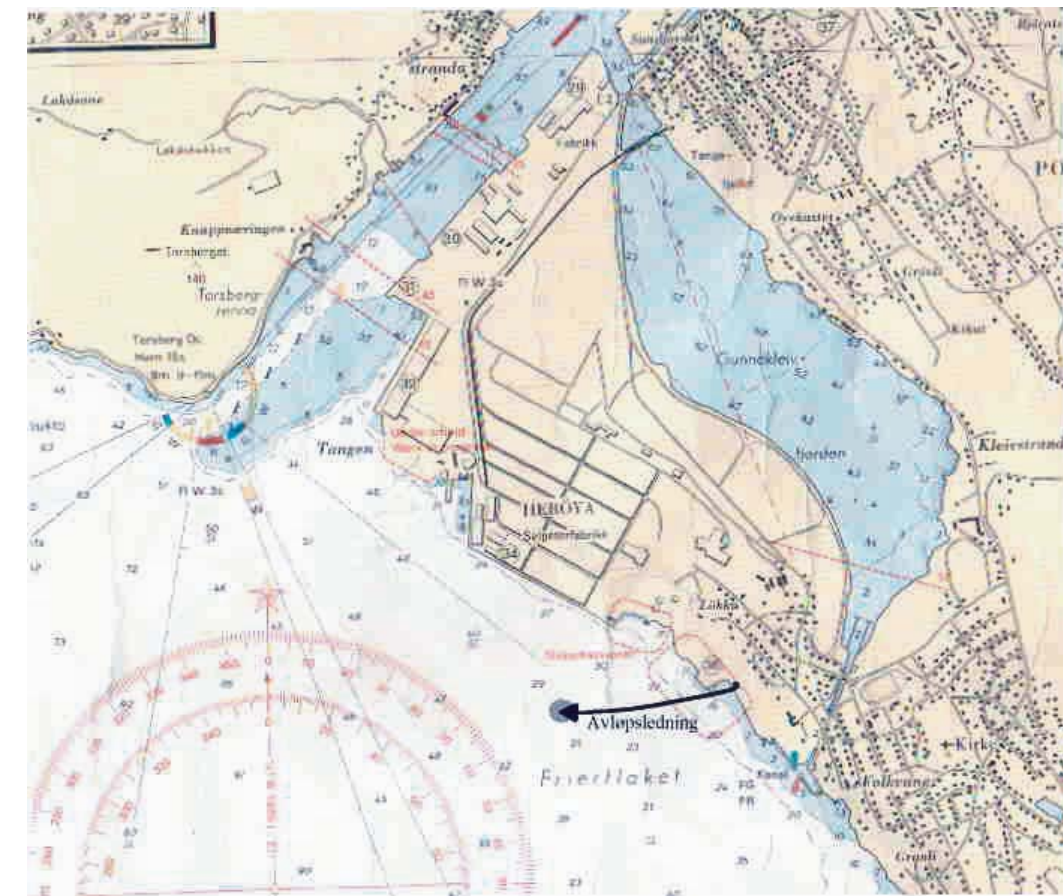




RAPPORT LNR 4908-2004

**Miljømessig vurdering
av framtidige utslipp til
Frierfjorden fra
ScanWafer ASA, Porsgrunn**



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 Miljømessig vurdering av framtidige utslipp til Frierfjorden fra ScanWafer ASA, Porsgrunn	Løpenr. (for bestilling) 4908-2004	Dato 22.11 2004
	Prosjektnr. Undernr. 23247	Sider Pris 20
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Vannkvalitet	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Telemark	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) ScanWafer ASA, Porsgrunn	Oppdragsreferanse
--	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Det er gjort en vurdering av miljøvirkningen framtidige utslipp av suspendert uorganisk stoff og organisk stoff til Frierfjorden fra ScanWafer ASA på Herøya. I et urensset utslipp vil suspendert materiale i utslippet utgjør 2-4% av det som årlig tilføres Frierfjorden. Avløpsvannet innlagres vanligvis i 15-20 m dyp. I hovedsak vil partiklene sedimentere i Frierfjorden og vannkvaliteten eller bunnsedimentene i fjorden vil ikke påvirkes i merkbar grad av bedriftens utslipp. En økt overdekning av forurensede bunnsedimenter utenfor Herøya kan være gunstig. Avløpsvannet skal innlagres i en vannmasse med god tilførsel av oksygen, og nedbrytningen av organisk stoff foregår så langsomt at oksygenkonsentrasjonen i denne vannmassen bare i liten grad endres. Det vil fortsatt være de store trekkene i fjordens oksygenbalanse som bestemmer oksygenforholdene i 10-25 m dyp utenfor Herøya og i Frierfjorden for øvrig.</p> <p>I et utslipp av rensset avløpsvann vil mengden av uorganisk suspendert stoff og organisk stoff være hhv. ca. 50% og ca. 33% av det som er vurdert ovenfor. Virkningene i miljøet blir små.</p>

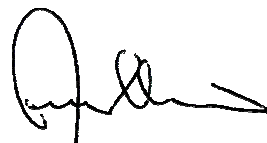
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ScanWafer 2. Frierfjorden 3. Utslipp 4. Vannkvalitet 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ScanWafer 2. Frierfjord 3. Discharges 4. Water quality
---	---



Prosjektleder



Forskningsleder



Forskningsdirektør

O-23247

**Miljømessig vurdering av framtidige utslipp til
Frierfjorden fra ScanWafer ASA, Porsgrunn**

Forord

Den foreliggende rapporten er utarbeidet for ScanWafer ASA etter bestilling datert 1.10 2004. Vi takker teknisk direktør Bjørn Rydtun, BioTek AS, for godt samarbeid.

Ved NIVA har Jarle Molvær ledet prosjektet og har skrevet rapporten.

Oslo, 22.11 2004

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn og formål for prosjektet	6
2. Data og metodikk	7
2.1 Bedriftens utslipp	7
2.2 Andre tilførsler av suspendert materiale og organisk stoff	7
2.3 Vurdering av dyputslipp	10
2.3.1 Metodikk	10
2.3.2 Data	11
3. Resultater	14
3.1 Dyputslipp	14
3.2 Vurdering av miljøvirkninger av framtidig utslipp	16
3.2.1 Frierfjorden som helhet	16
3.2.2 Utslipp av urensset avløpsvann	16
3.2.3 Utslipp av rensset avløpsvann	18
4. Litteratur	18
Vedlegg A.	20

Sammendrag

Den foreliggende utredningen for ScanWafer ASA, Porsgrunn, gir en vurdering av miljøvirkningene i Frierfjorden ved utslipp av bedriftens framtidige avløpsvann. Vurderingen omfatter miljøvirkningene av avløpsvannets innhold av uorganisk suspendert stoff og organisk stoff. Vurderingene gjelder både utslipp av urensset og rensset avløpsvann:

- 1. Miljøvirkning av et framtidig utslipp av suspendert stoff (SS) i urensset avløpsvann:**
 - SS i utslippet vil utgjøre 1-4% i forhold til det som årlig tilføres Frierfjorden, i hovedsak fra Skienselva. Dette er langt mindre enn de årlige variasjonene i tilførselen
 - Partiklene synker langsomt og vil sedimentere over det meste av Frierfjordens bunnflate. En mindre andel vil sannsynligvis bli ført ut til områdene utenfor Frierfjorden.
 - Partiklene er uorganiske og uten noe innhold av miljøgifter. Det er ikke grunn til å tro at de i merkbar grad vil skade miljøet. En økt overdekking av forurensede bunnsedimenter utenfor Herøya kan være gunstig, men det vil fortsatt være størrelsen av den samlede tilførselen av SS som preger sedimentasjonen i Frierfjorden og bunnsedimentenes kjemi.
- 2. Miljøvirkning av et framtidig utslipp av organisk stoff i urensset avløpsvann:**
 - Ved utslipp i ca. 25 m dyp vil avløpsvannet vanligvis bli innlagret i 15-20 m dyp, og blandes i en sjøvannsmasse der oksygenkonsentrasjonen til vanlig er 5-8 mgO₂/l. Et vannlag som kontinuerlig tilføres oksygen gjennom vannutskiftningen. Gjennomsnittlig primærfortynning vil være 30-35 ggr., som betyr en rask og stor innblanding av oksygenholdig sjøvann.
 - Avløpsvannet har et høyt innhold av organisk stoff, men nedbrytningen vil foregå over så lang tid at oksygenforbruket i liten grad vil endre oksygenkonsentrasjonen i det vannlaget der avløpsvannet innlagres. Avløpsvannet vil ikke øke oksygenforbruket i det sårbare dypvannet i Frierfjorden. Det vil fortsatt være de store trekkene i fjordens oksygenbalanse og ikke minst de hydrofysiske og meteorologiske bestemte dypvannsfornyelsene, som vil bestemme oksygenforholdene i vannmassene i 10-20 m dyp utenfor Herøya og i Frierfjorden for øvrig.
- 3. Miljøvirkning av et framtidig utslipp av rensset avløpsvann:**

Mengden av SS og organisk stoff vil være hhv. 50% og 33% av mengden som vil bli sluppet ut ved urensset avløpsvann. Virkningene i miljøet vil være tilsvarende mindre enn de som er beskrevet under pkt. 1-2 ovenfor.

1. Bakgrunn og formål for prosjektet

ScanWafer ASA ligger i Herøya Næringspark, Porsgrunn, og produserer tynne silisiumskiver, også kalt wafere. Disse waferne er den sentrale komponenten i solcellepaneler, som konverterer sollys til strøm. Produksjonen består i at store krystalliserte blokker med silisium skjæres opp i tynne skiver som senere brukes i produksjon av solceller.

Bedriften har utslipp til Frierfjorden av uorganisk suspendert materiale (SS) og løst organisk materiale, uten noe innhold av miljøgifter. NIVA har tidligere utført vurderinger av miljøvirkningene i Frierfjorden av utslippet (Molvær, 2003, 2004). Bedriften planlegger å øke produksjonen ved å bygge en ny fabrikk på Herøya, og har i den anledning bedt NIVA:

Vurdere om utslipp av uorganisk suspendert materiale og organisk materiale fra planlagt ny fabrikk ved ScanWafer ASA vil skade miljøet i Frierfjorden.

Utslippet skal vurderes på bakgrunn av både rensed og urensed utslipp fra den nye fabrikken, og i forhold til eksisterende utslipp. Det nåværende og et evt. framtidig utslipp er planlagt ført sammen i sjøledning til ca. 25 m dyp i Frierfjorden.

2. Data og metodikk

2.1 Bedriftens utslipp

Bedriften har utslipp til Frierfjorden av uorganisk suspendert stoff (SS) og oppløst organisk stoff (måles som KOF). I sitt bestillingsbrev av 1.10 2004 oppgir bedriften følgende grunnlag for vurdering av framtidige utslipp fra en ny fabrikk (**Tabell 1**):

Tabell 1. Opplysninger om framtidig utslipp fra den nåværende fabrikk (SWH1-Eksp) og planlagt ny fabrikk (SWH2).

Fabrikk		SWH1-Eksp	SWH2	SUM		
Produksjon uten rensing	Volum	m ³ /t	46	46	92	
	KOF	kg/d	518	574	1092	
	SS	kg/d	475	527	1002	
Produksjon med rensing	Volum	m ³ /t	46	46	92	
	Renseeffekt biologi, KOF (67%)	KOF	kg/d	170	188	358
	Renseeffekt kjemi, SS (50%)	SS	kg/d	237	263	500

Til sammenligning har NIVA tidligere (Molvær 2004) vurdert følgende utslippsmengder fra den eksisterende fabrikk (**Tabell 2**). Den framtidige vannmengden vil være omkring halvparten. Uten rensing øker det samlede utslippet av uorganisk og organisk stoff med faktorer på 3-4, men økningen etter rensing vil være 2-3.

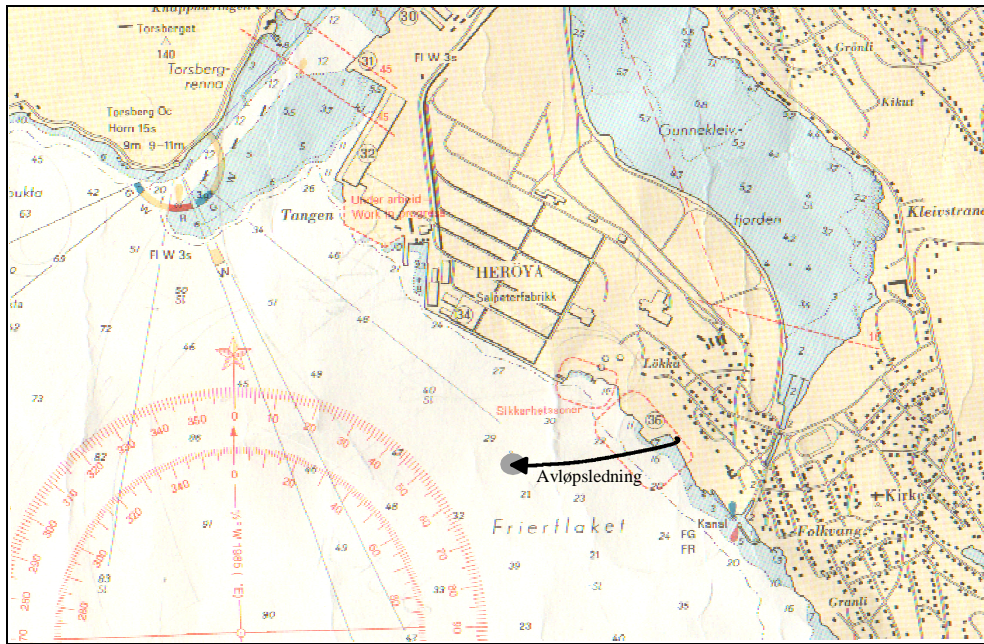
Tabell 2. Tidligere vurderte utslippsmengder

Fabrikk		SWH1-Eksp		
Produksjon uten rensing	Volum	m ³ /t	180	
	KOF	kg/d	303	
	SS	kg/d	254	
Produksjon med rensing	Volum	m ³ /t	180	
	Renseeffekt biologi, KOF (44%)	KOF	kg/d	170
	Renseeffekt kjemi, SS (41%)	SS	kg/d	150

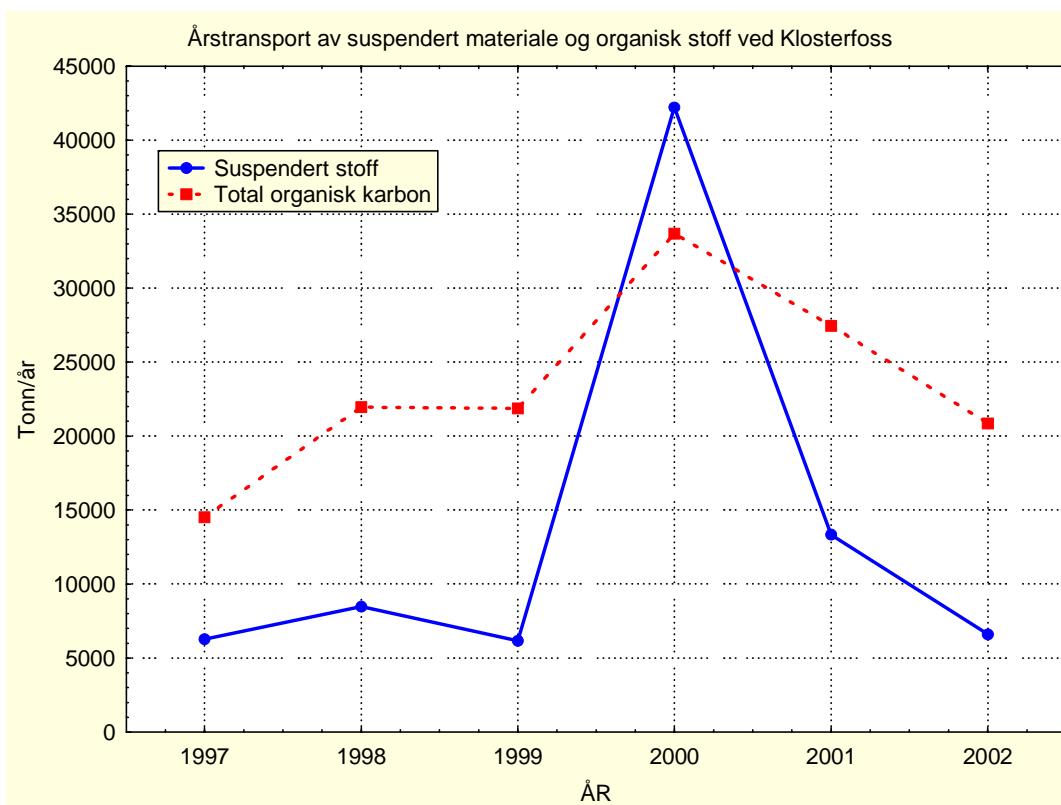
Avløpsledningen for et framtidig fellesutslipp fra SWH1 og SWH2 vil sannsynligvis ha ca. 580 mm som innvendig diameter.

2.2 Andre tilførsler av suspendert materiale og organisk stoff

For å kunne bedømme hvordan utslippet fra ScanWafer påvirker miljøet i Frierfjorden er det nyttig å ha et begrep om størrelsen av andre utslipp og tilførsler av suspendert materiale og organisk stoff. Utgjør bedriftens utslipp en stor andel av totalen er det mer sannsynlig at de påvirker miljøet enn om de er en liten del. Frierfjorden tilføres SS fra en rekke kilder. Resultatene av den statlige overvåkingen av vannkvaliteten ovenfor Klosterfoss for årene 1997-2002er vist i **Figur 2** og oppsummert i **Tabell 3**.



Figur 1. Foreslått framtidig utslippssted for avløpsvannet (Molvær, 2004).



Figur 2. Beregnet årstransport av suspendert stoff og totalt organisk karbon ved Klosterfoss i årene 1997-2002. Kilder: Holtan et al. (1998, 1999) og Weideborg et al. (2001a, 2001b, 2002, 2003).

Tabell 3. Gjennomsnitt og median for årstransporten av suspendert materiale og total organisk karbon ved Klosterfoss for tidsrommet 1997-2002, og framtidig utslipp fra ScanWafer.

Kilde		Suspendert materiale	Total organisk karbon
Skienselva	Aritmetisk gjennomsnitt	13847 tonn/år (38 tonn/d)	23396 tonn/år (64 tonn/d)
	Median	7543 tonn/år (21 tonn/d)	21924 tonn/år (60 tonn/d)
ScanWafer		180-365 tonn/år (0,5-1 tonn/d)	131-401 tonn/år (0,36-1.1 tonn/d)

I tillegg kommer uorganisk og organisk stoff fra utslipp av kommunalt avløpsvann og fra industri til Skienselva nedenfor Klosterfoss og til Frierfjorden – tilførsler som kan utgjøre 2000-3000 tonn/år (5-8 tonn/d). Dertil kommer en ukjent tilførsel som avrenning fra gater, jordbruksareal og utmark.

Sett i sammenheng med de øvrige tilførslene av SS og organisk stoff viser **Tabell 3** at de planlagte utslippene fra SWH1+SWH2 - uten rensing vil - øke den årlige tilførselen av SS til Frierfjorden med ca. 2-4% - sett i forhold til median og gjennomsnitt av tilførselen i tidsrommet 1997-2002. Ved rensing er økningen 1-2%. Standardavviket er ca. 14167 tonn, som viser at variasjonene fra år til år er langt større (ca. 40-80x) enn årsutslippet fra ScanWafer.

For organisk stoff er en sammenligning vanskelig fordi bedriftens utslipp oppgis som KOF mens vannprøvene ved Klosterfoss analyseres for total organisk karbon (TOC). I stedet vil vi vurdere den virkningen som utslippet kan få på oksygenforholdene i Frierfjorden.

2.3 Vurdering av dyputslipp

Bedriftens utslipp er planlagt ført ut til ca. 25 m dyp i 150-200 m avstand fra stranden (**Figur 1**).

2.3.1 Metodikk

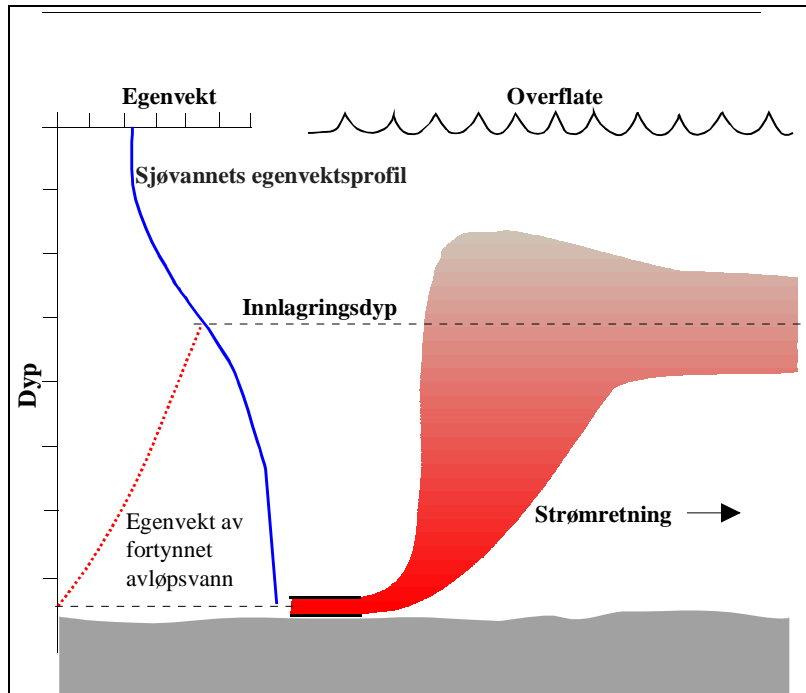
Avløpsvannet har i praksis samme egenvekt som ferskvann og er dermed lettere enn sjøvann. Når avløpsvannet slippes ut gjennom en ledning på dypt vann i Frierfjorden vil det derfor begynne å stige opp mot overflata samtidig som det blander seg med det omkringliggende sjøvannet. Hvis sjøvannet har en stabil sjiktning (egenvekten øker mot dypet) fører dette til at egenvekten til blandingen av avløpsvann+sjøvann øker samtidig som egenvekten til det omkringliggende sjøvannet avtar og i et gitt dyp kan dermed blandingsvannmassen få samme egenvekt som sjøvannet omkring (se **Figur 3**). Da har ikke lenger blandingsvannmassen noen "positiv oppdrift", men har fortsatt vertikal bevegelsesenergi og vil vanligvis stige noe forbi dette "likevektsdypet" for så å synke tilbake og innlagres.

Beregning av innlagring og primærfortynning er utført i to omganger. Først har vi brukt et EDB-program, NIVA*JET.MIX utarbeidet av Bjerkeng og Lesjø (1973). Programmet beregner fortynning og innlagringsdyp for en stråle utslippsvann i en sjiktet resipient, på basis av tetthetsprofiler i resipienten og data om strålen i utløpet.

JETMIX beregner ikke eksakt innlagringsdyp, men gir det nivået der det fortynnede utslippsvannets egenvekt er den samme som omgivelsenes egenvekt. Utslippsvannets vertikale bevegelsesenergi gjør imidlertid at det kan stige noe forbi dette "likevektsdypet", før det synker tilbake og innlagres (se **Figur 3**). I praksis er det til vanlig liten forskjell mellom innlagringsdypet og likevektsdypet, og i det følgende vil innlagringsdyp være ensbetydende med likevektsdypet.

Programmet beregner fortynningen i sentrum av skyen med innlagret avløpsvann, dvs. minste fortynning. Man bør være oppmerksom på at gjennomsnittlig fortynning i innlagringsdypet er større (vanlig 1.5x) enn fortynningen midt i skyen.

For beregning av videre spredning fortynning etter innlagring bruker vi den numeriske modellen Visual PLUMES utviklet av U.S. EPA (Frick et al. 2001). Nødvendige opplysninger for modellsimuleringene er vannmengde, dyp og diameter for utslippsrøret, samt strømhastigheten i resipienten.



Figur 3. Prinsippskisse av dyputslipp med innlagring av avløpsvannet

2.3.2 Data

Den store ferskvannstilførselen fra Skienselva og terskelen på ca. 23m dyp ved Brevik gjør det naturlig å skjelne mellom tre hovedvannmasser i Frierfjorden (**Figur 4**):

- Brakkvannslaget, typisk omkring 4 m dypt (varierende mellom ca. 3-8 m)
- mellomlaget som strekker seg ned til omkring terskeldypet eller litt dypere, og
- bassengvannet

Overgangen fra brakkvannslag til sjøvannslaget mellom dette og bassengvannet (mellomlaget) er markert ved en sterk økning i saltholdighet, og omtales ofte som et sprangsjikt. En slik vertikal lagdeling er en forutsetning for innlagring av avløpsvann – en forutsetning som er til stede i Frierfjorden.

For beregningene med JETMIX har vi brukt 67 vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet målt under de undersøkelsene som NIVA har gjennomført fra tidlig 1970-tallet til ca. 2000 (se **Vedlegg A**). Målingene er gjort midt i Frierfjorden. I forhold til beregninger som skal gjelde utenfor Herøya kan denne avstanden spille en viss (men liten) rolle i forhold til saltholdighet og temperatur i overflatelaget, men har ingen betydning for våre beregninger som gjelder sjøvannslaget.

I forhold til utløpsledningens diameter er vannmengden forholdsvis liten og det er sannsynlig at avløpsvannet ikke fyller opp rørledningen helt ut til enden. Utstrømningen blir da konsentrert i øvre del av tverrsnittet, og det blir sjøvannsinnvrenning i tverrsnittets nedre del. Det blir en viss medrivning og innblanding av sjøvann i det siste stykket av ledningen, og den strålen som forlater ledningen vil derfor bestå av avløpsvann og noe sjøvann.

Dersom det ikke er noen vesentlig medrivning av sjøvann inne i røret, kan vannet i nedre del av tverrsnittet dynamisk sett betraktes som stillestående. Tverrsnittsarealet for utstrømning er da gitt av at det såkalte densimetriske Froude-tallet (F) har verdien 1. F er definert som

$$F = \frac{U}{\sqrt{g \frac{\Delta\rho}{\rho} H}}$$

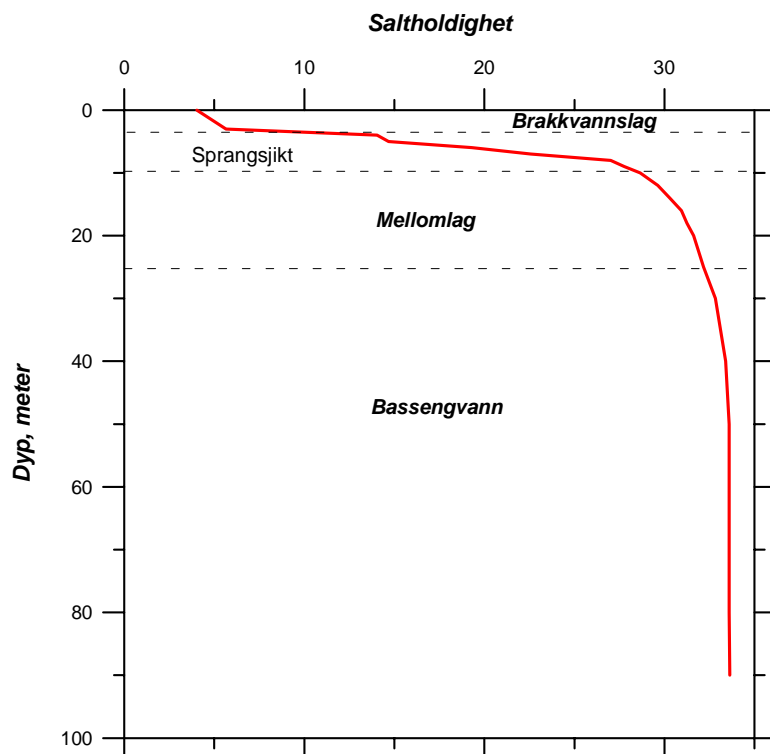
hvor

- U : strømhastighet,
 g : gravitasjonskonstanten = 9.81 m/s²,
 $\Delta\rho/\rho$: relativ tetthetsforskjell mellom ferskvann og omgivende sjøvann, og
 H : tykkelse av utstrømmende lag.

Betingelsen $F=1$ uttrykker at det er balanse mellom kinetisk og potensiell energi knyttet til trykket. Hvis $F_u \geq 1$ vil utstrømningen fylle hele røret, og det vil ikke kunne bli noen sjøvannsinntrengning.

Diameteren 580 mm gir $F_u = 0,24$ og utstrømningen vil altså ikke kunne fylle hele røret og det blir sjøvannsinntrengning i ledningen. Diameteren 330 mm gir $F_u = 1,0$. Det vil altså foregå en viss medrivning av sjøvann slik at det går en toveis strøm i ytre del av rørledningen. Dermed dannes en blanding mellom sjøvann og avløpsvann slik at volumet og egenvekten av det utstrømmende vannet (avløpsvann + sjøvann) øker noe. Vi har valgt å se bort fra dette i beregningene, men det er mulig at beregningene gir innlagring litt for høyt oppe i vannmassen. *Et annet forhold som bør vurderes er at en slik toveisstrøm kan øke sedimenteringen av partikler inne i ledningen.*

Beregningene av innlagringsdyp er dermed utført for to ledningsdiametre (580 mm og 330 mm), utslippsdyp 25 m og vannmengde 92 m³/t. Dette er sammenfattet i **Tabell 4**.



Figur 4. Generell vertikal inndeling av Frierfjordens vannmasser. Siktemålet er utslipp i 25 m dyp med innlagring av avløpsvannet i mellomlaget eller i nedre del av sprangsjiktet.

Tabell 4. Opplysninger om utslipp, for bruk i de tekniske beregningene (basert på opplysninger fra BioTek AS). For konsentrasjon av SS og organisk stoff er gitt konsentrasjon ved hhv. rensing og uten rensing.

Diameter avløpsledning, mm	Utslippsdyp, m	Vannmengde, m ³ /h	Konsentrasjon SS, mg/l	Konsentrasjon organisk stoff (KOF), mg/l
580	25 m	92	225, 450	162, 495
330	25 m	92	225, 450	162, 495

Innlagringsdypet og fortynningen påvirkes av strømhastigheten ved at avløpsvannet innlagres dypere ved sterk strøm (jfr. formen på skyen av damp over en skorstein i vindstille og ved sterk vind). Beregningene med JETMIX forutsetter stillestående vannmasser, men ved bruken av PLUMES tas hensyn til strømhastigheten. Strømforholdene i utslippsområdet er ikke kjent, men målinger som er utført nærmere munningen av Skienselva kan gi en god pekepinn (Liseth og Haslerud, 1976). De fant et varierende strømmønster med skiftende bakevjer og virvler. Strømhastigheten ble målt til 0-7 cm/s. Vi regner med svak strøm i sjøvannslaget og velger 2 cm/s som typisk hastighet. Beregningene med PLUMES blir utført for 4 utvalgte situasjoner (dyp, middels og høy innlagring). Etter at avløpsvannet er innlagret (typisk 0.5-1 minutt etter at det forlater avløpsledningen) vil konsentrasjonen av suspendert og organisk stoff avta pga. fortynning samt noe sedimentering av partikler. Den beregnede fortynningen vil variere med størrelsen av koeffisienten for turbulent blanding. Denne størrelsen varierer fra sted til sted og med tiden. Vi velger å følge EPAs anbefaling for litt innelukkede farvann og bruker en konstant koeffisient $0.0003 \text{ m}^{2/3}/\text{s}^2$, som et ganske konservativt estimat av blandingen. Alternativt kan man velge en koeffisient som øker med størrelsen av skyen med fortynnet avløpsvann. I mange sammenhenger er det mer realistisk og gir en langt større fortynning enn tilfellet er for en konstant koeffisient for den turbulente blandingen.

For miljøvurderingene tas også hensyn til oksygenforhold og mengde suspendert materiale i sjøvannslaget i Frierfjorden (se Tabell 5).

Hvis ikke beregningene for utslipp gjennom ledningens endehull gir tilfredsstillende løsninger, vurderes utslipp gjennom en diffusor (spreader) med f.eks. 8-10 hull. Dette gir større fortynning og dypere innlagring.

Tabell 5. Beskrivelse av resipientforholdene omkring innlagringsdypet (fra Molvær, 2003).

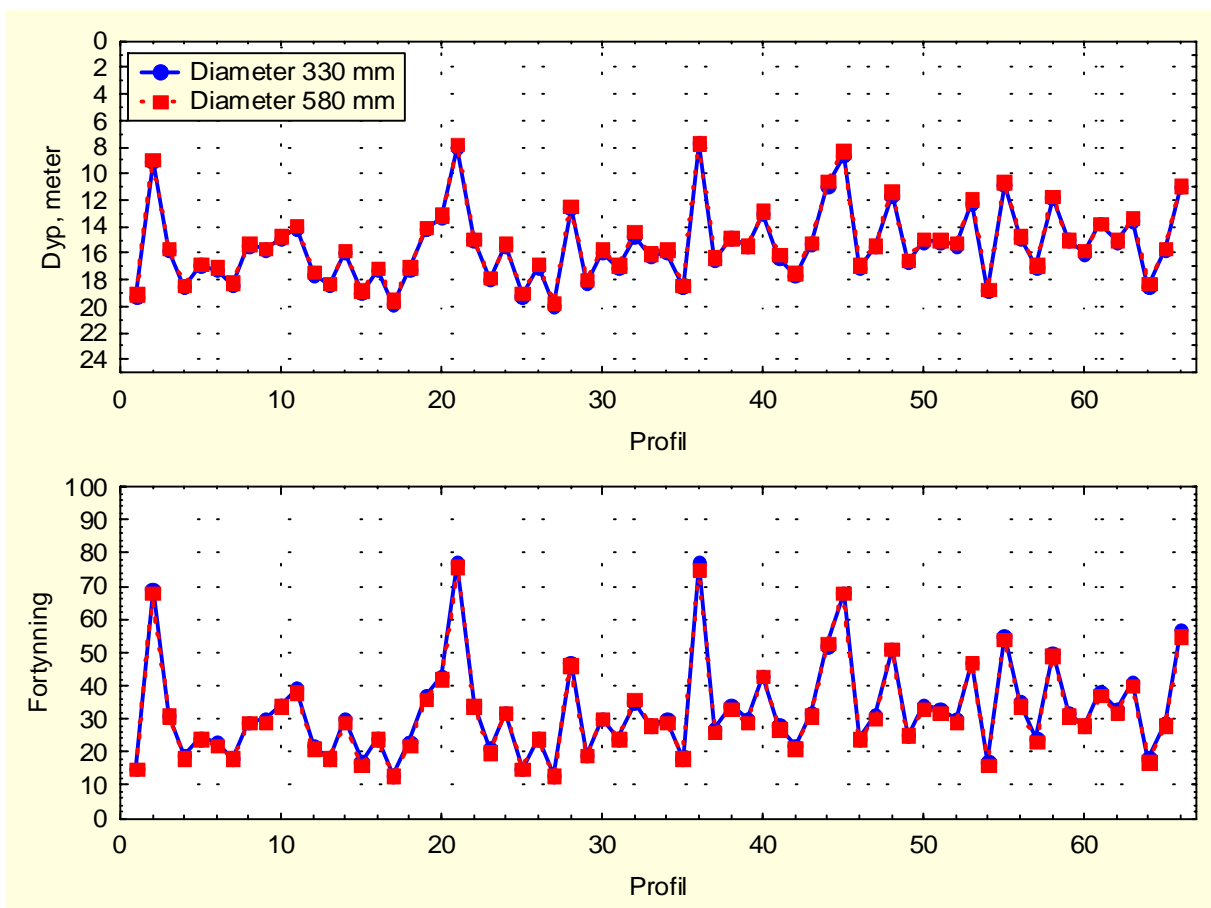
Dyp	Suspendert Stoff	Oksygenkonsentrasjon	Strømhastighet
20 m	1 mg/l	5-8 mg/l	2 cm/s

3. Resultater

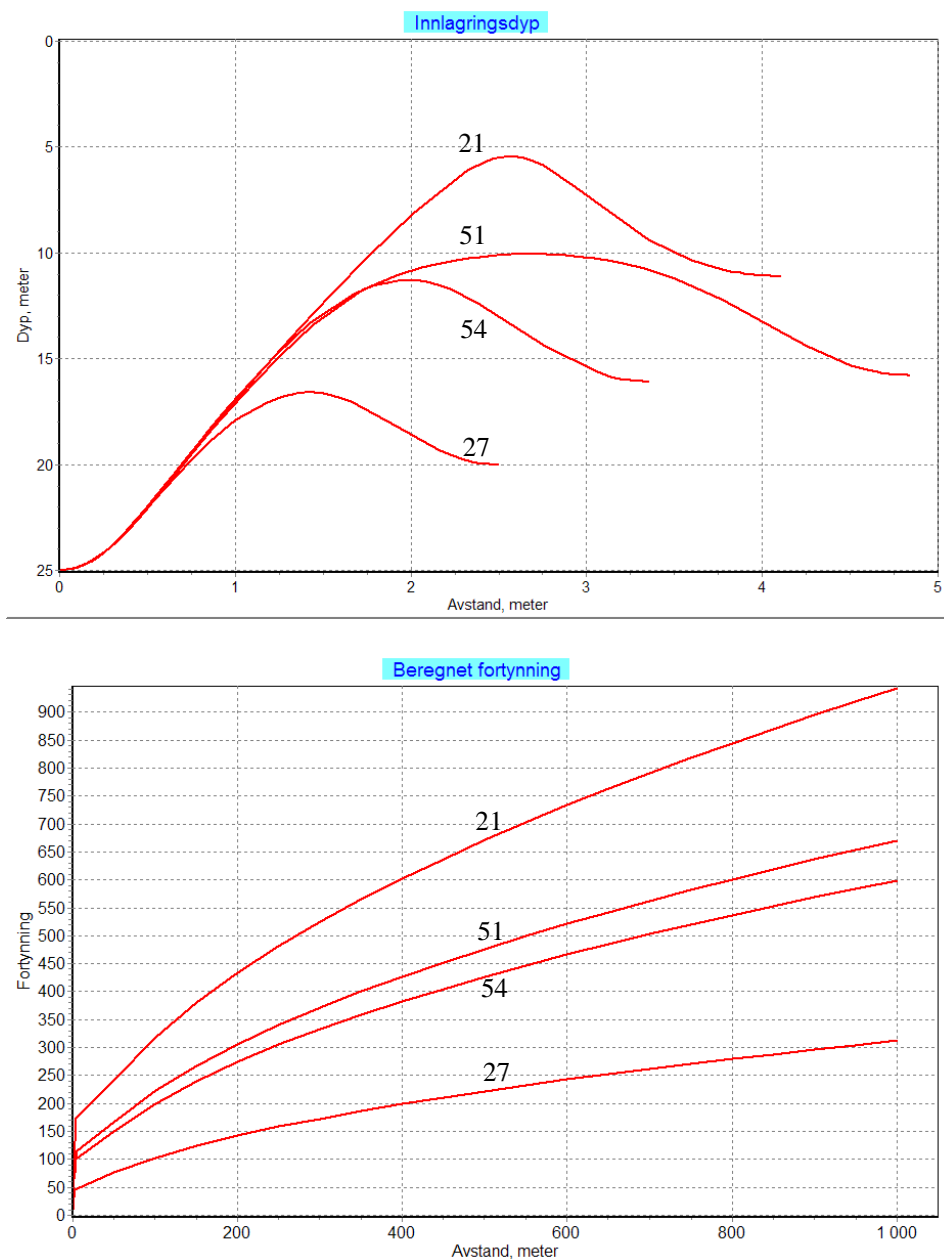
3.1 Dyputslipp

Resultatene fra beregningene av innlagringsdyp for utslipp i 25 m dyp er vist i **Figur 5**. I gjennomsnitt innlagres avløpsvannet i ca. 15 m dyp. Vi ser at ledningsdiameteren (580-330 mm) har liten betydning for innlagringsdypet, dvs. at det er den vertikale sjiktningen som i hovedsak avgjør hvor innlagringen vil skje. NIVA har tidligere anbefalt at avløpsvannet i hovedsak skal innlagres i 15-20 m dyp, dvs. i et nivå der vannutskiftningen er rimelig stor og oksygenforholdene er gode (Molvær 2003, 2004). På den bakgrunn ligger innlagringsdypet litt høyt. Virkningen av vannmassenes horisontale bevegelse (strøm) og en viss innblanding av sjøvann i avløpsledningen er ikke inkludert, og i virkeligheten vil innlagringsdypet derfor ligge litt dypere enn det som figuren viser. Dette blir vurdert nedenfor.

Den gjennomsnittlige fortynningen for avløpsvannet i innlagringsdypet er 32x (13-76x). Merk at disse tallene er større enn fortynningen i sentrum av skyen med fortynnet avløpsvann. Forskjellen kan variere fra situasjon til situasjon, men mest sannsynlig er en typisk gjennomsnittsverdi i størrelsesorden 1.5 x senterfortynningen.



Figur 5. Innlagringsdyp og fortynning ved utslipp i 25 m dyp. Ledningsdiameter er 580 mm og 330 mm og vannmengdene er 92 m³/time. Gjennomsnittlig innlagringsdyp er 15.2 m (7.7-19.7 m) og gjennomsnittlig fortynning er 32x (13-76x). Ledningsdiameteren har ingen betydning for resultatet.



Figur 6. Beregnet innlagringsdyp og fortytning for profilene 21, 27, 51 og 54 ved strømhastighet 2 cm/s. Avløpsvannet synker noe tilbake og innlagres litt dypere enn vist i **Figur 5**. Dette er både et resultat av at beregningene følger innlagringsprosessen lenger enn det JETMIX gjør og resultat av den horisontale bevegelsen (2 cm/s).

Ovenfor er vist beregninger av innlagringsdyp og fortytning for fire utvalgte profiler hvor JETMIX viste at innlagringsdypet ligger i 8-12 m dyp (nr. 21) og omkring 15 m dyp (nr. 51 og nr. 54) og ca. 20 m dyp (nr. 27). Beregningen inkluderer virkningen av strøm, som medfører at strålebanen blir mindre vertikal. Innlagringen skjer derfor dypere enn det som **Figur 5** viser for utslipp i stillestående vann.

Fortyningen er beregnet ved bruk av en konstant koeffisient for den turbulente blandingen. En økende koeffisient gir en fortytning som er 2-3 ganger større enn vist ovenfor. "Sannheten" ligger trolig et sted mellom disse ytterlighetene.

3.2 Vurdering av miljøvirkninger av framtidig utslipp

3.2.1 Frierfjorden som helhet

Miljøvirkningene av bedriftens utslipp vil være knyttet til avløpsvannets innhold av suspendert stoff (SS) og av oksygenforbrukende materiale. For å kunne bedømme hvordan utslippet fra ScanWafer påvirker miljøet i Frierfjorden er det nyttig å ha et begrep om størrelsen av andre utslipp og tilførsler. Utgjør bedriftens utslipp en stor andel av totalen er det mer sannsynlig at de betyr noe for miljøet enn om de er en liten del. **Tabell 3** gav en oversikt over bedriftens utslipp og viser at det framtidige utslippene fra SWH1+SWH2 – uten rensing - vil øke tilførselen av SS til Frierfjorden med ca. 2-4%. Med rensing vil økningen være 1-2%.

Figur 2 viste at i tidsrommet 1997-2002 varierte transporten av SS ved Klosterfoss med 2000-36000 tonn fra år til år. I tillegg kommer variasjonene i et noe mindre bidrag fra utslipp og avrenning til Skienselva nedenfor Klosterfoss og til Frierfjorden. Også i dette perspektivet synes det som et utslipp på 180-365 tonn/år til Frierfjordens sjøvannslag vil være av mindre betydning.

I samme tidsrom tilførte Skienselva typisk 22000-23000 tonn/år av organisk stoff (som TOC). Variasjonene fra år til år var 1000-12000 tonn. Et framtidig utslipp fra ScanWafer vil være 130-400 tonn/år, men da regnet som KOF. Vi har ikke grunnlag for en direkte sammenligning av disse størrelsene, men utslippet fra ScanWafer synes relativt lite. Forventet virkning på oksygenforholdene i Frierfjorden blir vurdert nedenfor.

3.2.2 Utslipp av urensset avløpsvann

Utslippet av uorganisk suspendert materiale

I tidligere vurderinger (Molvær 2003, 2004) ble synkehastigheten for partiklene i avløpsvannet anslått ved bruk av Stokes lov. BioTek AS opplyser at det nå er funnet en metode å kjemisk utfelle de små partiklene i større fnokker som viser synkehastigheter opp mot 1-2m/t. Dette er 50-100x raskere sedimentering enn for de tidligere vurderingene.

Ved utslipp i 25 m dyp vil det fortynnede avløpsvannet oftest innlagres 5-10 m over bunnen på stedet (se **Figur 5** og **Figur 6**) før skyen begynner å bre seg horisontalt utover mens vannet fortynnes videre samtidig som partiklene begynner å synke. For storparten av Frierfjorden ligger bunnen betydelig dypere enn 25 m og legger vi synkehastigheter på 0.5-2 m/t og en horisontal hastighet på 2 cm/s til grunn får vi som følger (**Tabell 6**):

Tabell 6. Beregning av den tiden som partikler kan trenge for å synke hhv. 10 m, 20 m og 30 m – og den horisontale distansen som de samtidig forflytter seg med en antatt gjennomsnittlig strømhastighet på 2 cm/s.

Synkehastighet	Vertikalt 10 m	Vertikalt 20 m	Vertikalt 30 m
0.5 m/t	20 timer/1440 m	40 timer/2880 m	60 timer/4320 m
1 m/t	10 timer/720 m	20 timer/1440 m	30 timer/2160 m
2 m/t	5 timer/360 m	10 timer/720 m	15 timer/1080 m

En typisk oppholdstid for vannmassen hvor partiklene innlagres er 2-4 uker (Molvær og Stigebrandt, 1991) som viser at partiklene vil ha god tid til å sedimentere. Til sammenligning nevnes også at avstanden mellom utslippspunktet og terskelen på ca. 23 m dyp ved utløpet av Frierfjorden er nær 10 km. Partikler som følger med avløpsvannet og innlagres i 15-20 m dyp trenger dermed bare å synke 10-15 m før de er betydelig dypere enn terskelen og befinner seg i en vannmasse med langsomme vannbevegelser og uten direkte forbindelse med Breviksfjorden og Langesundsfjorden.

Forutsatt at synkehastigheter på 0.5-2 m/t er forholdsvis typisk for partikler i et framtidig utslipp, viser dette at storparten/en stor del av partiklene vil sedimentere i Frierfjorden. En del av de minste fraksjonene kan fortsatt unnslippe til fjordområdene utenfor Brevik og sedimentere der. Ved de tidligere vurderingene var det motsatte tilfelle.

Som tidligere vist vil partiklene i et framtidig utslipp av urensset avløpsvann utgjøre 1-4% av mengden SS som årlig tilføres Frierfjorden. Vi vet hvor stor andel av den samlede årlige tilførselen som sedimenterer i de dype områdene av Frierfjorden, men det er ikke grunn til å tro at den andelen fra bedriftens utslipp som sedimenterer innenfor Brevik vil ha noen betydning for Frierfjorden som helhet. For området utenfor Herøya kan utslippet utgjøre en større andel av sedimenterende partikler. Tatt i betraktning av at bunnsedimentene her er sterkt forurenset, vil en økt overdekking sannsynligvis ha en positiv miljøvirkning.

Hvorvidt en mindre økning i sedimentasjonen av mineralske partikler i Frierfjorden kan ha negativ virkning på bløtbunnsfaunaen er vanskelig å vurdere konkret uten å gå langt mer detaljert til verks, men det er lite sannsynlig. Grunnen er at undersøkelser har vist (bl.a. Rygg 2000, 2002) at det i hovedsak er oksygenforholdene som bestemmer livsvilkårene for bunnfaunaen i de dypere områdene av fjorden. I tillegg kommer virkninger av forurensningene i sedimentene.

Det kan reises spørsmål om konsentrasjonen av SS i skyen med fortynnet avløpsvann kan være så høy at det er til skade for fisk som oppholder seg i sjøvannslaget. Dette kan vurderes ut fra kriterier for skade på fisk og ut fra fortynningsberegningene. Det er publisert få studier av hvordan fisk påvirkes av uorganiske partikler i suspensjon. For ferskvannsfisk har den europeiske innlandsfiskekommisjonen (EIFAC 1965) foreslått grenseverdier for eksponering av suspenderte partikler (Alabaster & Lloyd 1982) og disse kan i hovedsak antas også å gjelde for marin fisk:

- <25 mg/l Ingen skadelige effekter
- 25-80 mg/l Noe redusert avkastning
- 80-400 mg/l Betydelig reduksjon i avkastning
- >400 mg/l Meget dårlig fiske

Hvis vi antar at sjøvannet i Frierfjordens mellomlag har et relativt høyt partikkelinnhold (1 mg/l) vil konsentrasjonen i skyen med fortynnet avløpsvann være lavere enn 10 mg/l allerede i en avstand på ca. 25 m fra utslippspunktet. I hovedsak oppnås dette allerede under primærfortynningen, dvs. omtrent rett over utslippet. Det kan likevel tenkes at fisk kanskje vil unnvike en slik vannmasse med relativt høyt partikkelinnhold. Unnvikelse vil ikke være vanskelig fordi utstrekningen av avløpsvannet med så høy konsentrasjon av SS bare vil være 10-20 m i lengde og i bredde. Tykkelsen av skyen kan være 2-3 m.

Imidlertid kan partiklene i utslippet være skarpkantede og kan dermed i større grad skade gjeller hos fisk enn mer runde partikler. Men utenfor vannmassen rett over utslippet vil konsentrasjonen av SS i dette tilfelle være så lav (1-3 mg/l) at negative virkninger er lite sannsynlig.

Organisk materiale

Nedbrytning av organisk materiale forbruker oksygen og avløpsvannets innhold av organisk materiale må derfor vurderes i forhold til oksygenkonsentrasjon og tilgang på oksygen i fjordens overflatelag. Fra tidligere undersøkelser av tilstanden i Grenlandsfjordene har NIVA tilgang på et stort antall oksygenmålinger, i første rekke fra dypvannet i fjordbassengene.

I et framtidig utslipp er det urensede avløpsvannet beregnet å ha en KOF-konsentrasjon på nær 500 mgO₂/l (**Tabell 4**). Beregningene med PLUMES viser at gjennomsnittlig primærfortynning blir ca.

130-150x, som betyr at et utslipp av 26 l/s (92 m³/t) umiddelbart fortynnes med 3400-3900 l sjøvann. Nedbrytningen av det organiske materialet i avløpsvannet går relativt langsomt og Bjørn Rydtun, BioTek, anslår at i størrelsesorden 50% nedbrytes de første to døgnene. Vi antar at avløpsvannet inneholder organisk materiale tilsvarende en KOF-verdi på ca. 500 mgO₂/l og at 15% av dette organisk materiale nedbrytes de første to timene (dvs. et teoretisk forbruk av ca. 75 mgO₂/l). I løpet av 1-2 timer har avløpsvannet forflyttet seg ca. 70-150 m (stadig antatt strømhastighet 2 cm/s) og gitt en konstant koeffisient for turbulent blanding er fortyningen beregnet til 150-400x (se også **Figur 5** og **Figur 6**), dvs. 1 liter avløpsvann blir blandet med 150-400 l sjøvann. Sjøvannet i 12-20 m dyp (som fortynningsvannet hentes fra) har en typisk oksygenkonsentrasjon på ca. 5-8 mgO₂/l, og ved 150-400x fortykning tilføres skyen med avløpsvann dermed 750- 3000 mgO₂. Et oksygenforbruk på 75 mgO₂ har i denne sammenheng meget liten betydning. Vi minner dessuten om at beregningen er gjort med en konstant koeffisient for den turbulente blandingen, som sannsynligvis medfører at den beregnede fortyningen er noe for lav og at tilførselen av oksygenrikt sjøvann dermed er større.

Det skal understrekes at selv om forholdene kan variere mye og at det er gjort flere forutsetninger, så er dette en vurdering som gir en stor margin i forhold til negative effekter. Det vil fortsatt være de store trekkene i fjordens vannutskiftning og oksygenbalanse som bestemmer oksygenforholdene i vannmassene i 10-20 m dyp utenfor Herøya og i Frierfjorden.

3.2.3 Utslipp av rensset avløpsvann

Størrelsen av et framtidig utslipp av rensset avløpsvann er vist i **Tabell 1**. I forhold til et utslipp av urensset avløpsvann som er vurdert ovenfor, vil utslippet av SS og organisk stoff (som KOF) utgjøre hhv. ca. 50% og ca. 33%. I forhold til vurderingen av miljøvirkningene ved utslipp av urensset avløpsvann blir virkningen ved rensset avløpsvann mellom en halvpart og en tredjedel, dvs. langt mindre.

4. Litteratur

- Alabaster J.S. and Lloyd, R., 1982. Water quality criteria for freshwater fish. Butterwords publ., London.
- Bjerkeng, B. og Lesjø, Å., 1973: Mixing of a jet into a stratified environment. PRA. 5.7. NIVA-rapport O-126/73. Oslo.
- EIFAC, 1965. Working party on water quality criteria for European freshwater fish. Report on finely divided soils and inland fisheries. (EIFAC technical paper no. 1). Air and Water Pollution. 9: 151-168.
- Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J, Baumgartner, D.J. and George, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.
- Hessen, D.A., 1992. Uorganiske partikler i vann; effekter på fisk og dyreplankton. NIVA-rapport 2787, 42 snider.
- Holtan, G., D. Berge, H. Holtan and T. Hopen, 1998. Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1997. A. Principles, results and discussion. B. Data report. SFT-report 750/98. NIVA-report 3952-98. 139 sider.

Holtan, G., Berge, D., and Hopen, T., 1999. Oslo and Paris Commissions (OSPAR). Annual report on direct and riverine inputs to Norwegian coastal waters during the year 1998. A. Principles, results and discussions. B. Data Report. SFT report TA 780/99. Oslo.

Liseth, P. og Haslerud, B., 1976. Utslipp av avløpsvann fra $MgCl_2$ -lutanlegg og SO_2 -gassvaskeanlegg på Herøya. I/S Miljøplan. Oslo. 38 sider + vedlegg.

Molvær, J., 2003. Vurdering av miljøvirkninger ved utslipp til Frierfjorden fra ScanWafer ASA. NIVA-rapport nr. 4726-2003. Oslo. 21 sider.

Molvær, J., 2004. Teknisk og miljømessig vurdering av utslipp til Frierfjorden fra ScanWafer ASA, Porsgrunn. NIVA-rapport nr. 4793-2004. 22 sider.

Molvær, J. og Stigebrandt, A., 1991: Undersøkelse av eutrofiering i Grenlandsfjordene 1988-89. Delrapport 3. Vannutskiftning i fjordene. Overvåkingsrapport nr. 450/91. NIVA-rapport nr. 2588. Oslo/Gøteborg. 43 sider.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn, Veiledning 97:03. 36 sider.

Rygg, B., 2000. Overvåking av Grenlandsfjordene. Bløtbunnsfauna i Frierfjorden i mai 1998. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 791/2000. 18 s. NIVA-rapport 4204-2000. 18 sider.

Rygg, B., 2002. Bløtbunnsfauna i Frierfjorden etter fem år med stagnant dypvann. Undersøkelser våren 2001. NIVA-rapport 4522-2002. 20 sider.

Weideborg, M., Vik, E.A., Thoresen, H., Stang, P., Kelley, A. og Nedland, K.T., 2001a. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters – 1999. OSPAR Commission. A: Principles, results and discussions. SFT report TA-1793/2001. Oslo.

Weideborg, M., Vik, E.A., Stang, P. og Storhaug, R., 2001b. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters – 2000. OSPAR Commission. A: Principles, results and discussions. SFT report TA-1852/2001. Oslo.

Weideborg, M., Vik, E.A., Stang, P. og Lyngstad, E., 2002. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters – 2001. OSPAR Commission. A: Principles, results and discussions. SFT report TA-1914/2003. Oslo.

Weideborg, M., Vik, E.A., og Lyngstad, E., 2003. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters – 2002. OSPAR Commission. A: Principles, results and discussions. SFT report TA-1998/2004. Oslo.

.

Vedlegg A.

PROFILE	STATION	REGTIME	NO. OF DEPTHS	
1	BC1	740312	12	7
2	BC1	740424	12	7
3	BC1	740521	12	6
4	BC1	740620	12	6
5	BC1	740718	12	6
6	BC1	740815	12	6
7	BC1	740924	12	6
8	BC1	741022	12	6
9	BC1	741120	12	6
10	BC1	741210	12	6
11	BC1	750114	12	6
12	BC1	750213	12	6
13	BC1	750317	12	6
14	BC1	750423	12	6
15	BC1	750514	12	6
16	BC1	750610	12	6
17	BC1	750730	12	6
18	BC1	750916	12	7
19	BC1	751029	12	7
20	BC1	751216	12	7
21	BC1	760203	12	7
22	BC1	760316	12	6
23	BC1	760428	12	7
24	BC1	760609	12	7
25	BC1	760728	12	6
26	BC1	760908	12	7
27	BC1	761020	12	7
28	BC1	761207	12	7
29	BC1	770216	12	7
30	BC1	770509	12	7
31	BC1	770728	12	7
32	BC1	771130	12	7
33	BC1	780307	12	7
34	BC1	780530	12	7
35	BC1	780809	12	7
36	BC1	781122	12	7
37	BC1	790313	12	7
38	BC1	790620	12	7
39	BC1	790822	12	7
40	BC1	791128	12	7
41	BC1	800320	12	7
42	BC1	800529	12	7
43	BC1	800826	12	7
44	BC1	801118	12	7
45	BC1	810212	12	7
46	BC1	810304	12	7
48	BC1	810818	12	7
49	BC1	811215	12	7
50	BC1	820324	12	7
51	BC1	820511	12	7
52	BC1	820826	12	7
53	BC1	821102	12	7
54	BC1	821207	12	7
55	BC1	830502	12	7
56	BC1	831128	12	7
57	BC1	840504	12	7
58	BC1	841119	12	7
59	BC1	861021	12	7
60	BC1	871012	12	6
61	BC1	871201	12	6
62	BC1	880324	12	14
63	BC1	880526	12	17
64	BC1	880615	12	14
65	BC1	880714	12	16
66	BC1	880810	12	14
67	BC1	881007	12	16