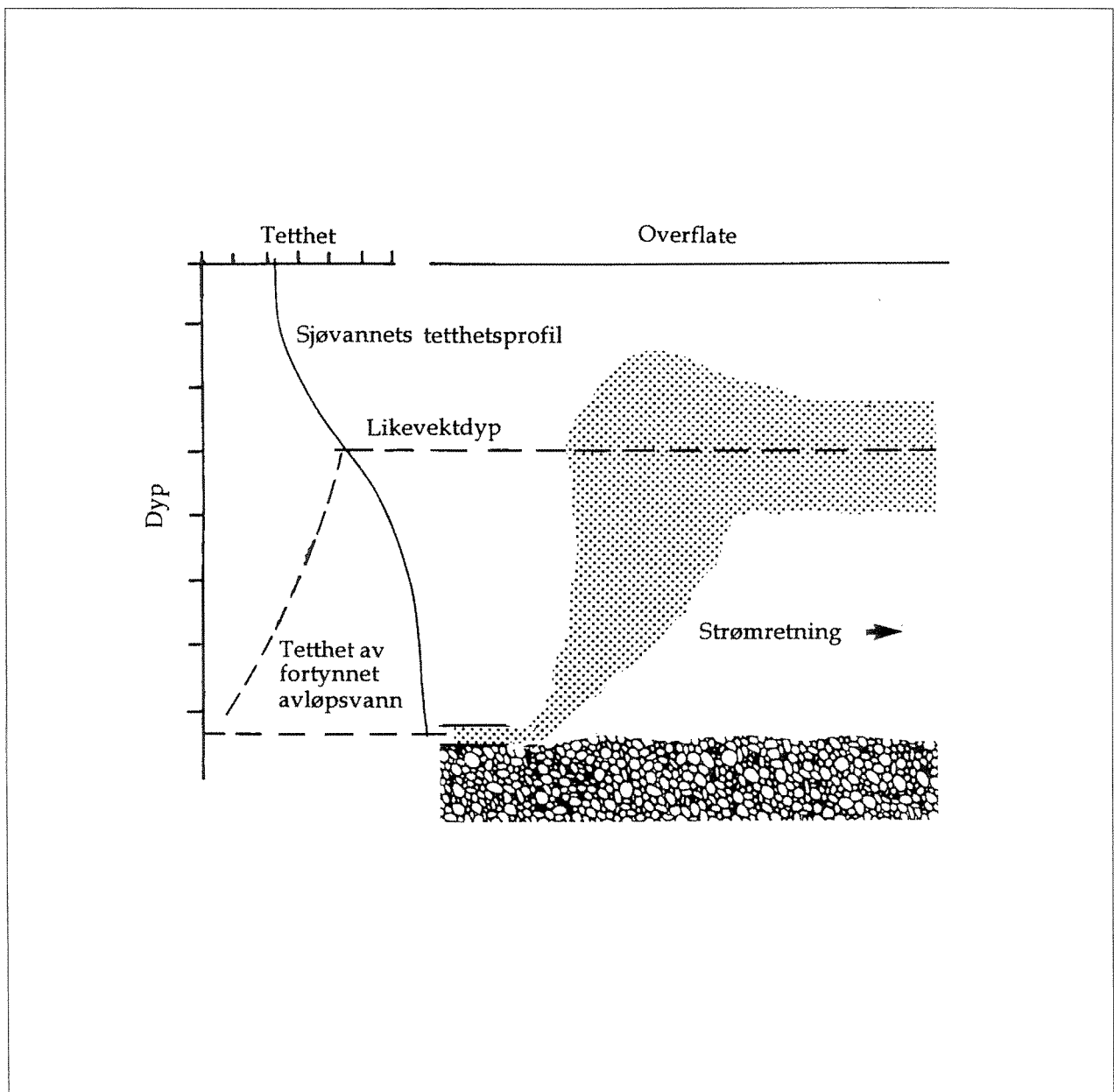


# Avløpsvann fra treforedlingsindustri

## Innvirkning på oksygenforhold i Kristiansandsfjorden



# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Prosjektnr.: O-95230	Undernr.:
Løpenr.: 3413-96.	Begr. distrib.:

<b>Hovedkontor</b> Postboks 173, Kjelsås 0411 Oslo Telefon (47) 22 18 51 00 Telefax (47) 22 18 52 00	<b>Sørlandsavdelingen</b> Televeien 1 4890 Grimstad Telefon (47) 37 04 30 33 Telefax (47) 37 04 45 13	<b>Østlandsavdelingen</b> Rute 866 2312 Ottestad Telefon (47) 62 57 64 00 Telefax (47) 62 57 66 53	<b>Vestlandsavdelingen</b> Thormøhlensgt 55 5008 Bergen Telefon (47) 55 32 56 40 Telefax (47) 55 32 88 33	<b>Akvaplan-NIVA A/S</b> Søndre Tollbugate 3 9000 Tromsø Telefon (47) 77 68 52 80 Telefax (47) 77 68 05 09
--	---	--	---	--

Rapportens tittel: Avløpsvann fra treforedlingsindustri. Innvirkning på oksygenforhold i Kristiansandsfjorden.	Dato: 27/2-96.	Trykket: NIVA 1996
	Faggruppe: Marinøkologisk	
Forfatter(e): Jarle Molvær	Geografisk område: Vest-Agder	
	Antall sider: 15	Opplag:

Oppdragsgiver: Kristiansand kommune.	Oppdragsg. ref.:
---	------------------

Ekstrakt: Målinger av oksygen i forventet innlagingsdyp for avløpsvannet viste varierende, men gode oksygenforhold.  Teoretiske vurderinger basert på beregnet fortykning og antatt oksygenforbruk fra avløpsvannet, tydet på en merkbar reduksjon i oksygenkonsentrasjon etter primærfortyning, men også at videre innblanding av oksygenrikt sjøvann er så stor at i en avstand på 100 m har avløpsvannet liten innvirkning på oksygenforholdene i fjorden. Dette samsvarer med resultatene av oksygenmålingene.
---

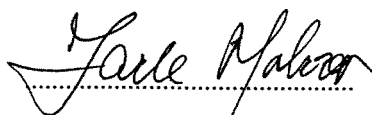
4 emneord, norske

1. Kristiansandsfjorden
2. Oksygen
3. Avløpsvann
- 4.

4 emneord, engelske

1. Kristiansandsfjord
2. Oxygen
3. Waste water
- 4.

Prosjektleder



Jarle Molvær

For administrasjonen



Bjørn Braaten

ISBN 82-577-2946-9

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING (NIVA)  
OSLO**

**O-95230**

**AVLØPSVANN FRA TREFOREDINGSINDUSTRI  
INNVIRKNING PÅ OKSYGENFORHOLD I  
KRISTIANSANDSFJORDEN**

**Oslo, 27. februar 1996**

**Jarle Molvær**

**FORORD**

*Foreliggende rapport er utarbeidet for Kristiansand kommune i henhold til brev av 10.10 1995. Høgskolen i Agder, Vannlaboratoriet, har utført feltarbeidet og analysene av oksygen, og spesielt Dag Olav Andersen takkes for godt samarbeid. Øystein Holvik har vært kontaktperson i kommunen. Ved NIVA har Jarle Molvær vært prosjektleder og skrevet rapporten.*

*Oslo, 27. februar 1996*

*Jarle Molvær*

**INNHOOLD**

	Side:
FORORD .....	1
KONKLUSJONER .....	3
1. BAKGRUNN .....	4
2. TEORI OG METODIKK .....	4
3. RESULTATER OG VURDERINGER .....	6
3.1 Modellberegninger av innlagring og fortynning .....	6
3.2 Konsekvenser for oksygenforhold i innlagringsdyp .....	6
4. LITTERATUR .....	8
VEDLEGG 1 .....	9
VEDLEGG 2 .....	13
VEDLEGG 3 .....	15

**KONKLUSJONER**

*Teoretiske vurderinger basert på beregnet fortytning og antatt oksygenforbruk fra avløpsvannet viser en tydelig oksygenreduksjon, men også at fortytningen med oksygenrikt sjøvann er så stor at utenom en avstand på 100 m fra utslippspunktet har avløpsvannet liten innvirkning på oksygenforholdene i fjorden.*

*Målingene av oksygen i vannmassen omkring utslippspunkt og forventet innlagringsdyp viste varierende, men likevel gode oksygenforhold. Dette bekrefter vurderingene ovenfor. Lavest målte oksygenkonsentrasjon var imidlertid lavere enn beregnet selv for det høyeste valgte teoretiske oksygenforbruk i avløpsvannet. Det kan tyde på at oksygenforbruket over kort tid var noe lavt anslått.*

## 1. BAKGRUNN

I juni 1995 ble avløpsvannet fra treforedlingsindustrien ved Otra (Hunfos og Wallboard) ledet gjennom avløpsledning langs Otra (Otraledningen) og sluppet ut på ca. 55 m dyp i Kristiansandsfjorden. Forventede miljøvirkninger av utslippet har vært vurdert i flere rapporter (Molvær et al. 1989, Molvær 1994, Oug og Helland 1995). Avløpsvannet har høyt innhold av oksygenforbrukende stoff, og et av forholdene som ble vurdert var hvorvidt avløpsvannet kunne forårsake en betydelig nedgang i oksygenkonsentrasjonen. Selv om resultatene av beregningene viste at det var lite sannsynlig, besluttet Kristiansand kommune høsten 1995 at dette skulle kontrolleres gjennom kartlegging av oksygenforholdene nær utslippet.

Formålet med kartleggingen var dermed å:

*Bestemme i hvilken grad avløpsvannet fra Otraledningen medfører reduserte konsentrasjoner av oksygen i utslippsområdet.*

## 2. TEORI OG METODIKK

Når avløpsvannet slippes ut i ca. 55 m dyp, er det betydelig lettere enn det omkringliggende sjøvannet og vil derfor raskt stige opp mot overflaten. Underveis blander det seg med sjøvann, og sjiktningen i fjordvannet i utslippsområdet vil medføre at det fortynnede avløpsvannet ikke når overflaten, men innlagres et stykke nede i vannsøylen (Molvær, 1994). Innlagringsdypet vil variere mye med tiden som følge av varierende sjiktning i vannmassene. Likedan vil fortynningen variere (dyp innlagring  $\Rightarrow$  relativt liten fortynning, og omvendt). Innlagringsdyp og fortynning kan beregnes teoretisk når man kjenner:

- \* diameter på avløpsledning (0.65 m) og utslippsdyp (55 m).
- \* mengde avløpsvann (350 l/s).
- \* den vertikale temperatur- og saltholdighetsprofil (tetthetsprofilen) i vannmassen.

Hensikten med kartleggingen var å registrere oksygenkonsentrasjonen i skyen av fortynt avløpsvann - etter innlagring. Fordi innlagringsdypet - og fortynningen - varierer med tiden, ble det besluttet å gjennomføre fire måleserier. Hver gang ble oksygenkonsentrasjonen mellom bunn og overflate målt med 2-5 m intervall på fire stasjoner omkring målepunktet (fig. 1), og den vertikale temperatur- og saltholdighetsfordelingen ble målt på to av stasjonene (st. 1 og st. 3). Antall stasjoner var så høyt fordi posisjonen av utslippspunktet var litt usikker. Etter hver måleserie ble innlagringsdyp og fortynning beregnet ved bruk av dataprogrammet JETMIX (Bjerkeng og Lesjø, 1973), og man vurderte om oksygenprofilene viste reduserte konsentrasjoner i det nivå hvor avløpsvannet ble innlagret.

Målingene ble utført av Høgskolen i Agder (HIA) den 18.10 1995, 31.10 1995, 9.11 1995 og 21.11 1995. Til innsamling av vannprøver for oksygenanalyse ble brukt en HydroBios vannhenter. Konservering av prøvene og etterfølgende analyse ble utført av Vannlaboratoriet hos HIA, etter Norsk Standard. Målinger av temperatur og saltholdighet ble utført med en SensorData STD, utlånt av NIVA.

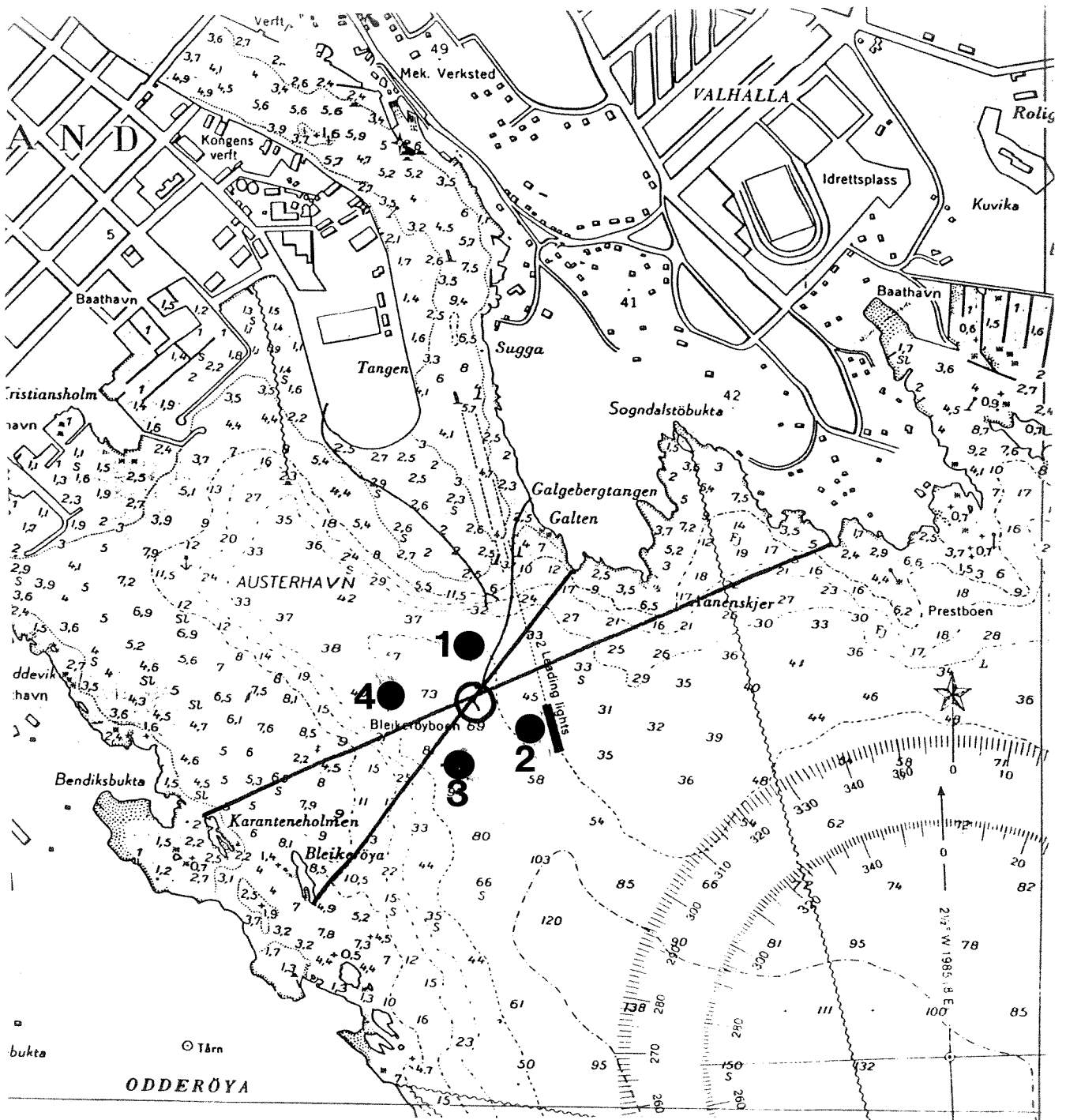


Fig. 1. Utslippsområdet med stasjoner for måling av oksygen (alle fire stasjoner), temperatur og saltholdighet (st. 1 og st. 3).



### 3. RESULTATER OG VURDERINGER

Som vedlegg til rapporten følger:

Vedlegg 1: Vertikalprofiler av temperatur, saltholdighet og tetthet.

Vedlegg 2: Oksygenmålinger

Vi skal kort kommentere hovedtrekkene av resultatene.

#### 3.1 Modellberegninger av innlagring og fortynning

For å bedømme fortynningen med tilhørende konsentrasjoner har vi brukt dataprogrammet PLUMES som det amerikanske miljøverndirektoratet (EPA) anbefaler (Baumgartner et al., 1994). Programmet beregner primærtfortynning og videre fortynning og konsentrasjoner basert på data om konsentrasjoner i avløpsvann og sjøvann, samt strømhastighet og turbulens. Molvær (1994) fant at strømhastigheten i 25 m og 45 m dyp i utslippsområdet i gjennomsnitt var lav ( $\leq 5$  cm/s). Iblant kunne imidlertid strømhastigheten nå 20 cm/s. Vi legger 5 cm/s til grunn for våre beregninger. Av mangel på konkrete data om størrelsen av den turbulente blandingen (diffusjonen) i området, anvender vi  $0.0003 \text{ cm}^2/\text{s}$  som er noe mindre enn EPAs anbefalte koeffisient for kystfarvann ( $0.000453 \text{ cm}^2/\text{s}$ ). Fortynningen av sjøvann er dermed lavt anslått.

Beregninger av innlagringsdyp og fortynning (minste fortynning: i sentrum av skyen) er gjort for de fire tidspunktene (fig. 2 og tabell 1). På grunn av tregheten i den vertikale bevegelsen vil avløpsvannet oftest stige noe høyere (Min. dyp) før det synker litt ned og innlagres.

Figuren illustrerer de forventede store variasjonene, og at innlagring nær overflaten medfører stor fortynning. Etter innlagring vil tykkelsen av skyen med fortynnet avløpsvann variere i intervallet ca. 15-25 m. Det bør tilføyes at i ytterkantene er fortynningen langt større enn i skyens sentrum. Gjennomslag til overflaten ansees som lite sannsynlig fordi ferskvannstilførselen fra Otra skaper et markert brakkvannslag på minimum 1-3 m tykkelse som fungerer som et "lokk" over det underliggende sjøvannet.

#### 3.2 Konsekvenser for oksygenforhold i innlagringsdyp

Oksygenkonsentrasjonen i skyen av fortynnet avløpsvann vil være resultatet av oksygenkonsentrasjonen samt det kjemisk/biologiske oksygenforbruket fra avløpsvannet, og oksygentilførselen som skyldes innblanding av omkringliggende sjøvann. Oksygenforholdene er vurdert på tre måter.

##### Oksygenmålinger i skyen av fortynnet avløpsvann.

Resultatene av oksygenmålingene omkring utslippspunktet er vist i Vedlegg 2. Det er forskjeller mellom profilene på de enkelte stasjonene, og forskjellene kan skyldes varierende innvirkning fra avløpsvannet. Ved sammenligning av de fire profilene med beregnet innlagringsdyp kan maksimal oksygenreduksjon anslås til 1-1.5 mg/l for 18.10.95 og 9.11.95 da fortynningen var minst. Ved stor fortynning den 31.10.95 og 21.11.95 kan maksimal reduksjon anslås til  $< 0.5$  mg/l. Ingen av konsentrasjonene var lavere enn  $4.8 \text{ mgO}_2/\text{l}$ . Til sammenligning regnes konsentrasjoner høyere enn  $4.5 \text{ mgO}_2/\text{l}$  (tilsvarende  $3.2 \text{ mlO}_2/\text{l}$ ) som gode oksygenforhold (Rygg og Thélin, 1993).

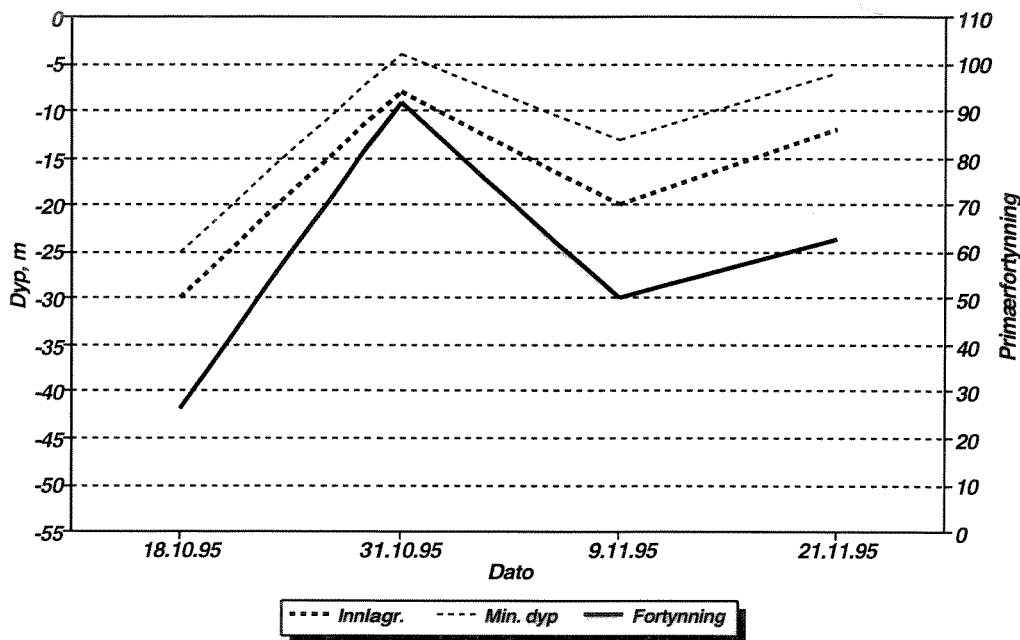


Fig. 2. Beregninger av innlagringsdyp og fortynning for fire situasjoner høsten 1995.

#### Oksygenbudsjett for skyen av fortynnet avløpsvann.

Fra avløpsvannet slippes ut i 55 m dyp til det innlagres går det størrelsesorden 1 minutt. Oksygenprøvene ble tatt i ca. 100 m avstand fra sannsynlig posisjon for utslippspunktet. Antar vi en typisk strømhastighet på 0.05 m/s i innlagringsdypet, betyr det at avløpsvannet beveger seg 100 m på omkring 30 minutter. På den strekningen vil fortynningen øke ytterligere. Vi kan ikke være sikre på hvor fort oksygenunderskuddet i avløpsvannet "realiseres", og med grunnlag i oksygenkonsentrasjonen i sjøvannet som innblandes ( $O_2$ -målt typisk 6-8 mg $O_2$ /l), er det gjennomført beregninger med et realisert oksygenunderskudd i avløpsvannet på henholdsvis 30 mg $O_2$ /l og 60 mg $O_2$ /l. Det laveste forbruket er i samsvar med vurderingene i Molvær et al. (1989). Resultatene er gjengitt i tabell 1.

Ved disse forutsetningene er beregnet innvirkning på oksygenkonsentrasjonen liten, både etter selve primærfortynningen og ved videre spredning ut til 100 m avstand. Relativt sett er påvirkningen størst ved innlagring dypt i vannsøylen og tilhørende liten fortynning. Sett i forhold til SFTs vannkvalitetskriterier for gode oksygenforhold (>4.5 mg $O_2$ /l), var oksygenforholdene gode.

#### Modellberegninger.

Modellberegningene ble utført for å bedømme om primærfortynningen kunne kompensere for oksygenunderskuddet i avløpsvannet, og for å bedømme om man kunne risikere at videre oksygenforbruk fra avløpsvannet kunne medføre et oksygenproblem i fjernsonen.

Beregningene viste at allerede under primærfortynningen - før selve innlagringen - vil fortynningen med oksygenrikt sjøvann være så stor at oksygenforholdene i blandingsvannmassen er gode (>4.5 mg/l).

For det andre viste beregninger av oksygenkonsentrasjonen i sentrum av skyen ut til 1000 m avstand fra utslippspunktet at raskt økende fortykning etter innlagring bør kunne sikre gode oksygenforhold. I Vedlegg 3 er dette vist for 18.10.1995, da primærfortynningen var relativt lav og risikoen for oksygenproblemer relativt sett størst av de fire situasjonene som er vurdert.

Tabell 1. *Innlagringsdyp og primærfortynning ved innlagring. Tabellens høyre halvdel viser lavest målt oksygenkonsentrasjon omkring beregnet innlagringsdyp i ca. 100 m avstand fra utslippspunktet, samt beregning av forventet oksygenkonsentrasjon i sentrum av skyen i denne avstanden ved forbruk av 30 mgO<sub>2</sub>/l (O<sub>2</sub>-beregning.-30) og 60mgO<sub>2</sub>/l (O<sub>2</sub>-beregning.-60).*

Dato	Innlagring (m)	Primærfortynning i sentrum	O <sub>2</sub> -målt minimum mgO <sub>2</sub> /l	O <sub>2</sub> -beregning ved -30 mgO <sub>2</sub> /l	O <sub>2</sub> -beregning ved -60 mgO <sub>2</sub> /l
18.10.95	-30	26	5.6	5.5	5.0
31.10.95	-8	92	Ikke data	7.0	6.8
9.11.95	-20	50	4.8	5.8	5.5
21.11.95	-12	63	5.9	7.3	7.1

#### 4. LITTERATUR

Baumgartner, D.J, Frick, W.E. and Roberts, P.J.W, 1994: Dilution models for effluent discharges (Third Edition). Center for Exposure Assessment Modeling. U.S. EPA, Environmental Research Laboratory. Athens, Georgia, USA. 189 pp.

Bjerkeng, B. og Lesjø, A., 1973: Mixing of a jet into a stratified environment. PRA 5.7. NIVA-rapport O-126/73. Oslo.

Molvær, J., 1994. Utslipp fra treforedlingsindustri til Kristiansandsfjorden. Rapport 1. Utslippssted og fortykning. NIVA-rapport nr. 3028. 29 pp.

Molvær, J., Källqvist, S.T. og Traaen, T.S., 1989. Resipientvurdering av Otra og Kristiansandsfjorden for utslipp fra treforedlingsindustri. NIVA-rapport nr. 2218. 42 pp.

Oug, E. og Helland, A., 1995. Utslipp fra treforedlingsindustri til Kristiansandsfjorden. Rapport 2. Sedimentering av partikler og undersøkelse av bunnfauna. NIVA-rapport nr. 3255. Oslo.

Rygg, B. og Thélin, I., 1993. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Virkning av organiske stoffer. SFT-veiledning nr. 93:05. 16 pp.

## VEDLEGG 1

### Vertikalprofiler av temperatur, saltholdighet og tetthet

\*) betegner dyp med avvikende tetthet, noe som kan skyldes målefeil eller innvirkning fra avløpsvannet.

#### Stasjon 1, 18.10 1995

Depth	Salinity	Temp.	Sigma T
1	25.056	11.65	18.980
2	25.833	11.97	19.525
3	26.186	12.27	19.745
4	26.520	12.54	19.955
5	26.697	12.53	20.094
6	26.875	12.52	20.233
8	27.206	12.45	20.499
10	27.446	12.34	20.706
12	27.527	12.15	20.801
14	27.716	11.84	21.001
16	27.911	11.74	21.170
18	28.130	11.71	21.344
20*	28.390	11.62	21.561
22*	28.476	11.77	21.601
24*	28.359	11.85	21.497
26*	28.280	11.73	21.457
28*	28.380	11.36	21.597
30	28.458	11.14	21.695
35	28.795	10.49	22.065
40	29.405	9.94	22.626
45	29.646	9.42	22.895
50	29.763	9.00	23.050
54	29.756	8.58	22.092

#### Stasjon 3, 18.10 1995

Depth	Salinity	Temp.	Sigma T
1	19.209	10.99	14.567
2	25.245	11.67	19.123
3	25.864	12.35	19.484
4	26.393	12.58	19.851
5	26.644	12.62	20.036
6	26.848	12.63	20.191
8	27.154	12.60	20.433
10	27.281	12.47	20.553
12	27.466	12.32	20.724
14	27.602	12.08	20.872
16	27.862	12.04	21.079
18	28.091	12.00	21.263
20	28.185	11.80	21.370
22*	28.033	11.76	21.260
24*	27.954	11.71	21.208
26*	28.118	11.59	21.356
28	28.292	11.45	21.514
30	28.431	11.28	21.650
35	28.684	10.68	21.948
40	28.963	10.20	22.242
45	29.224	9.65	22.531
50	29.359	9.25	22.698
54	29.442	9.01	22.799

**Stasjon 1, 31.10 1995**

Depth	Salinity	Temp.	Sigma T
1	24.458	9.08	18.908
2	29.556	10.49	22.655
3	32.620	11.50	24.834
4	32.677	11.75	24.854
5	32.539	12.00	24.700
6	32.505	12.08	24.660
8	32.475	12.16	24.623
10	32.480	12.16	24.626
12	32.488	12.18	24.627
14	32.512	12.22	24.638
16	32.520	12.23	24.643
18	32.541	12.24	24.657
20	32.540	12.26	24.654
22	32.553	12.23	24.669
24	32.604	12.17	24.719
26	32.643	12.20	24.745
28	32.687	12.19	24.779
30	32.710	12.20	24.796
35	32.830	12.20	24.890
40	32.892	12.20	24.937
45	32.995	12.19	25.018
50	33.235	12.20	25.203
55	33.428	12.21	25.351

**Stasjon 3, 31.10 1995**

Depth	Salinity	Temp.	Sigma T
1	7.824	7.83	6.074
2	15.727	8.98	12.131
3	23.630	10.12	18.117
4	31.534	11.27	24.055
5*	32.621	11.48	24.861
6*	32.600	11.54	24.833
8*	32.557	11.65	24.779
10*	32.513	11.77	24.724
12*	32.555	11.96	24.721
14*	32.541	11.99	24.705
16	32.554	12.00	24.712
18	32.555	12.03	24.708
20	32.576	12.06	24.718
22	32.626	12.08	24.732
24	32.670	12.17	24.770
26	32.670	12.20	24.766
28	32.688	12.18	24.783
30	32.741	12.17	24.825
35	32.847	12.22	24.898
40	32.893	12.27	24.925
45	33.097	12.25	25.085
50	33.230	12.26	25.186
55	33.365	12.26	25.292

## Stasjon 1, 9.11 1995

Depth	Salinity	Temp.	Sigma T
1	25.810	8.59	20.028
2	29.149	9.63	22.477
3	31.435	10.35	24.137
4	31.483	10.42	24.163
5	31.530	10.46	24.192
6	31.573	10.40	24.236
8	31.730	10.39	24.360
10	32.020	10.55	24.557
12	32.345	10.76	24.774
14	32.555	11.04	24.889
16	32.667	11.32	24.926
18	32.696	11.46	24.922
20	32.980	11.45	25.143
22	32.981	11.48	25.140
24	32.775	11.53	24.970
26	33.024	11.50	25.169
28	33.121	11.29	25.283
30	33.164	11.13	25.344
35	33.300	10.99	25.475
40	33.656	11.10	25.732
45	33.777	11.11	25.824
50	33.910	10.94	25.958

## Stasjon 3, 9.11 1995

Depth	Salinity	Temp.	Sigma T .
1	13.256	8.22	10.287
2	27.519	9.50	21.229
3	30.843	10.00	23.708
4	31.503	10.16	24.197
5	31.587	10.29	24.265
6	31.646	10.25	24.318
8	31.811	10.24	24.447
10	32.090	10.43	24.633
12	32.339	10.62	24.793
14	32.559	10.90	24.916
16	32.765	11.20	25.022
18	32.963	11.46	25.129
20	33.032	11.53	25.171
22	33.084	11.54	25.208
24	33.137	11.53	25.252
26	33.257	11.53	25.344
28	33.315	11.56	25.384
30	33.350	11.56	25.410
35	33.434	11.45	25.497
40	33.527	11.36	25.584
45	33.719	11.21	25.761
50	34.004	10.93	26.033

## Stasjon 1, 21.11 1995

Depth	Salinity	Temp.	Sigma T
1	18.116	6.73	14.230
2*	34.331	8.21	26.737
3*	33.686	8.97	26.115
4*	33.041	9.73	25.490
5	33.000	9.98	25.417
6	33.161	10.05	25.529
8	33.417	10.21	25.702
10	33.566	10.36	25.793
12	33.666	10.28	25.884
14	33.712	10.24	25.927
16	33.742	10.20	25.958
18	33.755	10.14	25.976
20	33.830	10.04	26.035
22	33.930	10.00	26.137
24	33.951	10.06	26.123
26	33.960	10.16	26.113
28	33.967	10.20	26.132
30	33.952	10.18	26.124
35	34.080	10.16	26.207
40	34.082	10.13	26.234
45	34.138	10.11	26.280

## Stasjon 3, 21.11 1995

Depth	Salinity	Temp.	Sigma T
1	25.207	7.32	19.719
2*	33.917	8.44	26.379
3*	33.422	9.07	25.893
4*	32.928	9.71	25.405
5	32.891	10.05	25.320
6	33.277	10.12	25.608
8	33.534	10.29	25.780
10	33.566	10.42	25.782
12	33.580	10.38	25.799
14	33.586	10.32	25.815
16	33.563	10.15	25.826
18	33.819	9.77	26.090
20	33.917	9.88	26.147
22	33.947	10.04	26.123
24	33.966	10.09	26.130
26	33.989	10.08	26.169
28	33.985	10.14	26.136
30	33.992	10.13	26.143
35	34.018	10.12	26.185
40	34.062	10.09	26.225
45	34.291	10.09	26.402
50	34.290	10.28	26.371

## VEDLEGG 2

## Oksygenmålinger

Oksygen (mg/l), prøvepunktene 1, 2, 3 og 4 ved utløp Otra, 31.10.95.

Dyp	1	2	3	4
5	-	-	-	-
10	-	-	-	-
15	7,31	8,29	8,24	8,25
20	7,40	8,14	8,20	8,14
25	7,28	7,71	7,23	7,59
27	7,39	7,62	7,72	7,24
29	7,30	7,67	7,83	7,29
31	7,28	7,88	7,53	7,30
33	7,25	7,58	7,64	7,36
35	7,21	7,55	7,72	7,37
37	6,98	7,72	7,77	7,31
39	6,99	7,72	7,77	7,33
41	-	-	-	-
45	6,74	7,45	7,44	6,57
50	7,60	7,19	7,25	6,48
55	-	-	-	-

Oksygen (mg/l), prøvepunktene 1, 2, 3 og 4 ved utløp Otra, 18.10.95.

Dyp	1	2	3	4
5	4,34	7,14	6,85	6,53
10	4,83	6,13	5,58	6,30
15	4,30	5,58	6,26	5,24
20	4,86	6,16	6,03	6,09
25	5,80	6,10	5,90	6,02
27	5,61	6,03	5,93	5,96
29	5,61	5,71	5,95	6,01
31	5,77	5,64	6,00	5,77
33	5,90	5,64	5,97	5,73
35	5,90	5,71	5,86	5,62
37	5,90	5,77	5,73	5,79
39	5,97	5,90	5,84	5,77
41	6,13	5,87	6,01	5,83
45	6,29	5,87	6,06	5,93
50	6,46	6,06	6,29	5,89
55	6,49	6,13	6,38	6,09



Oksygen (mg/l), prøvepunktene 1, 2, 3 og 4 ved utløp Otra, 09.11.95.

Dyp	1	2	3	4
5	8,42	8,62	8,53	8,63
7	8,49	8,63	8,63	8,48
10	8,23	8,16	8,53	8,17
12	8,27	7,89	8,20	7,48
15	7,30	5,74	7,26	5,18
18	5,51	5,01	6,93	4,80
20	5,77	5,16	6,58	5,53
25	5,60	6,88	6,34	5,66
30	5,37	6,32	6,91	5,69
35	5,35	5,49	6,85	5,31
40	5,93	6,56	6,39	5,68
45	6,29	6,51	6,57	5,99
50	5,99	6,66	6,52	6,08

Oksygen (mg/l), prøvepunktene 1, 2, 3 og 4 ved utløp Otra, 21.11.95.

Dyp	1	2	3	4
5	6,90	7,74	7,81	7,81
7	7,21	7,72	7,87	7,63
10	6,96	7,34	7,55	6,81
12	7,32	7,39	7,39	5,91
15	7,37	7,49	7,40	5,98
18	7,56	7,78	7,54	7,40
20	8,04	7,90	8,06	8,11
25	7,93	7,90	8,02	7,35
30	7,23	7,80	7,83	7,15
35	7,45	7,91	8,01	7,68
40	7,89	8,01	8,09	7,22
45	7,37	7,74	8,00	7,59
50	7,42	7,63	7,54	7,16

## VEDLEGG 3

Beregning av innlagring og fortykning med  
data for 18.10 19951. Beskrivelse av input.

tot flow	# ports	port flow	spacing	effl sal	effl temp	far inc	far dis
0.354	1	0.3540	1000	0.0	8	10	200
port dep	port dia	plume dia	total vel	horiz vel	vertl vel	asp coeff	print frq
55	0.665	0.6650	1.019	1.019	0.000	0.10	500
port elev	ver angle	cont coef	effl den	poll conc	decay	Froude #	Roberts F
1	0.0	1.0	-0.0859695	-30	0	2.651	1.589
hor angle	red space	p amb den	p current	far dif	far vel	K:vel/cur	Stratif #
90	1000.0	22.5744	0.05000	0.0003	0.05	20.38	0.004358
depth	current	density	salinity	temp	amb conc	N (freq)	red grav.
0.0	0.05	14.4059	19	11	6	0.03774	0.2222
6	0.05	20.1620	26.8	12.6	6.9	buoy flux	puff-ther
10	0.05	20.5655	27.3	12.5	5.60	0.0007868	3.211
16	0.05	21.0405	27.8	12.0	6.3	jet-plume	jet-cross
20	0.05	21.3074	28.1	11.8	6.0	1.660	12.01
26	0.05	21.4195	28.2	11.6	5.9	plu-cross	jet-strat
30	0.05	21.6257	28.4	11.3	6	629.4	3.989
36	0.05	22.0527	28.8	10.6	5.8	plu-strat	
40	0.05	22.2728	29	10.2	6	6.185	
55	0.05	22.5744	29.15	9	6.3	CL conc>=	

2. Beskrivelse av resultater

UM INITIAL DILUTION CALCULATION (nonlinear mode)

plume dep	plume dia	poll conc	dilution	hor dis
m	m			m
55.00	0.6650	-30.00	1.000	0.000

35.05	6.533	4.930	31.32	9.503
-------	-------	-------	-------	-------

30.55	8.304	5.172	41.61	10.68 -> trap level
-------	-------	-------	-------	---------------------

23.03	16.30	5.470	68.07	13.63 -> begin overlap
-------	-------	-------	-------	------------------------

FARFIELD CALCULATION (based on Brooks, 1960, see guide)

Farfield dispersion based on wastefield width of 16.30m

--4/3 Power Law-- -Const Eddy Diff-

conc	dilution	conc	dilution	distance	Time	
				m	sec	hrs
5.471	68.1	5.471	68.1	20.00	127.3	0.0
5.474	68.6	5.472	68.4	30.00	327.3	0.1
5.489	71.0	5.482	69.8	40.00	527.3	0.1
5.513	75.0	5.496	72.0	50.00	727.3	0.2
5.540	80.0	5.512	74.7	60.00	927.3	0.3
5.567	85.6	5.528	77.6	70.00	1127	0.3
5.592	91.7	5.543	80.6	80.00	1327	0.4
5.615	98.2	5.557	83.6	90.00	1527	0.4
5.636	104.9	5.571	86.5	100.0	1727	0.5
5.655	111.9	5.583	89.4	110.0	1927	0.5
5.673	119.0	5.594	92.2	120.0	2127	0.6
5.688	126.4	5.604	95.0	130.0	2327	0.6
5.703	133.9	5.613	97.7	140.0	2527	0.7
5.716	141.6	5.622	100.4	150.0	2727	0.8
5.728	149.4	5.630	103.0	160.0	2927	0.8
5.739	157.4	5.638	105.5	170.0	3127	0.9
5.749	165.6	5.645	108.0	180.0	3327	0.9
5.759	173.9	5.651	110.4	190.0	3527	1.0
5.768	182.4	5.658	112.8	200.0	3727	1.0

## **Norsk institutt for vannforskning**

Postboks 173 Kjelsås  
0411 Oslo

Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00

Ved bestilling av rapporten,  
oppgi løpenummer 3413-96.

ISBN 82-577-2946-9