

Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Konsekvensvurdering av utslipp til sjø fra Norferm AS, Tjeldbergodden	Løpenr. (for bestilling) 4556-2002	Dato 26.02.2003
	Prosjektnr. Undernr. 21917/23200	Sider Pris 39
Forfatter(e) Arild Sundfjord Torbjørn M. Johnsen Jarle Molvær	Fagområde oseanografi, marinbiologi	Distribusjon
	Geografisk område Møre og Romsdal	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Norferm AS, Tjeldbergodden	Oppdragsreferanse
--	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Et neddykket utslipp fra Norferm AS sin bioproteinfabrikk på Tjeldbergodden ved Trondheimsleia er vurdert. Forløpet for initialfortynning, innlagring og videre spredning er simulert ved bruk av en numerisk modell. Avløpsvannet inneholder blant annet karbon-, nitrogen- og fosforforbindelser som kan påvirke biologiske og kjemiske forhold i resipienten. Det er gjort simuleringer av utslippsscenarioer med ulike konsentrasjoner av restmateriale fra produksjonen både som kontinuerlige utslipp og "pulsutslipp" med varighet 20 minutter. I prosjektets Fase 1 ble det påpekt at det kan være en risiko for lokale algeoppblomstringer i overflatevannet, og at høy ammoniumkonsentrasjon nær utslippspunktet kan ha toksisk effekt på enkelte planktonarter. I prosjektets Fase 2 er det anbefalt en løsning med kontinuerlig utslipp i 30 m dyp der risikoen for slike uønskede virkninger er minimert.</p>

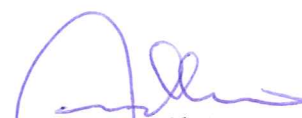
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. utslipp 2. konsekvensvurdering 3. modellering 4. biologiske effekter 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. discharge water 2. environmental impact analysis 3. numerical modelling 4. biological effects
---	--



Arild Sundfjord
Prosjektleder



Kari Nygaard
Forskningsleder



Jens Skei
Forskningsdirektør

**Konsekvensvurdering av utslipp til sjø
fra Norferm AS, Tjeldbergodden**

Forord

Prosjektet er utført for Norferm AS, Tjeldbergodden. Ingvild Kolberg har vært kontaktperson og bidratt med nødvendige opplysninger i forkant og underveis i prosjektets gang.

Prosjektet er delt i to Faser. Fase 1 ble fullført høsten 2002 og konkluderte med at avløpsvannet medførte risiko for lokale algeoppblomstringer i overflatevannet, og for at høy ammoniumkonsentrasjon nær utslippspunktet kan ha toksisk effekt på enkelte planktonarter.

Vinteren 2002/2003 ble derfor Fase 2 gjennomført for å finne løsninger som eliminerte denne risikoen. Beregningene fra Fase 2 er gjengitt som Vedlegg D og konklusjonene er innarbeidet i Sammendrag og i anbefalinger foran i rapporten.

Statoil, Tjeldbergodden, ved Ragnhild Næss, har stilt til rådighet strøm- og hydrografidata fra området.

Arild Sundfjord har vært prosjektleder og utført modellberegninger av fortykning og spredning av utslippet, mens Torbjørn M. Johnsen har stått for vurderingen av effekter av utslippet. Jarle Molvær har stått for beregninger og vurderinger i prosjektets Fase 2.

Vi takker for et interessant prosjektoppdrag.

Tromsø, 26.02.2003

Arild Sundfjord

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn og formål	6
2. Beskrivelse av resipienten og utslippet	6
2.1 Resipienten	6
2.2 Produksjon av bioprotein	7
2.3 Utslippsdata	7
2.4 Ferskvannsutslipp til sjø; innlagring, spredning og fortynning	8
3. Metode og materiale	9
3.1 Visual Plumes	9
3.2 Hydrografi- og strømdata	10
3.3 Utslippsscenarier	10
4. Resultater av modellberegningene	11
4.1 Initialfortynning, innlagring og videre spredning	11
4.2 Beregningsgrunnlag for vurderingen av effekter av utslippet	14
5. Vurdering av effekter av utslipp	14
5.1 Scenario 1	16
5.2 Scenario 2	16
5.3 Scenario 3	18
6. Diskusjon	19
Vedlegg A. Resultater fra modellsimuleringene	22
Vedlegg B. Konsentrasjoner i ulike avstander	26
Vedlegg C. Tiltak for å bedre utslippsforholdene	31
Vedlegg D. Prosjektets Fase 2	32
Bakgrunn og Formål	32
Alternativer for akseptabel løsning	32
Scenarier for nye beregninger av innlagring og fortynning av avløpsvann	33
Resultater	34
Vurderinger og anbefalinger	39

Sammendrag

Et utslipp fra Norferms bioproteinfabrikk på Tjeldbergodden ved Trondheimsleia er vurdert. Utslipet, som i hovedsak består av ferskvann, slippes ut på 15 m dyp. Forløpet for initialfortynning, innlagring og videre spredning er simulert ved bruk av en numerisk modell. Det er gjort beregninger både for kontinuerlige og pulsvise utslipp.

Prosjektet er blitt gjennomført i to faser der vurderinger og konklusjoner i Fase 1 ga grunnlaget for Fase 2. Nedenfor gjengis sammendraget fra Fase 1 og så sammendrag og konklusjoner fra Fase 2.

Fase 1:

Avløpsvannet inneholder komponenter som kan påvirke biologiske og kjemiske forhold i resipienten, blant annet karbon-, nitrogen- og fosforforbindelser. Med utslipp som gitt i scenariet med lavest utslippsmengde er det ikke vurdert at utslippet har effekter av betydning. Det er også gjort simuleringer for to utslippsscenarier med betydelig større utslippsmengder. Også med disse utslippskonsentrasjonene vil det bli en moderat økning av organisk karbon i nærsone til utslippspunktet, som ikke forventes å gi særlige negative effekter. For både ammonium og fosfat vil konsentrasjonsøkningen i tilfellet med størst utslipp (Scenario 2) være betydelig. Ved kontinuerlige utslipp vil vannmassene ved innlagring i henhold til SFTs klassifiseringssystem falle i klasse III - "Mindre God" ved gunstige sjiktforhold og V - "Meget dårlig" ved ugunstige forhold (for ammonium) og V - "Meget dårlig" uansett forhold (for fosfat). Først i en avstand på ca. 1 km fra utslippspunktet vil vannet oppnå klasse I - "Meget god". For pulsvise utslipp vil influensområdet være større og tilstanden klassifiseres som ennå dårligere. Også ved Scenario 3 (ca. halvparten av den største belastningen) vil resipienten ved kontinuerlige utslipp falle i tilstandsklasser mellom III og V innenfor en avstand på flere hundre meter. På bakgrunn av dette vil det derfor være økt sannsynlighet for lokale algeoppblomstringer i overflatevannet. Beregningene viser at det verken for Scenario 2 eller Scenario 3 er grunn til å forvente vesentlig dårligere oksygenforhold i resipienten.

Ved utslipp av fosfat og ammonium som i Scenario 2 og 3 bør det vurderes å legge utslippspunktet dypere og lengre fra land, eventuelt også å rense avløpsvannet og/eller benytte en diffusor som kan fordele avløpsvannet ytterligere. En kort beskrivelse av slike tiltak er gitt i Vedlegg C.

Fase 2:

På grunnlag av kriteriene for en akseptabel utslippsløsning og beregningene formulert i Fase 1 er det gjort vurderinger for pulsutslipp og kontinuerlig utslipp i 25 m og 40 m dyp med tilleggsberegning for kontinuerlig utslipp i 30 m dyp. Vi anbefaler:

- Kontinuerlig utslipp i ca. 30 m dyp

Dette gir en fortykning der risikoen for gifteffekter fra ammonium ikke eksisterer utenom 50-100 m meter fra utslippet (dvs. i den sonen der avløpsvannet stiger opp fra enden av røret og innlagres). Innenfor denne avstanden dreier det seg om sentrum av skyen med fortennet avløpsvann, dvs. for en vannmasse som er 1-2 m tykk og typisk 2-5 m bred og som da befinner seg i ca. 25 m dyp. Dette er vurderinger med stor sikkerhetsmargin.

I sommerhalvåret vil avløpsvannet bli innlagret dypere enn 10 m og vil ikke kunne bidra til lokale oppblomstringer av planktonalger eller til lokal algevekst på grunt vann i strandsonen.

Til slutt nevnes at en tilsvarende utslippsløsning sannsynligvis også kan finnes for pulsutslipp gjennom en diffusor.

1. Bakgrunn og formål

Norferm AS ved Ingvild Kolberg kontaktet NIVA 10.04.02 med forespørsel om å få utført en vurdering av et utslipp til sjø fra Norferm AS sin bioproteinfabrikk på Tjeldbergodden, Aure Kommune, Møre og Romsdal. Avløpsvannet inneholder blant annet nitrogen, fosfor, karbon og oksygenforbrukende forbindelser som på ulike måter kan påvirke miljøet i resipienten. Dette arbeidet omfatter beregninger omkring spredning, innlagring og fortykning av det neddykkede utslippet. Videre vurderes det hvordan utslippet kan påvirke vannkvaliteten i nærområdet, og om dette gir biologiske effekter. Tre scenarier med ulike utslippsmengder blir vurdert.

Arbeidet er basert på opplysninger om utslippet (vannmengder og innhold av de ulike komponentene, samt utslippets fysiske utforming) fra Norferm AS, og eksisterende målinger av fysiske forhold i resipienten (hydrografi og strøm) utført av NIVA og stilt til rådighet av Statoil, Tjeldbergodden.

Prosjektet er et teoretisk studie av utslippsforløpet basert på en numerisk modell. Det er ikke en fullstendig resipientgranskning der effekter av topografi, strandsonebefaring og f.eks. mer inngående dykkerstudier av flora og fauna i nærområdet inngår.

Som beskrevet i Innledningen ble prosjektet delt i to Faser. Fase 1 ble fullført høsten 2002 og konkluderte med at avløpsvannet medførte risiko for lokale algeoppblomstringer i overflatevannet, og for at høy ammoniumkonsentrasjon nær utslippspunktet kan ha toksisk effekt på enkelte planktonarter. Vinteren 2002/2003 ble derfor Fase 2 gjennomført for å finne løsninger som eliminerte denne risikoen. Beregningene fra Fase 2 er gjengitt som Vedlegg D og konklusjonene er innarbeidet i sammendrag og i anbefalinger foran i rapporten. Dette betyr at med unntak for Sammendrag og Kap. 6 Diskusjon er den etterfølgende tekst, figurer og tabeller fram til Vedlegg D i hovedsak en beskrivelse av prosjektets Fase 1.

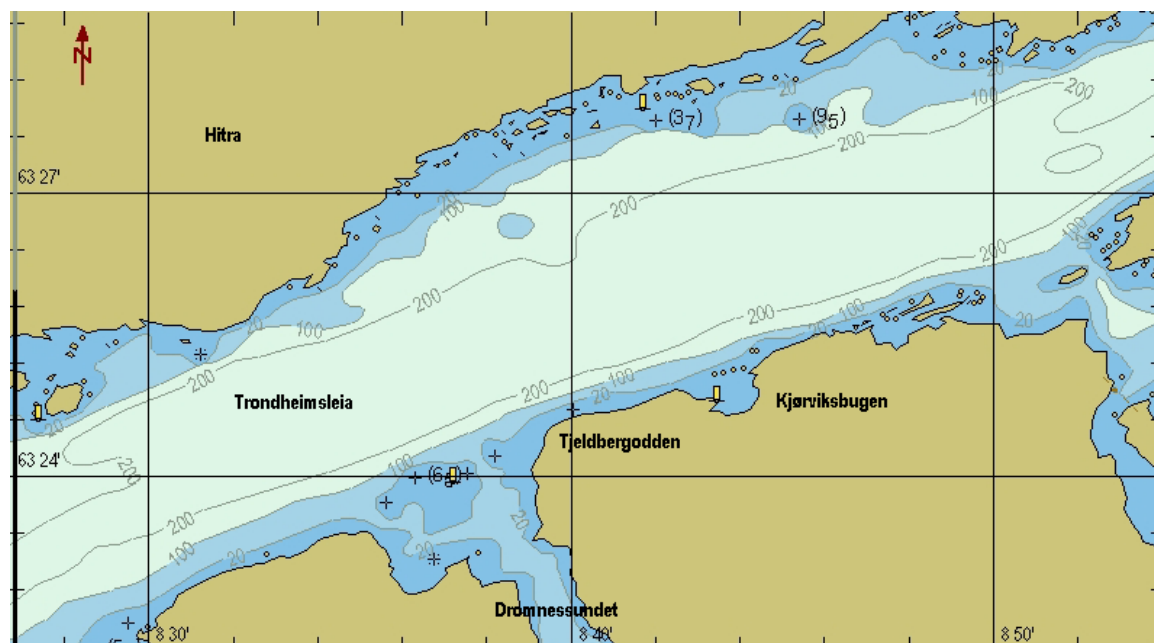
2. Beskrivelse av resipienten og utslippet

2.1 Resipienten

Tjeldbergodden ligger ved Trondheimsleia, mellom fastlandet i Aure Kommune og øya Hitra (se kart i Figur 1). Gjennomstrømningen er god i dette åpne og brede sundet (ca. 5 km), og det er ingen terskler som vil hindre utskifting av vann i det dybdeintervallet utslippet blir fordelt i.

Tidligere undersøkelser (Golmen 1991) viser at det er moderat tetthetssjiktning i sjøen utenfor Tjeldbergodden. I sommerhalvåret vil det periodevis være et sprangsjikt (overgang mellom lett overflatevann og tyngre vann under) i varierende dyp, oftest grunnere enn ca. 10 m. Strømmålinger i overflatelaget (4 m dyp) viser til dels sterk, men varierende strøm i sundet. Det er en klar nettostrøm mot nordøst, men denne reverseres periodevis på grunn av vekslende tidevann og varierende vindretning.

Statoils gassmottaks- og metanolanlegg på Tjeldbergodden har også utslipp til resipienten, men disse utslippene er vurdert til å ha minimal innvirkning på resipientens vannkvalitet (Bakke og Molvær 1994). Noen ytterligere vurdering av summasjonseffekter på grunn av utslippene fra Statoils anlegg er derfor ansett som unødvendige i dette prosjektet.



Figur 1. Kart over Tjeldbergoddens beliggenhet i Trondheimsleia.

2.2 Produksjon av bioprotein

Produksjonen av bioprotein er basert på å utnytte energiinnholdet i metangass til å dyrke mikroorganismer. Metangass, oksygen, ammoniakk og andre komponenter tilføres kontinuerlig til et vannbasert vekstmedium i en fermentor der vekst og celledeling foregår. Herfra føres biomassen videre gjennom en rekke prosesser der vannet skiller ut og cellemassen oppkonsentreres, filtreres, varmebehandles og til slutt tørkes. Mesteparten av vannet som brukes i disse prosessene føres tilbake til fermenteringssystemet, mens noe vann fra vaskeprosesser, drenering og overrenning samles opp og kjøres gjennom et biologisk renseanlegg før det til slutt pumpes ut i det neddykkede utslippet utenfor Tjeldbergodden (basert på opplysninger fra Norferm AS). Avløpsvannet inneholder blant annet nitrogen-, fosfor- og karbonforbindelser samt komponenter som forbraker oksygen når de brytes ned i sjøen.

2.3 Utslippsdata

Avløpsvannet slippes ut gjennom et rør som går rett ut i sjøen utenfor bioproteinanlegget på Tjeldbergodden. Avløpsrøret er ca. 20 m langt og har en diameter på 150 mm. Åpningen ligger på 15 m dyp og har ikke diffusorer eller andre fordelingsmekanismer. Det er ferskvann som brukes i produksjonsprosessen. Tettheten styres derfor primært av temperaturen, som typisk ligger på ca. 10-13°C.

Bioproteinfabrikken er fortsatt i en oppstarts- og innkjøringsfase, og det er foreløpig for tidlig å si hva som vil være typiske utslippsrater når driften er stabilisert. I dette arbeidet er det tatt utgangspunkt i en gjennomsnittlig vannfluks på ca 150 m³/døgn. Typisk vannfluks er ca. 200 m³/døgn, men den kan periodevis være nede i 20 m³/døgn. Så langt har avløpsvannet blitt pumpet ut i ”pulser”, hver på 20 m³ i løpet av 20 minutter (ca 17 liter/sekund) og med minimum 3 timers mellomrom. Det er derfor gjort simuleringer både for slike pulsutslipp og for kontinuerlige flukser på 150 og 200 m³/døgn.

Konsentrasjonen av de ulike komponentene som skal vurderes kan variere. Denne undersøkelsen tar for seg 3 ulike situasjoner. I Scenario 1 er innholdet av de ulike utslippskomponentene av moderat størrelse. Scenariene 2 og 3 illustrerer større utslipp med ulike grader av effektivitet/rensing i

produksjonsprosessen. Med den typiske utslippsfluksen på 200 m³/døgn (tilsvarende 2,3 liter/s) vil konsentrasjonene i vannet som slippes ut være som i Tabell 1 for hvert av de tre scenariene.

Tabell 1. Utslippsinnhold i de ulike produksjonsscenariene som vurderes, samt konsentrasjon av de ulike komponentene for hvert scenario (TOC = total organisk karbon, TN = totalt nitrogen, TP = total fosfor, COD = kjemisk oksygenforbruk).

Komponent	Scenario 1 [kg/døgn]	Kons [mg/l] Scenario 1	Scenario 2 [kg/døgn]	Kons [mg/l] Scenario 2	Scenario 3 [kg/døgn]	Kons [mg/l] Scenario 3
TOC	20	100	300	1500	150	750
TN	5,0	25	60	300	30	150
TP	1,5	7,5	23	115	11,5	58
COD	70	350	750	3750	375	1875

Parallelt med modelleringsarbeidet er det tatt prøver av avløpsvannet for analyse av nitrogeninnhold ved NIVAs laboratorium i Oslo. Innholdet av totalt nitrogen (TN) var på 232 mg/l, og konsentrasjonen av ammonium (NH₄), som er den mest biotilgjengelige delen, var på 99,6 mg/l. Konsentrasjonen av totalt nitrogen i denne prøven ligger altså omtrent midt mellom det som er brukt i Scenario 2 og 3.

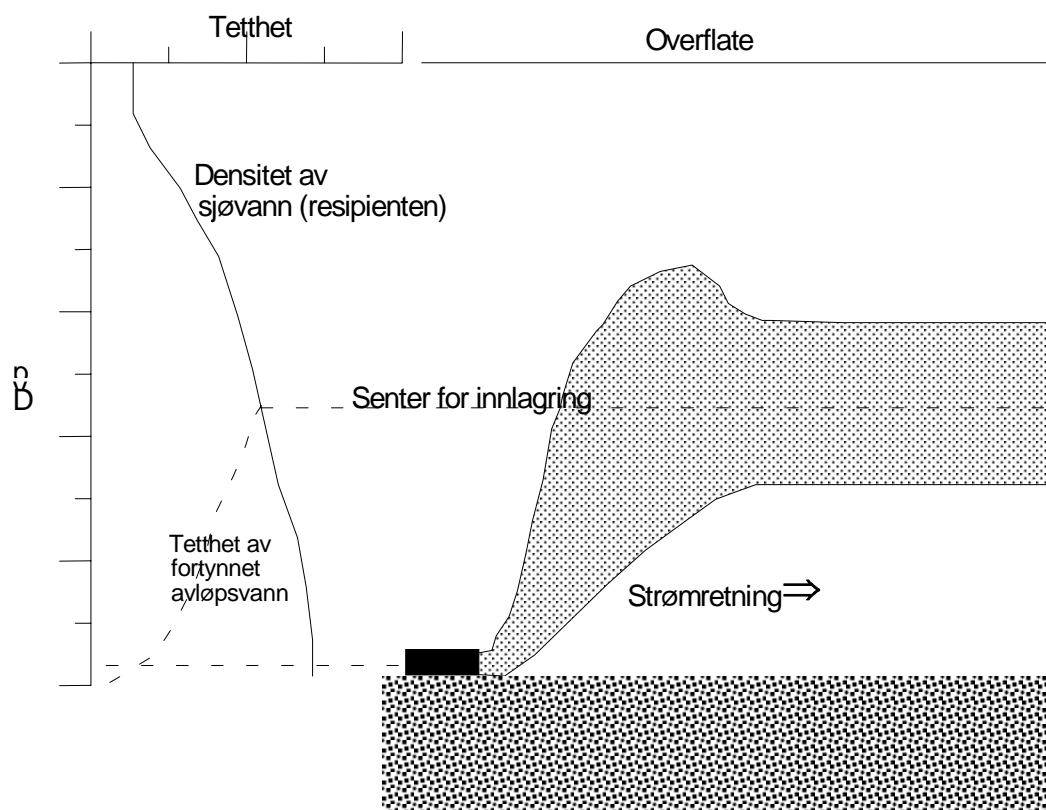
2.4 Ferskvannsutslipp til sjø; innlagring, spredning og fortykning

Vannet som slippes ut på 15 m dyp vil normalt være lettere enn fjordvannet i resipienten. Utslippsvannet vil derfor stige mot overflaten, mens det blandes med det tyngre, omgivende sjøvannet. Tettheten (egenvekten) til sjøvann avhenger av saltinnhold og temperatur - den øker med økende saltinnhold og avtagende temperatur. I utgangspunktet vil sjøvannet være stabilt sjiktet, det vil si at tettheten øker med økende dyp. "Skyen" av fortyknet avløpsvann vil da få økt tetthet etterhvert som det blandes videre ut, og dersom resipienten er sterkt nok sjiktet, vil utslippsskyens tetthet etterhvert bli lik den i omgivelsene ("nøytral tetthet"). Vannet vil da slutte å stige – det er innlagret. Dersom sjiktningen er svak, vil utslippet kunne trenge helt opp til overflaten uten at det innlagres.

Innlagringsdyptet avhenger altså av tettheten til avløpsvannet (som i dette tilfellet i praksis vil si dets temperatur) og vertikalfordelingen av tetthet der vannet slippes ut og stiger opp. I tillegg avhenger innblandingen av omliggende vann av avløpsvannets hastighet ut av røret. Dersom denne initialhastigheten er stor, vil blandingen med omgivende vann være effektiv, og tettheten til avløpsvannet vil raskere bli utjevnet mot tettheten til sjøvannet.

Etter at avløpsvannet har nådd et dybdeintervall der det har samme tetthet som omgivelsene, vil det fortsatt spres og fordeles. Den videre spredningen avhenger av strømforholdene, men også i stillestående vann vil småskaladiffusjon føre til at det fortyknes videre.

Utslippet vil endre den vertikale fordelingen av vannmasser i området. I tillegg til at temperatur- og saltholdighetsstrukturen endres, vil også fordelingen av næringssalt, oksygen og andre løste og partikulære stoffer påvirkes. Eksempelvis vil et utslipp med høyt innhold av næringssalter kunne føre til at algeproduksjonen om sommeren blir høyere enn normalt (overgjødning), dersom det innlagres grunt nok til at det er nok lys til effektiv fotosyntese.



Figur 2. Skisse av typisk forløp for et utslipp; primærfortynning og innlagring i nøytralt dyp.

3. Metode og materiale

3.1 Visual Plumes

Den numeriske modellen Visual PLUMES utviklet av U.S. EPA (Frick et al. 2001) er brukt til å beregne spredning og innlagring av avløpsvannet under ulike strøm- og hydrografiforhold. Modellen simulerer hvordan avløpsvannet og det omgivende fjordvannet blandes på grunn av utslippshastighet (basert på vannfluks og rørdiameter) og oppdrift på grunn av tetthetsforskjellen mellom ferskvann og fjordvannet, samt strømforholdene i området. Etterhvert som avløpsvannet fortynnes vil tettheten øke, og avhengig av tetthetsforholdene i fjorden vil det enten innlagres i et dyp der det har nøytral tetthet, eller trenge gjennom til overflaten etter å ha blitt fortynnet et visst antall ganger. Partikler i utslippet inngår ikke i modellen, kun komponenter som er løst i avløpsvannet.

Nødvendige opplysninger for modellsimuleringene er vannfluks, dyp og diameter for utslippsrøret, samt temperatur og eventuelt saltinnhold i avløpsvannet (data fra Norferm AS). Videre brukes eksisterende hydrografi- og strømmålinger fra området (utført av NIVA, brukes med tillatelse fra Statoil ASA). Norferm AS har oppgitt ulike utslippsrater for de ulike komponentene som skal vurderes (TN, TP, TOC og COD). Ved å inkludere disse i modellsimuleringene kan konsentrasjon av de ulike komponentene i gitte avstander fra utslippspunktet beregnes, og influensområdet kvantifiseres for de ulike utslippsscenarioene.

Visual PLUMES beregner gjennomsnittsverdier for fortynning i ulike faser av utslippsforløpet. Utslippsskyen blir altså betraktet som lateralt homogen, og det er derfor ikke mulig å kvantifisere hvordan den lokale topografien påvirker spredningen. Siden utslippspunktet er relativt nær land, kan

det forventes at det tidvis vil være strømforhold som fører fortynnet avløpsvann inn i strandsonen. Effekter av dette avdekkes best ved en strandsonbefaring, som eventuelt kan utføres separat om ønskelig.

3.2 Hydrografi- og strømdata

Som del av planarbeidet i forkant av utbyggingen av Tjeldbergodden gjennomførte NIVA et større måleprogram for Statoil i 1990-91 (Golmen 1991). Målingene omfattet blant annet hydrografiske registreringer og strømmålinger like utenfor det nåværende anlegget. Denne datainnsamlingen var lagt opp med henblikk på bruk i datamodellering og vurdering av utslipp av kjølevann, og datamaterialet er derfor godt egnet for bruk i dette prosjektet.

Hydrografi

Hydrografiprofiler (fordeling av saltholdighet og temperatur med dyp) ble målt med én til to ukers mellomrom i perioden mars 1990 til februar 1991. Målingene ble gjort ned til ca. 60 m dyp, med én meters mellomrom i de øverste ti meter og økende mellomrom videre ned mot bunn. Tilsammen foreligger 37 profiler til bruk i modelleringsarbeidet.

Strøm

Under måleprogrammet NIVA gjennomførte for Statoil i 1990-91 ble det også målt strøm ved Tjeldbergodden. I periodene 20.03-16.05.90 og 17.08-01.10.90 ble det plassert ut en bunnforankret rigg med måleinstrumenter i dyp 4 og 40 m. Måleseriene for 4 m dyp viste gjennomsnittlig strømfart på henholdsvis 13 og 16 cm/s for de to periodene. Netto strømretning i dette øvre laget var mot nordøst. I 40 m dyp var den gjennomsnittlige strømmen svakere (6-7 cm/s). Maksimal strømhastighet i de to dypene var henholdsvis 80 og 42 cm/s. Det var kun få og kortvarige perioder med svært lite strøm, og disse forekom stort sett i forbindelse med skiftende tidevannsretning. Det meste av tiden var strømmen rettet mot øst-nordøst, men i enkelte lengre perioder også mot sørvest. I tillegg til tidsserier ble det tatt vertikallprofiler av strøm i mars, mai og august. Disse viste at strømmen oftest avtok kontinuerlig fra overflaten og ned mot 10-15 m dyp. Dypere nedover var strømprofilen mer konstant.

I modellberegningene er det valgt å bruke den laveste gjennomsnittsverdien av målingene fra 4 m dyp, altså 13 cm/s, som utgangspunkt. Denne verdien er antatt å være representativ for de øverste 4 m. På 16 m dyp (største hydrografidyp som brukes i modelleringen) er strømmen satt til 6 cm/s (laveste gjennomsnittsverdi fra 40 m dyp). Mellom 4 og 16 m dyp er det brukt lineær interpolasjon for å beskrive strømbildet. Strømretningen er satt mot nordøst i hele dybdeintervallet.

3.3 Utslippsscenarioer

For å få et bilde på hvordan avløpsvannet fortynnes og innlagres er det gjort modellsimuleringer for alle de 37 hydrografiprofilene. Først er det gjort kjøring der den gjennomsnittlige vannfluksen på 150 m³/døgn er jevnt fordelt utover en 24-timers periode, deretter med minimums- og maksimumsverdiene på 20 og 200 m³/døgn. Den videre spredningen og fortynningen etter at innlagring er oppnådd, er også simulert for alle profilene.

For å illustrere effekten av varierende bakgrunnsstrøm i resipienten, er det gjort simuleringer for utvalgte hydrografiske profiler med 25% av gjennomsnittlig strømhastighet (3,25 cm/s i 4 m dyp og 1,5 cm/s i 16 m dyp) og og maksimalstrøm (80 og 42 cm/s).

Ut fra disse første kjøringene er det plukket ut tre hydrografiprofiler for å se på konsentrasjonene av de ulike komponentene i de tre utslippsscenarioene; én profil med ”typisk” innlagringsforløp, én med dyp innlagring og én med opptrengning til overflaten. I disse kjøringene er den vannfluksen som er typisk for vanlig drift, 200 m³/døgn, benyttet.

I tillegg til simuleringene av døgnkontinuerlige utslipp er det gjort tilsvarende beregninger for pulsutslipp på 20 m³ i løpet av 20 minutter. Også her er det gjort fortynningsberegninger for alle de tre scenariene med hensyn på konsentrasjoner av de ulike komponentene. Konsentrasjonene som er brukt her er basert på gjennomsnittsverdiene for det kontinuerlige utslippet slik at et utslipp på 20 m³ inneholder samme mengde av de ulike komponentene som 10% av et døgnutslipp på 200 m³.

Andre data for utslippet (som beskrevet i Kap. 2.3) er: dyp 15 m, rørdiameter 150 mm og temperatur 11,5°C (gjennomsnittsverdi). Det er videre brukt anbefalte standardverdier for diffusjonsfaktorer m.m., som gitt i modelldokumentasjonen.

4. Resultater av modellberegningene

4.1 Initialfortynning, innlagring og videre spredning

Modellsimuleringene med kontinuerlig vannfluks 150 m³/døgn for de 37 hydrografiprofilene fra 1990-91 viser at avløpsvannet fortynnes raskt. For alle tilfellene er en gjennomsnittlig fortynning på 100 ganger oppnådd i en horisontal avstand på under 2 m, og før utslippsskyen har steget 2 m fra utslippsypet. I de fleste tilfellene vil avløpsvannet innlagres i dyp på ca. 10-12 m, spesielt om våren og sommeren. I løpet av høsten, når den vertikale stabiliteten i sjøresipienten blir svakere, stiger vannet høyere opp, og i flere tilfeller vil det da trenge helt gjennom til overflaten. Dette er vanlig vinteren gjennom og kan også forekomme om våren. I tilsammen 10 av de 37 hydrografiske situasjonene det er gjort beregninger for, slo utslippet gjennom til overflaten. Innlagringsdyp, eller senterdyp for skyen i de tilfeller avløpsvannet trenger gjennom til overflaten ved svak sjiktning, er vist i **Figur 3**.

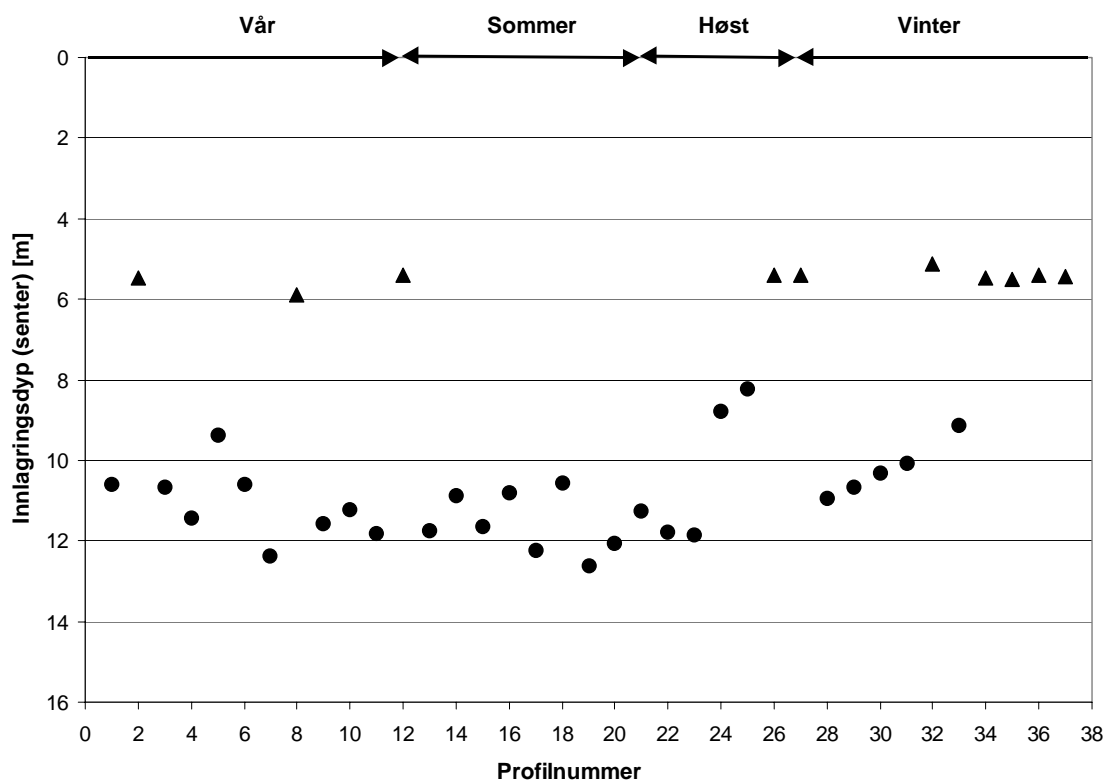
Typisk innlagringsdyp (medianverdien) er på 10,6 m (inkludert de tilfellene der gjennomslag til overflaten inntreffer). I løpet av denne initialfortynningsfasen vil utslippet ifølge modellen forflyttes en horisontal avstand på mellom 10 og 83 m, med gjennomsnittsverdi på 33 m. Gjennomsnittlig fortynning ligger på mellom 720 og 6.800 ganger, med middelverdier på 2.570 ganger for de tilfellene innlagring finner sted, og 5.950 ganger ved gjennomslag til overflaten.

Fortynningen i senter av skyen vil alltid være betydelig lavere enn gjennomsnittet for hele utslippsskyen sett under ett. Senterfortynningen vil typisk være ca. 25 % av gjennomsnittsverdien, det vil si i området 180-1.800 gangers fortynning når innlagring (eller overflategjennomslag) nåes. I den videre beskrivelsen er det underforstått "gjennomsnittlig" når "fortynning" brukes, dersom ikke annet er spesifisert.

I Vedlegg 1 er resultater for alle hydrografiprofilene vist i tabellform samt som figurer som viser innlagringsforløp, initialfortynning og tetthetsendring.

Hovedtrekk fra modelleringen av utslippsforløpet i nærsone:

- Initialfortynningen er svært høy
- Gjennomslag til overflaten vil inntreffe, stort sett i vinterhalvåret og utover våren.



Figur 3. Innlagringsdyp for simulering av utslipp 150 m³/døgn. Markørene viser dyp for senter av utslippsskyen enten når nøytralt dyp er funnet (●), eller idet toppen av skyen trenger gjennom til overflaten (▲) i de tilfellene sjiktingen er svak.

Den videre spredningen etter at innlagring inntreffer styres i stor grad av de lokale strømforholdene. Det er brukt samme verdier for strøm i hele området som i nærsonen (se Kap. 3.2), og forløpet for spredning for de forskjellige hydrografiske profilene vil derfor bli ganske likt. For å gi en indikasjon på hvilke fortynningsgrader som kan forventes i ulike avstander fra utslippspunktet, er gjennomsnitts-, minimums- og maksimumsverdier for fortynningsgrad for de 37 profilene i avstand 100, 250, 500 og 1.000 m fra utslippet vist i Tabell 2. I tillegg er utslippsskyens bredde vist i de samme avstandene.

Tabell 2. Gjennomsnittlig, minimum og maksimum antall ganger fortykning og bredde av utslippet i ulike avstander fra utslippspunktet (etter initialfortynningsfasen).

Avstand (m)	100	250	500	1000
Gjennomsnitt	5013	12489	29474	75367
Minimum	1783	4940	12149	31898
Maksimum	8452	19637	44396	112000
Bredde (m)	13-22	39-51	100-116	268-290

Minste vannfluks

Ved laveste vannfluks (20 m³/døgn) vil avløpsvannets hastighet ut av røret være lav. Dette kan føre til at utslippet periodevis vil være irregulært – sjøvann kan trenge inn i røret og avløpsvannet kommer ut i ”gufs”. Dette er vanskelig å modellere eksakt, og simuleringene for minste vannfluks tar på samme måte som kjøringen for typisk vannfluks utgangspunkt i et laminært (symmetrisk over rørets diameter) og stasjonært (likt over tid) utslippsforløp. Det som uansett er klart, er at både avløpsvannets egenhastighet og oppdriftskreftene vil være mindre, og at utslippet ikke vil trenge like langt opp i vannsøylen som ved større vannfluks.

Typisk innlagringsdyp (mediandypet) vil ved vannfluks $20 \text{ m}^3/\text{døgn}$ være 12,1 m. I 31 av 37 tilfeller innlagres utslippet med senterdyp mellom 10,2 og 13,8 m. Gjennomsnittlig fortykning vil ved innlagring være på mellom 1.500 og 16.600 ganger (middelverdi 8.000), mens den i senter av skyen vil være ca. 25% av dette. I de resterende 6 hydrografiske situasjonene vil utslippsskyen nærme seg overflaten, men da med gjennomsnittlig fortykningsgrad ca. 50.000 ganger (senterfortynning over 10.000). Også her er det vintermånedene som er mest utsatt for gjennomslag – 5 av de 6 aktuelle profilene er fra vintermånedene (slutten av desember til februar), mens unntaket er 28.05.90.

Avstand fra utslippsstedet og skyens bredde i det innlagring inntreffer vil være av omtrent samme størrelse som for den gjennomsnittlige vannfluksen.

Største vannfluks

Med største vannfluks, $200 \text{ m}^3/\text{døgn}$, vil utslippsforløpene være svært like de ved fluks $150 \text{ m}^3/\text{døgn}$. Skyen trenger noe høyere opp i vannsøylen - noen titalls centimeter - og fortykningen er ca. 10-20 % lavere i samme avstand fra utslippspunktet. Det vil ikke være flere tilfeller av gjennomslag til overflaten med denne vannfluksen. Også det videre forløpet etter at innlagring finner sted er nærmest identisk til det for det gjennomsnittlige utslippet, men med noe lavere fortykningsgrad i tilsvarende avstander.

Effekt av varierende bakgrunnsstrøm

Ved lave strømhastigheter i resipienten vil initialfortynningen være mindre effektiv. Utslippsskyen kan da stige høyere opp i vannsøylen før den innlagres, og gjennomslag til overflaten vil forekomme oftere i slike strømsvake perioder. I simuleringene med 25% av gjennomsnittsstrømmen trenger avløpsvannet opp til overflaten i ca. halvparten av tilfellene. Typisk fortykningsgrad ved gjennomslag til overflaten er på 700-1.000 ganger, i en horisontal avstand fra utslippspunktet på ca. 5 m. Ved dyp innlagring, som ved svak strøm vil si i overkant av 11 m dyp, vil fortykningen være på minst 200 ganger. Også her innlagres utslippet svært nær utslippspunktet. Etter at innlagring finner sted, spres og fortynnes avløpsvannet videre. Ved svak strøm vil fortykningsgraden oftest være høyere i en gitt avstand fra utslippspunktet enn den er ved "vanlige" strømforhold, men det tar nødvendigvis lengre tid å nå samme avstand.

Sterk bakgrunnsstrøm vil gjøre initialfortynningen mer effektiv i forhold til stige høyden. Utslippsvannet vil dermed innlagres på større dyp når bakgrunnsstrømmen er kraftig, typisk 1,5 til 2,0 meter dypere enn ved gjennomsnittsstrømmen som er brukt i basissimuleringene. Idet skyen innlagres vil fortykningen være flere ganger større enn ved gjennomsnittlige strømforhold. Samtidig som at innblandingen i nærsone er god, føres utslippsskyen raskere bort fra utslippspunktet, slik at fortykningen i en gitt horisontal avstand vil være betydelig mindre enn ved "vanlige" strømhastigheter. Men siden blandingen med omliggende vann er mer effektiv, vil fortykningen pr. tidsenhet være større ved kraftig strøm. Eksempelvis vil fortykningen ved en typisk hydrografiprofil etter ett minutt være på ca. 400 ganger ved gjennomsnittsstrøm, mens den er det dobbelte med maksimal bakgrunnsstrøm.

Pulsutslipp av 20 m^3 i løpet av perioder på 20 minutter

Når avløpsvannet pumpes ut over kortere perioder blir momentanfluksen høyere enn i tilfellene over. 20 m^3 i løpet av 20 minutter tilsvarer 16,7 liter/sekund, ca. 10 ganger så mye som ved det gjennomsnittlige døgnutslippet på $150 \text{ m}^3/\text{døgn}$. Avløpsvannet vil da ha en større hastighet ut av røret, og dermed vil initialfortynningen preges av turbulent innblanding. Men samtidig er det altså et betydelig større volum vann som må fortynnes for at innlagring skal oppnås. Utslippet vil derfor oftere slå gjennom til overflaten ved slike pulsutslipp. I over halvparten av tilfellene (21 av de 37) vil deler av utslippsskyen i følge modellen nå overflaten. Også her er det spesielt om høsten og vinteren at gjennomslag skjer, men det er heller ikke uvanlig om våren og sommeren. Typisk gjennomsnittlig

fortynning i det toppen av utslippsskyen når overflaten er på omlag 600 ganger, mens senterfortynningen ligger på ca. 150 ganger. Når nøytralt dyp finnes og innlagring skjer før overflaten nås, varierer graden av fortynning mer. Ved dyp innlagring, som her vil si i 10-11 m, vil gjennomsnittsverdien ligge mellom 250-500 ganger (senterfortynning 60-140). For en grunnere eller mer ”typisk” innlagring (ca 7-10 m dyp) vil tilsvarende verdier være henholdsvis 400-700 og 100-180 ganger. Siden initialfortynningen er mindre ved slike utslipp over begrensede tidsrom, vil også det videre forløpet være preget av lavere fortynningsgrad.

4.2 Beregningsgrunnlag for vurderingen av effekter av utslippet

De videre beregningene er gjort for tre utvalgte profiler for de to ulike utslippstypene (kontinuerlig utslipp av 200 m³/døgn og pulsutslipp av 20 m³ over 20 minutter). For begge tilfellene er 16.04.90 brukt til å representere en ”typisk” profil og 31.12.90 som en profil som gir gjennomslag til overflaten. For å illustrere en dyp innlagring er 06.08.90 brukt for det kontinuerlige utslippet og 23.07.90 for pulsutslippet. Fortynningen i ulike avstander fra utslippspunktet for de ulike situasjonene er gitt i **Tabell 3** og **Tabell 4**.

Tabell 3. Fortynning i ulike avstander fra utslippspunktet ved kontinuerlig utslipp av 200 m³/døgn.

Profil (dato)	5 m	Ved innlagring	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
16.04.90	475	1971	2122	3313	8383	19779	50674
06.08.90	331	756	965	1670	4538	11063	28897
31.12.90	476	* 4206	4468	6455	14925	33622	83722

* ved gjennomslag til overflaten

Tabell 4. Fortynning i ulike avstander fra utslippspunktet ved pulsutslipp av 20 m³/20 minutter.

Profil (dato)	5 m	Ved innlagring	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
16.04.90	184	444	521	770	1760	3928	9727
23.07.90	142	162	222	357	886	2066	5256
31.12.90	184	*591	687	1006	2269	5033	12409

* ved gjennomslag til overflaten

Disse fortynningsverdiene er lagt til grunn for de videre betraktningene omkring de tre utslippsscenarioene. Merk at det er den gjennomsnittlige fortynningen som er oppgitt. I senter av utslippsskyen vil fortynningen være ca. ¼-del av dette og konsentrasjonene tilsvarende høyere.

Ved vurdering av utslipp som det her er snakk om, må det spesielt tas høyde for situasjoner som er ”verst” med hensyn på miljøeffekter. Simuleringene av perioder med svak strøm viser at utslippet vil trenge høyere opp i vannsøylen, med lavere fortynningsgrad pr tidsenhet, enn ved gjennomsnittlige forhold. Selv om slike stagnasjonsperioder ifølge de foreliggende måleseriene er kortvarige, må man likevel ha i mente at de kan forekomme.

5. Vurdering av effekter av utslipp

Typisk innhold av totalt organisk karbon (TOC) i norske kystfarvann er ≤2 mg C/l. Områder med liten påvirkning fra land, elver, fiskeoppdrett og lignende har gjerne TOC-verdier lavere enn 1 mg C/l. Det finnes ingen kjente/antatte grenseverdier for effekter av forhøyet TOC på organismer i de frie vannmassene. Effekten av tilført organisk karbon vil hovedsaklig være knyttet til forbruk av oksygen i forbindelse med nedbrytning av organisk materiale. Dersom tilførselene av TOC er store og lett nedbrytbare samtidig som fortynningen i resipienten er liten, kan oksygenkonsentrasjonen lokalt bli så lav at organismer skades eller dør av oksygenmangel.

Konsentrasjonen av totalt nitrogen (TN) og totalt fosfor (TP) i vannmassene varierer begge typisk med en faktor på ca. 2 i løpet av året i våre kystområder. De høyeste konsentrasjonene er å finne om vinteren og de laveste om våren og sommeren. Algenes produksjon er imidlertid ikke i sterk grad knyttet til forekomstene av totalt nitrogen og totalt fosfor, men til konsentrasjonene av nitrogenforbindelsene nitrat (NO_3) og ammonium (NH_4) og fosforforbindelsen fosfat (PO_4). Det er tilgangen på disse næringssaltene som styrer algeveksten, og det innebærer at konsentrasjonene av disse forbindelsene varierer i betydelig større grad gjennom året enn konsentrasjonene av totalt nitrogen og totalt fosfor.

I uforurensede vannmasser er vinterkonsentrasjonen av totalt nitrogen ca. 220-240 $\mu\text{g N/l}$, mens nitrat utgjør ca. 40% og ammonium bare ca. 10% av den totale nitrogenmengden. Den totale fosformengden i tilsvarende vannmasser er 28-30 $\mu\text{g P/l}$, og fosfat utgjør ca. 70-75% av dette. Under våroppblomstringen tappes vannmassene nesten totalt for næringssaltene slik at kun noen få prosent av vinterkonsentrasjonene gjenstår, mens mengden totalt nitrogen og totalt fosfor bare reduseres med ca. 50%. Etter våroppblomstringen er algenes vekst begrenset av tilgangen på nitrat, ammonium og/eller fosfat. Tilførsler av næringssalter i denne perioden kan gi opphav til lokale algeblomstringer dersom tilførselene skjer i den øvre delen av vannmassene (eufotisk sone) og i områder med liten vannutskifting.

Opplysninger fra Norferm AS går ut på at det meste av nitrogenutslippet kan bestå av ammonium (NH_4) (se nedenfor for kommentar vedrørende analyseresultat fra avløpsvann) og at utslippet av fosfor i stor grad består av fosfat (PO_4). De videre effektvurderingene tar utgangspunkt i dette, og følgende bakgrunnsverdier er benyttet i vurderingene:

	Vinterkonsentrasjoner	Vår/sommerkonsentrasjoner
TOC:	2 mg C/l	2 mg C/l
NH_4	0,015 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$	0,010 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$
PO_4	0,020 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$	0,001 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$

I midten av juli 2002 ble det gjort en analyse av totalt nitrogen og ammonium i avløpsvannet. Analysen viste en total nitrogen konsentrasjon på 232 mg N/l og at ca. 43% av nitrogenet i vannet forelå som ammonium. Prøven ble imidlertid ikke konservert før ved ankomst vårt laboratorium, og det må derfor gjøres regning med at det har foregått en viss oksydasjon av ammonium under transporten til laboratoriet. Hvor mye av ammoniumet som er oksydert, vil avhenge av flere faktorer slik som transporttid, temperatur, biologiske prosesser i prøven osv. Det er derfor valgt å gjøre beregninger og vurderinger som om hele nitrogenutslippet skjer i form av et ammoniumutslipp, som opprinnelig opplyst fra Norferm AS.

Utslipp av oksygenforbrukende forbindelser (COD - kjemisk oksygenforbruk) vil kunne ha stor effekt på miljøet i en resipient. Nedbrytningsprosessen vil vanligvis ta noe tid og foregår ofte over mange timer – gjerne opp til flere døgn. Nedbrytningen er prosentvis størst like etter utslipp til sjø, og nedbrytningsraten avtar så etterhvert som konsentrasjonen minker. Ifølge opplysninger fra Norferm tar ”full” nedbrytning (90% reduksjon) typisk 6-11 døgn, mens 70% reduksjon tar ca. 3-4 døgn. Som et ”verste tilfelle” for å illustrere i hvilken grad oksygenvekt kan forventes har vi her valgt å gjøre beregninger basert på at prosessen kun tar 1 time. Med utgangspunkt i en typisk/moderat sommerverdi for oksygenkonsentrasjon i vannmassene på 9 mg $\text{O}_2\text{/l}$, vannfluks på 200 $\text{m}^3\text{/døgn}$ og en netto strømhastighet i vannmassene på 7 cm/s, kan oksygenkonsentrasjonen i skyen av fortynnet avløpsvann beregnes. 7 cm/s er valgt som hastighet for nettostrømmen fordi innlagringsdypet ved typisk tetthetssjiktning ligger dypere enn 4 m, hvor det ved Tjeldbergodden er målt en nettostrøm på 8-10 cm/s.

Ved en strømhastighet på 7 cm/s vil vannet ha beveget seg ca. 250 meter i løpet av en time. Under den mest ugunstige hydrografiske situasjonen (sterk sjiktning og dyp innlagring) vil fortynningen i en avstand av 250 meter være ca. 4.500 ganger. Det innebærer at 1 liter avløpsvann vil være fortynnet med 4.500 liter sjøvann som gir 40.860 mg O₂.

I følge opplysninger fra Norferm AS pumpes avløpsvannet per idag ut i pulser på 20 minutter med minimum tre timers mellomrom. Pulsutslipp med store vannmengder pr. tidsenhet gir lavere fortynningsgrad og dermed økte komponentkonsentrasjoner i innlagringsdypet. Dette vil også føre til en økning i influensområdet utstrekning. Pulsutslippene innebærer imidlertid ikke en endring i utslippsmengdene pr. døgn for de ulike komponentene, og totalbelastningen endres derfor ikke.

5.1 Scenario 1

Konsentrasjoner av TOC, NH₄ og PO₄ i ulike avstander fra utslippspunktet for de to typene utslippsforløp (kontinuerlig og pulsutslipp) med tre tilhørende hydrografiske tilfeller for hver, er vist i tabellform i Vedlegg B. I tillegg til konsentrasjonsutvikling er også den prosentvise økningen i forhold til bakgrunnskonsentrasjonene vist.

For scenarie 1 viser tabellen for kontinuerlige utslipp at utslippet i liten grad vil påvirke vinterkonsentrasjonene av TOC, NH₄-N og PO₄-P i vannmassene rundt utslippspunktet. Ved innlagring vil konsentrasjonsøkningen av nitrogen og fosfor ligge henholdsvis mellom ca. 30-63 og 15-32% i forhold til bakgrunnsverdiene. Lavest konsentrasjonsøkning framkommer hvis utslippet trenger opp til overflaten. Økningen er imidlertid ikke større enn at vannmassene både for ammonium og fosfat ved innlagringsdyp vil få karakteristikk Tilstandsklasse I ("Meget god") i henhold til SFTs klassifiseringssystem (Molvær m.fl. 1997). Pulsvis utslipp fører til at konsentrasjonene både for ammonium og fosfat i innlagringsdyp er noe høyere (henholdsvis 211-281% og 106-141% økning i forhold til bakgrunnskonsentrasjoner) slik at det for begge parametre blir Tilstandsklasse II ("God"). For ammonium oppnås Tilstandsklasse I ca. 250 meter fra utslippspunktet, mens for fosfat oppnås samme tilstandsklasse allerede etter ca. 100 meter.

Om sommeren vil den gjennomsnittlige konsentrasjonen av PO₄ ved kontinuerlige utslipp øke med ca. 200-500% ved innlagring, mens tilsvarende økning for NH₄ vil være ca. 125-330%. Høyest konsentrasjonsøkning framkommer ved sterk sjiktning (og tilhørende dyp innlagring) i vannmassene. Selv om det ved innlagringsdypet er forhøyede konsentrasjoner av fosfat og ammonium, vil konsentrasjonene 250 meter fra utslippsstedet være tilsvarende Tilstandsklasse I ("Meget god"). Ved pulsvis utslipp vil en i verste fall oppnå Tilstandsklasse I først etter 200 meter for fosfat og etter nesten 1000 m for ammonium.

Under de ovenstående forutsetninger representerer COD-utslippet i scenarie 1 et gjennomsnittlig oksygenbehov på 350 mg i løpet av en time. Det vil redusere oksygenmengden i de innblandede vannmassene fra 40.860 til 40.510 mg O₂, som gir en oksygenkonsentrasjon på 8,9 mg O₂/l. Et slikt utslipp av COD-komponenter vil dermed kun marginalt påvirke vannmassenes innhold av oksygen.

5.2 Scenario 2

Med en konsentrasjon på 1.500 mg C/l i avløpsvannet vil den gjennomsnittlige TOC-mengden ved kontinuerlig utslipp øke med ca. 20-100% ved innlagring, mens pulsvis utslipp gir en økning på ca. 100-450% (Vedlegg B.). Størst konsentrasjonsøkning framkommer om sommeren når det er sterk sjiktning i vannet, og minst økning av konsentrasjonen om vinteren når utslippet kan trenge helt opp til overflaten. Ca. 250 meter fra utslippspunktet er vannet ved kontinuerlig utslipp så godt fortynt at TOC-konsentrasjonen maksimalt er ca. 17% høyere enn bakgrunnskonsentrasjonen, mens ved pulsvis

utslipp må vannet transporteres nesten 1000 meter bort fra utslippspunktet før tilsvarende fortykning oppnås.

Avløpsvannets innhold av NH_4 på 300 mg N/l fører til at det ved et kontinuerlig utslipp om sommeren vil være en gjennomsnittlig konsentrasjon på over 0,2-0,4 mg N/l ved innlagring som gir en økning i NH_4 -konsentrasjonen på ca. 1.500-4.000%. Under typiske hydrografiske forhold vil NH_4 -konsentrasjonen ved innlagring tilsvare Tilstandsklasse III ("Mindre god"), mens sterk sjiktning i vannet vil gi Tilstandsklasse V ("Meget dårlig"). For å sikre en konsentrasjon av ammonium tilsvarende Tilstandsklasse I ("Meget god") må en om sommeren fjerne seg 1 km fra utslippsstedet.

Dersom utlippene om sommeren skjer pulsvis, blir situasjonen ennå verre. 1 km fra utslippsstedet vil ammoniumkonsentrasjonen fremdeles være så høy at klassifiseringen vil gi Tilstandsklasse II-III ("God"- "Mindre god"). Ved dyp innlagring om sommeren vil dessuten ammoniumkonsentrasjonen i de nærmeste 100 metrene fra utslippspunktet være så høye at de kan ha toksiske effekter på enkelte marine planktonalger (Källqvist & Svenson (in press)).

Størst prosentvis forandring vil imidlertid fosfatutslippet på 115 mg P/l føre til. Ved sterk sjiktning av vannmassene under kontinuerlig utslipp og pulsutslipp vil det ved innlagring være konsentrasjonsøkninger på henholdsvis 7.600 og 35.500% i forhold til bakgrunnskonsentrasjonen. PO_4 -konsentrasjonen vil tilsvarende være 3 og 14 ganger høyere enn minimumsverdi for Tilstandsklasse V ("Meget dårlig"). 1 km fra utslippsstedet vil konsentrasjonen av PO_4 tilsvare Tilstandsklasse II ("God") og Tilstandsklasse IV ("Dårlig") for henholdsvis kontinuerlige og pulsvise utslipp. Ved hydrografiske forhold hvor sjiktningen er svakere, vil fosfatutslippet føre til noe lavere konsentrasjonsøkninger, men fremdeles vil det være nødvendig å fjerne seg minimum 1 km fra utslippsstedet for å oppnå fosfatkonsentrasjon som gir Tilstandsklasse I.

N:P-forholdet (vektbasert) i avløpsvannet er ca. 2,6:1, mens det tilsvarende gjennomsnittlige N:P-forhold i planktoniske alger er 7,2:1. Dette innebærer at avløpsvannet vil ha et P-overskudd i forhold til algenes behov. Avløpsvannet vil derfor føre til N-begrenset algevekst, det vil si at avløpsvannets algevekstpotensiale styres av nitrogentilgangen.

Når vannmassene om sommeren er naturlig tappet for næringssalter, vil ethvert næringssaltutslipp innebære et potensiale for økt algeproduksjon. Utslipp av NH_4 og PO_4 i den størrelsesorden det her er snakk om, vil føre til et relativt stort algeproduksjonspotensiale. Planktoniske alger som blir ført inn i vannmasser med høye næringssaltkonsentrasjoner, vil ha et høyt næringssaltopptak (luksusopptak). Opptaket vil være større enn algecellens behov. Ved celledeling vil morcellen fordele næringssaltoverskuddet på sine to datterceller, og dette kan skje i flere generasjoner framover. Tjeldbergodden ligger imidlertid i et fjordområde med god vannutskiftning, og det vil si at avløpsvann og alger vil transporteres bort fra utslippsområdet samtidig som det skjer en fortykning av avløpsvannet. Selv om NH_4 - og PO_4 -utslippet vil føre til produksjon av alger, vil dette ikke skje momentant, og dermed ikke i det umiddelbare nærområdet for utslippet. Vanntransporten bort fra utslippsstedet samtidig med ytterligere fortykning vil derfor normalt ikke gi grunnlag for store algeblomstringer. Men i perioder med svak strøm der vannutskiftningen er liten, er det sannsynlig at en oppbygging av algebiomasse i utslippets nærområde kan finne sted.

Om vinteren vil NH_4 -utslippet ved kontinuerlig utslipp føre til en konsentrasjonsøkning på ca. 350-750% i forhold til bakgrunnsverdien ved innlagring, mens tilsvarende tall for pulsvise utslipp er beregnet til ca. 2.500-3.400%. For å oppnå Tilstandsklasse II ("God") må en fjerne seg 0,5-1 km fra utslippspunktet. PO_4 -utslippet vil ved innlagring føre til en tilsvarende prosentvis konsentrasjonsøkning på henholdsvis ca. 250-500% og 1.600-2.200%. Ca. 500 meter fra utslippsstedet vil fortykning som gir Tilstandsklasse I være oppnådd for kontinuerlige utslipp, mens for pulsvise utslipp vil det 1 km fra utslippsstedet fremdeles være fosfatkonsentrasjoner som tilsvarer Tilstandsklasse III ("Mindre

god"). Mangelen på lys om vinteren gjør imidlertid at næringssaltutslipp på denne tiden av året ikke gir potensiale for en økning av algebiomassen.

Under de samme forutsetninger som ovenfor, vil et COD-utslipp på 750 kg/døgn representere et gjennomsnittlig oksygenbehov på 3.750 mg pr. time. Oksygenmengden i blandingsvannmassen vil reduseres til 37.110 mg O₂. Dette gir en oksygenkonsentrasjon på 8,2 mg O₂/l.

Beregningene ovenfor er gjort for forholdene i en gjennomsnittlig vannmasse. Fortynningen i sentrum av skyen vil være ca. ¼ i forhold til den gjennomsnittlige vannmassen. COD-utslippet vil føre til at oksygenmengden i blandingsvannmassene i skyens sentrum reduseres til 6.600 mg, det vil si at oksygenkonsentrasjonen reduseres til 5,7 mg O₂/l. I henhold til SFTs kriterier for vannkvalitet tilsvarer dette Tilstandsklasse II ("God"). Det innebærer at selv et COD-utslipp på 750 kg/døgn ikke representerer en vesentlig miljøfare med hensyn på oksygenforholdene i resipienten ved Tjeldbergodden selv når en betydelig overdrevet "verste tilfelle"-betraktning gjøres.

5.3 Scenario 3

Dette scenariet er basert på at alle utslipp er redusert med 50% i forhold til Scenarie 2, det vil si at vurderinger av effekter begrenses dermed til å se på hvordan en halvering av utslippet påvirker vannkvaliteten i influensområdet.

Avløpsvann med en TOC-konsentrasjon på 57,5 mg C/l gir en prosentvis konsentrasjonøkning på 19% ved innlagring for den "typiske" hydrografiske profilen. Sterk sjiktning i vannmassene om sommeren vil gi en konsentrasjonsøkning på ca. 50% ved innlagring, mens tilsvarende konsentrasjonsøkning om vinteren med homogene vannmasser, som gir opptrenging av utslippet til overflaten, kun vil være ca. 9%.

En reduksjon av NH₄- og PO₄-utslippene til henholdsvis 150 mg N/l og 57,5 mg P/l reduserer konsentrasjonene ved innlagring til halvdelen i forhold til verdiene under Scenarie 2.

Om sommeren vil NH₄-konsentrasjonen ved innlagring ved kontinuerlige utslipp tilsvare Tilstandsklasse III ("Mindre god") og for å oppnå Tilstandsklasse I må en 500-1.000 m bort fra utslippsstedet. Om vinteren vil opptrenging av avløpsvannet til overflaten gi en NH₄-konsentrasjonen ved innlagring tilsvarende Tilstandsklasse II ("God"). 250-500 m fra utslippsstedet vil vannet være så fortynnet at NH₄-konsentrasjonen tilfredsstiller kravene til uforurenset vann (Tilstandsklasse I).

Pulsvis utslipp om sommeren fører til økte NH₄-konsentrasjoner i innlagringsdypet (Tilstandsklasse V ("Meget dårlig")), men konsentrasjonen vil sannsynligvis ikke ha toksisk virkning på planktoniske alger. 1 km fra utslippspunktet vil det fremdeles være så høy ammoniumkonsentrasjon at klassifiseringen gir Tilstandsklasse II ("God"). Pulsutslipp om vinteren gir bedre fortynning, og høyere bakgrunnsverdier fører også til noe bedre klassifisering av vannmassene.

For PO₄ vil et kontinuerlig utslipp på 57,5 mg P/l om sommeren føre til at vannet ved innlagring vil bli klassifisert som Tilstandsklasse IV-V ("Dårlig"- "Meget dårlig"). En PO₄-konsentrasjon som tilsvarer Tilstandsklasse I oppnås først omlag 1 km fra utslippsstedet. Om vinteren vil det være tilstrekkelig å fjerne seg ca. 500 m fra utslippsstedet for å oppnå Tilstandsklasse I.

Pulsutslipp fører til høyere PO₄-konsentrasjoner ved innlagring. Både om sommeren og vinteren er PO₄-konsentrasjonene 1 km fra utslippspunktet så høye at de stort sett faller inn under Tilstandsklasse III ("Mindre God").

Et COD-utslipp på 375 kg/døgn vil under de ovenforstående forutsetninger representere et oksygenbehov på 1.875 mg O₂/time. Dette vil føre til en oksygenkonsentrasjon på 8,6 mg O₂/l i

gjennomsnittsvannmassen. I sentrum av skyen hvor fortynningen er lavere, vil konsentrasjonen av oksygen teoretisk kunne reduseres til 7,4 mg O₂/l.

6. Diskusjon

Som beskrevet innledningsvis har prosjektet blitt gjennomført i to faser, der vurderinger og konklusjoner i Fase 1 gav grunnlaget for Fase 2. Nedenfor gjengis først diskusjonen fra Fase 1 og deretter Fase 2.

Prosjektets Fase 1:

Resipienten for utslippet – Trondheimsleia – er preget av gode strømforhold og relativt stabile hydrografiske forhold. Det er generelt god vannutskiftning i området og liten sannsynlighet for at avløpsvann vil bli akkumulert over tid. Modellsimuleringene viser at initialfortynningen av avløpsvannet er meget god. Dette skyldes primært at det jevnt over er en betydelig tetthetsforskjell mellom det neddykkede ferskvannsutslippet og sjøvannet det slippes ut i.

Utslippet vil innlagres i overflatelaget, dvs. stort sett i dyp ca. 10-12 m om sommeren og mellom overflaten og ca. 10 m dyp i vinterhalvåret. Ut fra det tilgjengelige datamaterialet ser det ikke ut til å være vanlig med gjennomslag til overflaten i sommermånedene. Alle næringssalter som slippes ut, vil likevel være tilgjengelig for biologisk produksjon i den eufotiske sonen, der det er nok lys til at fotosyntese finner sted.

Utslipp som gitt i Scenarie 1, gir en svært liten økning i TOC-innhold også like ved utslippsstedet. Innholdet av biotilgjengelig ammonium og fosfat øker prosentvis langt mer, og en må opp til 250 m unna utslippsstedet for at det fortynnede avløpsvannet skal tilfredstille SFTs Tilstandsklasse I ("Meget God"). Tatt i betraktning at den biologiske responsen på økt næringstilgang ikke er momentan, og at strøm- og fortynningsforholdene i resipienten er gode, anses det likevel ikke å være sannsynlig med algeoppblomstring av betydning i utslippets nærområde. Utslipp som i Scenarie 1 vil føre til en minimal reduksjon av oksygeninnholdet, også like ved utslippspunktet.

Med et kontinuerlig utslipp som i Scenarie 2 vil TOC-konsentrasjonen ved innlagring øke med mellom 20 og 100% i forhold til i "vanlig" kystvann. Allerede 50 m fra utslippspunktet vil økningen typisk være under ca. 5%. Pulsvis utslipp gir en betydelig høyere økning i TOC-konsentrasjonene ved innlagring (100-450% økning). Det finnes ikke faste kriterier for hva som er akseptable grenser for organisk karbon i frie vannmasser. Det er imidlertid ingen grunn til å tro at denne TOC-økningen vil gi opphav til oksygensvikt eller ha andre negative effekter. Utslippene av næringssalter er betydelige, og ammoniumkonsentrasjonen de nærmeste 100 metrene fra utslippspunktet kan bli så høye at de kan ha toksisk virkning på enkelte marine planteplanktonarter. Selv om det under typiske forhold med vanlig vannutskiftning i området neppe vil være noen store lokale effekter i form av algeoppblomstringer, vil det selv under kortvarige perioder med stagnante vannmasser og/eller strøm og bakevjer inn mot land kunne bli en oppbygning av algebiomasse. Også fastsittende alger langs land/bunn vil kunne påvirkes av et utslipp av denne størrelsen. Oksygeninnholdet i resipienten vil teoretisk kunne reduseres med opptil 30-40% i sentrum av avløpsvannet. Det vil likevel være nok oksygen til at vannmassen vil klassifiseres som Tilstandsklasse I ("Meget God").

Heller ikke i Scenarie 3 vil oksygeninnhold og TOC-konsentrasjoner bli vesentlig påvirket. Innholdet av næringssalter kan imidlertid bli så høyt at en periodevis vil oppleve problemer med uønskede algeoppblomstringer.

Det fremgår av Kapittel 5 at pulsutslipp er mindre gunstig for resipienten enn et kontinuerlig utslipp som har høyere initialfortynning. Dersom det er mulig ut fra driftsmessige hensyn bør man derfor

prøve å etablere en prosess som a) blander ut avfallsstoffene så godt som mulig før de slippes ut og b) gir et kontinuerlig utslipp med lavere volumfluks pr. tidsenhet. Dersom en ønsker å drive produksjon med utslippskonsentrasjoner på størrelse med de som er gitt i Scenarie 2 eller 3, bør det vurderes å legge utslippet dypere for å sørge for at vannet ikke trenger opp i eufotisk sone i sommerhalvåret. Det vil også være en fordel å legge det lenger ut fra land for å minimere belastningen på fastsittende alger i strandsonen. Mulig rensing og/eller bruk av diffusorordninger på utslippsrøret bør også utredes (se Vedlegg C).

Prosjektets Fase 2:

Beregninger og anbefalinger er gjengitt i Vedlegg D. På bakgrunn av vurderingene i Fase 1 mht.

- risiko for giftvirkning på planktonalger pga. høy konsentrasjon av ammonium i skyen av fortynnet avløpsvann
- risiko for lokal oppblomstring av planktonalger
- ønskeligheten av bedre sikkerhet mot algevekst i strandsonen

ble det i Fase 2 gjennomført nye beregninger og vurderinger av kontinuerlig og pulsutslipp i 25 m og 40 m dyp (Scenario 1 og Scenario 2). Kontinuerlig utslipp synes å gi en god løsning, og etter drøftinger med Norferm ble det gjort en beregning for kontinuerlig utslipp i 30 m dyp med sikte på å finne et optimalt utslippsdyp.

På dette grunnlaget anbefales at avløpsvannet føres ut på ca. 30 m dyp som kontinuerlig utslipp (2-2.5 l/s).

Hvis det skulle vise seg at kontinuerlig utslipp ikke lar seg gjennomføre, kan en tilsvarende løsning sannsynligvis finnes for pulsutslipp gjennom en diffusor i 25-30 m dyp.

Referanser

Bakke, T., og J. Molvær. 1994. Evaluering av miljøkonsekvenser av utslipp fra gassmottaks- og metoanolanlegg på Tjeldbergodden. NIVA-notat.

Dammen, B., 1979: Diffusorprogrammet DIFDIM. Input og output. Bruk av EDB i VA-teknikken. Kursdagene ved NTH-Trondheim 3.-5. januar 1979. Norske Sivilingeniørers Forening.

Dragsund, E., Tangen, K., Karlson, K. og Lønseth, L., 1993. Basisundersøkelse i de frie vannmasser ved Tjeldbergodden. Sluttrapport 1993. Oceanor rapport nr. OCN R-93056. Trondheim. 54 s + vedl.

Frick, W. E., P.J.W. Roberts, L.R. Davis, J. Keyes, D.J. Baumgartner, K.P. George, 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, USA.

Golmen, L. G., 1991. Resipientgransking ved Tjeldbergodden – Aure i Møre og Romsdal. NIVA LNR 2647, 70 sider.

Källqvist, T., & A. Svenson, 2003. Assessment of ammonia toxicity in tests with the microalga, *Nephroselmis pyriformis*, Chlorophyta. *Water Research* 37 (2003) 477-484.

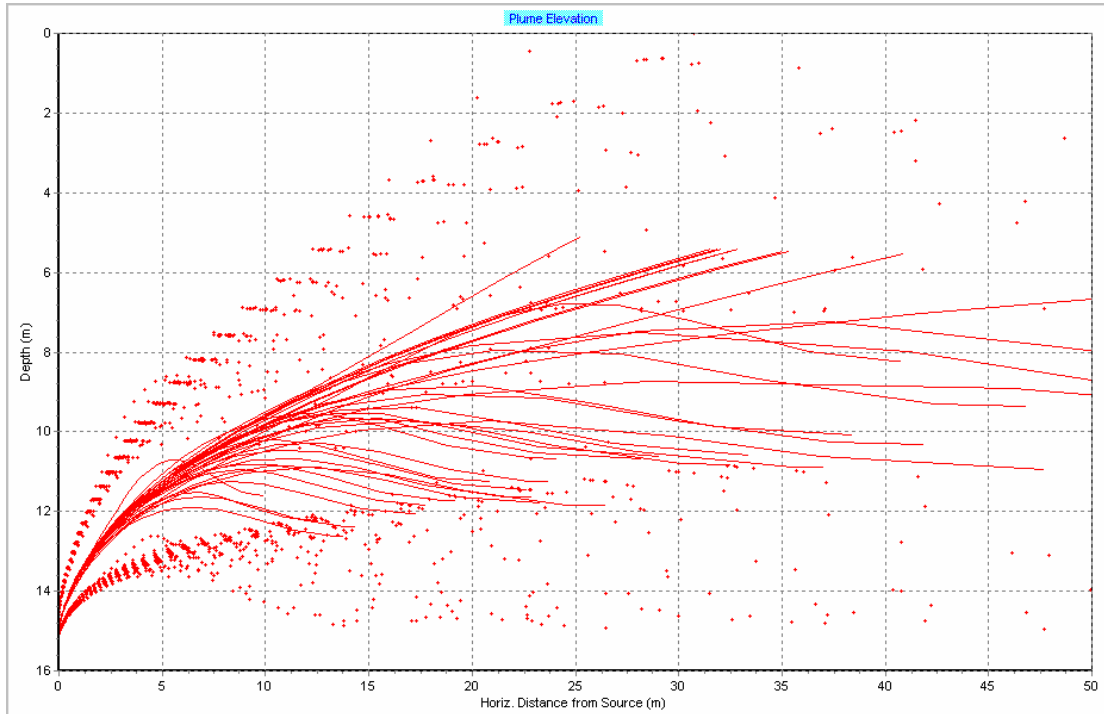
Molvær, J, J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei og J. Sørensen, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT-rapport, ISBN-nummer 82-7655-367-2, 36 sider.

Vedlegg A. Resultater fra modellsimuleringene

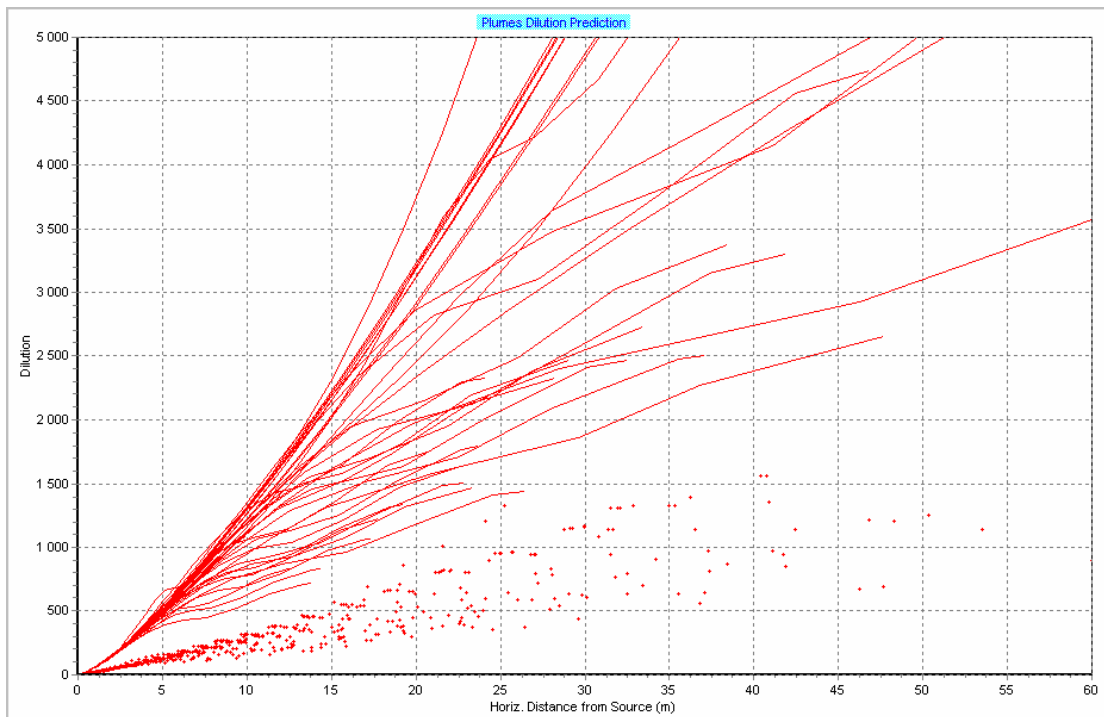
Resultater fra modellsimulering av døgnkontinuerlig utslipp med vannfluks 150 m³/døgn for alle 37 hydrografiprofiler. Tabellen viser senterdyp, skyens bredde, tetthet for avløpsvannet og omgivende vann, gjennomsnittlig fortykning, senterfortyning og horisontal avstand fra utslippspunktet i det innlagring eller gjennomslag til overflaten (merket med *) inntreffer. Inngangsparametre som er brukt i simuleringene er vist i egen tabell under. Til slutt er det vist figurer fra simuleringene for gjennomsnittlig vannfluks (150 m³/døgn) for de 37 hydrografiprofilene; innlagringsforløp, initialfortyning og tetthetsendring.

Profile	Date	Depth (m)	P-dia (m)	Density (sigmaT)	Amb-den (sigmaT)	Dilutn (times)	CL-dil (times)	Dist (m)
1	110390	10.6	8.1	26.72	26.74	2725	703	33.4
2	190390	5.5	11.1	26.48	26.48	5916	1324	35.0*
3	260390	10.7	7.5	26.21	26.23	2329	598	24.1
4	020490	11.5	6.5	25.98	26.01	1636	422	22.6
5	100490	9.4	10.3	26.26	26.28	4738	1220	46.8
6	160490	10.6	7.7	26.04	26.05	2471	633	29.0
7	240490	12.4	4.8	25.56	25.59	833	214	14.4
8	010590	5.9	11.9	25.99	25.99	6704	1508	73.8*
9	070590	11.6	5.3	25.74	25.89	1086	278	9.9
10	150590	11.2	6.7	26.18	26.21	1758	453	20.9
11	210590	11.8	5.7	26.08	26.12	1220	314	17.8
12	280590	5.4	11.0	25.93	25.93	5843	1313	32.1*
13	040690	11.7	5.9	26.01	26.04	1332	343	19.2
14	180690	10.9	7.8	26.52	26.53	2505	648	37.1
15	050790	11.6	6.2	24.93	24.95	1506	389	22.9
16	160790	10.8	7.8	25.18	25.19	2471	638	32.5
17	230790	12.2	4.7	24.89	24.94	829	212	12.6
18	300790	10.6	10.7	24.29	24.30	4900	1310	83.0
19	060890	12.6	4.5	23.87	23.91	719	185	13.8
20	140890	12.1	5.3	23.60	23.64	1069	275	17.3
21	170890	11.3	6.7	23.97	23.99	1790	460	23.7
22	010990	11.8	6.1	23.30	23.32	1467	378	23.3
23	100990	11.9	6.1	22.75	22.77	1440	372	26.4
24	180990	8.8	12.1	23.18	23.18	6813	1750	72.5
25	011090	8.2	11.5	23.55	23.58	6198	1565	40.8
26	191190	5.4	11.1	25.06	25.06	5911	1326	32.8*
27	261190	5.4	11.1	24.98	24.99	5915	1327	32.9*
28	051290	10.9	8.1	25.40	25.40	2657	689	47.7
29	101290	10.7	7.6	25.34	25.35	2328	595	28.2
30	181290	10.3	8.8	25.34	25.35	3296	852	41.9
31	241290	10.1	8.9	25.23	25.24	3376	867	38.4
32	311290	5.1	10.7	25.95	25.96	5616	1325	25.2*
33	080191	9.2	11.3	26.19	26.20	5851	1521	61.9
34	160191	5.5	11.1	26.15	26.16	5940	1329	35.3*
35	290191	5.5	11.3	26.20	26.21	6056	1353	40.9*
36	150291	5.4	11.0	26.08	26.08	5831	1310	31.9*
37	220291	5.4	11.0	26.54	26.55	5798	1304	31.5*

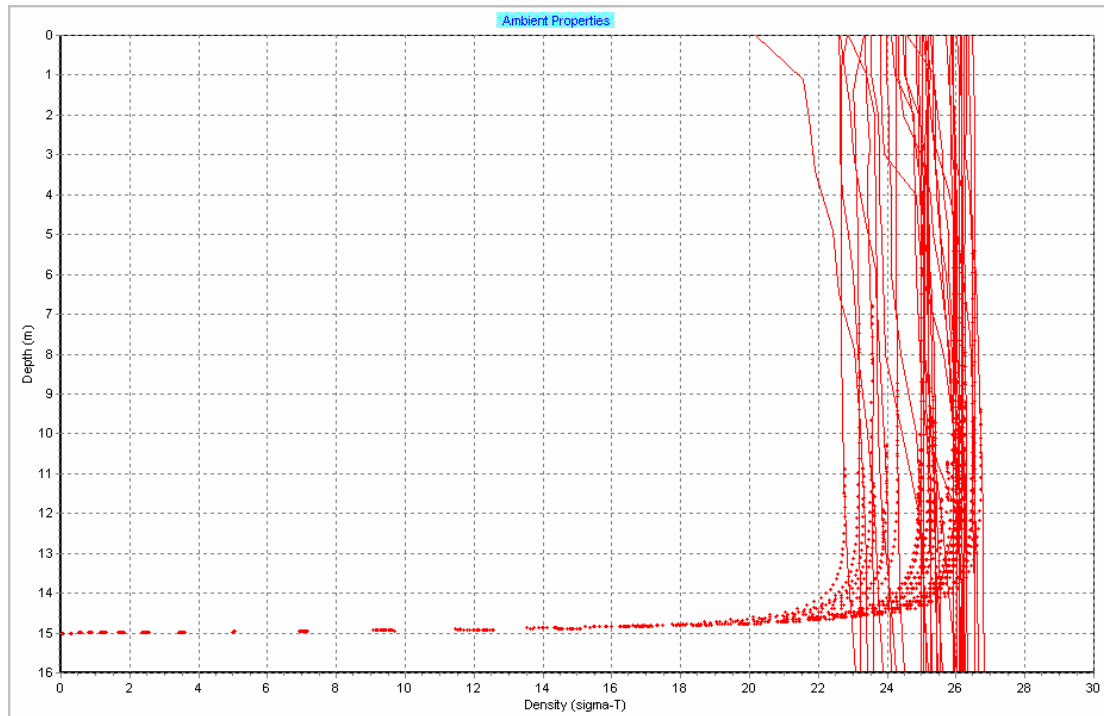
P-dia	P-elev	V-angle	H-angle	P-depth	Ttl-flo	Eff-sal	Temp	Density
(m)	(m)	(deg)	(deg)	(m)	(m ³ /s)	(psu)	(C)	(sigma-T)
0.15	1.0	0	135(NE)	15	0.00174	0.0	11.5	-0.382



Figur V1. Innlagringsforløp (dyp i forhold til avstand) for alle hydrografiprofilene. Heltrukket linje viser senterdyp for utslippskyen, mens de prikkede trajektoriene viser ytterpunktene (topp og bunn).



Figur V2. Fortynning i forhold til avstand fra utslippspunktet for de 37 hydrografiske profilene. Heltrukket linje viser gjennomsnittlig fortynning, mens prikkede linjer viser senterfortynning.



Figur V3. Tetthetsforløp for utslipp for de 37 hydrografiprofilene. Heltrukne linjer viser tetthetssjiktningen i resipienten (fra overflaten til 16 m dyp), mens de prikkede linjene viser hvordan utslipsskyens tetthet øker og nærmer seg den i resipienten etterhvert som det blandes inn stadig mer omliggende vann.

Resultater fra modellsimulering av pulsutslipp med vannfluks 20 m^3 i løpet av 20 minutter, for alle 37 hydrografiprofiler. Tabellen viser senterdyp, skyens bredde, tetthet for avløpsvannet og omgivende vann, gjennomsnittlig fortykning, senterfortykning og horisontal avstand fra utslippspunktet i det innlagring eller gjennomslag til overflaten (merket med *) inntreffer. Inngangsparametre som er brukt i simuleringene er de samme som i tabellen over, med unntak av vannfluksen som er på $16,7 \text{ l/s}$ ($0,0167 \text{ m}^3/\text{s}$).

Profile	Date	Depth (m)	P-dia (m)	Density (sigmaT)	Amb-den (sigmaT)	Dilutn (times)	CL-dil (times)	Dist (m)
1	110390	5.4	10.9	26.60	26.50	596	132	12.8*
2	190390	4.6	10.4	26.44	26.47	600	160	11.2*
3	260390	5.6	11.3	26.04	26.02	638	143	17.9*
4	020490	9.0	11.6	25.79	25.84	639	165	21.5
5	100490	4.8	10.5	26.21	26.21	589	150	11.2
6	160490	8.5	12.2	25.87	25.93	721	186	22.4
7	240490	10.6	10.7	25.27	25.34	510	135	21.7
8	010590	4.7	10.4	25.95	25.99	602	159	11.4*
9	070590	11.1	7.4	25.36	25.69	226	63	9.5
10	150590	9.0	11.6	25.98	26.04	642	166	21.1
11	210590	9.9	9.8	25.83	25.93	434	111	15.1
12	280590	4.6	10.3	25.89	25.92	591	159	11.0*
13	040690	9.0	11.6	25.81	25.85	641	165	22.2
14	180690	8.2	12.1	26.38	26.44	721	184	21.0
15	050790	10.0	9.1	24.71	24.86	366	93	13.1
16	160790	5.4	11.1	25.06	25.03	621	140	14.0*
17	230790	11.1	8.1	24.56	24.70	277	71	11.4

18	300790	4.9	10.7	24.25	24.27	613	154	12.2	*
19	060890	5.9	11.9	23.70	23.69	694	154	22.4	*
20	140890	10.2	10.0	23.37	23.45	439	113	16.1	
21	170890	9.0	12.1	23.81	23.85	694	179	23.9	
22	010990	9.5	11.2	23.12	23.18	588	152	20.8	
23	100990	5.5	11.3	22.66	22.66	647	149	15.4	*
24	180990	5.1	11.0	23.13	23.13	638	157	12.8	*
25	011090	5.1	10.8	23.49	23.47	602	143	11.8	*
26	191190	4.7	10.4	25.02	25.06	595	159	11.2	*
27	261190	4.7	10.4	24.94	24.99	595	159	11.2	*
28	051290	7.5	13.4	25.29	25.34	923	236	26.1	
29	101290	9.3	11.2	25.15	25.24	590	153	19.5	
30	181290	5.3	11.0	25.24	25.21	609	138	12.9	*
31	241290	4.9	10.7	25.16	25.19	606	151	12.1	*
32	311290	4.4	10.1	25.91	25.96	591	165	10.8	*
33	080191	4.5	10.3	26.16	26.26	601	168	11.4	*
34	160191	4.6	10.4	26.12	26.16	601	161	11.3	*
35	290191	4.6	10.4	26.17	26.21	601	160	11.3	*
36	150291	4.6	10.3	26.04	26.08	590	159	11.0	*
37	220291	4.6	10.2	26.50	26.55	588	159	10.9	*

Vedlegg B. Konsentrasjoner i ulike avstander

Kontinuerlig utslipp av 200 m³/døgn: gjennomsnittlig fortykning i ulike avstander fra utslippspunktet for de tre utvalgte profilene.

Profil	5 m	v/innlagr.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
16.04.90	475	1971	2122	3313	8383	19779	50674
06.08.90	331	756	965	1670	4538	11063	28897
31.12.90	476	4206	4468	6455	14925	33622	83722

Resultater fra modellsimuleringene for konsentrasjonsutvikling (i [mg/l]) for de ulike komponentene i avløpsvannet, for tre utvalgte hydrografiprofiler. Tabellene viser konsentrasjon i avløpsvannet ("Kons."), profilnummer ("Prof."), bakgrunnskonsentrasjon i resipienten ("Bakgr.") og gjennomsnittlig konsentrasjon i utslippsskyen i gitte avstander. De tre profilene som er brukt er 16.04.90 (H1 - typisk profil), 06.08.90 (H2 - dyp innlagring) og 31.12.90 (H3 - gjennomslag til overflaten). Den typiske profilen H1 kan forekomme både sommer og vinter. For fosfat og nitrat er det derfor angitt v og s for henholdsvis vinter og sommerkonsentrasjoner i resipienten. I kolonnene lengst til høyre er den prosentvise økningen i forhold til bakgrunnskonsentrasjonen gitt for ulike avstander fra utslippspunktet.

Scenarie 1

	Utslipp	Kons	Prof	Bakgr.	Konsentrasjoner [mg/l]							Prosentvis økning (i forhold til bakgr.kons.)						
	[kg/døgn]	[mg/l]		[mg/l]	5 m	innl.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m	5 m	innl.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
TOC	20	100	H1	2.0	2.206	2.050	2.046	2.030	2.012	2.005	2.002	10.3	2.5	2.3	1.5	0.6	0.2	0.1
	20	100	H2	2.0	2.296	2.130	2.102	2.059	2.022	2.009	2.003	14.8	6.5	5.1	2.9	1.1	0.4	0.2
	20	100	H3	2.0	2.206	2.023	2.022	2.015	2.007	2.003	2.001	10.3	1.2	1.1	0.8	0.3	0.1	0.1
NH4-N	5	25	H1-v	0.02	0.073	0.033	0.032	0.028	0.023	0.021	0.020	263	63	59	38	14.9	6.3	2.5
	5	25	H1-s	0.01	0.063	0.023	0.022	0.018	0.013	0.011	0.010	526	127	118	75	29.8	12.6	4.9
	5	25	H2	0.01	0.085	0.043	0.036	0.025	0.016	0.012	0.011	755	331	259	150	55.1	22.6	8.6
	5	25	H3	0.02	0.072	0.026	0.026	0.024	0.022	0.021	0.020	262	30	28	19	8.4	3.7	1.5
PO4-P	1.5	7.5	H1-v	0.012	0.028	0.016	0.016	0.014	0.013	0.012	0.012	131	32	29	19	7.4	3.2	1.2
	1.5	7.5	H1-s	0.002	0.018	0.006	0.006	0.004	0.003	0.002	0.002	790	190	177	113	44.7	19.0	7.4
	1.5	7.5	H2	0.002	0.025	0.012	0.010	0.006	0.004	0.003	0.002	1132	496	388	224	82.6	33.9	13.0
	1.5	7.5	H3	0.012	0.028	0.014	0.014	0.013	0.013	0.012	0.012	131	15	14	10	4.2	1.9	0.7

Scenarie 2

	Utslipp [kg/døgn]	Kons [mg/l]	Prof	Bakgr. [mg/l]	Konsentrasjoner [mg/l]							Prosentvis økning (i forhold til bakgr.kons.)						
					5 m	innl.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m	5 m	innl.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
TOC	300	1500	H1	2.0	5.155	2.760	2.706	2.452	2.179	2.076	2.030	157.8	38.0	35.3	22.6	8.9	3.8	1.5
	300	1500	H2	2.0	6.523	3.982	3.552	2.897	2.330	2.135	2.052	226.1	99.1	77.6	44.8	16.5	6.8	2.6
	300	1500	H3	2.0	5.145	2.356	2.335	2.232	2.100	2.045	2.018	157.3	17.8	16.8	11.6	5.0	2.2	0.9
NH4-N	60	300	H1-v	0.02	0.652	0.172	0.161	0.111	0.056	0.035	0.026	3159	761	707	453	179	76	30
	60	300	H1-s	0.01	0.642	0.162	0.151	0.101	0.046	0.025	0.016	6318	1522	1414	905	358	152	59
	60	300	H2	0.01	0.916	0.407	0.321	0.190	0.076	0.037	0.020	9058	3969	3109	1796	661	271	104
	60	300	H3	0.02	0.650	0.091	0.087	0.066	0.040	0.029	0.024	3149	357	336	232	100	45	18
PO4-P	23	115	H1-v	0.012	0.254	0.070	0.066	0.047	0.026	0.018	0.014	2018	486	452	289	114	48	19
	23	115	H1-s	0.002	0.244	0.060	0.056	0.037	0.016	0.008	0.004	12110	2917	2710	1735	686	291	113
	23	115	H2	0.002	0.349	0.154	0.121	0.071	0.027	0.012	0.006	17361	7607	5958	3442	1267	520	199
	23	115	H3	0.012	0.253	0.039	0.038	0.030	0.020	0.015	0.013	2012	228	214	148	64	29	11

Scenarie 3

TOC	150	750	H1	2.0	3.575	2.379	2.352	2.226	2.089	2.038	2.015	78.8	19.0	17.6	11.3	4.5	1.9	0.7
	150	750	H2	2.0	4.258	2.990	2.775	2.448	2.165	2.068	2.026	112.9	49.5	38.8	22.4	8.2	3.4	1.3
	150	750	H3	2.0	3.570	2.178	2.167	2.116	2.050	2.022	2.009	78.5	8.9	8.4	5.8	2.5	1.1	0.4
NH4-N	30	150	H1-v	0.02	0.336	0.096	0.091	0.065	0.038	0.028	0.023	1579	380	353	226	89	38	15
	30	150	H1-s	0.01	0.463	0.208	0.165	0.100	0.043	0.024	0.015	3159	761	707	453	179	76	30
	30	150	H2	0.01	0.463	0.208	0.165	0.100	0.043	0.024	0.015	4529	1984	1554	898	331	136	52
	30	150	H3	0.02	0.335	0.056	0.054	0.043	0.030	0.024	0.022	1574	178	168	116	50	22	9
PO4-P	11.5	57.5	H1-v	0.012	0.133	0.041	0.039	0.029	0.019	0.015	0.013	1009	243	226	145	57	24	9
	11.5	57.5	H1-s	0.002	0.123	0.031	0.029	0.019	0.009	0.005	0.003	6055	1458	1355	868	343	145	57
	11.5	57.5	H2	0.002	0.176	0.078	0.062	0.036	0.015	0.007	0.004	8680	3803	2979	1721	634	260	99
	11.5	57.5	H3	0.012	0.133	0.026	0.025	0.021	0.016	0.014	0.013	1006	114	107	74	32	14	6

Pulsvis utslipp av 20 m³ på 20 minutter: gjennomsnittlig fortynning i ulike avstander fra utslippspunktet for de tre utvalgte profilene.

Profil	5 m	v/innlagr.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
16.04.90	184	444	521	770	1760	3928	9727
23.07.90	142	162	222	357	886	2066	5256
31.12.90	184	591	687	1006	2269	5033	12409

Resultater fra modellsimuleringene for konsentrasjonsutvikling (i [mg/l]) for de ulike komponentene i avløpsvannet, for tre utvalgte hydrografiprofiler. Tabellene viser konsentrasjon i avløpsvannet ("Kons."), profilnummer ("Prof."), bakgrunnskonsentrasjon i resipienten ("Bakgr.") og gjennomsnittlig konsentrasjon i utslippsskyen i gitte avstander. De tre profilene som er brukt er 16.04.90 (H1 - typisk profil), 23.07.90 (H2 - dyp innlagring) og 31.12.90 (H3 - gjennomslag til overflaten). Den typiske profilen H1 kan forekomme både sommer og vinter. For fosfat og nitrat er det derfor angitt- v og -s for henholdsvis vinter og sommerkonsentrasjoner i resipienten. I kolonnene lengst til høyre er den prosentvise økningen i forhold til bakgrunnskonsentrasjonen gitt for ulike avstander fra utslippspunktet.

Scenarie 1

	Utslipp [kg/døgn]	Kons [mg/l]	Prof	Bakgr. [mg/l]	Konsentrasjoner [mg/l]							Prosentvis økning (i forhold til bakgr.kons.)						
					5 m	innl.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m	5 m	innl.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
TOC	20	100	H1	2.0	2.533	2.221	2.188	2.127	2.056	2.025	2.010	27	11	9.4	6.4	2.8	1.2	0.5
	20	100	H2	2.0	2.690	2.605	2.441	2.275	2.111	2.047	2.019	35	30	22	14	5.5	2.4	0.9
	20	100	H3	2.0	2.533	2.166	2.143	2.097	2.043	2.019	2.008	27	8.3	7.1	4.9	2.2	1.0	0.4
NH4-N	5	25	H1-v	0.02	0.156	0.076	0.068	0.052	0.034	0.026	0.023	679	281	240	162	71	32	13
	5	25	H1-s	0.01	0.146	0.066	0.058	0.042	0.024	0.016	0.013	1358	563	480	325	142	64	26
	5	25	H2	0.01	0.186	0.164	0.123	0.080	0.038	0.022	0.015	1760	1543	1126	700	282	121	48
	5	25	H3	0.02	0.156	0.062	0.056	0.045	0.031	0.025	0.022	679	211	182	124	55	25	10
PO4-P	1.5	7.5	H1-v	0.012	0.053	0.029	0.026	0.022	0.016	0.014	0.013	339	141	120	81	35	16	6.4
	1.5	7.5	H1-s	0.002	0.043	0.019	0.016	0.012	0.006	0.004	0.003	2038	844	720	487	213	95	39
	1.5	7.5	H2	0.002	0.055	0.048	0.036	0.023	0.010	0.006	0.003	2640	2314	1689	1050	423	181	71
	1.5	7.5	H3	0.012	0.053	0.025	0.023	0.019	0.015	0.013	0.013	339	106	91	62	28	12	5.0

Scenarie 2

	Utslipp [kg/døgn]	Kons [mg/l]	Prof	Bakgr. [mg/l]	Konsentrasjoner [mg/l]							Prosentvis økning (i forhold til bakgr.kons.)						
					5 m	innl.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m	5 m	innl.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
TOC	300	1500	H1	2.0	10.14	5.374	4.875	3.945	2.851	2.381	2.154	407	169	144	97	43	19	7.7
	300	1500	H2	2.0	12.55	11.247	8.748	6.196	3.691	2.725	2.285	527	462	337	210	85	36	14
	300	1500	H3	2.0	10.14	4.535	4.180	3.489	2.660	2.298	2.121	407	127	109	74	33	15	6.0
NH4-N	60	300	H1-v	0.02	1.650	0.696	0.596	0.410	0.190	0.096	0.051	8152	3378	2879	1948	852	382	154
	60	300	H1-s	0.01	1.640	0.686	0.586	0.400	0.180	0.086	0.041	16304	6757	5758	3896	1704	764	308
	60	300	H2	0.01	2.123	1.862	1.361	0.850	0.349	0.155	0.067	21126	18518	13513	8403	3386	1452	571
	60	300	H3	0.02	1.650	0.528	0.457	0.318	0.152	0.080	0.044	8152	2538	2183	1491	661	298	121
PO4-P	23	115	H1-v	0.012	0.637	0.271	0.233	0.161	0.077	0.041	0.024	5208	2158	1839	1244	544	244	99
	23	115	H1-s	0.002	0.627	0.261	0.223	0.151	0.067	0.031	0.014	31249	12950	11036	7467	3267	1464	591
	23	115	H2	0.002	0.812	0.712	0.520	0.324	0.132	0.058	0.024	40492	35493	25900	16106	6490	2783	1094
	23	115	H3	0.012	0.637	0.207	0.179	0.126	0.063	0.035	0.021	5208	1621	1395	953	422	190	77

Scenarie 3

TOC	150	750	H1	2.0	6.065	3.685	3.436	2.971	2.425	2.190	2.077	203	84	72	49	21	10	3.8
	150	750	H2	2.0	7.268	6.617	5.369	4.095	2.844	2.362	2.142	263	231	168	105	42	18	7.1
	150	750	H3	2.0	6.065	3.266	3.089	2.744	2.330	2.149	2.060	203	63	54	37	16	7.4	3.0
NH4-N	30	150	H1-v	0.02	0.835	0.358	0.308	0.215	0.105	0.058	0.035	4076	1689	1439	974	426	191	77
	30	150	H1-s	0.01	1.066	0.936	0.686	0.430	0.179	0.083	0.039	10563	9259	6756	4201	1693	726	285
	30	150	H2	0.01	1.066	0.936	0.686	0.430	0.179	0.083	0.039	10563	9259	6756	4201	1693	726	285
	30	150	H3	0.02	0.835	0.274	0.238	0.169	0.086	0.050	0.032	4076	1269	1092	745	330	149	60
PO4-P	11.5	57.5	H1-v	0.012	0.324	0.141	0.122	0.087	0.045	0.027	0.018	2604	1079	920	622	272	122	49
	11.5	57.5	H1-s	0.002	0.314	0.132	0.112	0.077	0.035	0.017	0.008	15624	6475	5518	3734	1633	732	296
	11.5	57.5	H2	0.002	0.407	0.357	0.261	0.163	0.067	0.030	0.013	20246	17746	12950	8053	3245	1392	547
	11.5	57.5	H3	0.012	0.324	0.109	0.096	0.069	0.037	0.023	0.017	2604	811	697	476	211	95	39

Vedlegg C. Tiltak for å bedre utslippsforholdene

Ved å legge utslippet på større dyp vil det sjeldnere bli gjennomslag til overflaten. Videre vil innblanding av omliggende vann øke og fortyningen av avløpsvannet før innlagring vil i de fleste tilfeller bli større. Som et eksempel på effekten av å dykke utslippet ytterligere er det her vist simuleringer med utslippsdyp 25 m, både for kontinuerlig utslipp på 200 m³/døgn og for pulsutslipp på 20 m³ over 20 minutter. Sammenlignet med resultatene fra simuleringene for utslipp til 15 m dyp (se **Tabell 3** og **Tabell 4**) er det betydelig høyere fortyning, typisk 1,5-2 ganger så mye i samme avstander. I tillegg vil altså gjennomslag til overflaten forekomme sjeldnere (f.eks. for pulsutslipp i 15 av 37 tilfeller) og da med høyere fortyningsgrad. Ved å øke utslippsdypet ytterligere vil både fortyningsgrad og innlagringsdyp bli større.

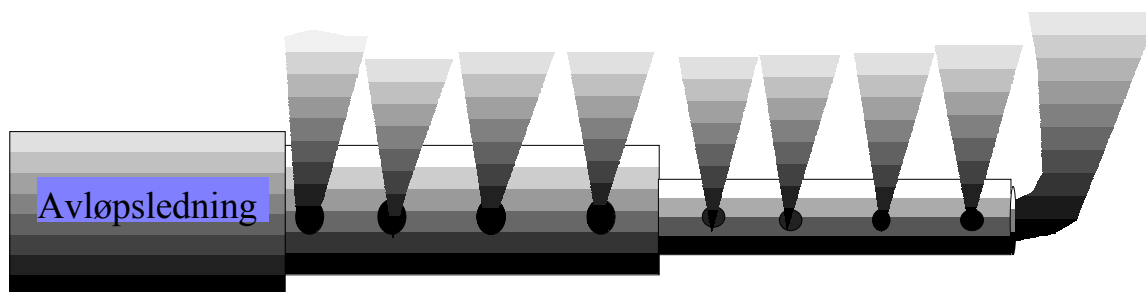
Kontinuerlig utslipp av 200 m³/døgn: gjennomsnittlig fortyning i ulike avstander fra utslippspunktet for tre utvalgte profiler.

Profil	5 m	v/innlagr.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
16.04.90	713	5941	5952	7550	16466	36181	88621
06.08.90	491	2991	3288	4784	10928	24436	60560
31.12.90	713	4645	4781	6543	14502	31993	78559

Pulsutslipp på 20 m³ over 20 minutter: gjennomsnittlig fortyning i ulike avstander fra utslippspunktet for tre utvalgte profiler.

Profil	5 m	v/innlagr.	50 m	100 m	250 m	500 m	1000 m
16.04.90	179	792	852	1151	2391	5069	12121
23.07.90	181	430	492	699	1521	3307	8047
31.12.90	179	1088	1162	1562	3230	6829	16303

Et annet mulig tiltak for å forbedre fortyningen er å montere en diffusoranordning på utslippsrøret. En diffusor består av flere trinn med ulike rørtykkelser, hver med en eller flere utslippsåpninger. Utslippet blir dermed spredt i flere "skyer" slik at det samlede overflatearealet det har mot de omliggende vannmassene øker. I tillegg kan initialhastigheten vannet har ut av røret holdes høy ved riktig dimensjonering. Tilsammen gir dette betydelig raskere fortyning, og vanligvis også dypere innlagring/sjeldnere gjennomslag til overflaten. For å få designet et slikt diffusoropplegg best mulig bør det benyttes et eget dimensjoneringsprogram, f.eks. DIFDIM (Dammen 1979), i kominasjon med utslippsmodeller fra f.eks. PLUMES. Figur C1 illustrerer hvordan en slik diffusor kan se ut.



Figur C1. Prinsippskisse av en diffusor med to avtrappinger og 9 hull, der 8 hull for illustrasjonens del er plassert på samme side. Til vanlig plasseres hullene vekselvis på hver side av diffusoren.

Vedlegg D.

Prosjektets Fase 2

Bakgrunn og Formål

Fase 1 ble fullført høsten 2002 og konkluderte med at avløpsvannet medførte risiko for lokale algeoppblomstringer i overflatevannet, og for at høy ammoniumkonsentrasjon nær utslippspunktet kan ha toksisk effekt på enkelte planktonarter. Vinteren 2002/2003 ble derfor Fase 2 gjennomført for å finne løsninger som eliminerte denne risikoen. Beregninger og vurdering i Fase 2 er gjengitt nedenfor og konklusjonene er innarbeidet i Sammendrag og i Kap. 6 Diskusjon foran i rapporten.

Alternativer for akseptabel løsning

I utgangspunktet vurderes to alternativer, som i praksis begge betyr større utslippsdyp og større fortykning:

- Risikoen for en algeoppblomstring i overflatelaget ved utslippspunktet bedømmes ved å vurdere dypere innlagring av avløpsvannet, se på størrelsen av utslippet og på oppholdstiden for avløpsvannet i området. Dette betyr blant annet at avløpsvannet i sommerhalvåret bør innlagres dypere enn 10 m.
- Risikoen for toksiske effekter pga. høy konsentrasjon av ammonium nær utslippspunktet kan i første rekke reduseres ved å øke primærfortynningen og dermed redusere konsentrasjonen av ammonium. Giftigheten av ammonium avhenger mye av pH, men for en typisk sjøvanns-pH på 8.1-8.2 betyr det at konsentrasjonen ikke bør være høyere enn 990 µg/l (Källqvist og Svenson, 2003).

Gitt at konsentrasjonen av næringssalter i avløpsvannet er konstant, har bedriften tre aktuelle tiltak som kan kombineres:

- Øke utslippsdyptet
- Redusere vannmengden: i første rekke ved å skifte fra nåværende pulsutslipp (16-17 l/s i perioder på 20 minutter) til kontinuerlig utslipp av 2-2.5 l/s
- Bruke diffusor (spreader) for om nødvendig å øke primærfortynningen

Tabell D1 illustrerer konsentrasjoner i skyen sommerstid, ved fortykninger fra 1000-10000x.

Konsentrasjonen av total nitrogen og total fosfor i avløpsvannet er hentet fra bedriftens midlertidige utslippstillatelse fra SFT. Senere har bedriften oversendt analyseverdier for konsentrasjon av fosfat og ammonium. Datamaterialet er meget lite, men tyder på at det meste av total fosfor foreligger som fosfat. I tabellen er derfor fosfatkonsentrasjonen etter skjønn bare satt litt lavere enn konsentrasjonsgrensen for total fosfor. For ammonium var analyseresultatene langt mer sprikende, men kan tyde på en andel som utgjør i størrelsesorden 1/3-1/2 av total nitrogen. For resipienten finnes i alt 4 målinger (januar, mars/april, juni, august 1993 (Dragsund et al., 1993)) som er et lite materiale for å bestemme typiske konsentrasjoner i resipienten. For sommerhalvåret har vi brukt gjennomsnittskonsentrasjon eller høyeste konsentrasjon (hvis det var stor avstand mellom målingene) som ble målt i juni og august 1993.

For ammonium må fortykningen være større enn 155x for at konsentrasjonen skal være lavere enn 990 µg/l. Beregningene i Tabell D1 er gjennomsnittsverdi for skyen med fortyknet avløpsvann, og fortykningen i sentrum av skyen kan antas å være 30-50% av gjennomsnittsverdien. Legger man dertil på en sikkerhetsmargin fordi konsentrasjonen i avløpsvannet kan øke med opptil 30%, kan man si at det behøves en fortykning på omkring 500x for at man skal være helt sikker på at konsentrasjonen i sentrum av skyen også da blir lavere enn 990 µg/l. Denne grensa på 990 µg/l er satt etter forsøk over 24 timer med en meget følsom planktonalge. I forhold til situasjonen utenfor Tjeldbergodden, med stor vannfornyelse og kort oppholdstid, gir dette en stor sikkerhetsmargin.

Tabell D1. Konsentrasjon i avløpsvann i forhold til midlertidig utslippstillatelse fra SFT, konsentrasjon i resipienten, samt gjennomsnittlig konsentrasjon i skyen av fortennet avløpsvann ved 500x, 1000x, 5000x og 10000x fortykning. Konsentrasjonen i resipienten er gjennomsnitt av målte verdier sommerstid da konsentrasjonene til vanlig er lavest (Dragsund et al., 1993). Alle konsentrasjoner er gitt som µg/l.

Konsentrasjon avløpsvann (± 30%)		Resipienten	500x	1000x	5000x	10000x
Ammonium	150000	20 ¹	320	170	50	35
Total nitrogen	300000	174	773	474	234	204
Fosfat	70000	9	149	79	23	16
Total fosfor	75000	15	165	90	30	22

1: Laveste konsentrasjon var 10

Scenarier for nye beregninger av innlagring og fortykning av avløpsvann

Avtalen mellom Norferm og NIVA for Fase 2 omfattet inntil 4 scenarier for kontinuerlig utslipp og pulsutslipp, som vurderes i følgende rekkefølge:

1. forlenging av nåværende avløpsledning til 25 m dyp, ca. 250 m fra land. Hvis ikke miljøeffekten synes akseptabel beregnes scenario 2:
2. forlenging av nåværende avløpsledning til 40 m dyp, ca. 300 m fra land. Hvis ikke miljøeffekten synes akseptabel beregnes scenario 3:
3. som scenario 1, men med diffusor montert på enden av ledningen. Den tekniske utformingen av diffusoren beregnes ikke i denne omgang. Hvis ikke miljøeffekten synes akseptabel beregnes scenario 4:
4. som scenario 2, men med diffusor på enden av ledningen. Den tekniske utformingen av diffusoren beregnes ikke i denne omgang.

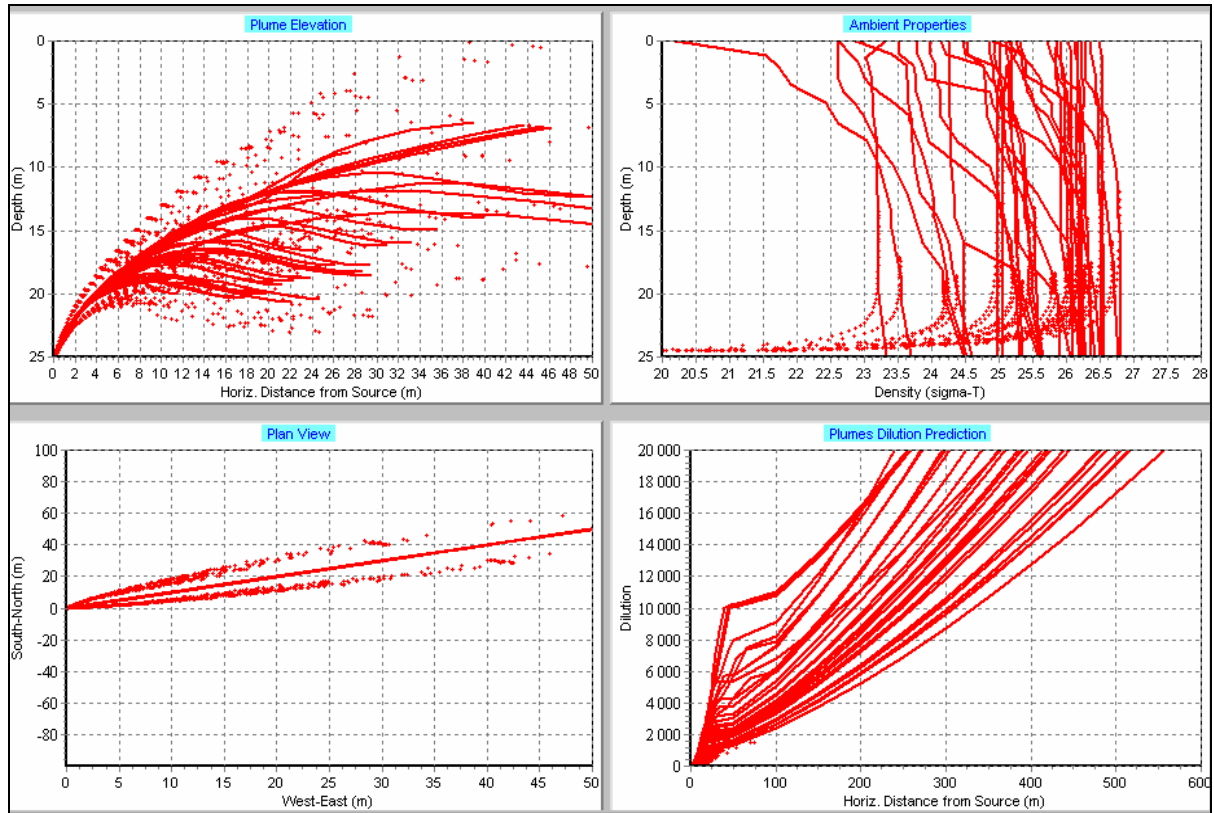
Merk at vi for beregningene bruker samme metodikk (Visual Plumes), de samme målingene av temperatur og saltholdighet, samme diameter for avløpsledning (0.15 m) og samme strømhastighet (0.14 m/s) i resipienten som ble brukt i prosjektets Fase 1 (se kapittel 3 for nærmere beskrivelse av metodikk og data). Derimot har vi funnet å kunne øke koeffisienten for turbulent blanding fra 0.0003 til 0.000453 cm^{2/3}/s, noe som vil gi noe høyere sekundærfortyning.

Resultater

Nedenfor vises resultatene som Figurer, med korte kommentarer.

Pulsutslipp av 16.5 l/s i 25 m dyp:

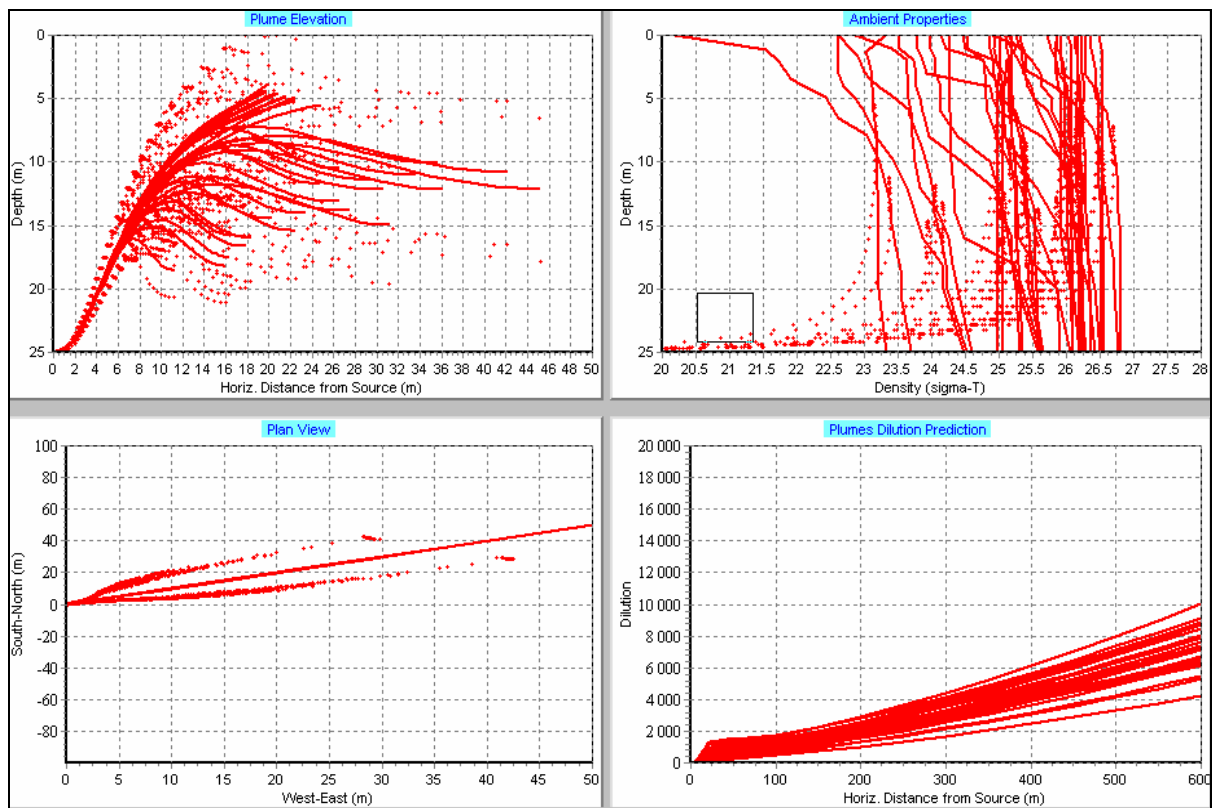
Avløpsvannet innlagres ofte mellom overflata og 10 m dyp, noe som ikke gir en god utslippsløsning. Fortynningen er heller ikke god nok.



Figur D1. Innlagring (øverst til venstre) og fortynning (nederst til høyre) ved pulsutslipp av 16.8 l/s i 25 m dyp.

Kontinuerlig utslipp av 2.5 l/s i 25 m dyp:

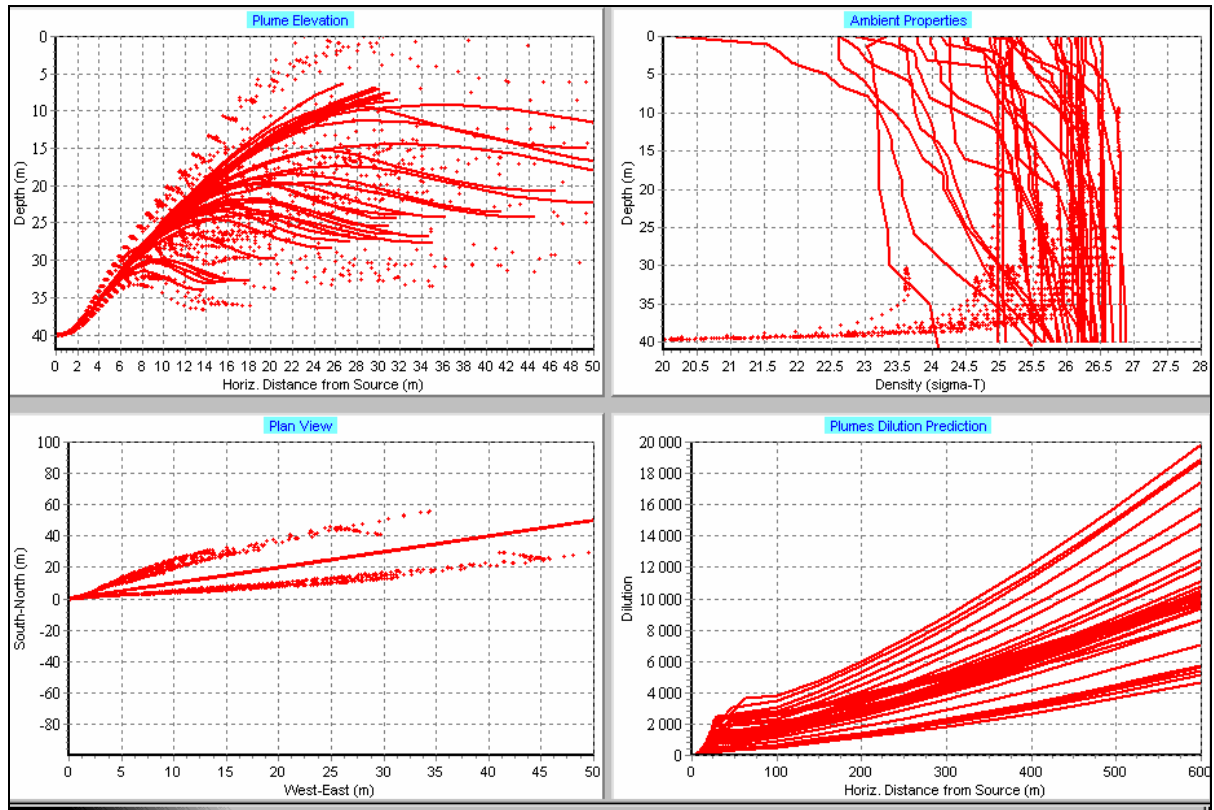
Dette alternativet gir vesentlig større fortykning enn vist i Figur D1 og det vil ikke være risiko for gifteffekter fra ammonium. Avløpsvannet innlagres vanligvis under 10 m dyp.



Figur D2. Innlagring (øverst til venstre) og fortykning (nederst til høyre) ved kontinuerlig utslipp av 2.5 l/s i 25 m dyp.

Pulsutslipp av 16.5 l/s i 40 m dyp:

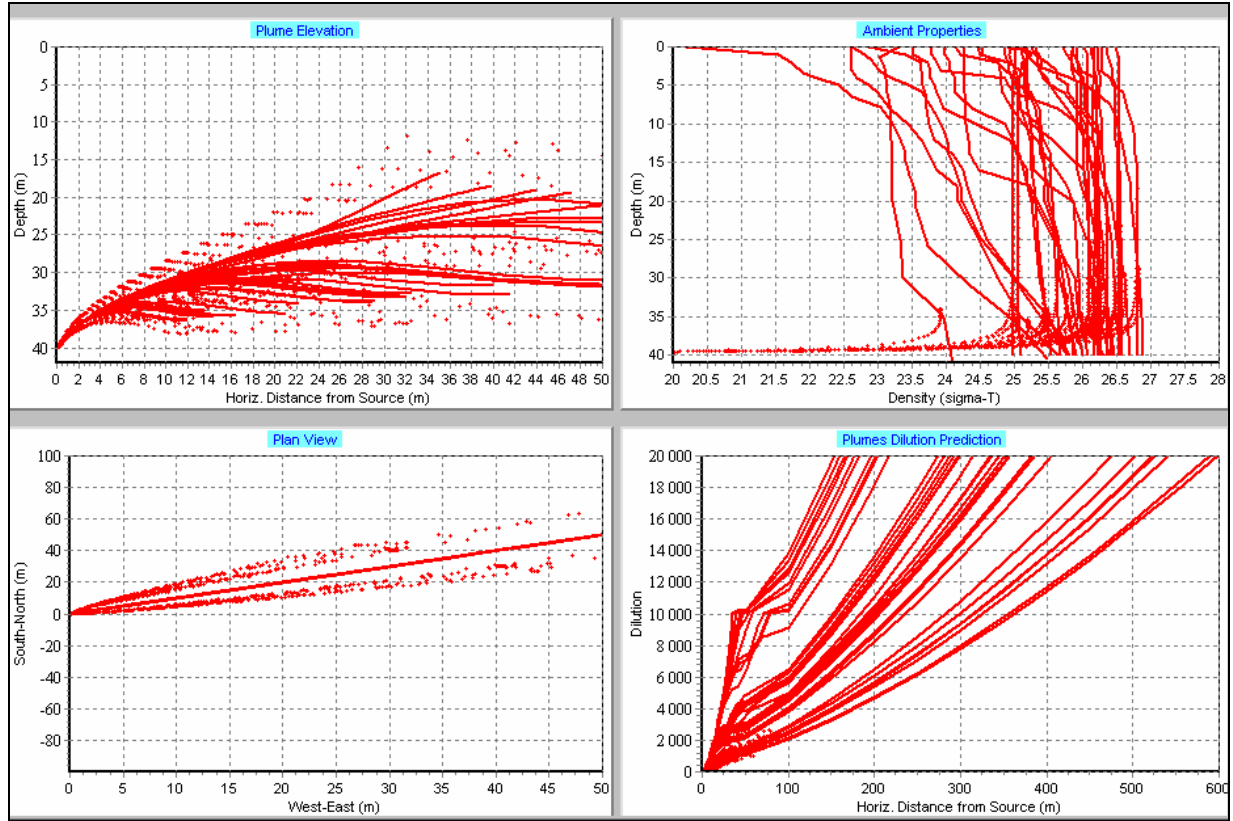
Innlagringsdypet vil ofte ligge mellom overflata og 10 m dyp, noe som ikke er bra i forhold til kravspesifikasjonen. Fortynningen er langt dårligere enn vist i Figur D2.



Figur D3. Innlagring (øverst til venstre) og fortynning (nederst til høyre) ved pulsutslipp av 16.8 l/s i 40 m dyp.

Kontinuerlig utslipp av 2.5 l/s i 40 m dyp:

Både innlagringsdypet og fortyningen innfrir kravene med god margin. Det optimale utslippsdypet kan ligge mellom 25 m og 40 m dyp. I stedet for å velge 40 m som utslippsdyp, eller gå til scenario 3 (diffusor) har vi derfor gjennomført en beregning for kontinuerlig utslipp i 30 m dyp (se neste side, Figur D5).



Figur D4. Innlagring (øverst til venstre) og fortykning (nederst til høyre) ved kontinuerlig utslipp av 2.5 l/s i 40 m dyp.

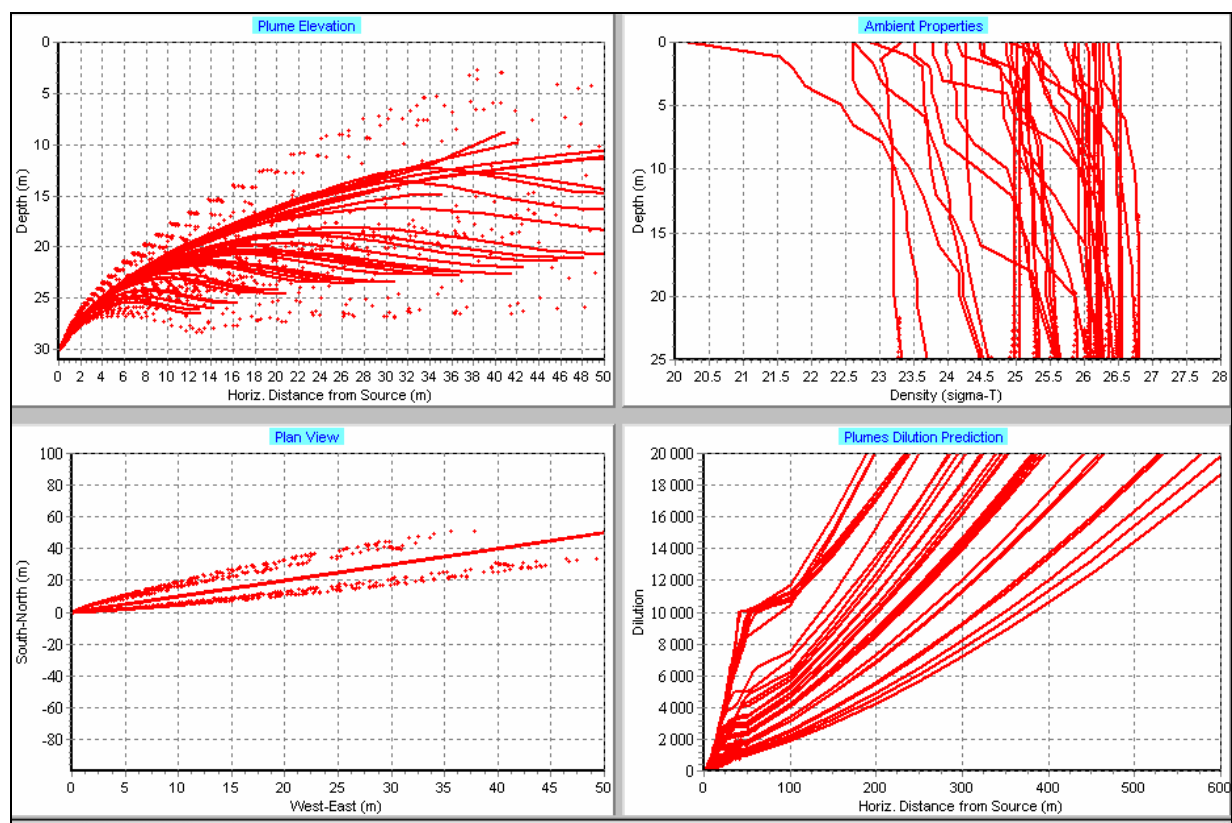
Kontinuerlig utslipp av 2.5 l/s i 30 m dyp:

Utslipp i 30 m dyp (se Figur D5) innfrir kravene mht.

1. Stor og rask fortytning ($>500x$) som gir ammoniumkonsentrasjon $<1000 \mu\text{g/l}$ også i sentrum av skyen med fortyntet avløpsvann allerede etter primærfortyningen.
2. Innlagring under 10 m dyp i sommerhalvåret. Merk at de fire situasjonene da avløpsvannet innlagres omkring 10 m dyp eller litt høyere (se Figur D5, øverst til venstre) gjelder situasjoner vinterstid (19.11.90, 26.11.90, 15.2.91 og 22.2.91), når risikoen for algeoppblomstring er minimal.

Skyen av fortyntet avløpsvann vil ligge mellom 10 m og 25 m dyp og konsentrasjonene i skyen kan derfor ikke uten videre sammenlignes med de norske vannkvalitetskriteriene for overflatelag. I dypere lag vil vanligvis de naturlige konsentrasjonene være høyere enn i overflatelaget. Men legger vi konsentrasjoner og fortynningsbehov i Tabell D1 til grunn finner vi at innen en avstand på 200-500 m vil gjennomsnittskonsentrasjonen av fosfor i skyen med fortyntet avløpsvann som gjennomsnitt begynne å nærme seg konsentrasjonen i det omkringliggende vannet. Konsentrasjonene av ammonium og total nitrogen vil bli så lave at de sannsynligvis avviker lite fra omgivelsene. I selve sentrum av skyen (kanskje 2 m høy og 3-5 m bred vannmasse) vil konsentrasjonen være 2-3 ganger høyere enn gjennomsnittskonsentrasjonen.

Utslippstillatelsen for Norferm AS inneholder også grenser for utslipp av organisk stoff, målt som TOC og COD. For resipienten er utslippet av løst organisk stoff i første rekke et spørsmål om nedbrytningen kan medføre lave oksygenkonsentrasjoner i vannmassen. Dette ble vurdert i prosjektfase 1 og ansett som uproblematisk. I forhold til vurderingen ovenfor er konklusjonen den samme.



Figur D5. Innlagring (øverst til venstre) og fortytning (nederst til høyre) ved kontinuerlig utslipp av 2.8 l/s i 30 m dyp.

Vurderinger og anbefalinger

På grunnlag av kriteriene for en akseptabel utslippsløsning og beregningene for scenariene 1 og 2, med tilleggsberegning for kontinuerlig utslipp i 30 m dyp anbefaler vi:

- Kontinuerlig utslipp i ca. 30 m dyp

Dette gir en en fortynning der risikoen for gifteffekter fra ammonium **ikke** eksisterer utenom 50-100 m meter fra utslippet (i den sonen der avløpsvannet stiger opp fra enden av røret og innlagres). Innenfor denne avstanden dreier det seg om sentrum av skyen med fortennet avløpsvann, dvs. for en vannmasse som er 1-2 m tykk og typisk 2-5 m bred og som da befinner seg i ca. 25 m dyp.

Vi gjør oppmerksom på at sikkerhetsmarginen er stor fordi toksisitetstesten som vi forholder oss til er gjort med en meget følsom planktonalge over 24 timer, mens alger som kommer inn i skyen med fortennet avløpsvann utenfor Tjeldbergodden neppe vil være utsatt for slike konsentrasjoner lenger enn maksimum 1 time.

I sommerhalvåret vil avløpsvannet bli innlagret dypere enn 10 m og vil ikke kunne bidra til lokale oppblomstringer av planktonalger, eller til lokal algevekst på grunt vann i strandsonen. I denne sammenhengen kan det være illustrerte å gjøre en sammenligning mellom næringssaltutslippet fra Norferm og tilsvarende utslipp fra et matfiskanlegg. Bedriften opplyser at de i 2001 og 2002 hadde nitrogenutslipp av hhv. 8.3 tonn og 6 tonn, mens fosforutslippet var hhv. 1.8 tonn og 1.3 tonn. På den annen siden opplyser Fiskeridirektoratet at produksjonen av laks i et matfiskanlegg på 12000 m³ kan være 600-700 tonn pr. år. Basert på nyere litteratur (se Waagbø, Espe, Hamre og Lie, 2001. Fiskeernæring, se. 260-268. Kap. 15 "Miljø og Etikk") oppgir A. Bergheim, Rogalandsforskning, at typiske utslipp pr. tonn produsert rund laks kan være:

- Total nitrogen: 41 kg
- Total fosfor: 8 kg

ved en forfaktor på 1.15 og nærmere angitt forsammensetning. Antar vi en årsproduksjon av 600 tonn får vi:

- Total nitrogen: ca. 24.6 tonn
- Total fosfor: ca. 4.8 tonn

Dette er 3-4xårsutslippet fra Norferm.

Mens det framtidige utslippet fra Norferm i sommerhalvåret kan bli innlagret i 15-25 m dyp og ikke ha innflytelse på algevekst i overflatelag og i strandsonen, vil en stor del av næringssaltene fra et oppdrettsanlegg blir tilført vannmassen i 0-10 m, avhengig av type for og mengde forspill. Det er også slik at utslippet er størst i sommerhalvåret. Produksjon og utslipp vil variere fra anlegg til anlegg, men denne enkle gjennomsnittssammenligningen viser at hva virkning mht. algevekst angår så er utslippet av næringssalter fra Norferm av mindre betydning enn utslippet fra et vanlig matfiskanlegg.

Til slutt nevnes at en tilsvarende utslippsløsning som beskrevet ovenfor sannsynligvis også kan finnes for pulsutslipp gjennom en diffusor.