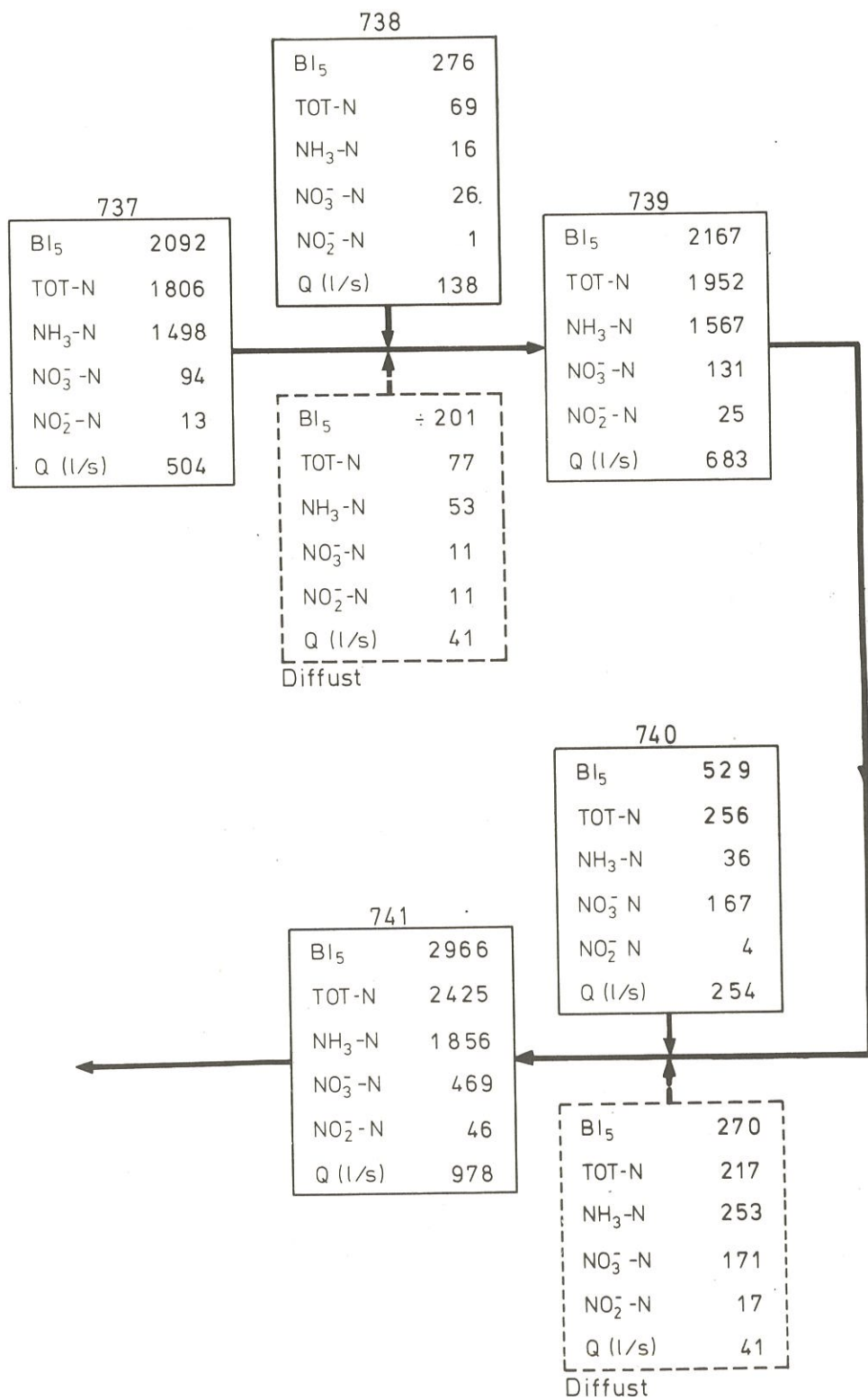


Figur 7.6 Massebalance for Hadsten lilleå og Spørring å (730) for BI<sub>5</sub> og kvælstof. Enheder er mg/sek. Transporterne er målt den 29. - 30. august 1974. (731) - (732) er strækningen gennem Hadsten by.





Figur 7.7 Massebalance for  $BI_5$  og kvælstof i Hadsten lilleå (732), (735) og (737) og de to til-løb Vissingø bæk (734) og Faurskov bæk (736). Enheder er mg/sek. Tallene er målt den 29. - 30. august 1974.



Figur 7.8 Massebalance for  $BI_5$  og kvælstof i Hadsten lilleå på grundlag af målinger den 29. - 30. august 1974.  
 Enheder er mg/sek.  
 (738) er Voermølle å (740) er Granslev å.

## 7.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE

Efter at systemets hydrauliske forhold er indpasset i modellen, er den kemiske tilpasning foretaget efter den i afsnit 2 angivne metode. Genluftningskonstanten beregnes ud fra de ligeledes i afsnit 2 anførte formler 2.4 og 2.5.

Tabel 7.4 indeholder de vigtigste af de ved kalibreringen bestemte parametre for vandløbsstrækningen.

Kommentarer til tabellens værdier:

Genluftningskonstanten ved 20<sup>o</sup> varierer ikke meget. Den relativt beskedne størrelse skyldes især åens ringe fald. Dette forhold ses tydeligst på den sidste del af åen fra Granslev å til Løjstrup, hvor både bundhældning og genluftningskonstant halveres i forhold til den øvrige del af åen.

Nedbrydningskonstanten for BI<sub>5</sub> (K<sub>1</sub>) er temmelig stor lige efter spildevandsudledningen oven for Grundfør mølle og lige efter Hadsten by, jævnfør afsnit 3 ved Tørring og Uldum.

Totalrespiration er ikke bemærkelsesværdig stor.

Produktionen er lille undtagen på strækningen lige efter tilløbet af Spørring å.

Station	Nr.	Middelt gen- iltning- konstant v. 20°C døgn <sup>-1</sup>	Nedbrydnings- konstant for BI <sub>5</sub> v. 20°C døgn <sup>-1</sup>	Total respi- ration v. 20°C g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Maximal fo- tosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / time	Total fo- tosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Tilledning af organisk stof kg BI <sub>5</sub> /m/ døgn	Afstand fra start m
Grundfjør	727	4,2	3,4	20,9	1,1	10,1	-	2000
Hårvad bro	728	2,2	1,7	18,8	0,64	5,6	-	5600
Fjør Spørring å	729	2,9	1,7	18,9	1,5	13,0	-	7800
Fjør Hadsten	731	-	-	-	-	-	-	10400
Hadsten ved Balle	732	3,4	6,9	17,7	0,44	3,9	0,035	13050
Fjør Vissing bæk	733	3,4	4,3	21,3	0,44	3,9	-	14150
Fjør Faurskov bæk	735	3,9	2,2	12,6	0,64	5,7	-	17650
Fjør Voermølle å	737	3,2	2,1	12,3	0,59	5,2	-	19950
Fjør Granslev å	739	1,9	2,0	15,5	0,68	6,0	-	22250
Fjør Løgstrup dambrug	741							

Tabel 7.4 Fysisk/kemiske parametre for Hadsten Lilleå, bestemt på grundlag af målinger den 29. - 30. august 1974.

Den undersøgte situation må skønnes at være så nær medianminimumssituationen, at de fundne hydrauliske "konstanter" kan anvendes ved prognostisering.

Iltforholdene i åen, især lige efter Hadsten by, er uacceptable. Ved en enkelt station er der konstateret anaerobe forhold. Forbedring af forholdene kan opnås ved rensning af spildevandet fra Hadsten by. (I afsnit 7.6 er diskuteret, hvilken rensningsgrad der er nødvendig for opnåelsen af en given vandkvalitet.)

Der er ved modelberegningerne ikke gennemført en speciel beskrivelse af nitrifikationsprocessen opstrøms Hadsten Lilleå, men dette iltforbrug er indregnet i totalrespirationsforholdene.

Det må understreges, at en radikal ændring af spildevandsudledningen - fra urenset til biologisk rensset spildevand i Hadsten by, vil ændre de biokemiske "konstanter" væsentligt, hvorfor en prognostisering vil være forbundet med en øget usikkerhed, såfremt 1974-konstanterne ikke revideres. Det må derfor anbefales, at der gennemføres en kontrolundersøgelse efter samme princip som den intensive undersøgelse 1974, når Hadsten by's og Hinnerup by's nye rensningsanlæg er kommet i normal drift.

## 7.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIV- UNDERSØGELSEN AF HADSTEN LILLEÅ PÅ STRÆK- NINGEN GRUNDFØR MØLLE - LØJSTRUP

Sammenligning af vandføringen i undersøgelsesdøgnet med en længere tidsserie målt ved Grundfør mølle ses i tabel 7.5.

Årstal	Dato	Vandstand cm	Vandføring l/s
1969	12.8.	26	137,2
1970	24.9.	29	221,6
1971	26.8.	32	201,6
1972	26.9.	49	192,4
1973	24.9	30	276,4

Tabel 7.5 Mindste registrerede vandføringer 1969/73 ved Grundfør mølle.

Vandføringen i måledøgnet ved Løjstrup mølle var 1010 l/sek. i forhold til et årsminimum ved Løjstrup mølle i 1974 på 687 l/sek.\* den 22. juli 1974. Minimum i 1975 var på 928 l/sek. den 15. august .

Vandføringen ved Grundfør var i måledøgnet 266 l/sek, og den mindste målte vandføring, jævnfør tabel 7.5, var 137 l/sek. den 12. august 1969.\*

\* Disse lave værdier skyldes tilbageholdelse af vand ved stemmeværker henholdsvis før Løjstrup og ved Grundfør mølle.

## 7.6 BEREGNING AF ILTKONCENTRATIONER

Med vandløbsmodellen er simuleret en række belastningstilfælde før Hadsten by, og iltindholdet på nedstrømsliggende stationer er herefter beregnet.

Der er simuleret følgende belastningstilfælde:

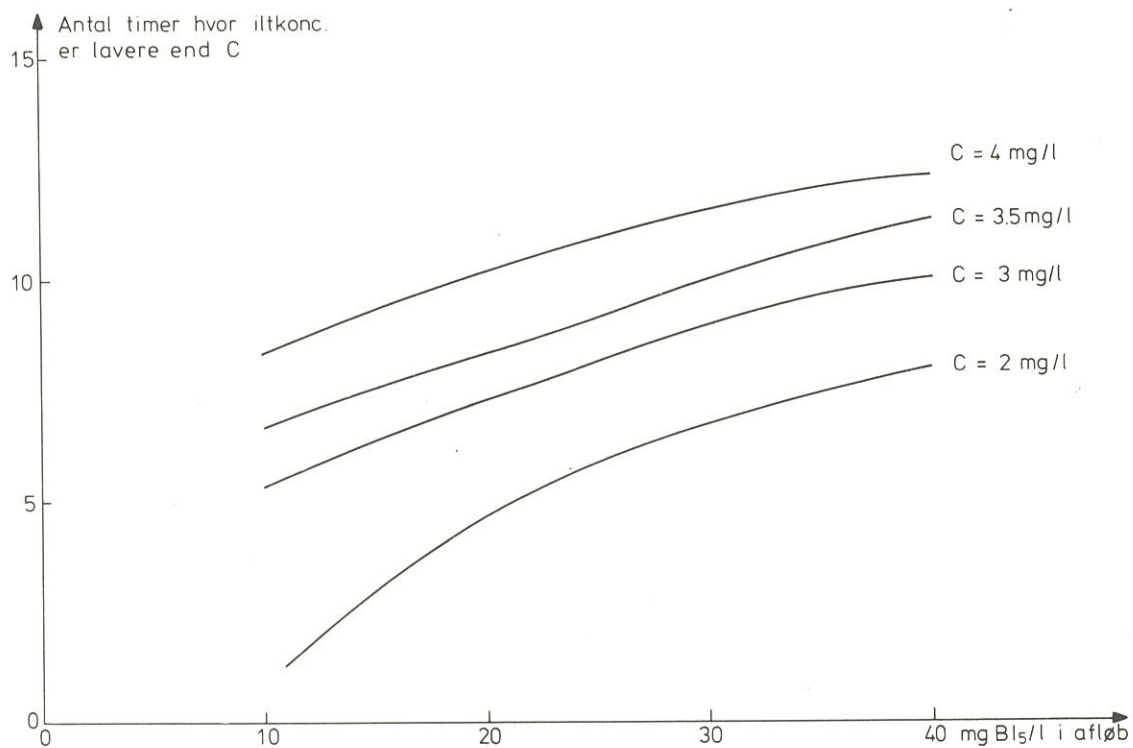
Spildevandsmængde:  $403 \text{ m}^3/\text{h} \sim 112 \text{ l}/\text{sek.}$   
 (svarende til 27.000 PE á 200 l/døgn udledt over 12 timer og udløbskoncentration,  $\text{BI}_5 = 10, 20, 30$  og  $40 \text{ mg BI}_5/\text{l}.$

Koncentrationen af organisk stof umiddelbart før Hadsten by er sat til  $2 \text{ mg BI}_5/\text{l},$  og vandmængden her er sat til  $300 \text{ l}/\text{sek.}$

For station 733, hvor modelberegningerne viser dårligste iltforhold, er herefter i tabel 7.6 angivet varigheden af fundne iltkoncentrationer. I samme tabel er også angivet varigheden af iltindholdet på station 728, den opstrøms station, som i 1974 havde laveste iltværdier.

Udløbskoncentration $\text{BI}_5$	Antal timer med iltkoncentration			
	$\leq 2 \text{ mg}/\text{l}$	$\leq 3 \text{ mg}/\text{l}$	$\leq 3\frac{1}{2} \text{ mg}/\text{l}$	$\leq 4 \text{ mg}/\text{l}$
10 mg/l	1	5 $\frac{1}{3}$	6 $\frac{2}{3}$	8 $\frac{1}{3}$
20 mg/l	4 $\frac{2}{3}$	7 $\frac{1}{3}$	8 $\frac{1}{3}$	9 $\frac{2}{3}$
30 mg/l	6 $\frac{2}{3}$	9	10	11 $\frac{2}{3}$
40 mg/l	8	10	11 $\frac{1}{3}$	12 $\frac{2}{3}$
St. 728, 1974	0	6	10	12

Tabel 7.6 Sammenhørende værdier af  $\text{BI}_5$ -belastning fra Hadsten by efter opførelse af rensningsanlæg og iltkoncentration i station 733. St. 728 er medtaget som referencestation.



Figur 7.9 Varighedskurver for iltkoncentrationer på station 733 på Hadsten lilleå ved forskellige BI<sub>5</sub>-belastninger fra renselanlæg i Hadsten by, men med en konstant spildevandsmængde på 112 l/sek.



Det ses, at en udløbskoncentration på  $BI_5 \sim 10$  mg/l og vandmængde 112 l/sek. er den belastning, som resulterer i forhold, der ligner den nuværende "kritiske" opstrøms-situation mest muligt.

I figur 7.9 er tabelværdierne fra tabel 7.6 afbildet, således at varigheden af en given iltkoncentration på station 733 kan findes som funktion af belastningskoncentrationen.

En vigtig forudsætning for de gennemførte beregninger af den nye belastningssituation er, at de vandløbsparametre ( $K_1$ ,  $R$ ,  $P$ ), som er benyttet, er de der er bestemt i 1974-situationen opstrøms Hadsten by. Det ville være forkert at benytte de parametre, som gjaldt for Hadsten lilleå nedstrøms Hadsten by i 1974-situationen, hvor der blev udledt urensset spildevand fra Hadsten by, til at beregne den nye situation.

## 8. TANGE Å, STRÆKNING KNUDSTRUP - TANGE BRO

Tange å blev undersøgt ved en intensiv undersøgelse den 10. - 11. juni 1975.

### 8.1 BESKRIVELSE AF STRÆKNINGEN, STATIONSOVERSIGT

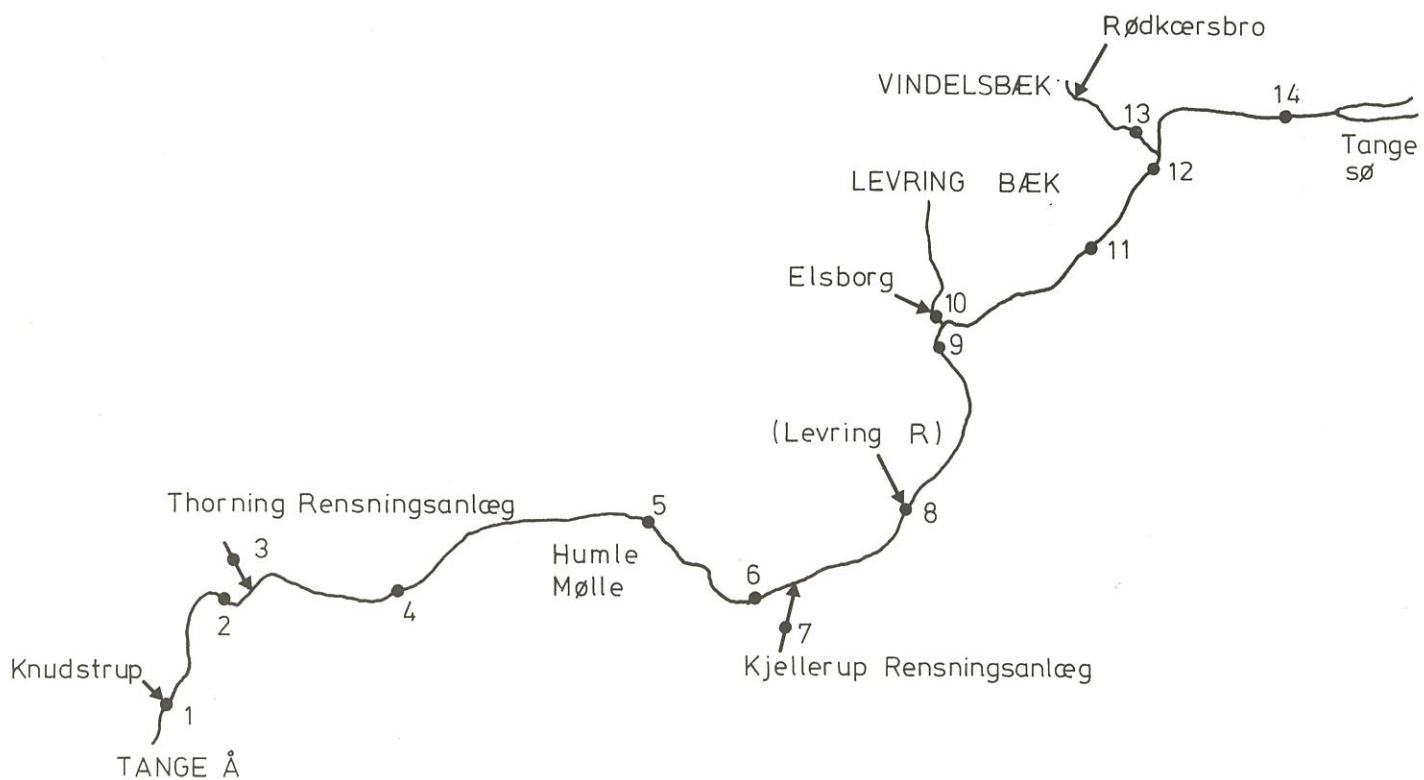
Strækningen er 26 km lang, og der er indlagt 10 stationer på selve åen, desuden er der målestationer i Thorning rensningsanlægs afløb, i afløbet fra Kjellerup rensningsanlæg, i Levring bæk samt i Vindelsbæk.

Figur 8.1 er et oversigtskort med stationerne indlagt.

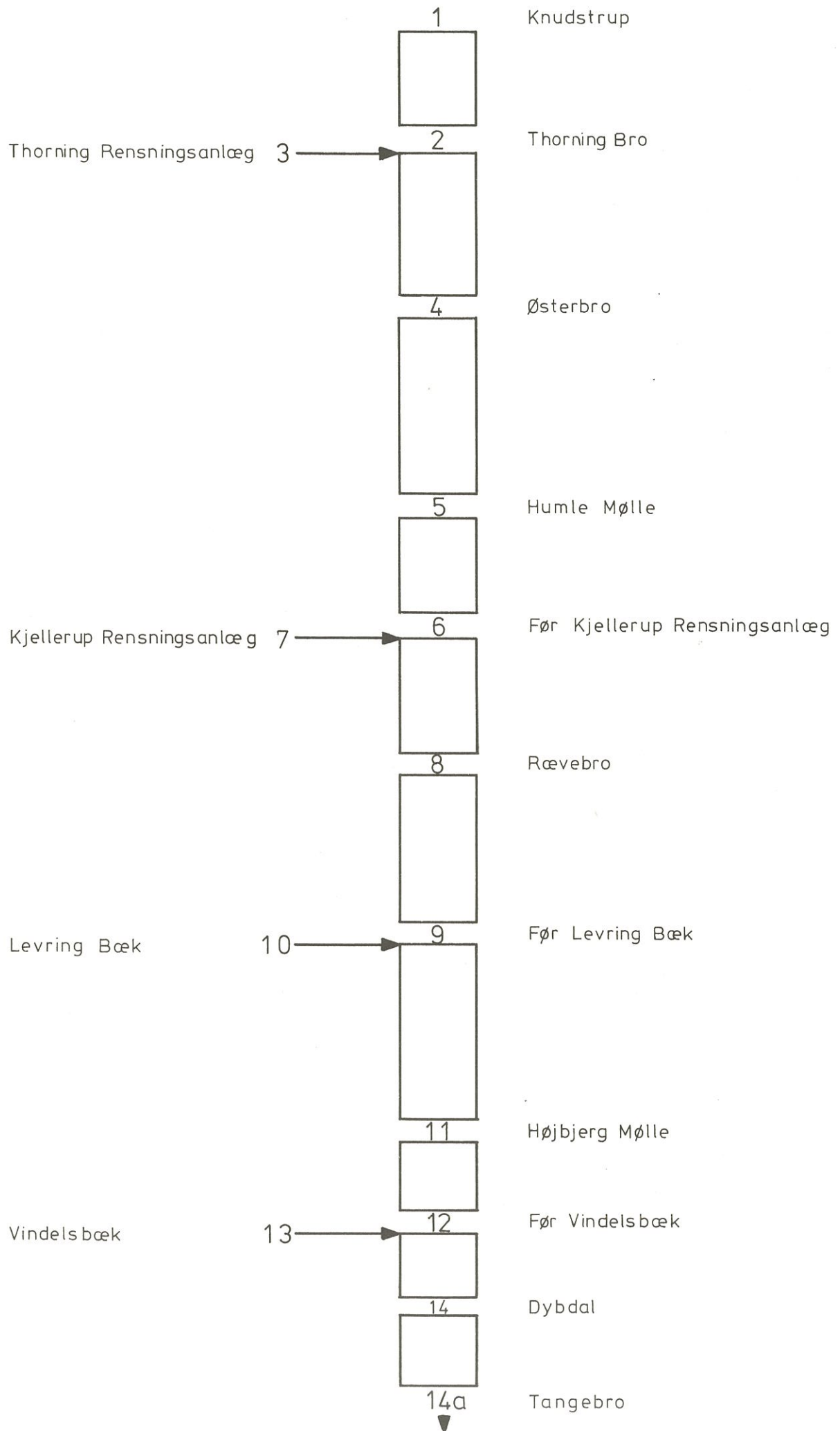
Figur 8.2 er en skematisk fremstilling af åsystemet, med den for modelopstillingen indførte sektionsoptdeling. (Strækning 1 - 2 er dog ikke medtaget i modelberegningen.) De fysisk/kemiske målinger er kun gennemført til og med stationerne 12 og 13.

### 8.2 HYDRAULISKE FORHOLD

Isotopcentralen har i måleperioden foretaget sporstofmålinger på Tange å for at bestemme transporttiden og opblandingsforholdene på langs i åen. Der blev doseret sporstof ved station 2 og station 6,



Figur 8.1 Oversigtskort og stationsplacering på Tange å.



Figur 8.2 Sektionsinddeling af Tange å.

og opholdstidsfordelingskurver blev målt ved station 5, 9, 11 og 14.

Længdeprofilopmålingerne er foretaget af Viborg amtskommunes amtsvandvæsen.

Tabel 8.1 indeholder hydrauliske og geometriske data for Tange å. De i tabellen anførte bundhældninger er middelværdier for sektionerne.

Vandføringen er målt i stationerne 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13 og 14 samt i afløbene for de to rensningsanlæg. Vandføringen i station 11 er beregnet ved interpolation.

Transporttiden gennem hele strækningen fra station 2 til Tange bro er summeret til 30 timer og 40 min.

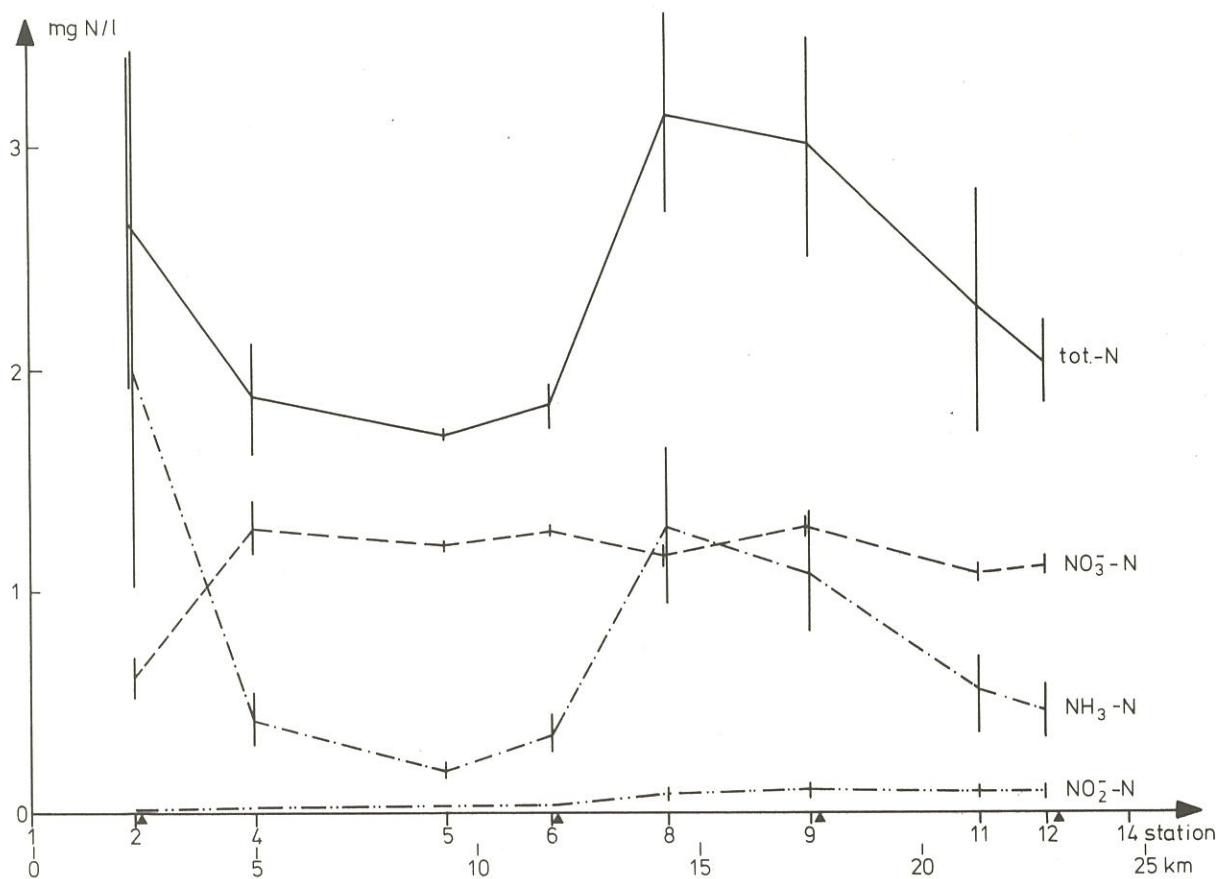
### 8.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD

Figur 8.3 og 8.4 viser variationerne af koncentrationerne af kvælstoffraktioner,  $BI_5$  og iltsvingninger ned ad Tange å. Foruden disse tilstandsvariabler blev der også målt temperatur i åen.

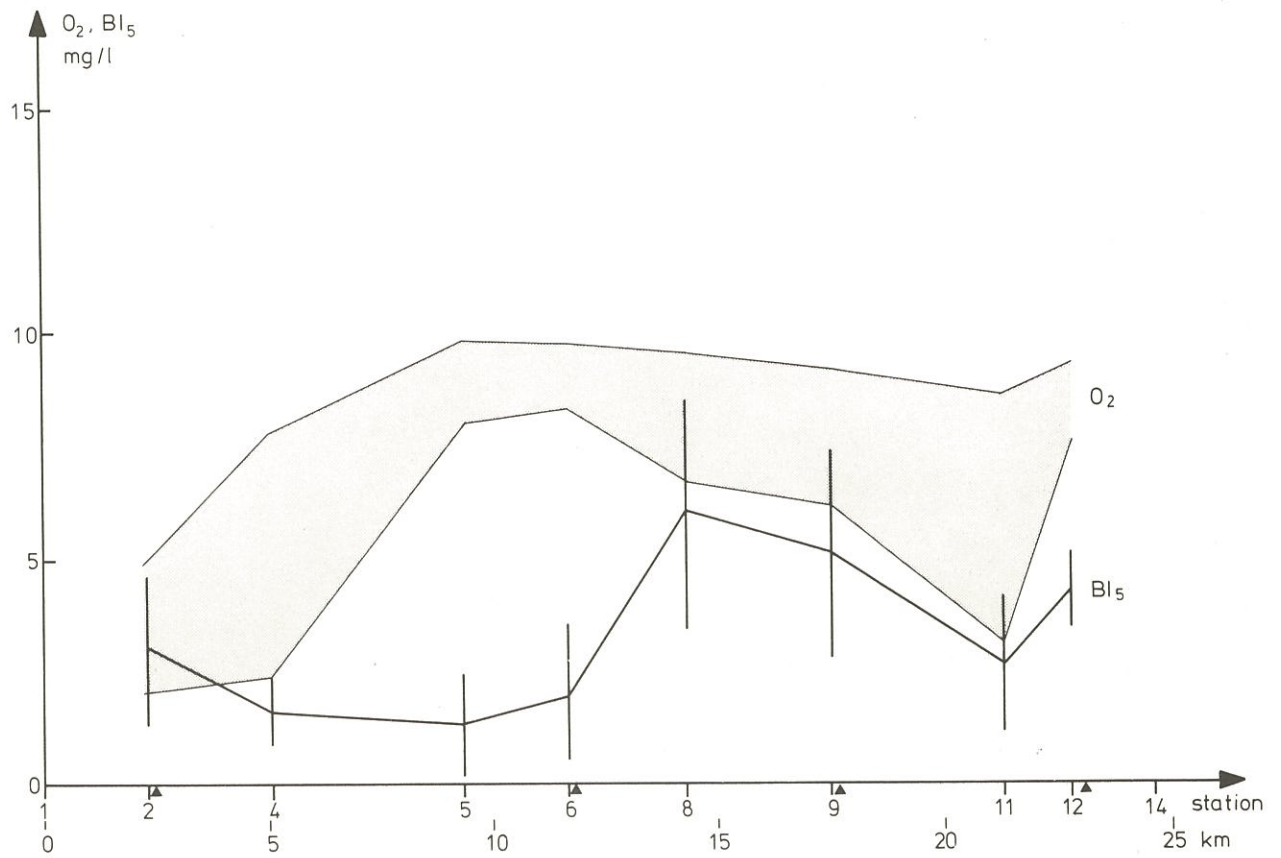
På den betragtede strækning er nitratkoncentrationen nogenlunde konstant bortset fra station 2, som har et lavere niveau. Ammoniakkoncentrationen falder fra station 2 til station 6. Mellem station 6 og station 8 stiger ammoniakkoncentrationen og falder derefter fra station 8 til station 12. Koncentrationen af total-kvælstof har et forløb, der svarer til forløbet af ammoniakkoncentrationen.

GUDENAEN, TANGE Å		Stations- nummer	Stræk- nings- længde	Energi- gradient	Middel- dybde	Middel- bredde	Middel- vandfø- ring	Middel- strøm- hastig- hed	Manning tal	Trans- porttid gennem sektion- nen	Trans- porttid fra start	Disper- sions- koeffi- cient
STATIONSBETEGNELSE			m	m/m •10 <sup>4</sup>	m	m	m <sup>3</sup> /sek	m/sek	m <sup>1/3</sup> /sek	timer min.	timer min.	m <sup>2</sup> /sek
Knudstrup	1	2300	1,87	-	2,25	0,010	0,20	0,20	-	-	-	-
Thorning bro	2	2750	2,10	0,09	2,25	0,010	0,20	0,20	19,0	4.15	0	0,67
Østerbro	4	4300	1,79	0,20	3,60	0,073	0,20	0,20	14,0	5.11	4.15	0,67
Før Humle mølle	5a	50	41,0	-	-	0,220	-	-	-	0.04	10.26	-
Efter Humle mølle	5b	2280	2,01	0,23	4,60	(0,220)	0,25	0,25	16,3	2.35	10.30	1,37
Før Kjellerup renseanl.	6	2600	1,42	0,21	4,65	0,262	0,29	0,29	22,3	2.30	13.05	2,07
Rævebro	8	3200	1,48	0,23	4,80	0,305	0,29	0,29	20,9	3.06	15.35	2,07
Før Levring bæk	9	3800	1,22	0,44	4,80	0,344	0,20	0,20	10,4	5.23	18.41	0,55
Før Højbjerg mølle	11a	300	5,30	-	-	-	-	-	-	0.32	24.04	-
Efter Højbjerg mølle	11b	1180	1,75	0,42	4,75	-	0,26	0,26	12,6	1.14	24.36	3,53
Før Vindelsbæk	12	1840	1,33	0,48	4,75	0,620	0,26	0,26	12,7	1.56	25.50	3,53
Dybdal	14	1800	-	-	-	0,660	-	-	-	1.54	28.46	-
Tange bro	14a										30.40	

Tabel 8.1 Hydrauliske og geometriske data for Tange å.



Figur 8.3 Kvalstofkoncentration målt i Tange å den 10. - 11. juni 1975. De lodrette linier er standardafvigelse.



Figur 8.4 Iltsvingninger og BI<sub>5</sub>-koncentrationer, målt i Tange å den 10. - 11. juni 1975. BI<sub>5</sub>-koncentrationen er vist som middelværdier og spredninger.

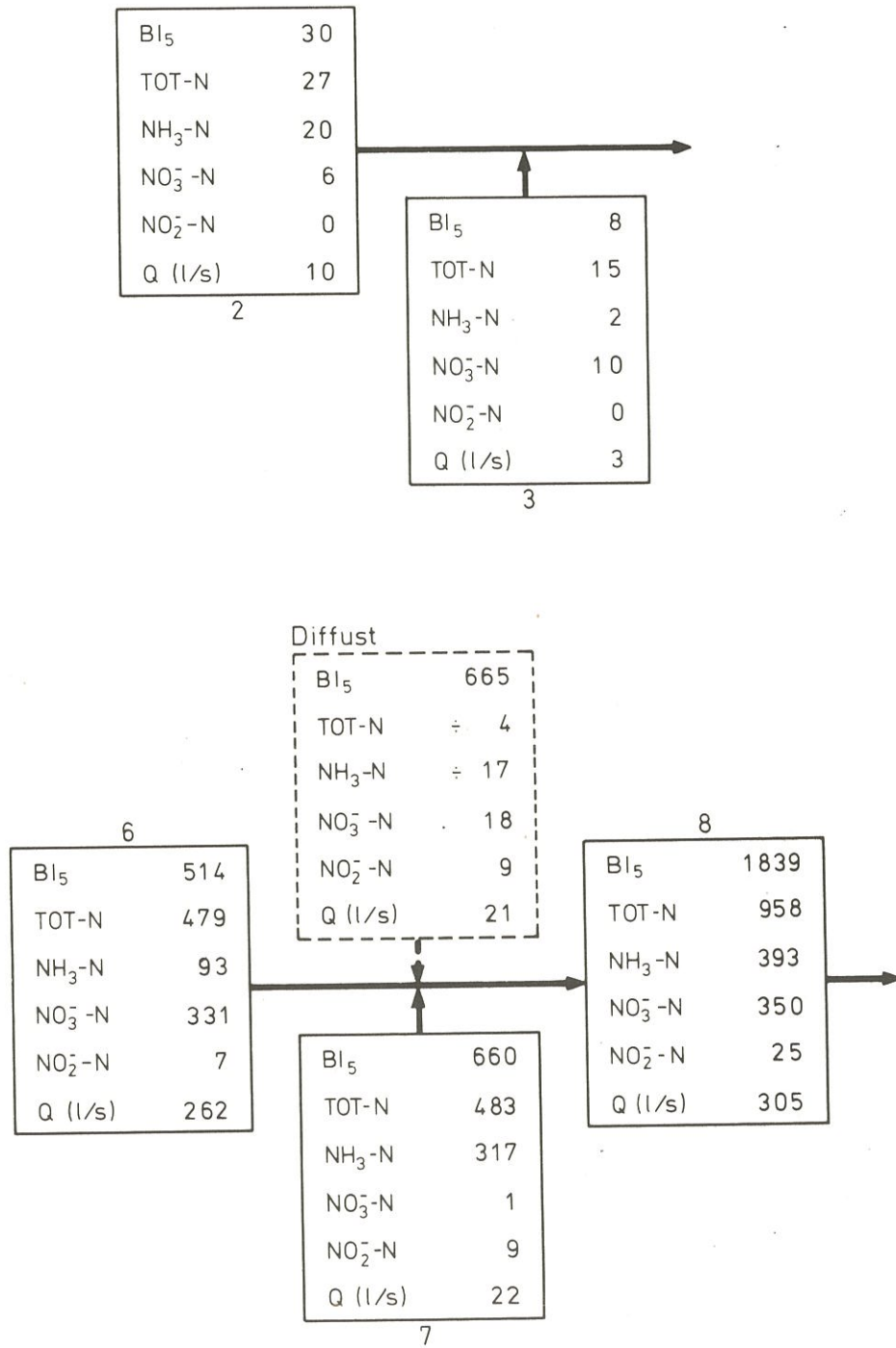


Årsagen til, at nitratkoncentrationen er konstant, mens der sker et fald i ammoniak- og total-kvælstofkoncentrationen, er sandsynligvis, at der sker en tilførsel af drænvand med nitratindhold af samme størrelsesorden som åens vand, men uden væsentligt indhold af ammoniak.

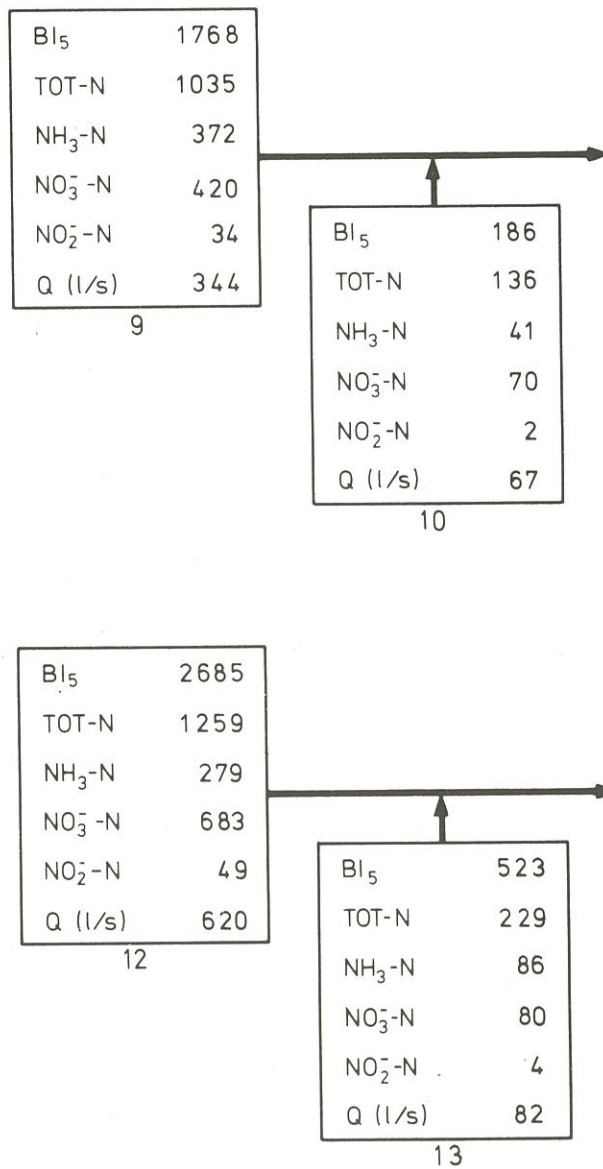
BI<sub>5</sub>-koncentrationen er lav (ca. 2 mg/l) på den første del af åen indtil Kjellerup. Efter Kjellerup er den steget til ca. 6 mg/l. Derefter falder koncentrationen under indtryk af nedbrydning og fortynding. Iltsvingningerne er ret beskedne gennem det meste af åen, kun ved stationerne 4 og 11 er der en døgnsvingning, som er større end 5 mg/l.

Ved station 5, Humle mølle, sker der en luftning, således at iltindholdet umiddelbart efter ligger mellem 8 og 10 mg/l døgnet rundt. Efter Kjellerup falder middeliltindholdet svarende til et iltsvind. Betragtes figur 8.6, som er en massebalance for kvælstof og BI<sub>5</sub> på Tange å ved Kjellerup ses, at der transporteres mere BI<sub>5</sub> ved station 8 end forventeligt ud fra transporten ved station 6 og tilførslen fra Kjellerup rensningsanlæg.

Transporten af organisk stof målt som iltforbrug med kaliumpermanganat er ved station 6 lig med 736 mg/sek., udledningen fra Kjellerup rensningsanlæg er 531 mg/sek., og transporten ved station 8 er 1406 mg/sek. KMnO<sub>4</sub> ilter ikke NH<sub>3</sub>, hvorfor differensen mellem BI<sub>5</sub>-transporten og transporten af organisk stof målt som iltforbrug med KMnO<sub>4</sub> ved station 8 kan skyldes, at BI<sub>5</sub>-bestemmelsen medtager noget nitrifikation i BI<sub>5</sub>-flasken. På denne måde kan gøres rede for de 665 mg BI<sub>5</sub>/sek., som på figur 8.6 er anført som diffust tilledt.



Figur 8.5 og 8.6 Belastningsvurdering af Tange å med BI<sub>5</sub> og kvælstof ved Thorning rensningsanlæg (3) og Kjellerup rensningsanlæg (7).



Figur 8.7 og 8.8 Vurdering af belastningen af Tange å med BI<sub>5</sub> og kvælstof fra Levring bæk (10) og Vindelsbæk (13).

Når der ikke sker en tilsvarende nitrifikation i  $BI_5$ -prøverne fra afløbet af Kjellerup rensningsanlæg, kan det skyldes inhibering, idet Kjellerup rensningsanlæg er belastet med både kviksølv og krom, se Rensningsanlægsrapporten /11/. Inhiberingen er delvis elimineret i åen på grund af fortynding.

Måling på station 67, som ligger i åen ca. 100 m fra Kjellerup rensningsanlægs udløb viser transporter af samme størrelse som i station 8, hvilket underbygger ovenstående forklaring

Den kvælstofbelastning, der tilgår fra Kjellerup rensningsanlæg, svarer til 3.500 PE.

Betragtes de diffuse bidrag, ses at der sandsynligvis sker en vis nitrifikation omend af en beskeden størrelse i åen. Den ammoniakmængde, der nitrificeres på strækning 6 - 8, er af størrelsesordenen  $0,1 \text{ g N/m}^2/\text{døgn}$ . Det er ikke usandsynligt, at der sker en nitrifikation på denne strækning, da Kjellerup rensningsanlæg leder unitrificeret spildevand ud i åen. Station 10, Levringsbæk, øger transporten af  $BI_5$  og kvælstof i Tange å med ca. 10 %, mens Vindelsbæk øger transporten af  $BI_5$  og N med ca. 20 %.

#### 8.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBETS PARAMETRE

Beregningsresultaterne fra kalibreringen af vandløbsmodellen fremgår af tabel 8.2.

Station	Nr.	Middel gen- iltning- konstant v. 20°C døgn <sup>-1</sup>	Nedbrydnings- konstant for BI <sub>5</sub> v. 20°C døgn <sup>-1</sup>	Total respi- ration v. 20°C g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Maximal fo- tosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Total fo- tosyntese g ilt/m <sup>2</sup> / døgn	Tilledning af org. stof kg BI <sub>5</sub> /m/ døgn	Afstand fra start m
Knudstrup	1	-	-	-	-	-	-	0
Thorning bro	2	15,9	2,0	1,5	0,14	1,5	0,004	2300
Østerbro	4	9,9	2,0	1,0	0,27	3,0	0,002	5050
Før Humle mølle	5a	-	-	-	-	-	-	9350
Efter Humle mølle	5b	10,5	1,0	1,1	0,10	1,1	0,01	9400
Før Kjellerup ren- seanlæg	6	9,0	0,5	8,0	0,36	4,0	0,015	11680
Rævebro	8	8,8	0,25	7,0	0,27	3,0	0,010	14280
Før Levring bæk	9	5,1	0,75	8,0	0,27	3,0	0,001	17480
Før Højbjerg mølle	11a	-	-	-	-	-	-	21280
Efter Højbjerg m.	11b	9,0	0,25	0,5	0,14	1,5	0,04	21580
Før Vindelsbæk	12	-	-	-	-	-	-	22760
Dybdal	14	-	-	-	-	-	-	24600
Tange bro	14a	-	-	-	-	-	-	26400

Tabel 8.2 Kemiske parametre for Tange å, bestemt på grundlag af målinger den 10. - 11. juni 1975.

Kommentarer til tabel 8.2:

Genluftningskonstanten er ret stor på grund af det store fald på bunden, se tabel 8.1, og den lille dybde.

Nedbrydningskonstanten for  $BI_5$  er ikke særlig stor undtagen for den øverste del af åen, strækning 2 - 4.

## 8.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIV-UNDERSØGELSEN AF TANGE Å FRA KNUDSTRUP TIL TANGE BRO

Den vandføring, der blev målt i Tange å ved Vindelsbæk bro, station 12, var 620 l/sek. Den mindste vandføring, der blev registreret på denne station i 1974 var 515 l/sek. Vandføringen i døgnet for den intensive målerunde må betragtes som så nær minimumsvandføringen, at de opnåede resultater kan anvendes til prognosticering.

Temperaturen i måledøgnet svingede mellem  $9^{\circ}\text{C}$  og  $20^{\circ}\text{C}$ . hvilket vil sige, at dagtemperaturen i vandet var nær ved maksimaltemperaturen.

Iltforholdene i Tange å var under den intensive målerunde kun uacceptable i den øverste del af åen, strækning 2 - 4, hvor den kom under 2 mg/l om natten. Selv om der sker et iltforbrug efter Kjellerup rensningsanlæg, betyder dette ikke, at der i den nuværende situation er ekstremt dårlige iltforhold. Først ved station 11 er der tendens til uacceptable

iltforhold om natten. Det må bemærkes, at en forøget udledning af organisk stof fra Kjellerup rensningsanlæg vil kunne medføre et større iltsvind i åen, således at minimumsiltindholdet nedstrøms station 6 vil falde væsentligt.

En beregningsmæssig vurdering, som er gennemført for Hadsten lilleå (se afsnit 7.6), bør derfor gennemføres før en eventuel udbygning af Kjellerup rensningsanlæg finder sted.

## 9. NØRRE Å. STRÆKNING VEDSØ - BRUNSHÅB

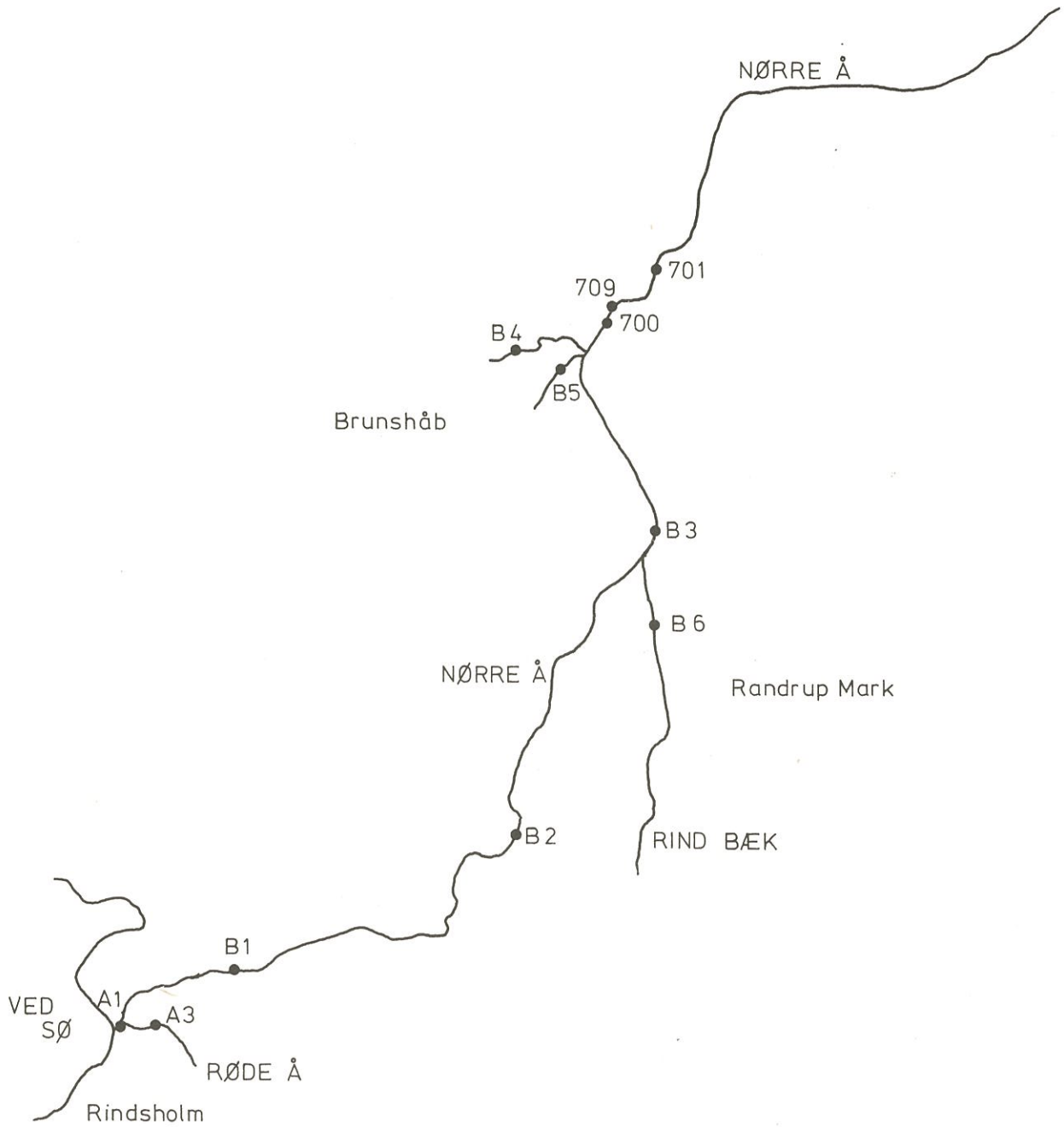
Viborg amtsvandvæsen gennemførte 20. - 21. august 1975 en intensiv undersøgelse af Nørre å's øvre del, som en udvidelse af undersøgelsen foretaget 21. - 22. august 1973. Formålet var dels at udvide iltbalancemodellen, der er opstillet for Nørre å fra Brunshåb til Økær bro, og som er beskrevet i /8/, dels at vurdere belastningskilderne af den øvre del af Nørreåen, og dels at fremskaffe et rationelt beslutningsgrundlag for fastsættelsen af vandkvalitetskrav i Nørreåen, under hensyntagen til de regulerbare kilder.

### 9.1 STATIONSOVERSIGT

En stationsoversigt fremgår af figur 9.1. Stationernes betegnelse fremgår af nedenstående stationsoversigt:

A <sub>1</sub>	Vedsø før stemmeværk v. Rindsholm mølle
A <sub>2</sub>	Nørre å før udløb af Rindsholm dambrug
A <sub>3</sub>	Røde å før indløb i Rindsholm dambrug
A <sub>4</sub>	Rindsholm dambrug. Udløb fra sydlige damsektion
B <sub>1</sub>	Rindsholm ny vejbro
B <sub>2</sub>	Randrup gangbro
B <sub>3</sub>	Randrup bro
B <sub>4</sub>	Sdr. Mølleå
B <sub>5</sub>	Brunshåb Papfabrik
(B <sub>6</sub> )	Rind bæk
700	Nørre å før Viborg centralrensningsanlæg
709	Viborg centralrensningsanlæg
701	Nørre å efter Viborg centralrensningsanlæg
706	Vejrum bro





Figur 9.1 Oversigtskort over øvre del af Nørre å.

## 9.2 HYDROLOGISKE/HYDRAULISKE FORHOLD

De vandføringsmålinger, som er foretaget i juli - september 1975 i den øvre del af Nørre å fremgår af tabel 9.1. Den højere vandføring i station  $B_1$  end i station  $B_3$ , som fremgår af tabel 9.2, skyldes måleusikkerhed og regn i måledøgnet.

Tabel 9.2 indeholder de hydrauliske parametre, som er anvendt ved modelopstillingen af Nørre å.

De i tabel 9.2 anførte transporttider og Pecléttal er beregnet efter en sporstofdosing ved stationerne  $B_1$  og  $B_3$  samt registrering af opholdstidsfordelingskurver ved stationerne  $B_2$ ,  $B_3$  og 700. Som sporstof er anvendt rhodamin B. De tre opholdstidsfordelingskurver er vist på figur 9.2, 9.3 og 9.4.

## 9.3 FYSISK/KEMISKE FORHOLD

Koncentrationsniveauer af de målte tilstandsvariabler er vist i tabel 9.3 for samtlige stationer, hvor målinger er foretaget i den intensive målerunde.

For at vurdere belastningsbidragene til Nørre å fra de enkelte kilder: Vedsø, Røde å, Rindsholm dambrug og Rindsholm rensningsanlæg er figur 9.5 vist. Figur 9.5 viser stoftransporterne i mg/sek fra ovennævnte kilder. Bidraget fra Rindsholm dambrug er beregnet som differens, da vandføringen gennem dambruget ikke kendtes. Tallene er derfor for station  $A_4$  behæftet med en vis usikkerhed, f.eks. er  $BI_5$ -belastningen fra dambruget på 1294 mg/sek afgjort for lille på grund af omsætninger i åen opstrøms station  $B_1$ . Den procentvise fordeling af belastningen på de 4 enkeltkilder fremgår af tabel 9.4.

STATION		VANDFØRING l/sek	DATO
A <sub>3</sub>	Røde å	146	19.08.1975
B <sub>1</sub>	Rindsholm ny vejbro	1480	15.09.1975
		1340	05.09.1975
		1570	19.08.1975
		1120	02.07.1975
B <sub>2</sub>	Randrup gangbro	1320	15.09.1975
		1150	05.09.1975
		1356	19.08.1975
B <sub>3</sub>	Randrup bro	1570	15.09.1975
		1412	19.08.1975
		1377	21.08.1975
		1160	02.07.1975
B <sub>4</sub>	Søndermølle å ved udl. Nørre å	505	15.09.1975
		537	21.08.1975
		449	20.08.1975
		233	03.07.1975
B <sub>6</sub>	Rind bæk	175	21.08.1975
		185	19.08.1975
		159	02.07.1975
700	Nørre å før Viborg k. rensningsanlæg	2110	15.09.1975
		1683	19.08.1975
		1742	20.08.1975
		1831	21.08.1975
		1392	03.07.1975

Tabel 9.1 Vandføringsmålinger i den øvre del af Nørre å-systemet, juli-sept. 1975.

	Stræk- nings- længde m	Energi- gradient $\frac{\text{mm}}{10^4}$	Middel- dybde m	Middel- bredde m	Middel- vandfø- ring $\text{m}^3/\text{sek}$	Middel- strømhastig- hed m/sek	Manning tal $\frac{1}{\text{m}^3/\text{sek}}$	Peclét- tal	Disper- sions- koeffi- cient $\text{m}^2/\text{sek}$	Trans- porttid gennem station min	Trans- porttid fra start fra start min	Afstand fra start m
Rindsholm ny vejbro B <sub>1</sub>	1675	5,07	0,46	7,67	1,570 1,414	0,40	32,1	172	3,9	69,8		0
Randrup gangbro B <sub>2</sub>	1450	3,31	0,45	9,38	1,257 (1,221)	0,29	28,9	116	3,6	84,5	69,8	1675
Randrup bro B <sub>3</sub>	850	3,11	0,72	8,08	1,360 (1,275)	0,22	17,4	165	1,1	64,0	154,3	3125
Nørre å før Viborg k.												
rensn.anl. 700					1,726							
Rind bæk B <sub>6</sub>					0,175							
Søndermøl- le å B <sub>4</sub>					0,536						218,3	3975

Tabel 9.2 Hydrauliske og geometriske data for øvre del af Nørre å.

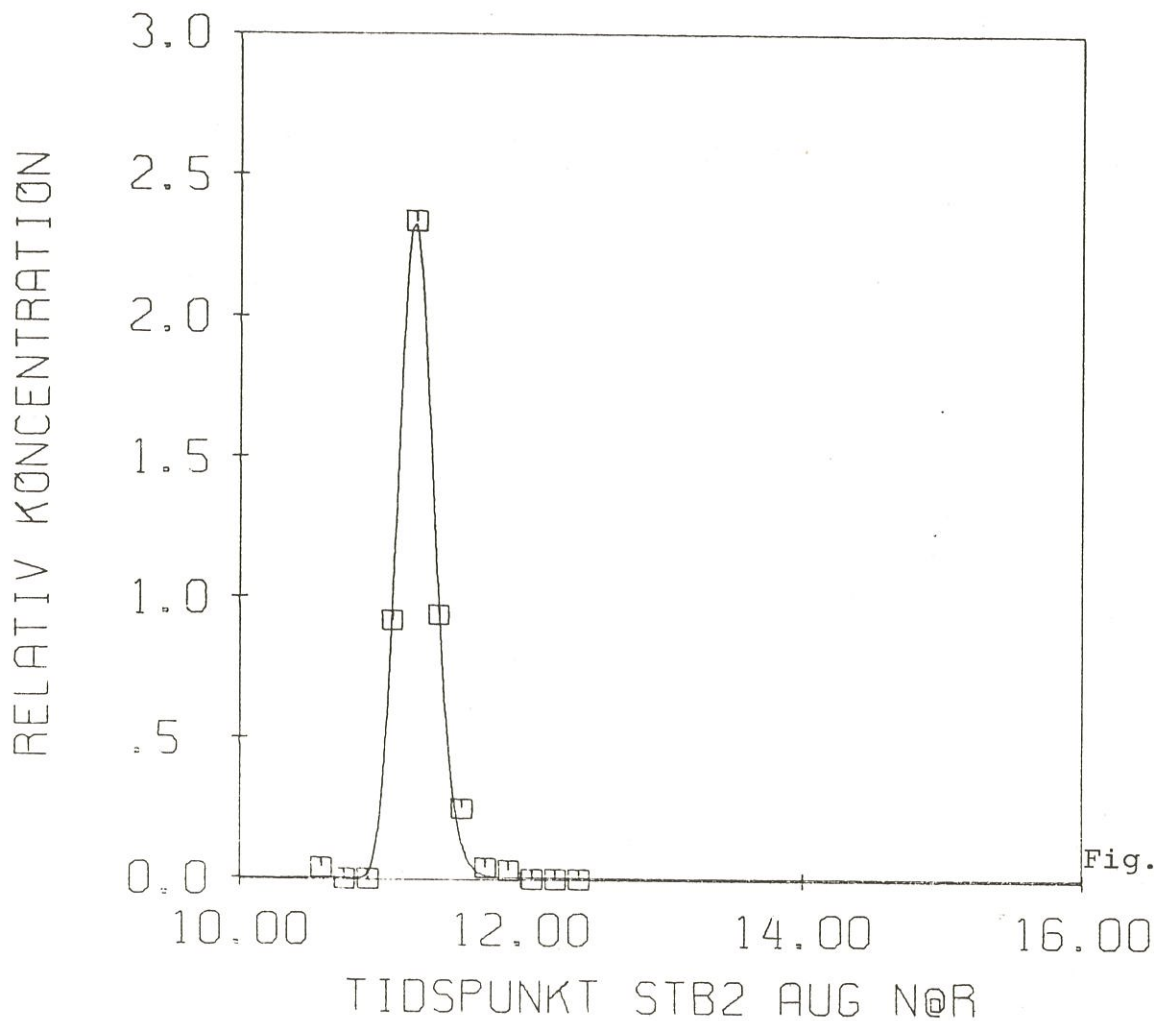


Fig. 9.2

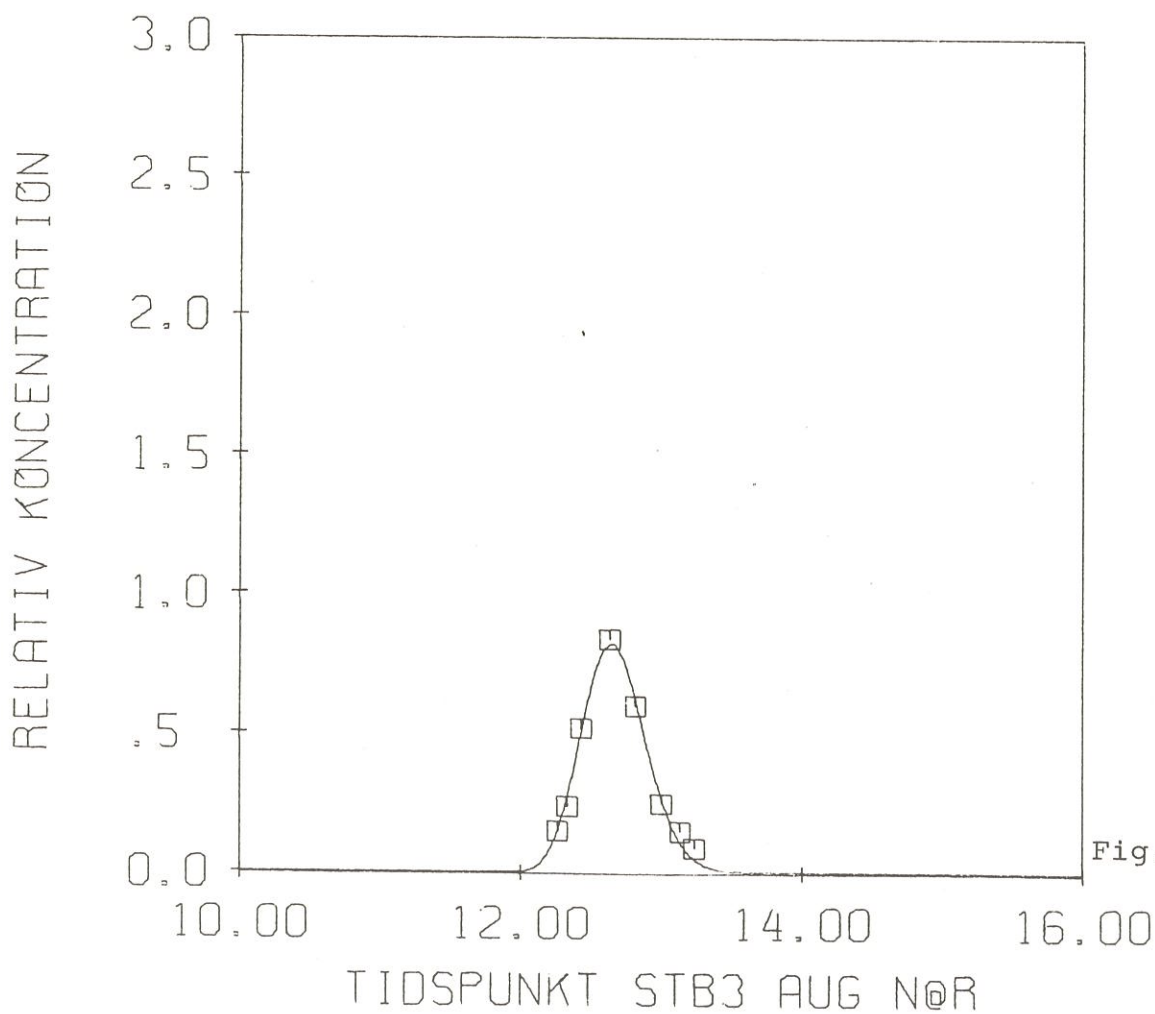


Fig. 9.3

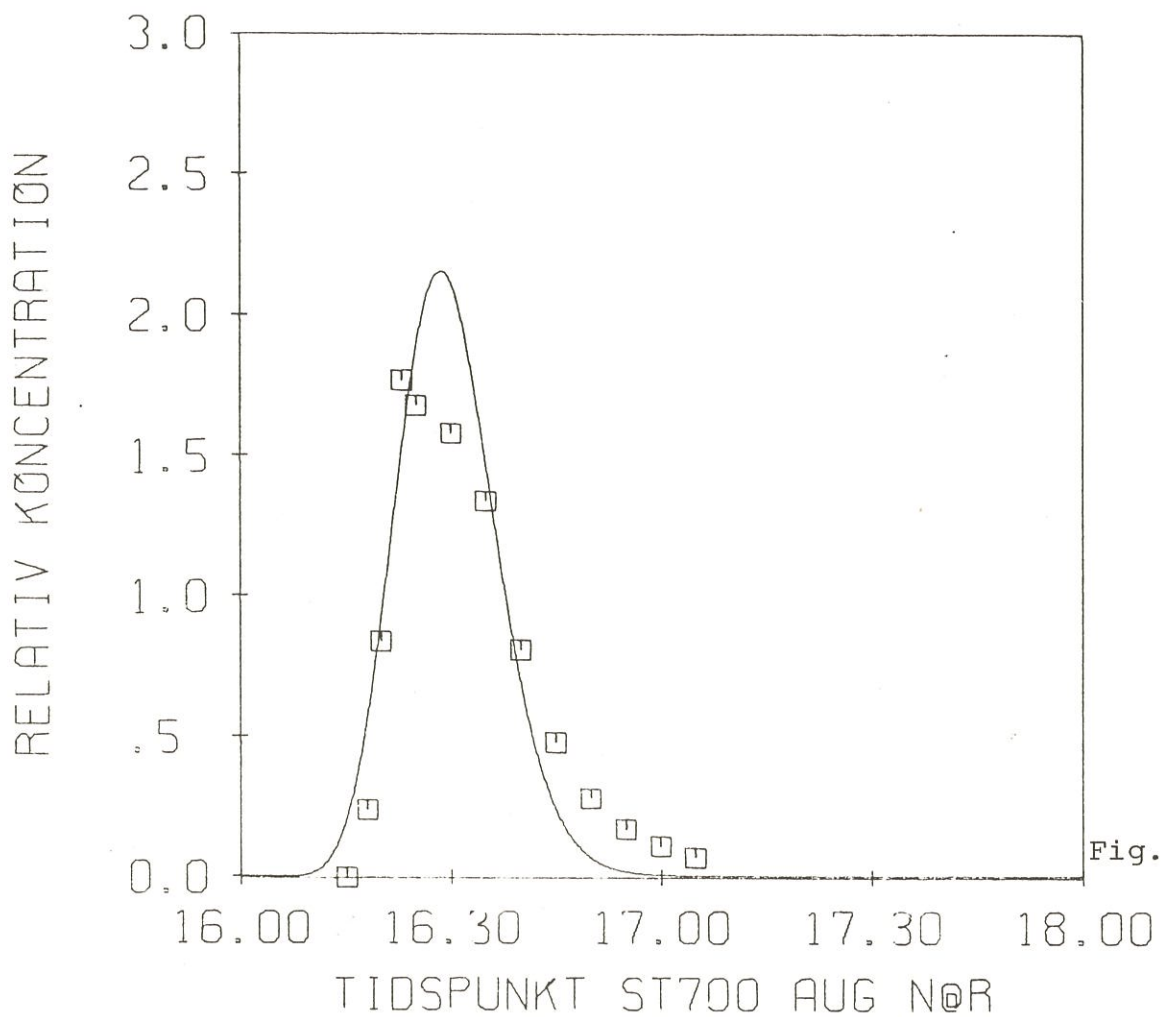


Fig. 9.4

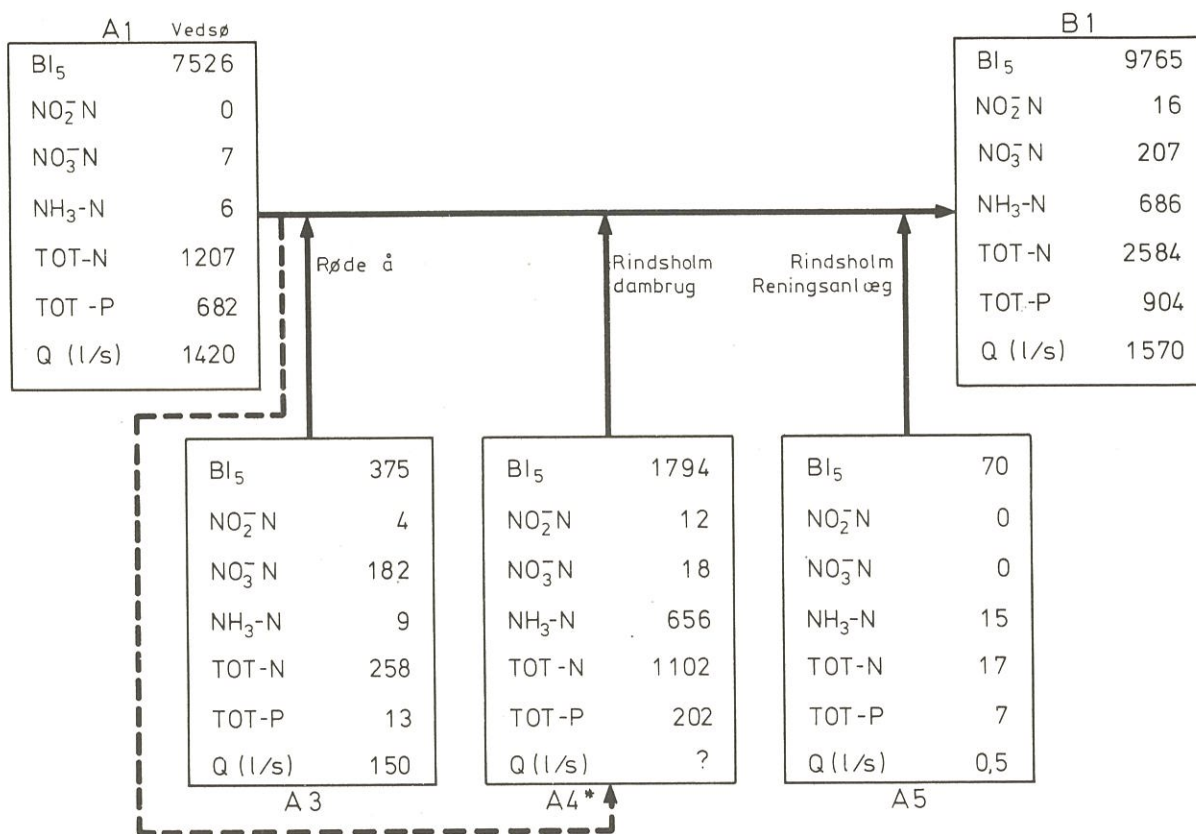
Figur 9.2, 9.3 og 9.4:

Opholdstidsfordelingskurver for sporstof (rhodamin B) doseret i Nørre å.

Sporstof blev doseret ved station B1 kl. 10.05 og ved station B3 kl. 15.25

Station	BI <sub>5</sub> mg/l	pH	Total-N mg/l	NH <sub>3</sub> -N mg/l	NO <sub>3</sub> -N mg/l	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N mg/l	Total-P mg/l	PO <sub>4</sub> -P mg/l	Frafil- treret tørstof mg/l	Glødetab i tørstof mg/l
A1	4,2- 6,3	7,7-8,3	0,70-1,16	< 0,03	< 0,01	~ 0	0,47-0,50	0,38-0,41	12-18	9-13
A3	1,3- 4,2	7,7-7,8	1,53-2,05	0,02-0,21	0,50-1,53	0,02-0,03	0,06-0,12	0,03-0,05	10-16	4- 8
A5	140	6,9-7,1	30,4-36,8	26,7-33,3	~ 0	~ 0	13,9-14,0	11,1-12,7	70-120	58-90
B1	2,8-11,0	7,3-7,9	1,26-2,03	0,32-0,57	0,07-0,19	~ 0,01	0,48-0,72	0,39-0,57	14-27	4-16
B2	4,0- 7,9	7,5-8,0	1,22-1,83	0,31-0,51	0,15-0,22	0,01-0,02	0,44-0,57	0,31-0,43	17-28	7-17
B3	3,8- 6,5	7,5-7,8	1,34-1,78	0,34-0,52	0,28-0,60	0,02-0,03	0,37-0,50	0,25-0,33	9-24	8-15
B4	2,5- 4,8	7,4-8,0	0,86-1,22	< 0,09	0,14-0,32	0,01-0,03	0,27-0,41	0,20-0,29	3-15	5-15
B6	2,7- 9,5	7,6-7,8	1,76-2,40	0,14-0,23	0,93-1,21	0,04-0,06	0,16-0,54	0,06-0,12	43	28
700	2,9- 5,9	7,5-7,8	1,39-1,73	0,21-0,84	0,20-0,39	0,03	0,38-0,46	0,24-0,28	12-23	<b>7-13</b>
701	4,3-12,0	7,4-7,9	1,76-4,26	0,49-2,74	0,23-0,32	0,03-0,07	0,47-1,58	0,30-0,93	16-36	<b>10-15</b>
706	2,8- 5,8	7,3-7,8	2,00-3,24	0,98-2,13	0,27-0,34	0,04-0,06	0,62-1,07	0,47-0,80	7-11	<b>6- 9</b>
709	14 -40	7,2-7,6	9,9 -18,1	8,1-15,2	0,05-0,17	0,02-0,07	3,2-7,5	2,9-6,7	16-44	<b>12-29</b>

Tabel 9.3 Største og mindste koncentrationer af tilstandsvariabler målt i Nørre å den 20. - 21. august 1975.



Figur 9.5 Belastning af Nørre å's øvre del med BI<sub>5</sub>, kvælstof og fosfor fra Vedsø (A1), Røde å (A3), Rindsholm dambrug (A4) og Rindsholm rensningsanlæg (A5).



Station	BI <sub>5</sub>	Total-N	Total-P
A1	77 %	47 %	76 %
A3	4 %	10 %	1 %
A4	18 %	42 %	22 %
A5	1 %	1 %	1 %
B1	100 %	100 %	100 %

Tabel 9.4 Procentvis fordeling af belastningen af Nørre å med BI<sub>5</sub>, kvælstof og fosfor fra Vedsø (A1), Røde å (A3), Rindsholm dambrug (A4) og Rindsholm rensningsanlæg (A5).  
Dambrugsbelastningen er beregnet ved differens.

Af tabel 9.4 ses, at over halvdelen af kvælstoftilførslen og 3/4 af BI<sub>5</sub>- og fosfortilførslen til Nørre å's øvre del kommer fra de ukontrollable kilder, Vedsø og Røde å. Belastningen fra Rindsholm rensningsanlæg er beskedent. Rindsholm dambrug tegner sig for 20 - 40 % af belastningen med BI<sub>5</sub>, N og P på denne del af Nørre å.

#### 9.4 BESTEMMELSE AF VANDLØBSPARAMETRENE

Modelopstillingen er foretaget for strækningerne B1-B2 og B2-B3. Tabel 9.5 indeholder resultaterne. Sammenkædningen med den øvrige del af Nørre å samt en samlet vurdering af resultaterne findes i Samlerapporten, /13/.

Stationsnummer	Middelgenluftningskonstant ved 20°C døgnet <sup>-1</sup>	Nedbrydningskonstant for BI <sub>5</sub> ved 20°C døgnet <sup>-1</sup>	Totalrespiration ved 20°C g ilt/m <sup>2</sup> /døgnet	Maximalfotosyntese g ilt/m <sup>2</sup> /time	Totalfotosyntese g ilt/m <sup>2</sup> /døgnet	Tilførelse af organisk stof kg BI <sub>5</sub> /m/døgnet
B1 *)	3,8	1,5	17,1	~ 0	~ 0	-
B2 *)	2,8	0,75	4,17	~ 0	~ 0	-
B3 *)						
700 **)	0,5	1,7	7,0	0,40	3,7	-
704 **)	0,4	1,7	6,4	0,88	8,2	-
706 **)	0,5	1,7	4,0	0,49	4,6	-
707 **)						
708 **)	0,6	1,3	12,5	0,75	7,0	-

\*) Bestemt på grundlag af målinger den 20. - 21. august 1975.

\*\*\*) Fra Nørre å-rapporten, / 8/.

Tabel 9.5 Parametre for Nørre å.

Genluftningskonstanten er af samme størrelse som øvrige Gudenåstrækninger.

Nedbrydningskonstanten for  $BI_5$  er  $1,5 \text{ d\ddot{o}gn}^{-1}$  på den øverste strækning og halvt så stor på strækning B2-B3. Forklaringen kan være, at det lettest nedbrydelige stof fra dambruget bliver nedbrudt på den første strækning.

Totalrespirationen er ca. 4 gange større på den første strækning end på den sidste. Det betyder, at en del sedimenteret materiale nedbrydes på den øverste strækning - dette er især materiale fra dambruget.

Der er ikke konstateret fotosyntese på denne del af åen, måske på grund af gråvejlr.

Til sammenligning med de parametre, som er bestemt for øvre del af Nørre å og anført i tabel 9.5, er der ligeledes i tabel 9.5 anført de parametre, som blev bestemt i 1973 for den resterende del af Nørre å.

## 9.5 KONKLUSION OG KOMMENTARER TIL INTENSIV- UNDERSØGELSEN AF NØRRE Å, ØVRE DEL

Belastningen af den øvre del af Nørre å indtil Randrup gangbro skyldes især afløb fra Vedsø og fra Rindsholm dambrug, men også Røde å yder et bidrag. Kun 20 - 40 % af  $BI_5$ , N og P belastningerne til denne del af Nørre å kommer fra kontrollable kilder, hvoraf Rindsholm dambrug er den væsentligste. Resterende 60 - 80 % skyldes især alge- og næringsstofudskylning fra Vedsø.

Vandløbsparametrene for den øvre del af Nørreåen adskiller sig fra parametrene fra den øvrige del af åen,

idet genluftningskonstanten er lidt større. Der er ikke konstateret fotosyntese, og totalrespirationen umiddelbart efter Rindsholm dambrug er stor.

I Samlerapporten - Gudenåundersøgelsen 1973-75, /13/ - er resultaterne af de to Nørre å-undersøgelser behandlet under eet.

## 10. REFERENCER

- /1/ Bella, D.A. and Dobbins, W.F.:  
"Difference Modelling of Stream Pollution",  
J. San. Eng. Div. ASCE, 94, SA5. (1968),  
995-1016.
- /2/ Dahl-Madsen, K.I. og Simonsen, J.:  
"Vandløbssimulering". Forskningsrapport fra  
VKI og Laboratoriet for teknisk Hygiejne,  
Danmarks tekniske Højskole 1974.
- /3/ Dambrugsundersøgelsen ved Zoologisk Insti-  
tut, Århus Universitet: Undersøgelse af  
Matstrup å.
- /4/ Elmore, H.L. & West, W.F.:  
"Effect of Water Temperature on Stream  
Reaeration". J. San. Eng. Div. ASCE, 87,  
SA6, (1961), 59-71.
- /5/ Engelund, F.A.:  
"Lærebog i hydraulik". Polyteknisk Forlag  
1969.
- /6/ Hedeselskabet:  
Gudenåundersøgelsen 1973-75. Vandføringsmå-  
linger i Gudenåsystemet.  
Gudenåudvalget 1976.
- /7/ Thackston, E.L. & Krenkel, P.A.:  
"Reaeration Prediction in Natural Streams",  
J. San. Eng. Div. ASCE, 95, SA1, (1969),  
65-94.

- /8/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Gudenåundersøgelsen 1973-75.  
Intensive vandløbsundersøgelser i Nørre å.  
Gudenåudvalget 1974.
- /9/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Gudenåundersøgelsen 1973-75.  
Stoftransport i Gudenåsystemet.  
Gudenåudvalget 1976.
- /10/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Gudenåundersøgelsen 1973-75.  
Undersøgelse af spildevand fra papir- og  
papfabrikker.  
Gudenåudvalget 1975.
- /11/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Gudenåundersøgelsen 1973-75.  
Spildevandsundersøgelser.  
Gudenåudvalget 1976.
- /12/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Gudenåundersøgelsen 1973-75.  
Undersøgelser af Salten å.  
Gudenåudvalget 1976.
- /13/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Gudenåundersøgelsen 1973-75.  
Samlerapport.  
Gudenåudvalget 1976.
- /14/ Vandkvalitetsinstituttet, ATV:  
Gudenåen. Forundersøgelse 1972.  
VKI 1973.