

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
Blindern

0-105/75

RESIPIENTUNDERSØKELSE FOR KLOAKKUTSLIPP

TIL LANGESUNDSFJORDEN

Utslippsberegninger

Blindern, 4. oktober 1977

Saksbehandler: cand.real. Jarle Molvær
Medarbeider : siv.ing. Birger Bjerkeng

Instituttetsjef Kjell Baalsrud

FORORD

Foreliggende rapport er utarbeidet etter oppdrag fra Bamble kommune v/Teknisk etat ved brev av 30.8.1977 og i henhold til programforslag av 23.3.1977 fra Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

Rapporten presenterer resultater av beregninger av innlagringsdyp og primærfortynning for et dyputslipp av avløpsvann for renseanlegget ved Salen, Bamble kommune. Beregningene er utført av sivilingeniør Birger Bjerkeng.

Bлиндern, 4. oktober 1977

Jarle Mølver
Jarle Mølver

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
1. INNLEDNING	5
2. PRIMÆRFORTYNNING OG INNLAGRING AV AVLØPSVANN I LANGESUNDSFJORDEN	7
2.1 Generelt om dyputslipp av avløpsvann	7
2.2 Situasjonen i Langesundsfjorden	9
3. FORTYNNINGS- OG INNLAGRINGSBEREGNINGER	11
3.1 Metode og beregningsopplegg	11
3.2 Presentasjon av resultatene	11
4. DRØFTING AV RESULTATENE OG ANBEFALINGER	19
5, REFERANSER	21

FIGURFORTEGNELSE

Side:

Figur 1. Kart over utslippsområdet	6
Figur 2. Spredning av kloakkvann ved dyputslipp	8
Figur 3. Langesundsfjorden. Noen vertikale tetthetsprofiler fra 1976	10

TABELLFORTEGNELSE

Tabell 1. Tidspunkt for de benyttede tetthetsprofiler fra Langesundsfjorden	12
Tabell 2. Innlagring og primærfortynning for hvert profil ved varierende utslippsdyp og strålehastighet	13

1. INNLEDNING

Lokaliseringen av kloakkrenseanlegget ved Salen er vist på fig. 1. Avløpsvannet skal gjennomgå mekanisk/kjemisk rensing og deretter ledes ut på dypt vann i Langesundsfjorden.

I følge opplysninger fra Bamble kommune skal renseanlegget bygges ut etappevis som følger:

År	Belastning	Dimensjonerende vannmengde (Q dim)	
1978	4 000 p.e.	ca. 100 m ³ /t	(ca. 27 l/s)
1983	10 000 p.e.	210 m ³ /t	(58 l/s)
2000	14 000 p.e.	280 m ³ /t	(78 l/s)

Maksimal vannmengde (Q_{\max}) vil være 680 m³/t (189 l/s). Diameter på utløpsledningen vil være 50 cm.

Vannutskiftningsforholdene og vannmassenes lagdeling i Langesundsfjorden har vært undersøkt av NIVA (1976a) og av Vassdrags- og Havnelaboratoriet (VHL 1965, 1966). Vannmassene kan grovt inndeles i 3 lag. Øverst ligger et relativt tynt (oftest 4-6 cm tykt) brakkvannslag som strømmes ut fjorden. Brakkvannslaget er skilt fra det underliggende salte dypvann av et sprangsjikt hvor saltholdighet og tetthet (egenvekt) øker sterkt med dypet. Dypvannet strekker seg ned til ca. 50 m dyp, som er nivået for terskelen mellom Geitrøya og Siktesøya, se fig. 1. I den øvre delen av dypvannet, like under sprangsjiktet, vil en finne den estuarine kompensasjonsstrøm som transporterer vann innover i fjordsystemet og til dels videre opp igjennom Skienselva til Klosterfoss ved Skien. Av andre vannutskiftningsmekanismer i dypvannet kan nevnes tidevannsstrømmer, strømmer fremkalt av variasjoner i vindforhold og lufttrykk, samt innstrømminger av vann fra Langesundsbukta.

Fjordens bunnvann strekker seg fra ca. 50 m dyp og til bunns. Bunnvannet er periodevis stagnant, og da kan oksygenforholdene etter hvert bli dårlige pga. for stor belastning med nedbrytbart materiale.

For en mer utfyllende omtale av hydrografiske forhold og vannkvalitet henvises til NIVA (1976a, 1976b) og til VHL (1965, 1966).

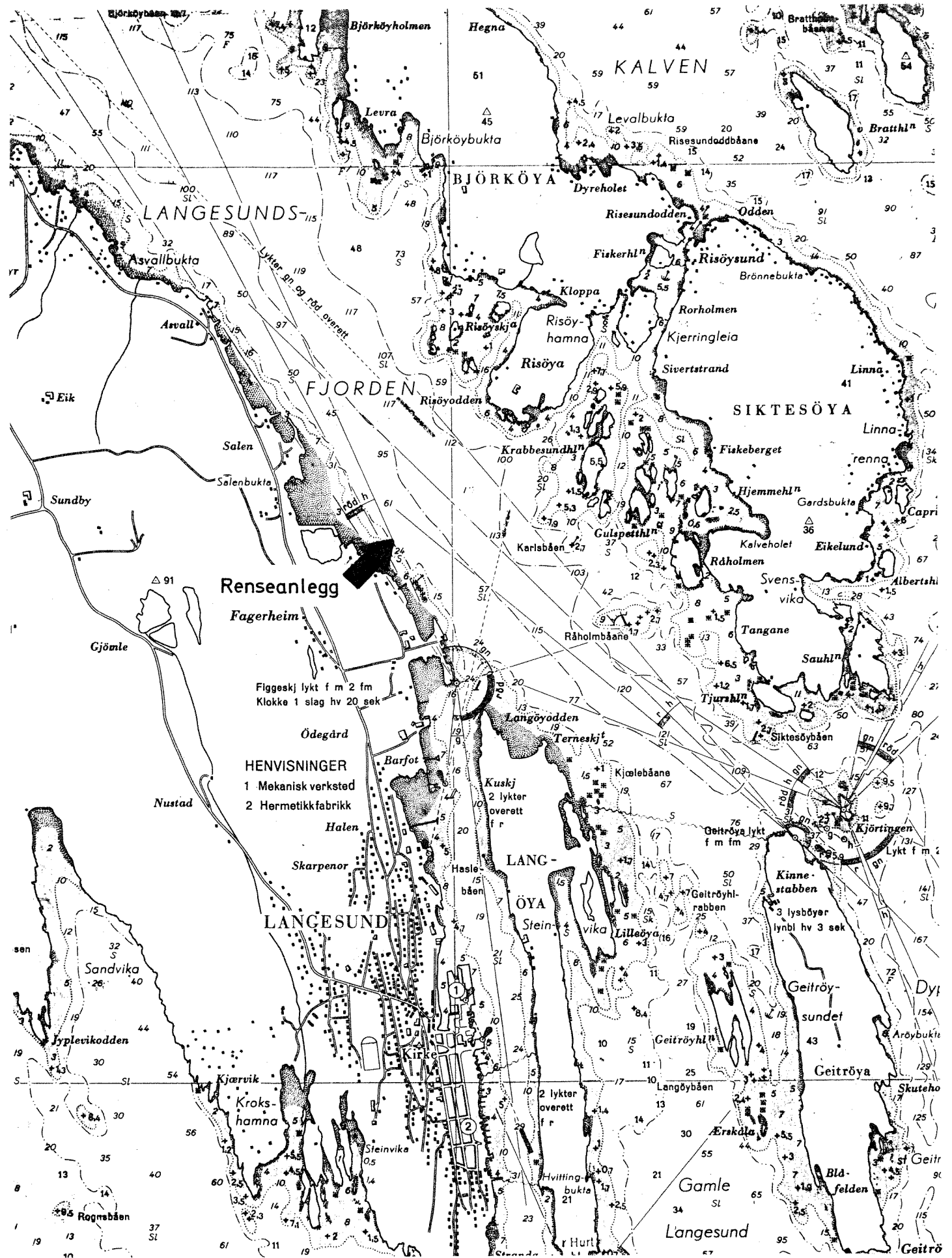


Fig. 1. Kart over utslippsområdet

2. PRIMÆRFORTYNNING OG INNLAGRING AV AVLØPSVANN I LANGESUNDSFJORDEN

2.1 Generelt om dyputslipp av avløpsvann

Ved utslipp av avløpsvann i en resipient er det ofte viktig å få best mulig fortynning og spredning av avløpsvann. Ofte vil en også ønske å få lagret inn vannet rundt et bestemt dyp, for å unngå påvirkning, f.eks. på overflatelaget, eller for å utnytte en strøm ut av et område på dette dypet.

I en lagdelt resipient kan både innlagringsdyp og fortynning påvirkes ved å variere utslippsdyp, hastighet og diameter på utløpsstrålene.

Fordi ferskt avløpsvann er lettere enn vannet i en marin resipient, vil det alltid stige mot overflaten hvis det slippes ut på et visst dyp. Hvis avløpsstrålen er relativt tynn og har høy utgangshastighet, vil turbulensen i strålen forplante seg til de nærmeste omliggende vannmasser. Disse vil rives med og blandes inn i strålen slik at avløpsvannet fortynnes, og strålen øker i tetthet og mektighet etter som den stiger oppover. Siden tettheten i resipienten avtar mot overflaten, kan strålen til slutt bli tyngre enn de omliggende vannmasser, og den vil da bremses ned. Det fortynnede avløpsvannet vil innlagres i et sjikt rundt det dyp hvor det hører hjemme ut fra sin tetthet, men noe av vannet kan trenge høyere opp enn dette dypet. Hvis utslippet ligger nær overflaten, eller hvis det er svak sjiktning, kan en få gjennombrudd til overflaten med innlagring i et sjikt her. Et eksempel på innlagring er vist på fig. 2.

Den fortynning som oppnås fram til innlagring kalles primærfortynning. Den vil være liten hvis utslippet sendes direkte i overflaten. Primærfortynningen øker ellers med avtakende utløpsdiameter, og med økende avstand fra utslippsdyp til innlagringsdyp.

Etter at innlagring er nådd, vil det fortynnede avløpsvannet dels spres horisontalt ved tetthetsstrømmer, og dels kunne inngå i resipientenes naturlige strømmer. En viss vertikal blanding mellom ulike lag vil også bidra til transport og spredning av avløpsvannet. Videre fortynning etter innlagring kalles sekundærfortynning.

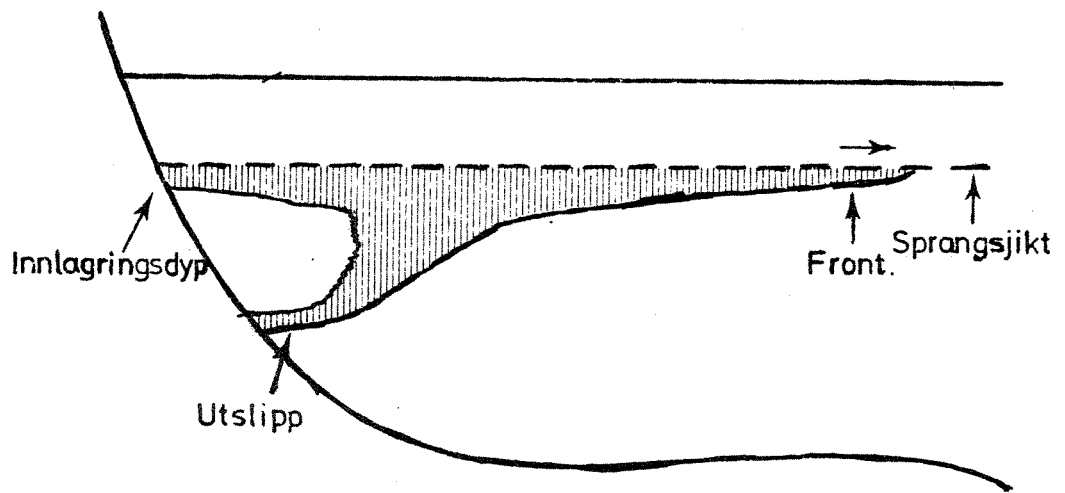


FIG. 2. Spredning av kloakkvann fra dyputslipp.

Mellom utslipps- og innlagringsdyp vil det trekkes vann inn mot strålen for å erstatte det vann som rives med.

For å få god fortykning med relativt liten avstand mellom utslipps- og innlagringsdyp, bruker en ofte en diffusor, dvs. en utløpsledning med mange mindre hull langs siden, hvor vannet presses ut i tynne stråler med høy hastighet.

2.2 Situasjonen i Langesundsfjorden

Som en følge av variasjoner i ferskvannstilførselen til fjordområdene og horisontale og vertikale forskyvninger av vannmassene, vil den vertikale lagdelingen variere med tiden. Et eksempel på dette er vist på fig. 3. Vanmassenes tetthet (egenvekt) er der fremstilt ved størrelsen σ_t der $\sigma_t = (\rho - 1) \cdot 1000$ og ρ er egenvekten. Noe bestemt innlagringsdyp er derfor ikke mulig å oppnå, også fordi vann som innlagres på et gitt dyp ved ett tidspunkt senere blir transportert opp og ned med de naturlige bevegelsene i resipienten.

I Langesundsfjorden har NIVA målt siktedypet til mellom ca. 2 m og 8 m (NIVA 1976b). Generelt sett kan en regne med at planteplanktonproduksjonen strekker seg ned til omkring to ganger siktedypet. For å unngå at nærings-saltene i avløpsvannet utnyttes i økt produksjon av organisk stoff bør avløpsvannet innlagres så langt ned at det sjelden når over ca. 15 m dyp om sommeren.

Man bør også unngå at avløpsvannet innlagres i den estuarine motstrømmen og derved blir transportert innover i fjordområdene. Den vertikale utstrekning av denne strømmen er det liten kunnskap om for Langesundsfjordens vedkommende, men ved innlagring under 15-20 m dyp antar en å komme under den estuarine motstrømmen.

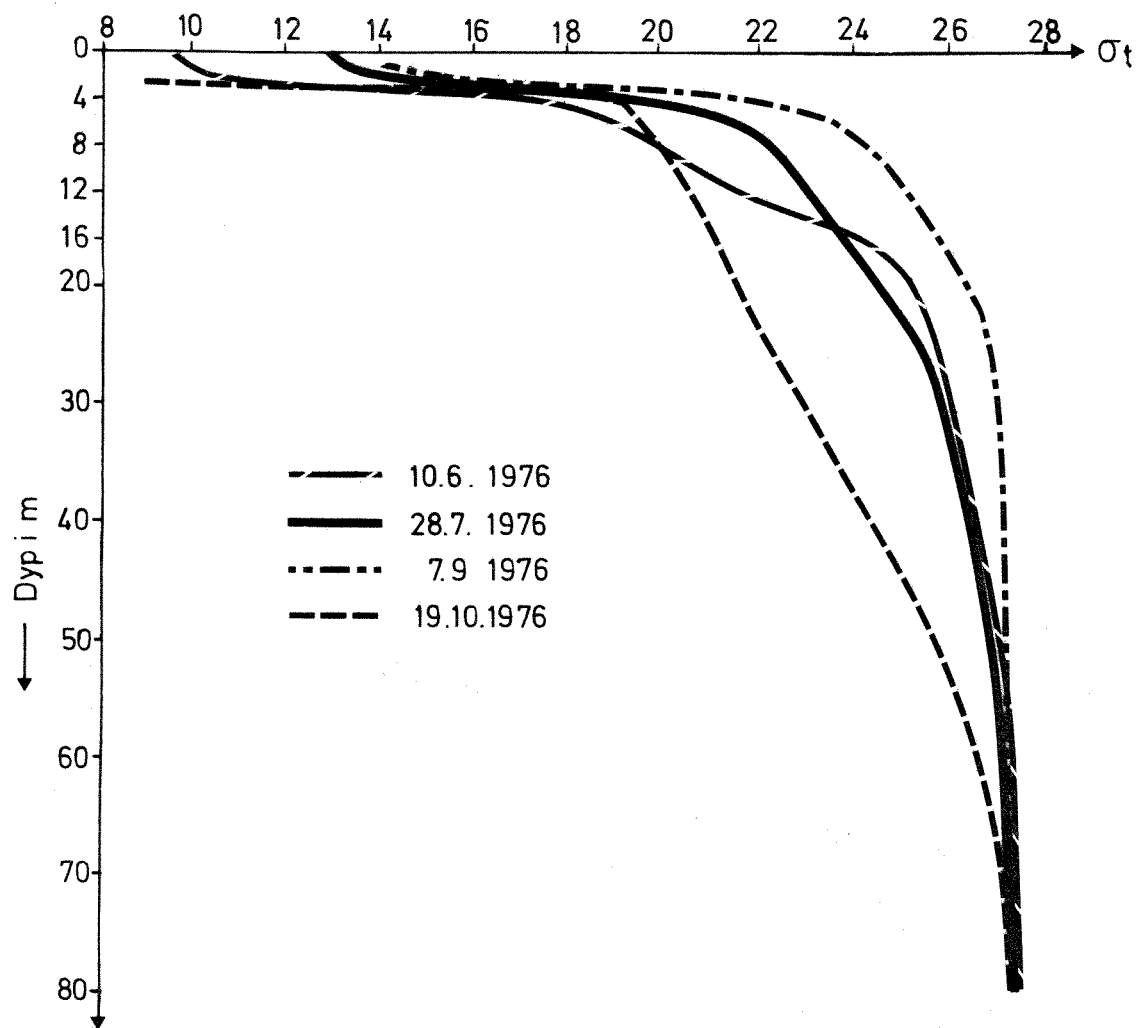


Fig. 3 . Langesundsfjorden. Noen vertikale tetthetsprofiler fra 1976.

3. FORTYNNINGS- OG INNLAGRINGSBEREGNINGER

3.1 Metode og beregningsopplegg

Avløpsstrålens fortytning og innlagring kan beregnes teoretisk ut fra data om strålen i utløpet, og tetthetsdata. Dette er her gjort ved hjelp av et EDB-program, NIVA*JET.MIX, utviklet av Computas og NIVA (1973). Programmet bruker utslippsdyp, diameter, hastighet og vinkel på strålen som utgangspunkt, og beregner strålebane med senterfortynning for en vilkårlig tetthetsprofil. Teoretisk innlagringspunkt angis spesielt, med senterfortynning, strålebredde og vinkel mot horisontalplan. Dessuten beregner programmet dyp for største opptrengning på to forskjellige måter.

Det er gjort innlagringsberegninger for i alt 29 vertikale tetthetsprofiler fra Langesundsfjorden. Det er benyttet data fra tidsrommet mars 1974 - februar 1977, innsamlet under den generelle resipientundersøkelsen av Grenlandsfjordene som NIVA har utført for fylkesmannen i Telemark (NIVA-oppdrag 0-111/70). Tidspunktene for målingene er angitt i tabell 1.

For alle profiler er beregnet innlagring med diameter 50 cm på utløpsledningen, utslippsdyp 30 m, 40 m og 50 m og for utløpshastigheter på 0,3 m/s, 0,5 m/s og 1 m/s som noenlunde tilsvarende $Q_{dim} = 210 \text{ m}^3/\text{t}$, $Q_{dim} = 350 \text{ m}^3/\text{t}$ og $Q_{max} = 680 \text{ m}^3/\text{t}$. Beregninger for $Q_{dim} = 100 \text{ m}^3/\text{t}$ er ikke utført da dette for hvert profil vil gi en dypere innlagring og bedre fortytning enn for $Q_{dim} = 210 \text{ m}^3/\text{t}$.

Den kjemiske fellingen i anlegget skal utføres med sjøvann og kalk. Konsulentfirmaet som prosjekterer anlegget har opplyst at en regner med å tilføre det kommunale avløpsvann ca. 3% sjøvann. I de utførte beregninger er avløpsvannets tetthet korrigert for dette.

3.2 Presentasjon av resultatene

Beregningsresultatene er gjengitt i tabell 2. I tabellen er angitt utslippsdyp (DEPTH, utløpsstrålens diameter (DIAM), hastighet (VEL) og vinkel for de forskjellige utslippstilfeller. For hver profil er innlagringsdyp og primærfortynning beregnet for alle sett utslippsdata. For innlagringspunkt (NEUTRAL POINT) er gitt strålebredde (WIDTH), vinkel (ANGLE), senterfortynning (CENTER DILUTION) og innlagringsdyp (DEPTH).

Tabell 1. Tidspunkt for de benyttede tetthetsprofiler
fra Langesundsfjorden

PLIB PROFILE	STATION		REGTIME	NO. OF DEPTHS
1	GHI	74	0314	9
2	GHI	74	0423	9
3	GHI	74	0520	9
4	GHI	74	0621	9
5	GHI	74	0719	9
6	GHI	74	0816	9
7	GHI	74	0925	9
8	GHI	74	1023	9
9	GHI	74	1119	9
10	GHI	74	1211	9
11	GHI	75	0115	9
12	GHI	75	0212	9
13	GHI	75	0318	9
14	GHI	75	0422	9
15	GHI	75	0513	9
16	GHI	75	0611	9
17	GHI	75	0729	9
18	GHI	75	0917	8
19	GHI	75	1028	9
20	GHI	75	1217	9
21	GHI	76	0204	9
22	GHI	76	0317	9
23	GHI	76	0427	9
24	GHI	76	0610	9
25	GHI	76	0729	9
26	GHI	76	0907	9
27	GHI	76	1019	8
28	GHI	76	1208	9
29	GHI	77	0215	8

Tabell 2. Innlagring og primærfortynning for hvert profil ved
varierende utslippsdyp og strålehastighet

ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1 OUTFALL SITE : LANSUN
PAGE 1

PRO- FILE NR.	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
	NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	NEUTRAL WIDTH (M)	ANGLE DEG.	POINT CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EXTREMAL DEPTHS EOS. POT. (M) (M)		
1	1	30.0	0.50	0.30	0	1.4	88	25	18.7	17.0	13.0	
	2	30.0	0.50	0.50	0	1.5	86	20	18.3	16.3	12.1	
	3	30.0	0.50	1.00	0	1.7	83	16	17.8	14.4	10.9	
	4	40.0	0.50	0.30	0	2.1	88	49	22.3	20.8	14.8	
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.4	88	41	20.6	19.0	14.1	
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.6	85	31	19.7	17.7	12.7	
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.6	89	73	27.1	25.6	15.8	
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.8	88	59	25.8	24.1	14.7	
	9	50.0	0.50	1.00	0	3.2	86	45	24.0	22.0	13.5	
2	1	30.0	0.50	0.30	0	1.8	88	40	14.7	12.9	5.8	
	2	30.0	0.50	0.50	0	2.1	87	33	13.4	11.5	4.9	
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.4	85	27	11.8	10.5	3.8	
	4	40.0	0.50	0.30	0	2.5	89	65	18.1	16.5	7.6	
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.6	88	51	17.5	15.6	6.3	
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.9	86	38	16.5	14.2	4.8	
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.2	88	52	31.6	28.4	10.0	
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.5	88	44	29.9	28.1	7.7	
	9	50.0	0.50	1.00	0	4.0	86	55	19.0	17.2	7.3	
3	1	30.0	0.50	0.30	0	1.4	88	24	18.9	17.0	13.0	
	2	30.0	0.50	0.50	0	1.5	86	19	18.6	16.4	12.1	
	3	30.0	0.50	1.00	0	1.7	83	15	18.1	14.7	10.8	
	4	40.0	0.50	0.30	0	2.0	88	43	23.5	21.9	15.1	
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.3	87	37	21.9	20.1	14.3	
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.7	85	31	19.7	17.6	13.2	
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.5	89	62	29.1	26.8	17.1	
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.7	88	51	27.9	26.1	15.6	
	9	50.0	0.50	1.00	0	3.0	86	39	26.1	24.0	14.0	
4	1	30.0	0.50	0.30	0	1.7	88	30	16.8	14.6	10.1	
	2	30.0	0.50	0.50	0	1.8	86	25	15.8	13.2	8.8	
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.0	83	19	15.4	12.7	6.9	
	4	40.0	0.50	0.30	0	1.8	88	35	25.4	22.8	13.4	
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.1	87	31	23.8	21.3	11.8	
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.5	84	25	22.0	19.1	9.8	
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.0	88	39	34.3	29.3	20.5	
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.2	87	34	32.5	27.4	17.5	
	9	50.0	0.50	1.00	0	2.7	85	29	30.2	26.9	13.8	
5	1	30.0	0.50	0.30	0	1.7	88	30	16.7	15.7	2.7	
	2	30.0	0.50	0.50	0	2.0	86	27	14.8	13.8	2.2	
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.7	84	27	11.0	9.9	1.8	
	4	40.0	0.50	0.30	0	1.9	88	37	24.7	16.6	11.4	
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.2	87	32	23.1	17.7	7.8	
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.6	84	27	21.1	19.9	3.2	
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.0	88	39	34.0	29.7	19.6	
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.3	87	35	32.2	27.3	16.5	
	9	50.0	0.50	1.00	0	2.7	85	29	30.1	19.1	11.8	

(CONTINUES:)

Tabell 2. forts.

ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1 OUTFALL SITE : LANSUN
PAGE 2

PRO- FILE NR.	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
	NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	POT. (M)	
6	1	30.0	0.50	0.30	0	1.8	88	35	15.4	13.2	6.1	
	2	30.0	0.50	0.50	0	2.0	87	29	14.5	12.0	4.8	
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.3	84	23	13.3	11.5	3.2	
	4	40.0	0.50	0.30	0	2.3	88	51	21.1	18.0	9.8	
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.5	87	43	19.4	17.2	7.9	
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.8	85	34	18.1	15.3	5.4	
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.6	89	63	28.5	24.5	13.2	
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.8	88	52	26.8	23.2	10.7	
	9	50.0	0.50	1.00	0	3.3	86	42	24.3	21.6	7.8	
7	1	30.0	0.50	0.30	0	1.1	86	14	21.9	16.8	14.7	
	2	30.0	0.50	0.50	0	1.3	84	13	21.2	15.4	13.0	
	3	30.0	0.50	1.00	0	1.6	78	11	20.6	12.8	10.7	
	4	40.0	0.50	0.30	0	1.4	87	22	29.3	26.1	21.2	
	5	40.0	0.50	0.50	0	1.5	85	18	28.7	25.7	19.3	
	6	40.0	0.50	1.00	0	1.8	81	15	28.0	24.5	17.0	
	7	50.0	0.50	0.30	0	1.5	87	25	38.2	35.1	27.5	
	8	50.0	0.50	0.50	0	1.7	86	22	37.1	33.5	25.4	
	9	50.0	0.50	1.00	0	2.1	82	18	35.8	31.6	22.8	
8	1	30.0	0.50	0.30	0	1.8	88	34	15.6	14.7	3.6	
	2	30.0	0.50	0.50	0	1.9	87	28	14.8	13.7	2.6	
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.2	84	22	13.7	12.4	1.7	
	4	40.0	0.50	0.30	0	2.0	88	41	23.6	16.2	10.5	
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.3	87	35	22.0	16.7	7.7	
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.7	85	29	19.9	18.7	3.6	
	7	50.0	0.50	0.30	0	1.4	87	21	39.8	34.0	20.3	
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.0	86	24	35.8	30.6	18.9	
	9	50.0	0.50	1.00	0	2.6	82	23	32.5	27.9	14.7	
9	1	30.0	0.50	0.30	0	1.7	88	32	16.4	11.9	9.8	
	2	30.0	0.50	0.50	0	1.8	87	26	15.7	13.7	7.8	
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.0	83	20	15.3	12.7	5.4	
	4	40.0	0.50	0.30	0	2.0	88	39	24.3	22.0	13.0	
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.2	87	34	22.5	17.8	11.6	
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.7	84	29	20.3	14.6	9.6	
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.0	88	40	34.1	29.7	19.3	
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.2	87	35	32.4	29.8	15.9	
	9	50.0	0.50	1.00	0	2.7	85	29	30.2	27.1	12.8	
10	1	30.0	0.50	0.30	0	2.1	88	50	11.9	10.2	5.0	
	2	30.0	0.50	0.50	0	2.3	88	40	11.2	9.2	4.1	
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.5	85	30	10.3	9.0	3.0	
	4	40.0	0.50	0.30	0	2.9	89	80	15.2	13.7	6.1	
	5	40.0	0.50	0.50	0	3.0	88	63	14.4	12.6	5.1	
	6	40.0	0.50	1.00	0	3.3	87	47	13.0	11.8	3.8	
	7	50.0	0.50	0.30	0	3.4	89	104	20.6	19.2	7.2	
	8	50.0	0.50	0.50	0	3.8	88	88	18.0	16.4	6.2	
	9	50.0	0.50	1.00	0	4.2	87	67	15.4	13.4	4.9	

(CONTINUES:)

Tabell 2. forts.

ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1 OUTFALL SITE : LANSUN
PAGE 3

PRO- FILE NR.	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
	NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	NEUTRAL WIDTH (M)	ANGLE DEG.	POINT CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EXTREMAL EOS. (M)	POT. (M)	
11	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.8	88	39	14.6	12.5	5.7	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 2.0	87	31	13.9	11.5	4.5	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 2.3	85	25	12.8	11.5	3.1	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 2.5	89	62	19.0	15.6	8.3	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 2.7	88	51	17.5	15.4	6.7	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 3.1	86	40	15.7	13.1	4.9	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 2.9	89	80	25.2	21.9	10.5	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 3.2	88	66	23.3	19.5	8.6	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 3.7	87	53	20.4	17.9	6.4	
12	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.6	88	28	17.4	14.2	7.4	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.8	86	24	16.1	12.5	5.6	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 2.1	83	20	15.0	13.7	3.2	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.7	88	32	26.3	22.3	13.9	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 1.9	87	27	25.0	21.1	11.3	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 2.3	84	23	23.3	18.8	8.1	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 1.8	88	33	35.9	31.4	22.9	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.1	87	29	34.2	29.2	19.8	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 2.5	84	25	32.1	27.0	15.7	
13	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.0	87	15	22.3	20.2	15.3	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.1	85	12	21.9	19.5	14.3	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 1.4	80	10	21.4	18.7	12.7	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.8	88	41	24.4	21.9	18.4	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 1.9	87	31	24.2	21.3	17.0	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 2.1	85	23	23.9	21.2	15.2	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 2.7	89	72	26.9	24.8	20.4	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 3.0	88	61	24.9	22.5	19.5	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 3.1	86	43	24.6	21.5	17.4	
14	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.4	87	22	19.4	17.3	13.0	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.5	86	18	19.0	16.2	11.8	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 1.7	82	15	18.4	15.1	10.1	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.7	88	32	26.4	23.6	16.2	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 1.9	87	27	25.4	23.0	14.7	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 2.2	84	22	24.0	21.2	13.0	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 2.3	88	52	31.4	27.3	20.5	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.5	88	44	29.7	26.9	18.3	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 2.7	86	33	28.6	25.9	15.5	
15	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.0	86	12	23.0	20.6	15.0	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.1	83	11	22.5	19.7	13.4	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 1.4	77	9	22.0	18.2	11.6	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.4	88	23	29.0	26.1	21.7	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 1.5	86	19	28.6	25.3	20.1	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 1.7	82	15	28.0	22.8	17.9	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 1.8	88	35	35.7	33.0	25.5	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.0	87	30	34.4	31.4	24.0	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 2.3	84	25	32.7	29.2	22.1	

(CONTINUES:)

Tabell 2. forts.

ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1 OUTFALL SITE : LANSUN
PAGE 1

PRO- FILE NR.	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
	NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	NEUTRAL WIDTH (M)	ANGLE DEG.	POINT CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EXTREMAL EQS. (M)	POT. (M)	
16	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.3	87	20	20.1	17.8	14.6	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.4	85	16	19.7	17.0	13.1	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 1.6	81	13	19.3	15.4	11.2	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.5	88	28	27.7	25.3	18.1	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 1.7	86	23	26.9	24.2	16.6	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 2.0	83	19	25.8	22.7	14.6	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 1.9	88	40	34.3	30.6	22.9	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.2	87	34	32.7	28.6	20.9	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 2.6	85	29	30.7	27.8	18.4	
17	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.2	87	17	20.8	18.1	13.4	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.4	85	15	20.0	16.4	11.8	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 1.7	80	13	19.4	15.2	9.8	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.1	86	15	31.7	28.2	22.7	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 1.3	84	13	31.1	26.9	20.4	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 1.6	79	11	30.4	26.4	17.7	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 1.4	87	23	39.0	35.7	30.7	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 1.5	86	19	38.4	34.0	28.8	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 1.8	82	16	37.7	32.5	26.0	
18	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.9	88	37	14.7	12.9	6.5	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 2.0	87	29	14.3	12.0	5.1	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 2.2	84	23	13.5	10.8	<4.0	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.9	88	36	24.9	21.7	11.2	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 2.2	87	32	23.1	19.5	8.9	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 2.6	84	27	20.9	18.5	6.5	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 1.8	88	33	35.9	30.2	21.9	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.0	87	29	34.3	25.5	18.0	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 2.4	84	25	32.3	27.7	12.6	
19	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 2.0	88	41	13.8	13.0	3.5	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 2.2	87	34	12.6	11.6	2.8	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 2.7	85	29	10.1	9.0	2.3	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 2.3	88	54	20.7	18.2	6.6	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 2.6	88	46	18.9	16.1	4.6	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 3.0	86	37	16.5	15.5	3.0	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 2.7	89	68	27.5	21.3	11.4	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.9	88	56	25.8	23.0	7.9	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 3.4	86	45	23.2	19.9	4.6	
20	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 2.3	89	59	9.8	8.0	4.0	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 2.5	88	47	8.9	7.8	3.3	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 2.8	86	35	7.8	6.5	2.5	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 3.1	89	90	13.2	11.6	5.1	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 3.4	88	73	11.5	9.6	4.3	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 3.6	87	53	10.4	9.2	3.1	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 3.6	89	112	19.1	17.6	5.9	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 3.8	88	90	17.4	15.6	4.9	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 4.4	87	71	13.8	12.7	3.8	

Tabell 2. forts.

(CONTINUES:)

ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1 OUTFALL SITE : LANSUN

PAGE 2

PRO- FILE NR.	JET DATA AFTER CONTRACTION					RESULTS						
	NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	POT. (M)	
21	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 2.6	89	67	7.6	6.8	2.4	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 2.7	88	52	7.3	6.2	1.9	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 2.9	86	38	6.6	5.2	1.2	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 2.9	89	73	16.3	15.5	3.1	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 3.4	88	67	12.5	11.6	2.7	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 3.9	87	55	9.1	8.1	2.0	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 2.8	89	73	26.4	23.2	5.7	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 3.2	88	63	23.9	23.0	3.4	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 3.7	86	52	20.3	19.2	2.4	
22	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.5	87	25	18.5	15.1	9.8	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.7	86	22	17.4	13.6	8.1	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 2.0	83	18	16.3	12.0	5.5	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.7	88	35	25.7	22.5	14.1	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 1.9	87	30	24.6	21.0	12.3	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 2.3	84	24	23.1	18.5	9.5	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 2.4	89	63	29.0	25.1	18.0	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.5	88	49	28.4	24.9	15.6	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 2.8	86	37	27.3	23.1	12.4	
23	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.4	88	26	18.4	16.7	12.5	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.6	86	21	17.8	13.5	11.7	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 1.8	83	17	17.1	11.9	10.4	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.9	88	41	24.1	22.5	14.4	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 2.1	87	35	22.8	21.0	13.5	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 2.5	85	28	21.0	18.8	12.3	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 2.5	89	64	28.6	25.6	16.7	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.6	88	51	27.7	25.9	14.9	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 3.0	86	39	26.2	24.0	13.3	
24	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.5	88	26	18.2	16.3	12.1	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.6	86	22	17.5	14.1	11.2	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 1.9	83	18	16.7	12.6	9.7	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.9	88	40	24.2	22.5	14.3	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 2.2	87	34	22.6	20.7	13.3	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 2.6	85	29	20.5	18.3	12.2	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 2.1	88	43	33.2	30.2	19.1	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.4	87	38	31.0	27.7	16.6	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 2.8	85	32	28.8	26.6	14.1	
25	I 1	30.0	0.50	0.30	0	I 1.4	87	21	19.5	15.9	11.0	
	I 2	30.0	0.50	0.50	0	I 1.5	86	18	18.9	14.7	8.8	
	I 3	30.0	0.50	1.00	0	I 1.8	81	15	18.0	15.5	6.3	
	I 4	40.0	0.50	0.30	0	I 1.6	88	29	27.4	23.9	16.9	
	I 5	40.0	0.50	0.50	0	I 1.7	86	24	26.4	22.4	14.8	
	I 6	40.0	0.50	1.00	0	I 2.1	83	20	25.2	20.2	12.0	
	I 7	50.0	0.50	0.30	0	I 2.0	88	41	33.9	30.0	22.2	
	I 8	50.0	0.50	0.50	0	I 2.2	87	35	32.4	27.9	20.0	
	I 9	50.0	0.50	1.00	0	I 2.6	85	29	30.3	26.0	17.2	

(CONTINUES:)

Tabell 2. forts.

ENTRAINMENT AND DILUTION, MANIFOLD NR. 1 OUTFALL SITE : LANSUN
PAGE 3

JET DATA AFTER CONTRACTION						RESULTS					
NR.	HOLE NR.	DEPTH (M)	DIAM. (M)	VEL. (M/S)	ANGLE DEG.	NEUTRAL		POINT		EXTREMAL DEPTHS	
						WIDTH (M)	ANGLE DEG.	CENTER DILUT.	DEPTH (M)	EQS. (M)	POT. (M)
26	1	30.0	0.50	0.30	0	1.5	88	29	17.4	15.1	7.3
	2	30.0	0.50	0.50	0	1.7	87	24	16.6	14.0	5.8
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.0	84	20	15.5	13.9	3.8
	4	40.0	0.50	0.30	0	2.2	88	52	21.4	18.2	11.6
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.5	88	44	19.8	16.2	9.8
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.7	86	33	19.0	16.1	6.7
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.7	89	75	26.6	22.8	13.7
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.9	88	60	25.2	21.6	11.7
	9	50.0	0.50	1.00	0	3.3	87	47	23.0	18.7	9.0
27	1	30.0	0.50	0.30	0	1.2	87	17	20.8	17.2	9.0
	2	30.0	0.50	0.50	0	1.4	85	15	19.9	16.5	6.6
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.1	80	16	16.9	13.3	5.8
	4	40.0	0.50	0.30	0	1.4	87	21	29.5	26.0	20.4
	5	40.0	0.50	0.50	0	1.5	85	18	28.7	21.4	18.0
	6	40.0	0.50	1.00	0	1.8	81	15	27.8	22.9	14.6
	7	50.0	0.50	0.30	0	1.4	87	22	39.4	35.8	28.8
	8	50.0	0.50	0.50	0	1.6	86	19	38.3	34.2	26.5
	9	50.0	0.50	1.00	0	1.9	82	16	37.0	32.3	23.5
28	1	30.0	0.50	0.30	0	1.8	88	36	15.4	14.1	3.3
	2	30.0	0.50	0.50	0	2.1	87	32	13.3	11.9	2.6
	3	30.0	0.50	1.00	0	2.6	84	27	11.2	9.5	1.6
	4	40.0	0.50	0.30	0	2.4	88	58	19.6	16.7	7.7
	5	40.0	0.50	0.50	0	2.5	88	46	18.9	15.4	4.9
	6	40.0	0.50	1.00	0	2.8	86	35	17.7	16.0	2.5
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.7	88	65	27.9	22.3	12.7
	8	50.0	0.50	0.50	0	3.0	88	56	25.6	20.7	9.7
	9	50.0	0.50	1.00	0	3.5	86	46	22.5	18.8	6.0
29	1	30.0	0.50	0.30	0	1.1	86	14	22.1	18.3	13.0
	2	30.0	0.50	0.50	0	1.2	84	13	21.4	13.4	10.6
	3	30.0	0.50	1.00	0	1.5	79	11	20.7	13.8	6.7
	4	40.0	0.50	0.30	0	1.5	88	28	27.8	23.5	19.0
	5	40.0	0.50	0.50	0	1.6	87	23	27.3	22.5	17.2
	6	40.0	0.50	1.00	0	1.8	84	18	26.6	20.9	14.4
	7	50.0	0.50	0.30	0	2.3	89	61	29.3	26.2	22.1
	8	50.0	0.50	0.50	0	2.4	88	47	29.1	25.5	20.5
	9	50.0	0.50	1.00	0	2.6	86	34	28.5	23.0	17.7

(CONTINUES:)

Dessuten er dyp for høyeste opptrengning (EXTREMAL DEPTH) beregnet på to måter: 1) Ved å anta at fortytning og innlagring fortsetter etter innlagring (EQS.)

2) Ved bare å ta hensyn til bevegelsesenergien i strålen og virkningen av tyngdefeltet (POT.).

Den første verdien (EQS.) kan antas å være mest representativ, den andre (POT.) representerer en absolutt teoretisk grense for hvor høyt vannmassene kan nå.

4. DRØFTING AV RESULTATENE OG ANBEFALINGER

Beregninger er gjort ut fra 29 vertikale tetthetsprofiler fra en 3-års periode. Det er grunn til å tro at profilene er representative for de naturlige tetthetsvariasjoner i fjorden.

Som nevnt i kap. 2.2 er det to hovedhensyn å ta ved dette dyputslippet. Avløpsvannet bør holdes under sonen hvor planteplanktonproduksjonen foregår i sommerhalvåret (profilene 2-7, 14-18, 23-26) og det bør i minst mulig grad innblandes i den estuarine kompensasjonsstrømmen og dermed bli transportert innover i fjordområdene. I kap.2.2 ble da anbefalt innlagring under 15-20 m dyp.

Med utslipp på 30 m dyp vil en som det fremgår av tabell 2 i svært mange tilfeller ikke oppnå innlagring under 15 m dyp, men heller i 10-15 m dyp. Likeledes er primærfortynningen ofte så lav som 10-20 ganger. Utslipp i 30 m dyp kan derfor ikke anbefales.

Med utslipp i 40 m dyp vil en både for sommerhalvåret og for vinterhalvåret i de aller fleste situasjoner oppnå innlagring i 15-25 m dyp, noe som må anses akseptabelt. Dypet for høyeste opptrengning (her benyttet EQS.) kan en for sommerhalvåret også vente vil ligge under 15 m. Primærfortynningen er bedre enn for utslippet i 30 m dyp, men er for enkelte situasjoners vedkommende noe lav (se f.eks. tabell 3, profil 15).

Med utslipp i 50 m dyp kan en vente å oppnå innlagring under 20 m dyp for de aller fleste situasjoner. Primærfortynningen er også bedre enn for utslipp i 40 m dyp. Utslipp i 50 m dyp er således det klart beste fra et resipientmessig synspunkt. Om dette også totalt sett er et bedre alternativ enn utslipp i 40 m dyp, må vurderes mot eventuelle tekniske problemer utslipp i 50 m dyp kan medføre.

Avslutningsvis vil en si at primærfortynningen for de aktuelle utslippsdyp og strålehastigheter generelt sett synes noe lav. Dette skyldes at utslippsrørets diameter er relativt stor i forhold til vannmengden. En mindre diameter på utslippsrøret vil gi mulighet for bedre primærfortynning og større innlagringsdyp med et gitt utslippsdyp. Beregninger utført ved NIVA viser imidlertid at utslippsrørets diameter i så fall må gjøres så liten som 0,25 m eller mindre, noe som igjen vil medføre behov for større trykkehøyde på land.

5. REFERANSER

NIVA 1973

0-126/72. Mixing of a jet into stratified environment.

Saksbehandler: Birger Bjerkeng og Aage Lesjø (Computas).

NIVA 1976

0-111/70. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport nr. 4. Fremdriftsrapport fra undersøkelser av vannutskiftningen i fjordområdene mars 1974 - desember 1975. Saksbehandler: Jarle Molvær. Stensilert, 49s.

NIVA 1976a

0-111/70. Resipientundersøkelse av nedre Skienselva, Frierfjorden og tilliggende fjordområder. Rapport nr. 5. Fremdriftsrapport fra de hydrokjemiske undersøkelsene mars 1974 - desember 1975. Saksbehandler: Jarle Molvær. Stensilert, 143s.

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1965

Hydrografiske undersøkelser i Frier- og Langesundsfjorden.

Rapport for oppdragsnr. 600235. III + 4s. pluss 13 bilag.

Vassdrags- og Havnelaboratoriet, NTH, 1966

Utvidelse av skipsleden i Frier- og Langesundsfjorden. Rapport for oppdragsnr. 600262. VIII + 44s. pluss 64 bilag (figurer).