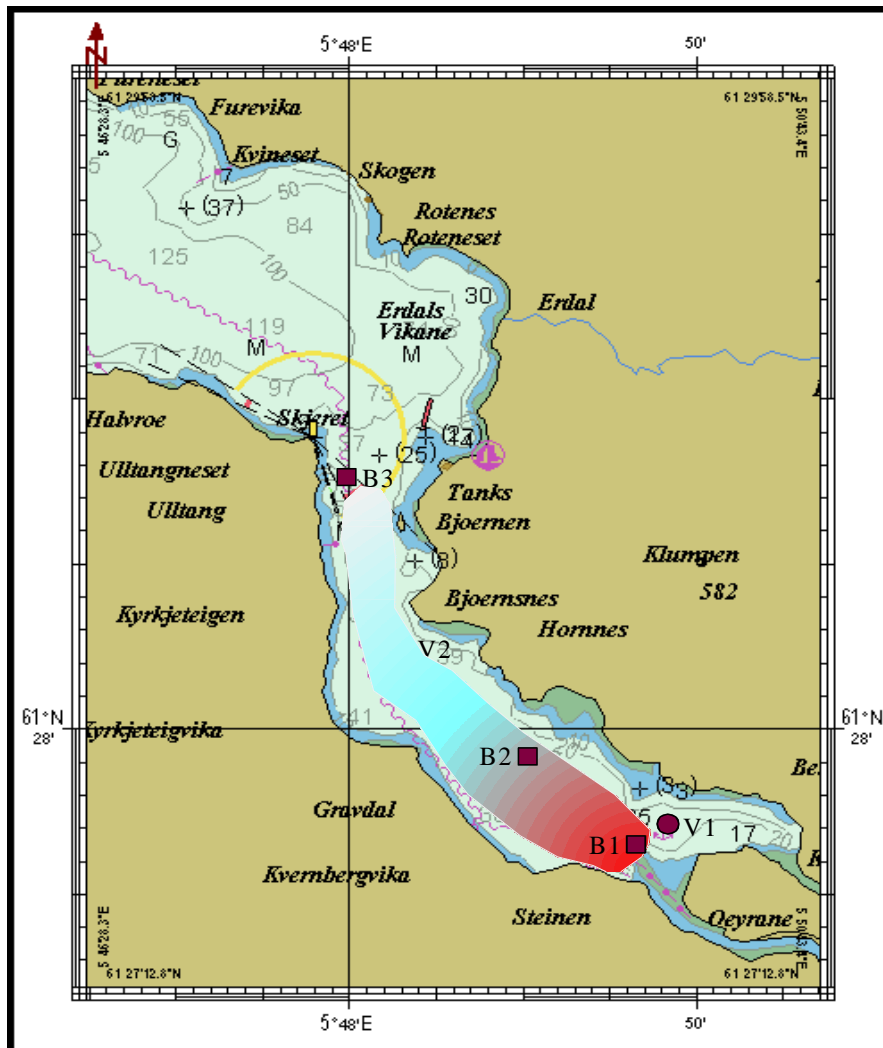


Vurdering av rensing eller flytting av kommunalt utslipp til indre del av Førdefjorden



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 Vurdering av rensing eller flytting av kommunalt utslipp til indre del av Førdefjorden	Løpenr. (for bestilling) 4844-2004	Dato 14.5 2004
	Prosjektnr. Undernr. 24089	Sider Pris 30
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Sogn og Fjordane	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Førde kommune, Postboks 101, 6801 Førde	Oppdragsreferanse
---	-------------------

Sammendrag

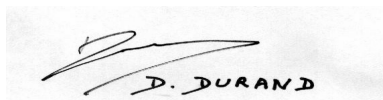
Hovedproblemet er at dagens utslipp av partikulært organisk materiale medfører stor sedimentasjon og stor belastning på bløtbunnsfaunaen i fjordbassengets indre del. Oksygenforholdene er vanskelig å bedømme med det foreliggende datamaterialet, men samlet sett ser det ikke ut til å være alvorlige oksygenproblemer i bassenget. Det bør gjøres en ny undersøkelse av oksygenforholdene.

Det viktigste tiltaket er å redusere utslippet av partikulært organisk materiale. Beregninger tyder for øvrig ikke på at rensing mht. næringssalter vil endre oksygenforholdene i dypvannet. Utslippet ligger ved en elvemunning og for å unngå at (sterkt fortynnet) avløpsvann iblant blandes inn i overflatelaget bør utslippet flyttes til ca. 35 m dyp, om nødvendig med bruk av en diffusor. Flytting av utslippet til området utenfor Ulltangneset kan være en meget god løsning, men vi har ikke hatt tilgang til data som gir grunnlag for å vurdere hvor utslippet da bør plasseres.


<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Førde 2. Kommunalt avløpsvann 3. Utslipp 4. Miljøvirkning 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Førde 2. Municipal waste water 3. Outfall 4. Environmental effects
--	---



Prosjektleder



Forskningsleder



Forskningsdirektør

O-24089

**Vurdering av rensing eller flytting av kommunalt
utslipp til indre del av Førdefjorden**

Forord

Den foreliggende rapporten er utarbeidet for Førde kommune i samsvar med kontrakt av 19.3 2004. Ved gjennomføringen av arbeidet har den daglige kontakten vært mot ISIS Asplan Viak AS, 6863 Leikanger, og Tobias Dahle takkes for godt samarbeid.

Ved NIVA har arbeidet blitt ledet av Jarle Molvær.

Oslo, 14. mai 2004

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
1.1 Bakgrunn og Formål	7
1.2 Beskrivelse av områdets topografi	9
1.3 Tilstand	10
2. Metodikk og data	12
2.1 Metodikk	12
2.2 Datamaterialet	12
3. Resultater	13
3.1 Tilførsler av næringssalter og organisk stoff	13
Vurdering av nåværende utslipp og virkninger	15
3.1.1 Dyputslippet av kommunalt avløpsvann	15
3.1.2 Vurderinger ved bruk av modellen FjordEnv	18
3.1.3 Vurdering av alternative utslippsdyp og utslippsmengder	19
4. Oppsummering og konklusjoner	25
5. Litteratur	26
Vedlegg A.	27
Vedlegg B. Beregninger ved bruk av modellen FjordEnv	28

Sammendrag

Førdefjordens indre del er et basseng der største dyp er 53 m og med en terskel på 37 m dyp ved Ulltangneset. Undersøkelser av miljøforholdene har konkludert med at der er en betydelig organisk belastning i sedimentet i indre del av fjordbassenget, hvor også bløtbunnsfaunaen klassifiseres som *Meget dårlig-Mindre god*. På den ytterste og dypestliggende stasjonen innenfor Ulltangneset kunne faunaen betraktes som uforstyrret. Tilstanden ble sett i sammenheng med utslipp av kommunalt avløpsvann til fjordbassengets innerste del.

Formålet med det foreliggende prosjektet har vært å:

Gjennomføre beregninger og vurderinger av nytteverdien av ulike tiltak som reduserer utslippet av kommunalt avløpsvann til det indre fjordbassenget – sett i forhold til den bedringen av bunnfaunaen og oksygenforholdene i bassengvannet som tiltakene kan gi.

Det gjøres ikke noen bred eller formell vurdering av utslippet i forhold til de kravene som stilles i EUs Avløpsdirektiv.

I dette prosjektet er tilstanden sett i forhold til forventet tilstand i et terskelbasseng som det man har utenfor Førde, og i forhold til ulike tiltak som kan bedre tilstanden hos bunnfaunaen og oksygenforholdene i bassenget. Konklusjonene er gitt punktvis nedenfor:

1. Hovedproblemet synes å være at dagens utslipp av kommunalt avløpsvann tilfører fjordbassengets indre del en stor mengde av partikulært organisk materiale. En betydelig andel av partiklene sedimenterer omkring utslippet og påfører bunnfaunaen stor skade. Videre utover fjorden er belastningen av organisk materiale mye mindre og virkningen på bunnfaunaen avtar tilsvarende.
2. Datamaterialet fra undersøkelsen i 1999-2000 gir ikke noe godt grunnlag for å bedømme oksygenforholdene i bassengvannet, men ”summen” av resultatene – fra de vannkjemiske undersøkelsene, fra bunnfaunaen og fra modellkjøringer – tyder ikke på alvorlige oksygenproblemer. Men det er godt mulig at forholdene tilsvarer tilstandsklasse Mindre God/Dårlig. Det bør gjøres en ny undersøkelse av oksygenforholdene i bassenget.
3. Det tiltaket som synes å gi størst kost/nytte effekt for å bedre tilstanden i fjordbassenget er å redusere utslippet av partikulært organisk materiale for dermed å redusere belastningen på bunnsedimenter og bunnfauna i fjordens indre del. Hvorvidt et siktemål også skal være å redusere oksygenforbruket – og dermed heve oksygenkonsentrasjonen i vannmassen – har vi ikke datagrunnlag for å si noe sikkert om. Men en viss forbedring vil uansett skje hvis utslippet av partikulært organisk materiale reduseres.
4. Modellkjøringer tyder ikke på at rensing mht. næringssalter vil ha noen betydning for oksygenforholdene i fjordbassenget.
5. Utslippet ligger utenfor munningen av Jølstra og i perioder med svak vertikal sjiktning kan noe avløpsvann – sterkt fortennet – bli innblandet i fjordens overflatelag. Et avbøtende tiltak vil være å flytte utslippet av avløpsvannet til ca. 35 m dyp, og eventuelt knytte til en diffusor. Det vil gi dypere innlagring av avløpsvannet og vil helt kunne fjerne påvirkningen på overflatelaget – forutsatt at flytestoffer fjernes fra avløpsvannet.
6. Flytting av utslippet til området utenfor fjordterskelen vil være en god løsning forutsatt at utslippet kan plasseres slik at avløpsvannet ikke (delvis) transporteres tilbake til fjordbassenget med inngående strøm.

Summary

Title: An evaluation of further treatment or change of outfall location for municipal sewage to inner part of the Førdefjord

Year: 2004

Author: Jarle Molvær

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4527-8

The inner part of Førdefjord has a maximum depth of 53 m inside a sill with 37 m depth. Previous studies have shown a significant organic load on the bottom sediments and fauna in the innermost part of this fjord basin, due to a combined outfall of municipal and industrial sewage.

The purpose of this study has been to carry out calculations and evaluations of various measures which will reduce the organic load on the basin, compared to expected improvement in soft bottom fauna and oxygen concentrations.

1. The present outfall creates a heavy sedimentation of organic particles near the outfall. Further away and in the deepest part of the fjord basin the biological conditions are good. This indicates that the problem is primarily created by too low efficiency in mechanical treatment plant. The removal efficiency for organic particles of the treatment plant should therefore be improved.
2. To minimize any effects in the fjord surface layer, the outfall should be moved from the present 25 m depth to approximately 35 m depth.
3. Moving the outfall to the area outside the fjord sill is a good solution, but lack of data prevents any further evaluation of this scenario.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn og Formål

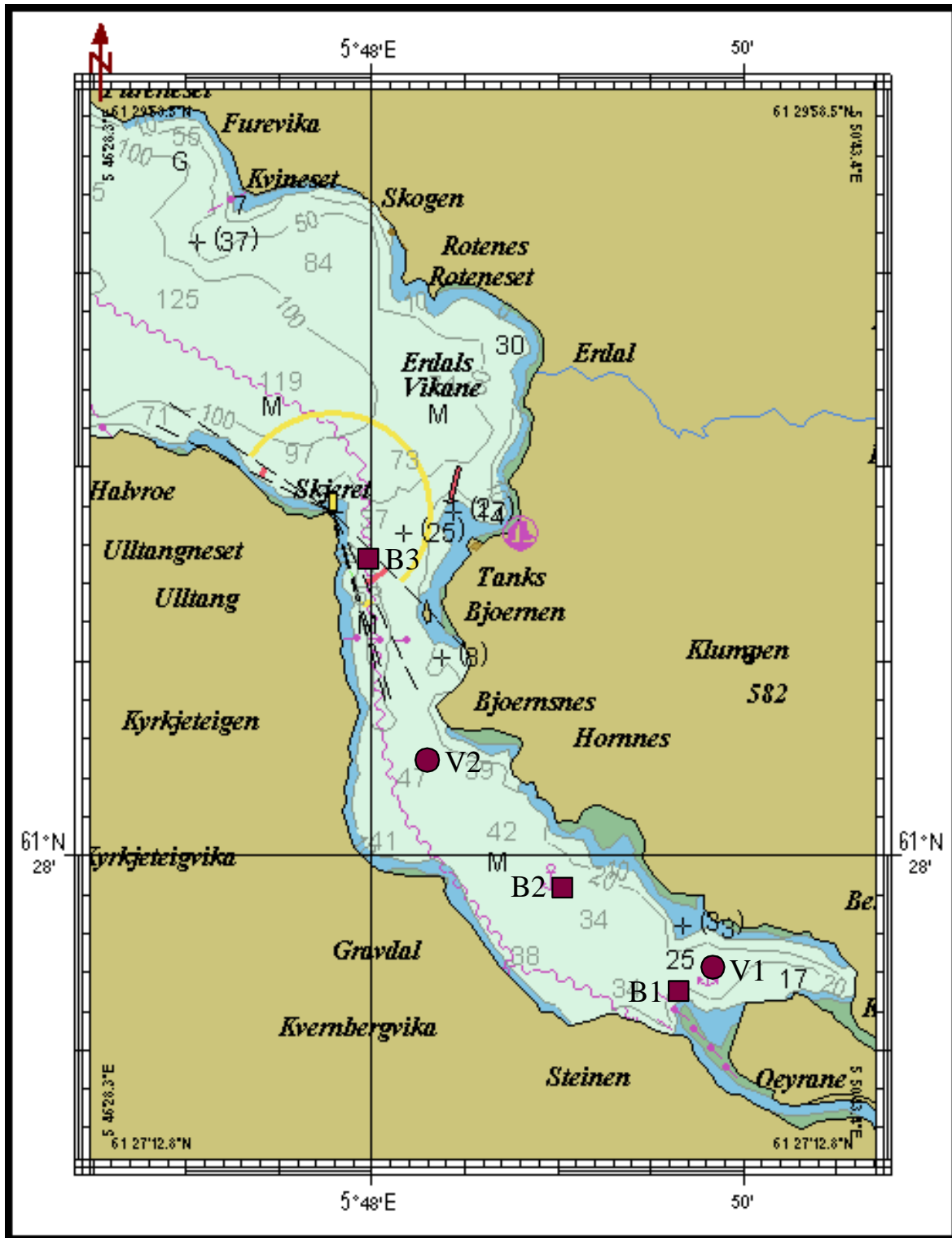
Førdefjorden er ca. 40 km lang, og er oppdelt i flere bassenger. Største dyp er 416 m. Dette prosjektet skal fokusere på det innerste bassenget der terskelen er 37 m dyp med ca. 53 m som maksimalt dyp i bassenget innenfor. Her ligger kommunens hovedutslipp for kommunalt avløpsvann (ca. 10.000-15.000 PE) fra bosetning og næringsvirksomhet. Avløpsvannet blir maskinrenset på rist med spalteåpning 6 mm. Avløpsledningen munner ut i ca. 25 m dyp utenfor Øyrane (**Figur 1**).

Der er utført flere resipientundersøkelser i fjordområdet (Østlandskonsult 1991, DNV 1992 og DNV 2001). Posisjonene for de vannkjemiske og biologiske stasjonene i 1999-2000 undersøkelsen er vist på **Figur 1**. Denne siste undersøkelsen konkluderte med at der er en betydelig miljøpåvirkning fra kommunale avløp i det innerste fjordbassenget. Kommunen har deretter hatt en dialog med Fylkesmannens miljøvernavdeling om kravet til rensing av det kommunale avløpsvannet, sett i forhold til de krav som Avløpsdirektivet setter. Dette gjelder ulike grad av rensing og evt. flytting av hele utslippet ut av det indre bassenget.

Prosjektets primære formål er dermed:

Gjennomføre beregninger og vurderinger av nytteverdien av ulike tiltak som reduserer utslippet av kommunalt avløpsvann til det indre fjordbassenget – sett i forhold til den bedringen av bunnfaunaen og oksygenforholdene i bassengvannet som tiltakene kan gi.

Prosjektet omfatter ikke noen formell vurdering av utslippet i forhold til de kravene som stilles i EUs Avløpsdirektiv.



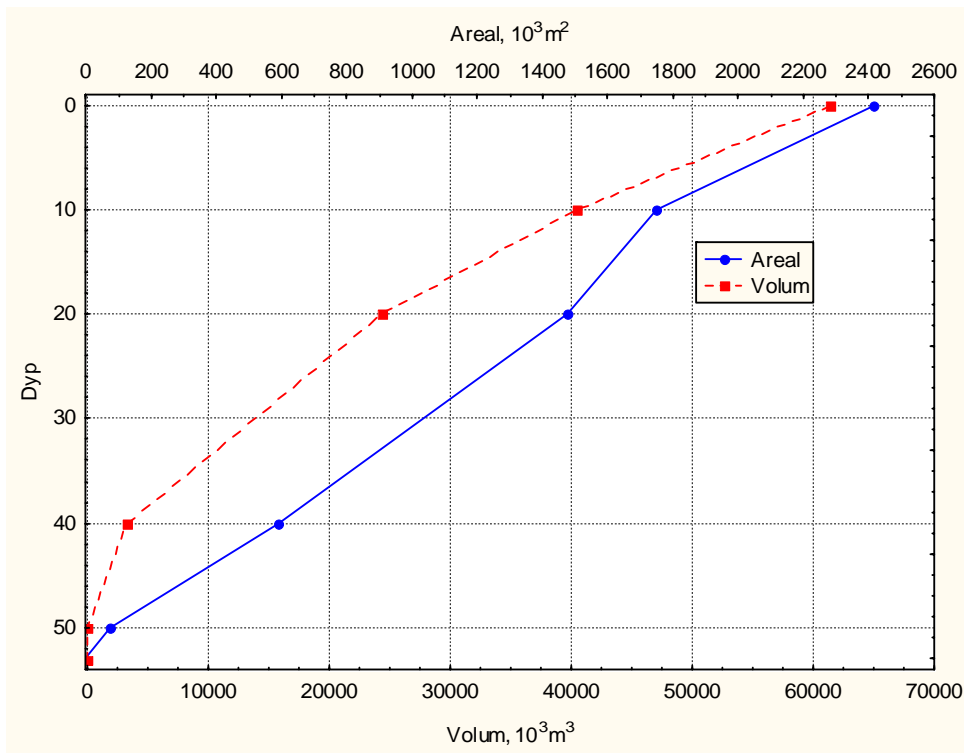
Figur 1. Indre del av Førdefjorden. Posisjonen for vannkjemiske stasjoner i 1999-2000 undersøkelsen er vist med fylte sirkler (V1 og V2) mens de biologiske stasjonene er merket med fylte firkanter (B1, B2 og B3).

1.2 Beskrivelse av områdets topografi

Arealer og volumer for bassenget innenfor Ulltangneset er vist i **Tabell 1** og **Figur 2**. Fjordarealet er ca. 2.4 km^2 og det samlede volumet er ca. $61 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Vannmassen under terskeldypet utgjør ca. 10 % av den totale vannmassen innenfor terskelen. For vurderingene av konsekvensene av oksygenproblem i bassengvannet er det relevant å vurdere påvirkede arealer og volumer i forhold til fjordens samlede bunnareal og volum.

Tabell 1. Arealer og volumer innenfor Ulltangneset.

Overflateareal	2.4 km^2
Volum	$61 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Største dyp	53 m
Terskeldyp	37 m
Volum over terskeldyp	$55 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Volum under terskeldyp	ca. $6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$



Figur 2. Fjordområdet innenfor Ulltangneset. Beskrivelse av arealer og volumer som funksjon av dypet. Merk at volumet henviser til vannvolumet under det aktuelle dypet.

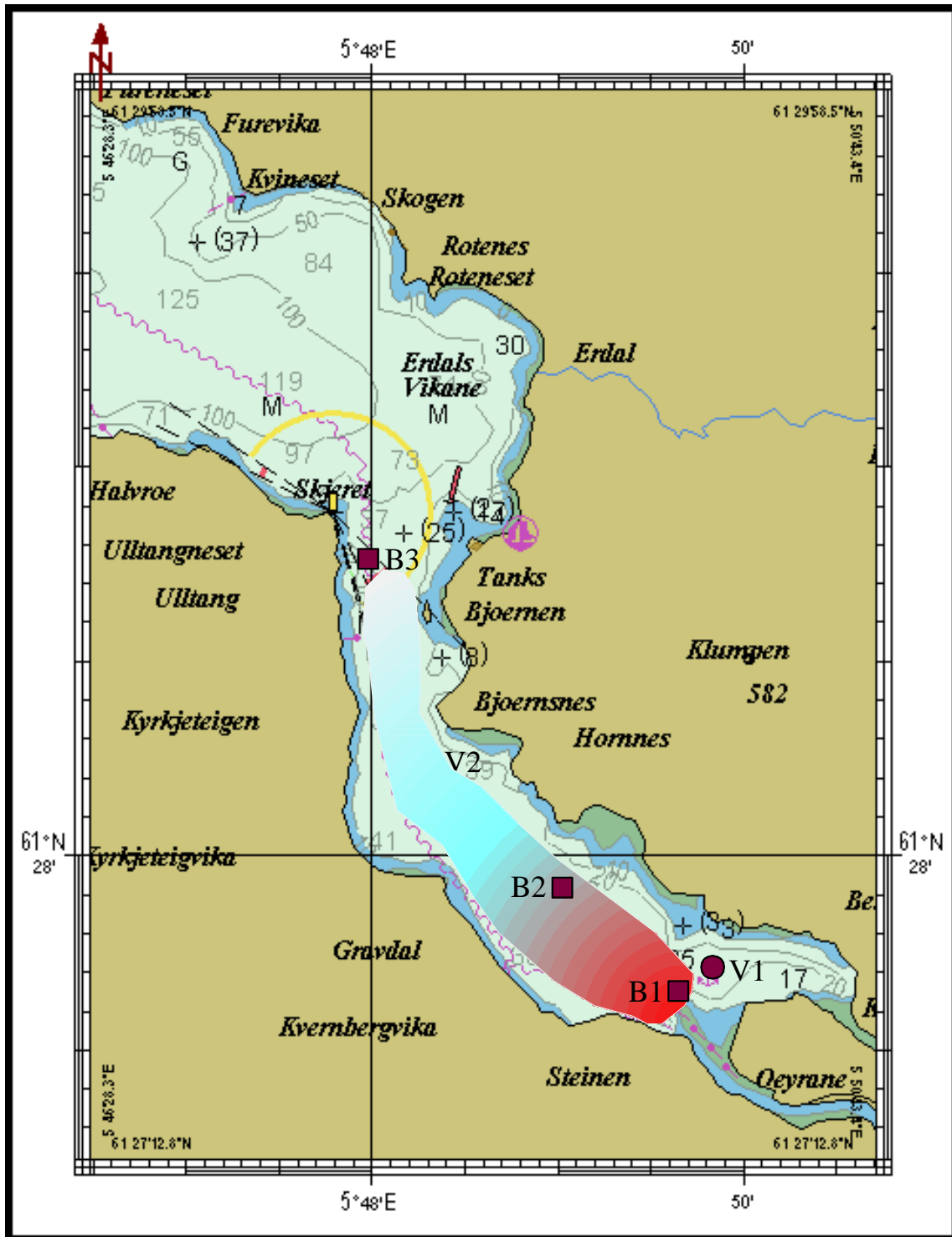
1.3 Tilstand

Der er utført flere resipientundersøkelser i fjordområdet (Østlandskonsult 1991, DnV 1992 og DnV 2001). Den siste undersøkelsen konkluderte med at

- Der er en betydelig organisk belastning i sedimentet i indre del av Førdefjorden (stasjonene B1 og B2, se **Figur 1**).
- Bløtbunnsamfunnet viste en gradient, der tilstanden på den innerste stasjonen (B1) var *Dårlig/Meget dårlig*, på den midtre (B2) var tilstanden *Mindre god* og på den ytterste stasjonen innenfor Ulltangneset (B3) kunne faunaen betraktes som uforstyrret. Resultatene fra den midtre stasjonen tydet på en negativ utvikling fra 1992 til 1999.
- Vannkvaliteten ble betegnet som *Meget god/God* mht. nitrogen/nitrat. Nivåene av fosfor/fosfat var vanskeligere å bedømme, men tilsvarte stort sett tilstandsklasse III, *Mindre god*.

Målingene av oksygen ble i 1999-2000 (DnV 2001) gjennomført med bruk av to ulike metoder, og resultatene viste svært ulike resultat. I prosjektrapportens Appendiks D velger man å stole mer på målingene fra sonden SeaCat Profiler enn vannprøvene som er analysert etter Winklermetoden. På den annen side viser også sondemålingene enkelte uventede resultater (jfr. resultatene fra 10.7.00, se f.eks. figur 4.6 i DnV (2001)), og uten flere opplysninger om hvordan målingene er utført er det vanskelig å bedømme hvor godt resultatene stemmer med tilstanden. For vår vurdering vil vi derfor legge mest vekt på resultatene fra undersøkelsen av bløtbunnsfaunaen, som tyder på perioder med mindre gode eller kanskje dårlige oksygenforhold.

Inntrykket er at den reduserte bløtbunnsfaunaen i fjordens indre del ikke skyldes oksygenproblem i vannsøylen, men hovedsaklig skyldes stor sedimentasjon av partikulært organisk materiale i nærheten av utslippet av kommunalt avløpsvann og Jølstras munning (se DnV-rapport fra 1999-2000 undersøkelsen, side 9). Denne belastningen medfører både oksygenproblem i sedimentene og skader bunnsfaunaen. Dette er forsøkt illustrert i **Figur 3** som viser avtakende påvirkning med økende avstand fra utslippet/Jølstra. Merk at bunn dyptet øker i samme retning slik at det ikke er noen tydelig sammenheng mellom hvor dypt den biologiske stasjonen ligger i forhold til fjordterskelen og tilstanden på den stasjonen. En slik sammenheng er derimot vanlig i fjordbasseng der oksygenproblemet utvikler seg i de dypeste delene og brer seg oppover i vannmassen i perioder med dårlig vannutskiftning.



Figur 3. Illustrasjon av hvordan tilførsel av organisk materiale fra utslippet av kommunalt avløpsvann og sannsynligvis også fra Jølstra påvirker bunnfaunaen i det indre bassenget. Stasjoner hvor faunaen er undersøkt (B1, B2 og B3) vises som mørke firkanter. Rød farge viser markert forurensning.

2. Metodikk og data

2.1 Metodikk

I det følgende vil vi gå trinnvis fram:

2. Oppstille et enkelt stoffbudsjett for tilførsel av næringssalter og organisk stoff fra land til Førdefjordens indre del. Dette vil gi en oversikt over den samlede tilførselen og den relative størrelsen av de enkelte kildene (kommunalt avløp, industriutslipp, jordbruk, bakgrunnsavrenning).
3. Gjennomgå og vurdere resultatene fra fjordundersøkelsene i 1999-2000.
4. Beregne innlagingsdyp og fortykning for dagens utslipp av kommunalt avløpsvann. Her brukes modellen PLUMES (Frick et al., 2001)
5. Bruke modellen FjordEnv (tidligere kalt "Fjordmiljø", se Stigebrandt 2001) for å få en oppfatning av vannsirkulasjon i de øverste 10 m i fjorden (den estuarine sirkulasjonen) samt oppholdstid og oksygenforhold i bassengvannet. Sammen med pkt. 1-3 vil dette gi et grunnlag for å vurdere hvordan dagens utslipp av kommunalt avløpsvann påvirker tilstanden.
6. Ved å bruke
 - PLUMES for å beregne innlagingsdyp og fortykning for alternative utslippsdyp/utslippssted for det kommunale avløpsvannet, og
 - FjordEnv for alternativer mht. utslippsmengdervil vi vurdere hva som kan oppnås ved flytting av utslippet eller ved ytterlige rensing av avløpsvannet.

2.2 Datamaterialet

Tilførsler av næringssalter og organisk stoff

Utslippstall: fra Førde/ISIS og ellers fra PARCOM-rapporter om Jølstra (Weideborg et al. 2001a,b og 2002).

Hydrografiske forhold

Her støtter vi oss til resultatene fra undersøkelsen i 1999-2000 da vertikalprofiler for temperatur og saltholdighet ble målt på stasjonene V1 og V2 ved 12 tidspunkt (DnV 2001). Tidspunktene er vist i Vedlegg A. Vi anser målingene fra stasjon V2 som mest representative, også fordi disse er utført ned til ca. 40 m dyp.

Vannkvalitet (næringssalter i overflatelaget og oksygen i dypvannet)

Her støtter vi oss til resultatene fra undersøkelsen i 1999-2000 (DnV 2001). Som tidligere nevnt er det usikkert hvor godt oksygenmålingene beskriver tilstanden.

Biologiske forhold bløtbunn

Her støtter vi oss til resultatene fra undersøkelsen i 1999-2000 (DnV 2001).

3. Resultater

3.1 Tilførsler av næringsalter og organisk stoff

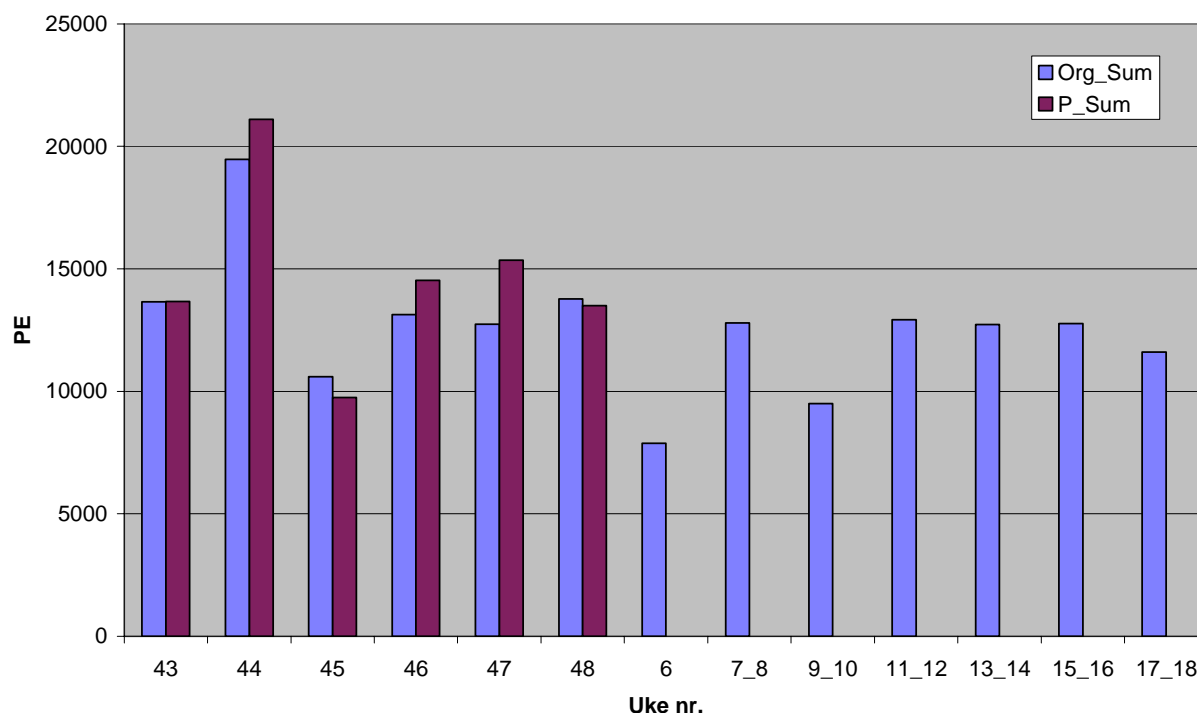
Et komplett stoffbudsjett for et fjordområde må inneholde bidragene fra minst 4 hovedkategorier og flere underkategorier:

1. Tilførsler fra land:
 - a. kommunalt avløpsvann
 - b. industriutslipp
 - c. jordbruk
 - d. bakgrunnsavrenning fra skog og utmark
2. Utslipp rett til vannmassene fra:
 - a. akvakultur
 - b. båttrafikk
3. Nedbør på vannoverflata
4. Vannutveksling med nærliggende områder (transboundary load)

Størrelsen av de fleste av disse tilførslene varierer med tiden (i mindre grad 1a og 1b) og det er vanskelig å oppstille komplette budsjetter. Den oppgava ligger utenfor ramma for prosjektet. Men for Førdefjordens indre del vil vi anta at kommunalt avløpsvann omfatter bidragene fra pkt. 1a-b, mens Jølstra i stor grad omfatter pkt. 1c-d. Pkt. 2-3 vil anta vi er små og vi ser bort fra disse bidragene. Pkt. 4 kan utgjøre en vesentlig del av et stoffbudsjett og kan beregnes hvis man kan kvantifisere vannutskiftningen mellom det indre fjordbassenget og fjordområdet utenfor, og kjenner næringssaltkonsentrasjonen i vannmassene som derigjennom bringes inn i det innerste bassenget. I det etterfølgende vil vi se på bidragene som omfattes av pkt. 1.

Utslipet av kommunalt avløpsvann utgjør 10000-15000 PE. Regner man at 1 PE tilsvarer 1 personekvivalent (pe) og at 1 pe tilsvarer 12 gN/dag og 1.6 gP/dag, vil utslippet årlig tilføre fjorden 60-100 tonn nitrogen og 8-12 tonn fosfor. Som **Figur 4** viser vil variasjonene være store. Det er verdt å merke seg at avløpsvannet slippes ut i 25 m dyp og innlagres i sjøvannslaget. Påvirkningen av overflatelaget vil være svært liten.

Jølstra står for det andre store bidraget, og vi har to datakilder for beregning av dette. Som en del av norsk rapportering av tilførsler av forurensende stoffer til Nordsjøen blir det også tatt prøver i Jølstra og årstilførselen blir beregnet. Beregningene er gjort på grunnlag av få målinger og kan bare brukes som illustrasjon av en størrelsesorden (**Tabell 2**).



Figur 4. Ukeutslipp av fosfor og organisk stoff fra kommunalt avløpsvann i 2003-2004, beregnet som PE (kilde: ISIS).

Tabell 2. Beregnet tilførsel av fosfor og nitrogen fra Jølstra i 1999, 2000 og 2001 (Kilde: Weideborg et al. 2001a, 2001b og 2002).

År	Vannføring (m ³ /s)	Total fosfor (tonn)	Total nitrogen (tonn)
1999	67	9,4	317
2000	58	1,5	263
2001	52	13,4	370
Gjennomsnitt	59	8	317

I tidsrommet 1992-2003 har vannkvaliteten i Jølstra vært overvåket og resultatene er rapportert i Hyllestad (2003). Bruker vi dataene for 2000-2003, beregner middelverdien for konsentrasjonen av total fosfor og total nitrogen, og deretter multipliserer disse gjennomsnittsverdiene med gjennomsnittlig vannføring (her antatt 50 m³/s), kan vi helt grovt anslå årsbidraget fra Jølstra til å være 7-8 tonn fosfor og 350-400 tonn nitrogen. Dette stemmer bra med tilførselstallene i **Tabell 2**. Til forskjell fra utslippet av kommunalt avløpsvann tilføres dette fjordens overflatelag.

DnV (2001) beregnet forholdet mellom nitrogen og fosfor (N/P-forholdet) i fjordens overflatelag og fant at vinterstid varierte det mellom ca. 8 og 20, mot ca. 7-27 sommerstid. Når NP-forholdet er betydelig større enn 7 indikerer dette at fosfor kan være begrensende for algeveksten. Verdier godt under 7 indikerer et nitrogenbegrenset system. Resultatene tydet dermed på at underskudd på fosfat sommerstid til tider kan begrense veksten av planteplankton i overflatelaget.

Næringsalkonsentrasjonen i overflatelaget er imidlertid hovedsakelig bestemt av tilførselen fra Jølstra og i mindre/liten grad av næringsalter som tilføres gjennom det kommunale dyputslippet.

Vurdering av nåværende utslipp og virkninger

3.1.1 Dyputslippet av kommunalt avløpsvann

Avløpsvannet har i praksis samme egenvekt som ferskvann og er dermed lettere enn sjøvann. Når avløpsvannet slippes ut gjennom en ledning på dypt vann vil det derfor begynne å stige opp mot overflata samtidig som det blander seg med det omkringliggende sjøvannet. Når 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 5**). Blandingsvannmassen har ikke lenger noen "positiv oppdrift", men dens vertikale bevegelsesenergi gjør imidlertid at den stiger noe forbi dette "likevektsdypet" for så å synke tilbake og innlagres.

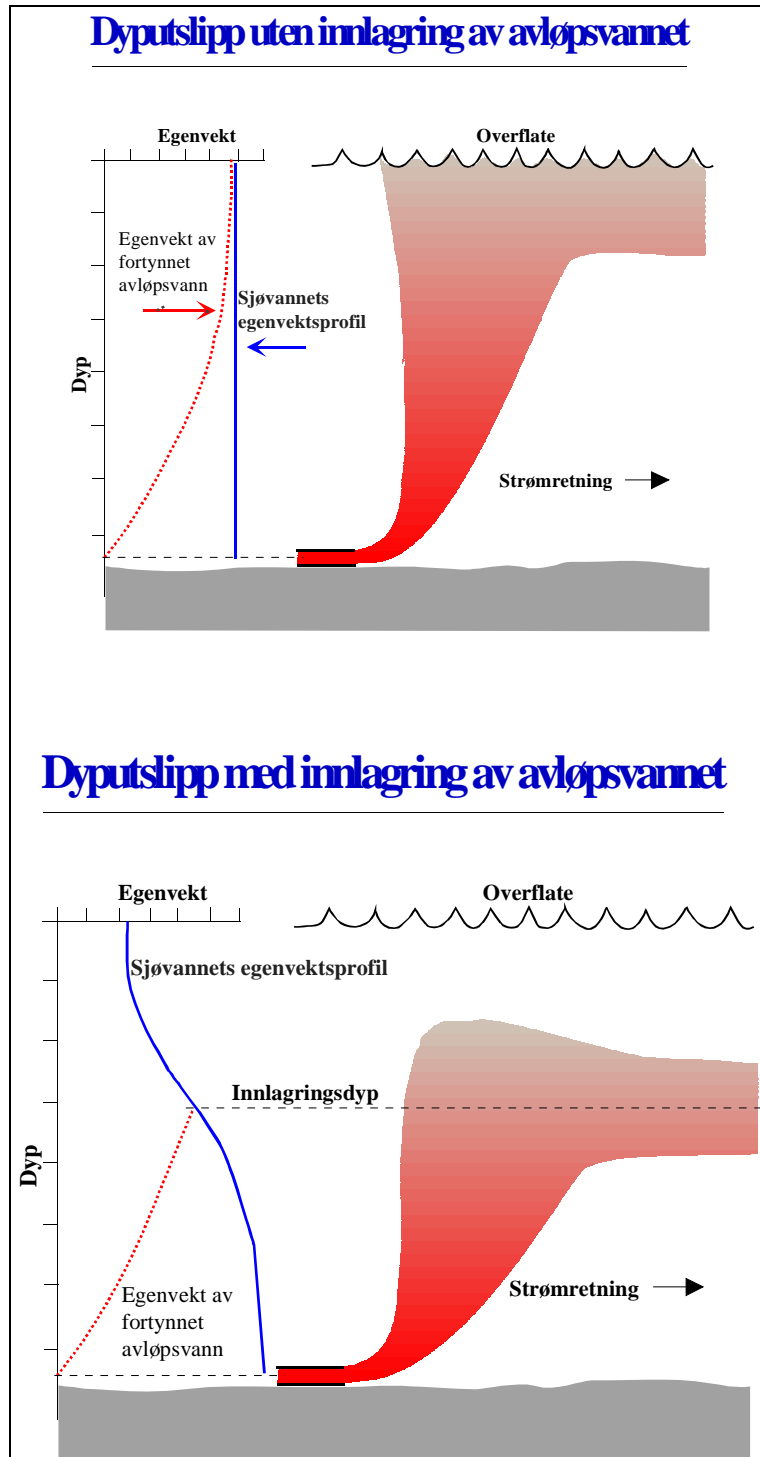
For beregning av innlagringsdyp og fortykning bruker vi den numeriske modellen Visual PLUMES utviklet av U.S. EPA (Frick et al. 2001). Nødvendige opplysninger for modellsimuleringene er vannmengde, dyp og diameter for utslippsrøret samt strømhastigheten i resipienten. Dette er sammenfattet i **Tabell 3**. Ved å inkludere disse i modellsimuleringene kan konsentrasjon av de ulike komponentene i gitte avstander fra utslippspunktet beregnes, og influensområdet kvantifiseres.

For beregningene har vi brukt 12 vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet målt på stasjon V2 under de undersøkelsene som DnV gjennomførte i 1999-2000 (DnV, 2001).

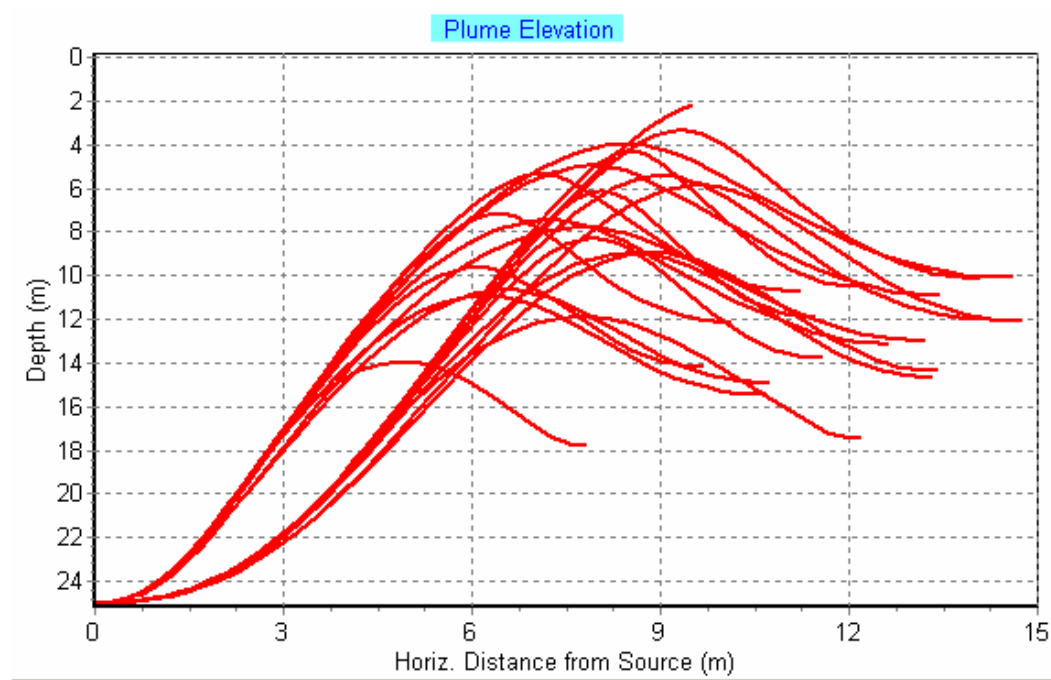
Tabell 3. Oppsummering av opplysninger om utslipp. Avløpsledningen har indre diameter 400 mm.

Utslippsdyp	Vannmengde				
	25 m	0.05 m ³ /s	0.1 m ³ /s	0.15 m ³ /s	0.2 m ³ /s

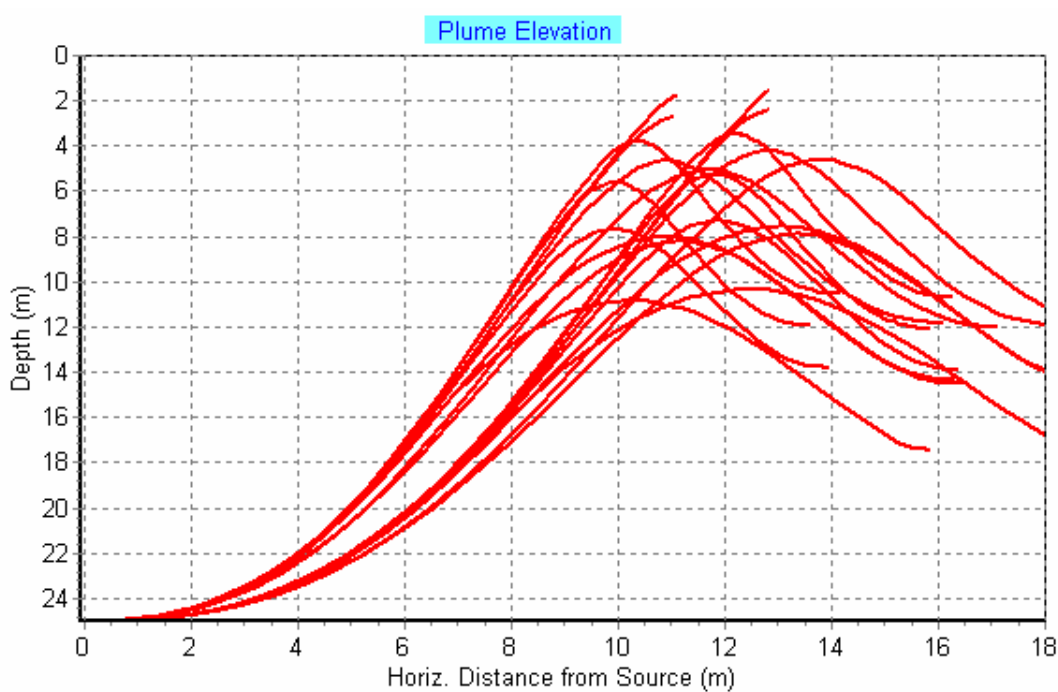
Strømretning og strømhastighet vil variere med tiden og fra dyp til dyp, og vil påvirke innlagringen og fortykningen av avløpsvannet. Vi har ikke opplysninger om strømforholdene og velger etter skjønn 1 cm/s som en typisk hastighet for vannmassen under terskeldyp og 5 cm/s for vannmassen over terskeldypet. Ved lavere hastigheter vil innlagringen skje noe høyere, og ved større hastigheter vil avløpsvannet bli innlagret noe dypere.



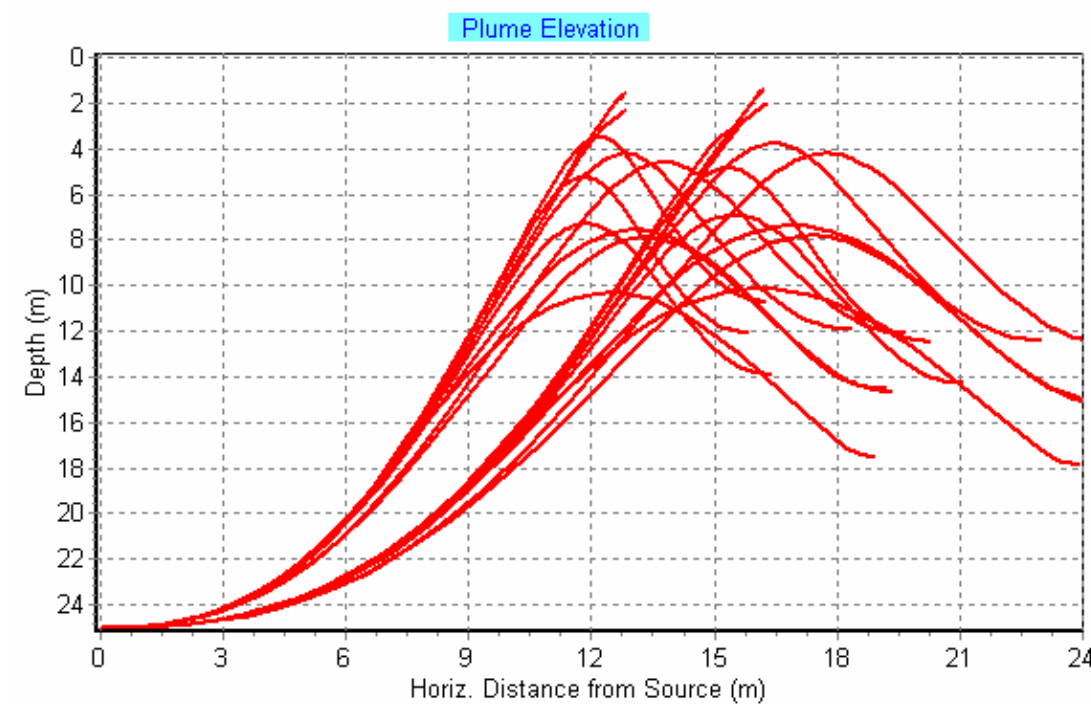
Figur 5. Prinsippkisser som viser hvordan et dyputslipp av avløpsvann fungerer i forhold til innlagring. En forutsetning for innlagring er at egenvekten for fjordvannet øker med dypet (vertikal sjiktning). Ved den øvre figuren er ikke dette tilfelle og avløpsvannet når til overflata. I den nedre figuren innlagres avløpsvannet.



Figur 6. Utslipp i 25 m dyp. Kurveskaren lengst til venstre viser innlagringen ved utslipp av $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, mens kurveskaren til høyre viser innlagringen for utslipp av $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Avløpsvannet stiger mot overflata og for # blir det innlagret omkring 12-18 m dyp. Merk at avløpsvannet stiger forbi innlagringsdyptet for så å synke tilbake.



Figur 7. Utslipp i 25 m dyp. Kurveskaren lengst til venstre viser innlagringen ved utslipp av $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$, mens kurveskaren til høyre viser innlagringen for utslipp av $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. For omkring halvparten av de 12 situasjonene blir innlagret omkring 12-18 m dyp. For 2-3 av tilfellene er sjiktningen så svak at avløpsvannet stiger opp til brakkvannslaget og innlagres der.



Figur 8. Utslipp i 25 m dyp. Kurveskaren lengst til venstre viser innlagringen ved utslipp av $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$, mens kurveskaren til høyre viser innlagringen for utslipp av $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$. For omkring halvparten av de 12 situasjonene blir innlagret omkring 12-18 m dyp. For omkring halvparten av tilfellene er sjiktningen så svak at avløpsvannet stiger opp til brakkvannslaget og innlagres der.

3.1.2 Vurderinger ved bruk av modellen FjordEnv

Modellen har blitt kjørt med

- Topografien innenfor terskelen, og med terskeltopografien
- Ferskvannstilførsel fra $10 - 75 \text{ m}^3/\text{s}$
- Utslippsverdier for nitrogen, fosfor og organisk stoff som tilsvarer 10.000 PE og 15.000 PE, samt tilførselen fra Jølstra.

Som tidligere nevnt er ikke FjordEnv i utgangspunktet beregnet for bruk på fjordbassenger som ligger så langt unna kysten og bak flere terskler. Man skal derfor ikke tolke resultatene bokstavelig. Beregningen viser at minimum oksygenkonsentrasjon (som gjennomsnitt) i bassengvannet vil være ca. $2-2,5 \text{ mlO}_2/\text{l}$. Tas i betraktning at konsentrasjonen i det dypeste partiet vil være lavere enn gjennomsnittet må resultatene forstås som at minimumskonsentrasjoner i intervallet $1,5-2 \text{ mlO}_2/\text{l}$ kan opptre. Registreringene av bunnfauna på stasjon B2 tyder imidlertid ikke på noen alvorlig oksygenmangel og på stasjon B3 er faunaen normal. De biologiske resultatene kan derfor tyde på at modellen gir noe for lave oksygenkonsentrasjoner.

En utskrift av beregningene er vist i Vedlegg B.

3.1.3 Vurdering av alternative utslippsdyp og utslippsmengder

Alternative utslippsdyp og utslippssted

Vi vil vurdere hvordan utslippet av kommunalt avløpsvann vil fungere mht. innlagingsdyp hvis det flyttes til et større dyp lenger utover i fjorden, og det er derfor gjort beregninger av innlagingsdyp for utslipp i 30 m, 35 m og 40 m dyp. Resultatene er vist i **Figur 9 - Figur 17**.

I bedømmelsen av resultatene vil vi bruke tre kriterier:

1. Færrest mulig tilfeller der avløpsvannet stiger så høyt at det direkte kan blandes inn i overflatelaget.
2. Få tilfeller der avløpsvannet innlagres i 5-10 m dyp. Man bør altså unngå at "skyen" med innlagret og fortynnet avløpsvann blir fanget opp av den inngående sjøvannsstrømmen. I så fall blir det transportert inn mot elvemunningen og etter hvert blandet inn i overflatelaget.
3. Få tilfeller der avløpsvannet innlagres under terskeldypet. Man bør unngå at "skyen" med innlagret og fortynnet avløpsvann blir liggende nede i bassengvannet.

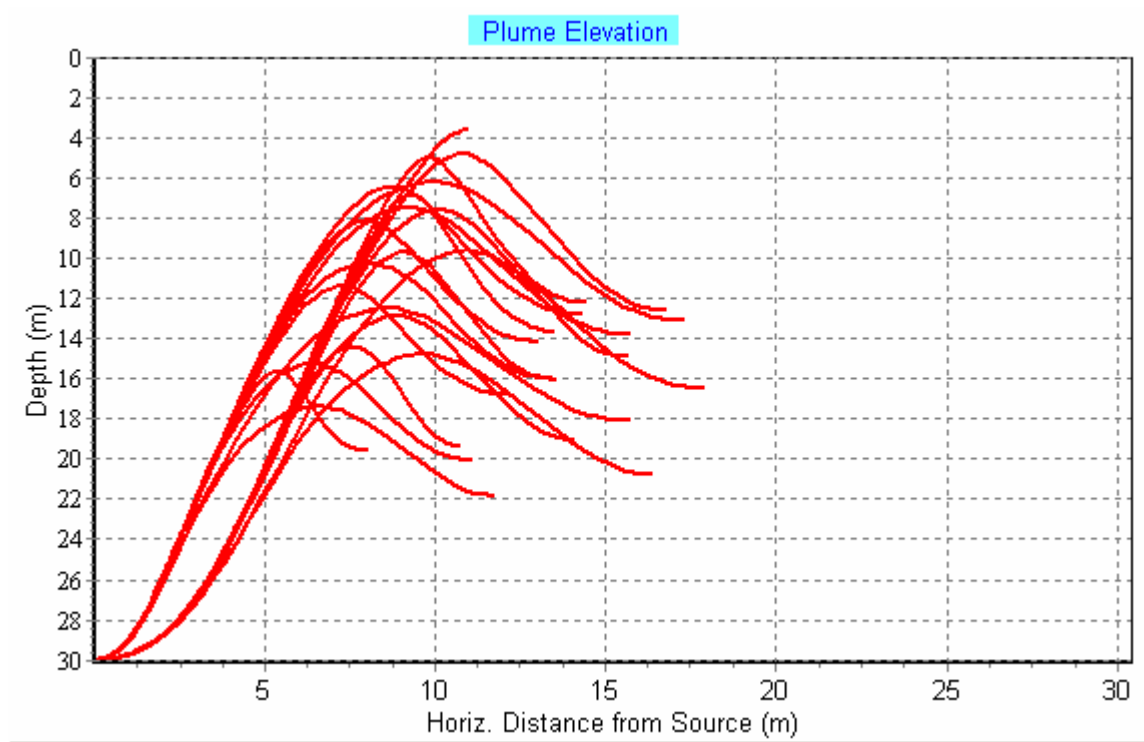
Innlagingsdypet varierer i stor grad med den vertikale tetthetsprofilen i fjorden og med vannmengden. Risikoen for gjennomslag til overflatelaget øker med økende vannmengde. Hvor stor vekt man skal legge på resultatene for utslipp av en stor vannmengde på 0.2-0.3 m³/s vil blant annet avhenge av hvor ofte slike vannmengder opptrer. Man kan ellers merke seg at avløpsvannet da (i tilfelle den store vannmengden skyldes tilført overvann pga. regn eller snøsmelting) sannsynligvis er sterkt fortynnet.

Som påvist for dagens situasjon (kapittel 3.2.1) vil der være en del situasjoner da den vertikale sjiktningen i fjordvannet er så svak at avløpsvannet vil stige helt opp til overflatelaget uansett hvor dypt utslippet ligger. I slike tilfeller er imidlertid både "fortynningsbanen" og fortynningen maksimal, og påvirkningen av vannkvaliteten tilsvarende liten. Men vannhygieniske problem kan likevel oppstå.

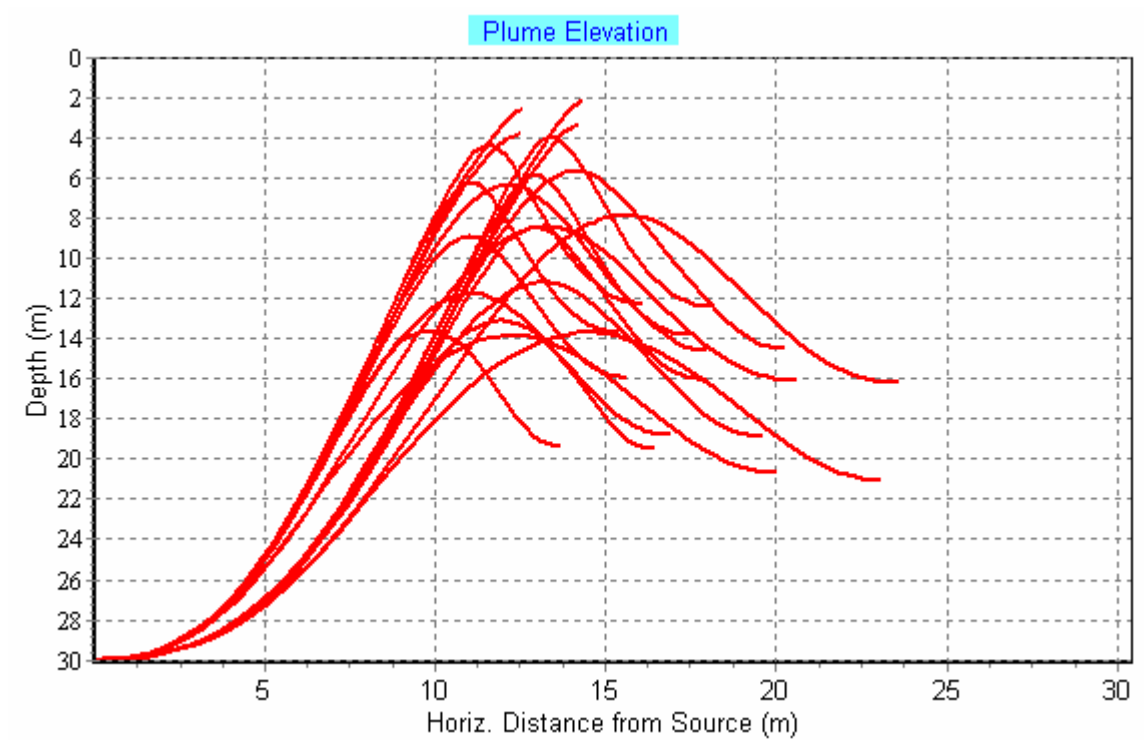
En forlenging av utslippsledningen til ca. 35 m dyp vil forbedre utslippssituasjonen – med noe bedre innlagring og med større fortynning i de tilfellene da avløpsvannet stiger så høyt at det blir innblandet i overflatelaget. Kriterium 2 vil jevnt over være oppfylt. Man vil også fjerne utslippet fra det området som i dag er skadet.

Hvis overflatelaget overhodet ikke skal berøres av avløpsvannet må det benyttes en diffusor på enden av avløpsledningen og flytestoffer må fjernes fra avløpsvannet.

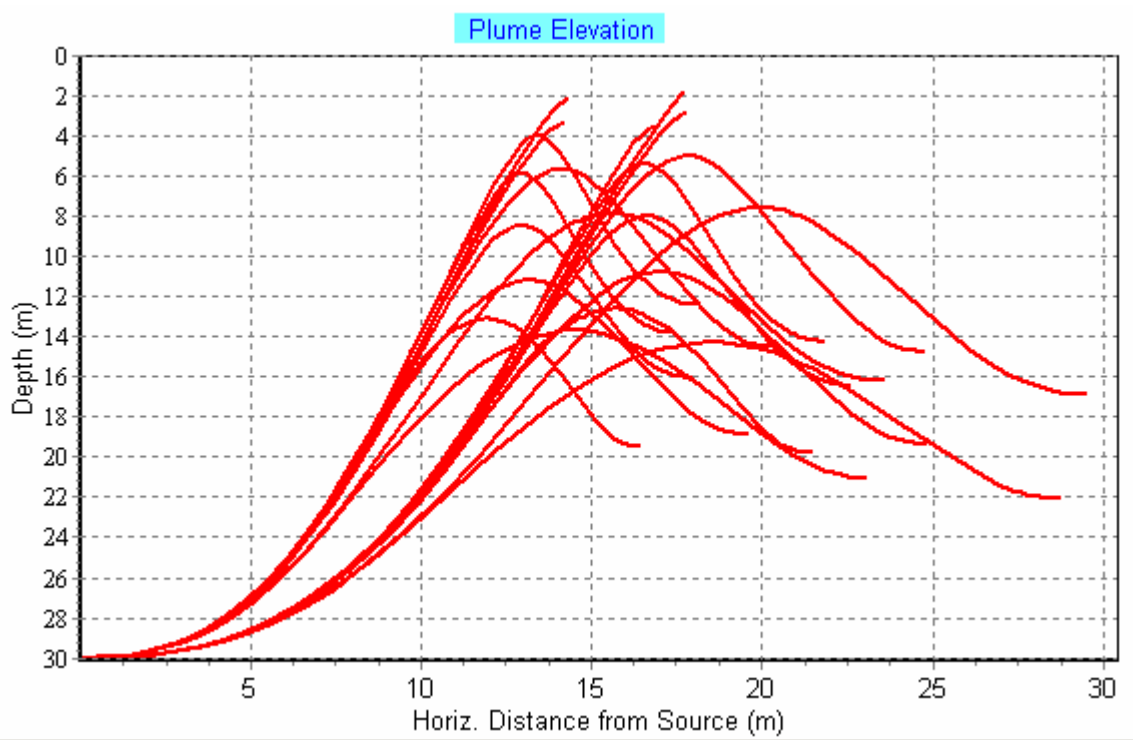
Flytting av utslippet til området utenfor terskelen ved Ulltangneset er et godt alternativ. Dette kan imidlertid ikke vurderes i detalj, dels fordi man mangler opplysninger om hydrofysiske, vannkjemiske og biologiske forhold i dette området, og dels fordi prosjektets fokus har vært fortsatt utslipp til bassenget innenfor terskelen.



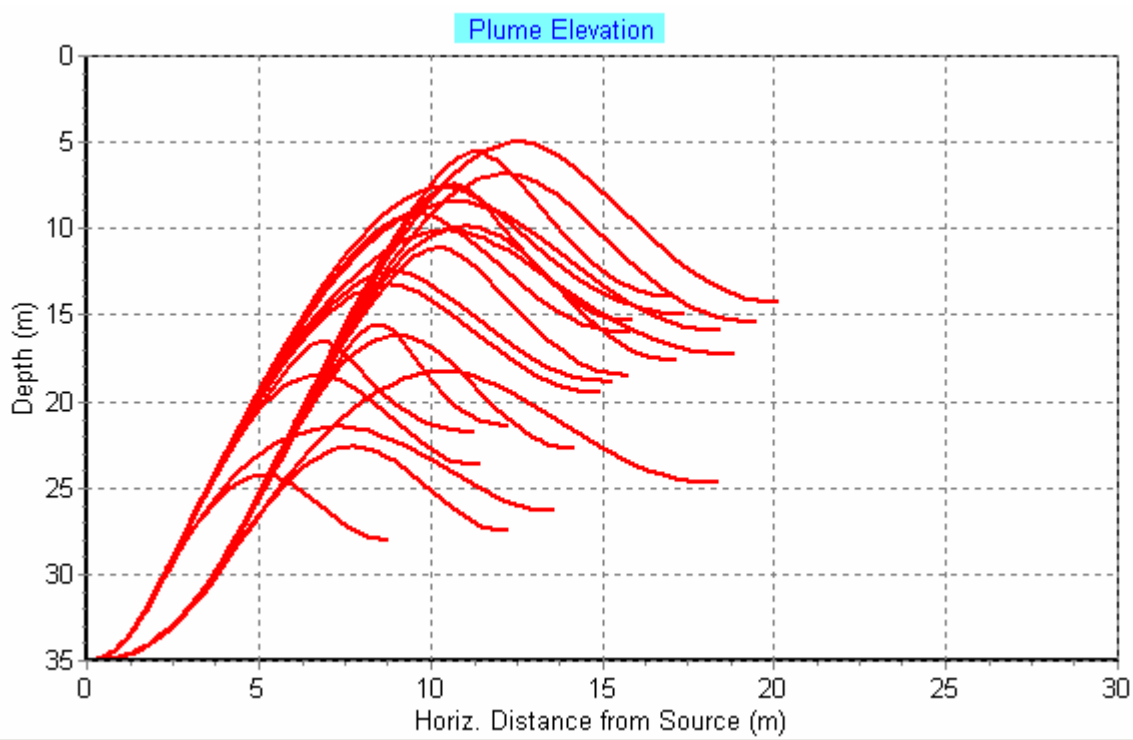
Figur 9. Utslipp i 30 m dyp. Vannmengder: 0,05 m³/s og 0,1 m³/s.



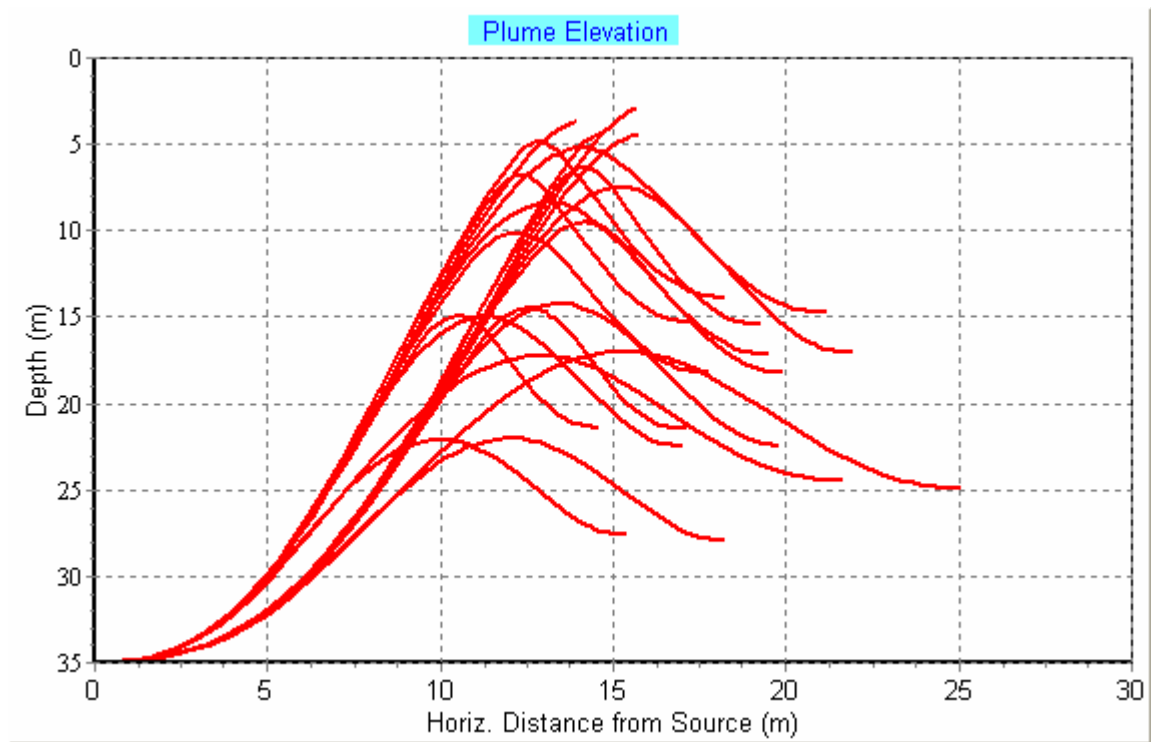
Figur 10. Utslipp i 30 m dyp. Vannmengder: 0,15 m³/s og 0,2 m³/s



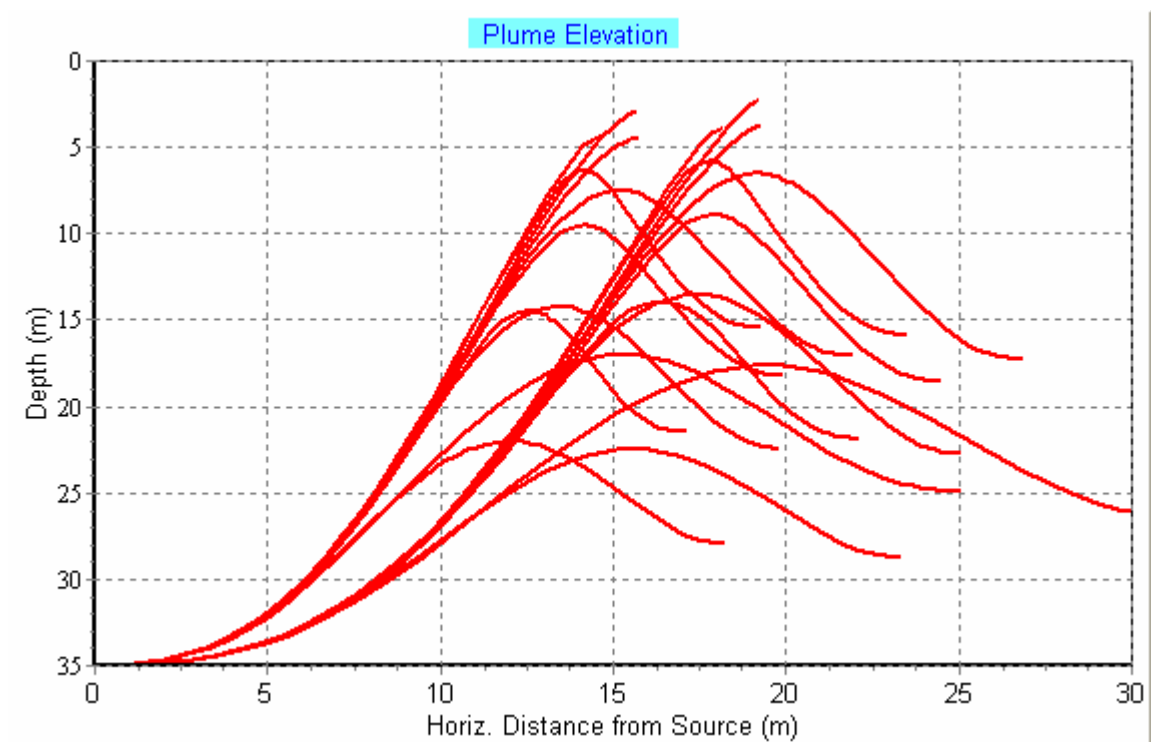
Figur 11. Utslipp i 30 m dyp. Vannmengder: 0,2 m³/s og 0,3 m³/s



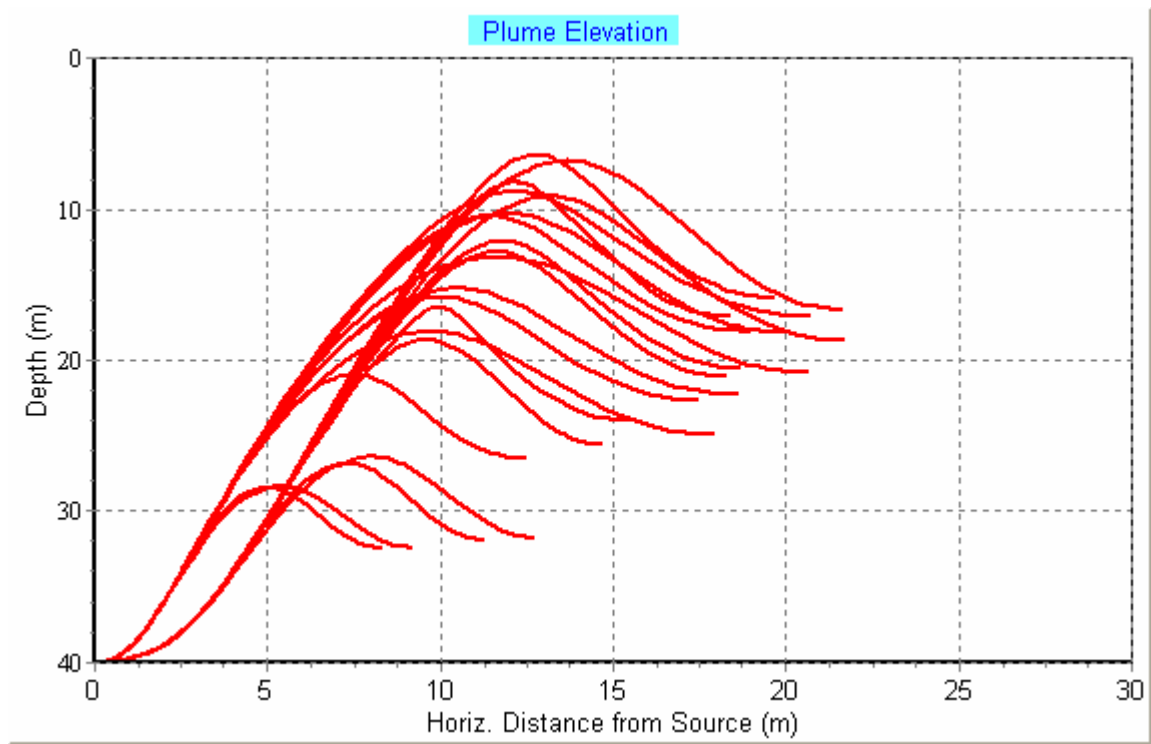
Figur 12. Utslipp i 35 m dyp. Vannmengder: 0,05- m³/s og 0,1 m³/s



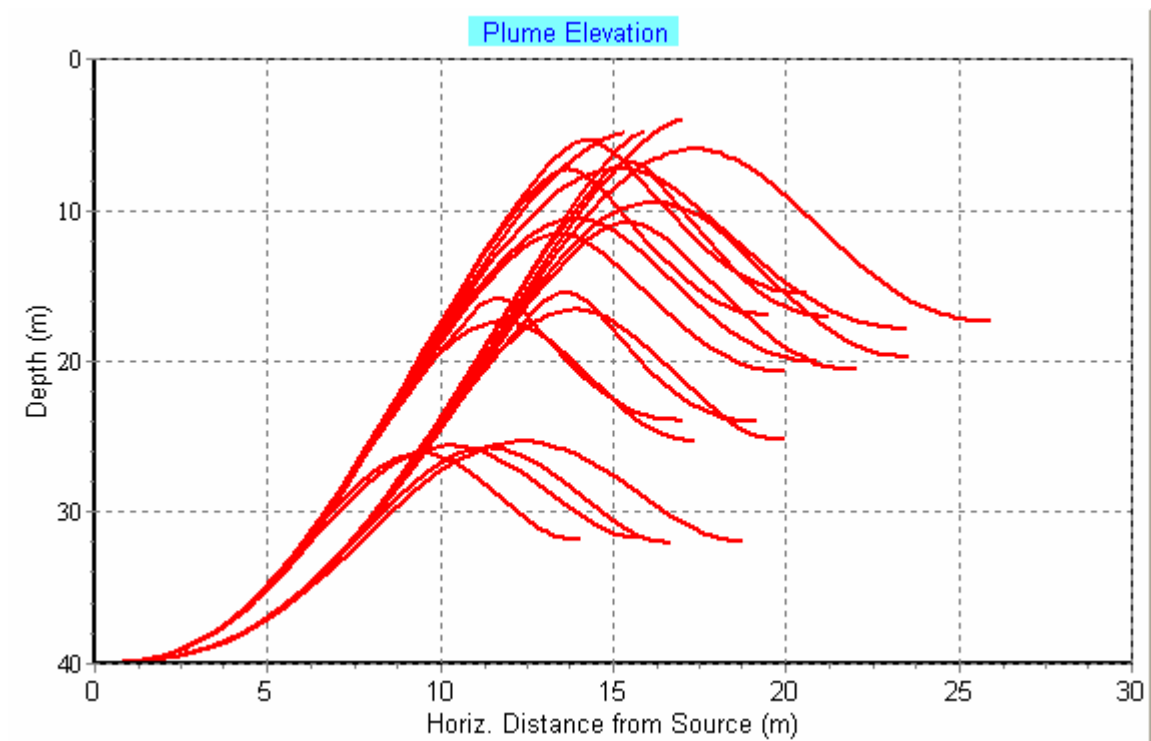
Figur 13. Utslipp i 35 m dyp. Vannmengder: 0,15 m³/s og 0,2 m³/s



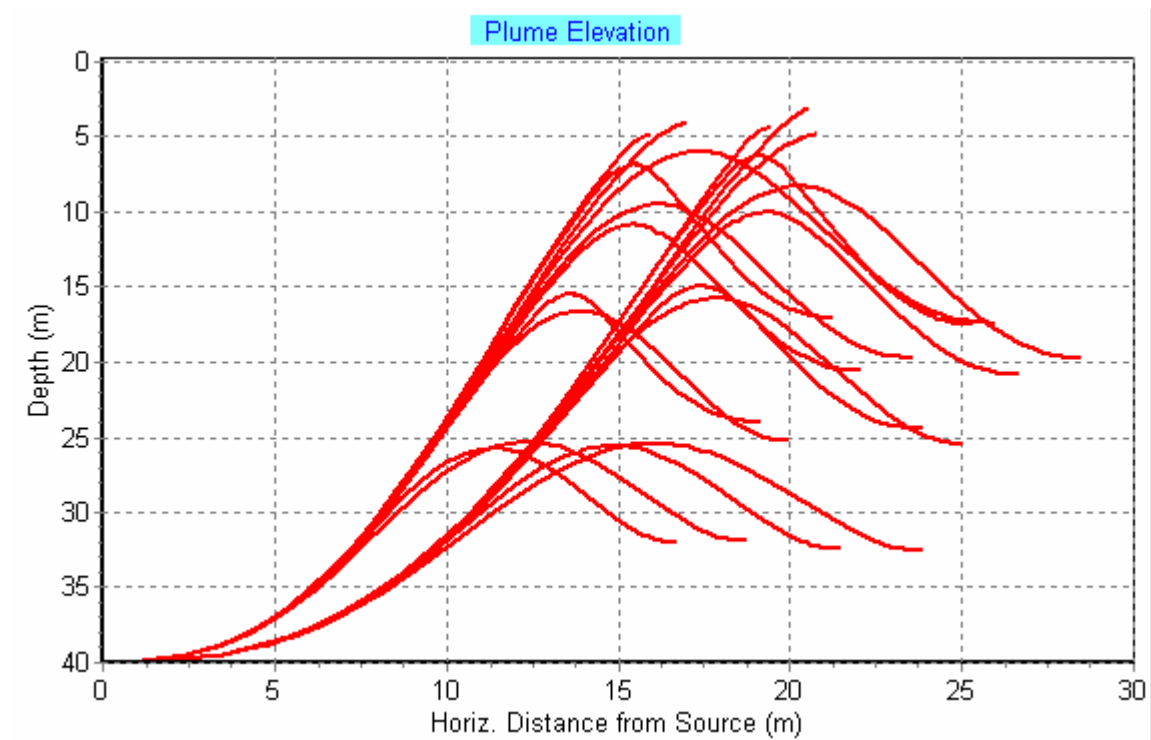
Figur 14. Utslipp i 35 m dyp. Vannmengder: 0,2 m³/s og 0,3 m³/s



Figur 15. Utslipp i 40 m dyp. Vannmengder: 0,05 m³/s og 0,1 m³/s



Figur 16. Utslipp i 40 m dyp. Vannmengder: 0,15 m³/s og 0,2 m³/s



Figur 17. Utslipp i 40 m dyp. Vannmengder: 0,2 m³/s og 0,3 m³/s

Alternative utslippsmengder

Resultatene fra undersøkelsene i 1991, 1992 og 1999-2000 framhevet i første rekke skader på bunnfaunaen i fjordbassenget indre del. Som nevnt ovenfor mener vi at problemene sannsynligvis skyldes utslippet av partikulært organisk materiale fra den kommunale avløpsledningen. Det kommunale avløpsvannet blir maskinrenset på rist med spalteåpning 6 mm. Store mengder organisk materiale vil følge med avløpsvannet ut i resipienten. Man bør vurdere å redusere utslippet, enten ved å redusere utslippene av organisk materiale på ledningsnettet eller anvende en rensemetode som holder tilbake en langt større andel av det partikulære organiske materialet.

Hvor mye Jølstra bidrar med av organisk materiale har vi ikke noe godt grunnlag for å bedømme, men analysene av COD viser vannkvalitetsklasse I og tyder dermed på et relativt lite bidrag. I tillegg skal man merke seg at ellevannet fordeler seg i fjordens overflatelag mens miljøproblemene er knyttet til bunnsedimentene og bunnfaunaen i fjorden.

Modellen FjordEnv er også kjørt for en situasjon der tilførselen av fosfor og nitrogen fra land er redusert med hhv. ca. 25% og ca. 15% i forhold til dagens situasjon. Utslippsendringene antas å tilsvare omtrent den andelen av næringsalter som utslippet av kommunalt avløpsvann nå tilfører 0-10 m dyp, dvs. det vannlaget der det meste av algeveksten antas å foregå. Oksygenforbruket i dypvannet endret seg ikke.

4. Oppsummering og konklusjoner

Førdefjordens indre del er et basseng der største dyp er 53 m og med en terskel på 37 m dyp ved Ulltangneset. Undersøkelser av miljøforholdene har konkludert med at der er en betydelig organisk belastning i sedimentet i indre del av fjordbassenget, hvor også bløtbunnsfaunaen klassifiseres som *Meget dårlig-Mindre god*. På den ytterste og dypestliggende stasjonen kunne faunaen betraktes som uforstyrret. Resultatene fra den midtre stasjonen tydet på en negativ utvikling fra 1992 til 1999/2000. Tilstanden ble satt i sammenheng med utslipp av kommunalt avløpsvann til fjordbassengets innerste del.

I dette prosjektet er vurderingene ført et stykke lenger og tilstanden er sett i forhold til forventet tilstand omkring et utslipp med stort innhold av partikulært organisk materiale, samt forventet tilstand i et terskelbasseng som det man har utenfor Førde. Videre har en vurdert nytteverdien av ulike tiltak som kan bedre tilstanden hos bunnfaunaen og oksygenforholdene i bassenget. Konklusjonene er gitt punktvis nedenfor:

1. Hovedproblemet synes å være at dagens utslipp av kommunalt avløpsvann tilfører fjordbassengets indre del en stor mengde av partikulært organisk materiale. Partiklene er så store at en betydelig andel sedimenterer omkring utslippet og påfører bunnfaunaen stor skade. Videre utover fjorden er belastningen av organisk materiale mye mindre og virkningen på bunnfaunaen avtar tilsvarende.
2. På grunn av problemer med prøvetakings-/målemetodikk gir ikke datamaterialet fra undersøkelsen i 1999-2000 noe godt grunnlag for å bedømme oksygenforholdene i bassengvannet, men "summen" av resultatene – fra vannkjemien, fra bunnfaunaen og fra modellkjøringer – tyder ikke på alvorlige oksygenproblemer. Men det er godt mulig at forholdene tilsvarer tilstandsklasse *Mindre god/Dårlig*, dvs. at oksygenkonsentrasjonen periodevis synker til intervallet 2.5-3.5 mlO₂/l eller kanskje noe lavere. Dette er en svakhet i vurderingsgrunnlaget og vi anbefaler sterkt at det gjøres en ny undersøkelse av oksygenforholdene i bassenget.
3. Det åpenbare tiltaket for å bedre tilstanden i fjordbassenget er å redusere utslippet av partikulært organisk materiale med sikte på å redusere belastningen på bunnsedimenter og bunnfauna i fjordens indre del. Hvorvidt et siktemål også skal være å redusere oksygenforbruket – og dermed heve oksygenkonsentrasjonen i vannmassen – har vi ikke datagrunnlag for å si noe sikkert om. Men en viss forbedring vil uansett skje hvis mengden partikulært organisk materiale reduseres.
4. Beregninger ved modellen FjordEnv for realistiske reduksjoner i tilførslene av næringsalter fra kommunalt avløpsvann (dyputslipp) tyder ikke på at dette vil ha noen betydning for oksygenforholdene i bassengvannet.
5. Utslippet ligger utenfor munningen av Jølstra og i perioder med svak vertikal sjiktning i vannmassen mellom utslippsdypet og ca. 5-8 m dyp kan noe avløpsvann – sterkt fortynnet – bli innblandet i fjordens overflatelag. Et avbøtende tiltak vil være å flytte utslippet av avløpsvannet til ca. 35 m dyp, og eventuelt knytte til en diffusor. Det vil gi dypere innlagring av avløpsvannet og vil helt kunne fjerne påvirkningen på overflatelaget – forutsatt at flytestoffer fjernes fra avløpsvannet.
6. Flytting av utslippet til området utenfor fjordterskelen vil også være en god løsning, forutsatt at avløpsvannet ikke (delvis) transporteres tilbake til fjordbassenget med inngående strøm. Vi har ikke hatt data (vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet, strømmålinger, opplysninger om biologiske forhold) for å kunne vurdere hvor utslippet i så fall bør plasseres.

5. Litteratur

DnV, 1992. Resipientundersøkelse av Førdefjorden. Prosjektnr. 92504440

DnV, 2001. Miljøovervåking av indre basseng i Førdefjorden 1999/2000. Sluttrapport. Rapport nr. 2001-0125. 33 sider +vedlegg.

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.

Hyllestad, S., 2003. Vassdragsovervåking i Sogn og Fjordane 2003. Oppdrag nr: 30868. Asplan Viak, Leikanger. 28 sider.

Molvær, J., Velvin, R., Berg, I., Finnesand, T. og Bratli, J.L., 2002. EUs Avløpsdirektiv - Veileder i planlegging, gjennomføring og rapportering av resipientundersøkelser i fjorder og kystfarvann. SFT-rapport. TA-nr.1890/2002. 47 sider.

Molvær, J., Magnusson, J., Selvik, J.R og Tjomsland, T., 2003. Common Procedure for Identification of the Eutrophication Status of Maritime Areas of the Oslo and Paris Conventions. Report on the Screening Procedure for the Norwegian Coast from Lindesnes to Stad. SFT TA-nr. 1928/2003. NIVA-report no. 4653-2003. 30 pp.

Stigebrandt, A., 2001. FjordEnv - A Water Quality Model for Fjords and Other Inshore Waters. C40, Rapport Gøteborgs Universitet. Gøteborg.

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-1914/2002. Oslo.

Østlandskonsult, 1991. Resipientgransking av Førdefjorden. Sandsli, 2.5.91. O.nr. 0.302.

Vedlegg A.

Tabell A1. Tidspunkt for målinger av temperatur og saltholdighet ved undersøkelsen i 1999-2000.

14.12.99	13.6.00
12.1.00	23.6.00
19.1.00	3.7.00
18.2.00	10.7.00
28.2.00	14.8.00
7.3.00	28.8.00

Vedlegg B. Beregninger ved bruk av modellen FjordEnv



Reports FjordEnv 3.3

Reports for:
Førdefjorden

18.04.2004

Topography

Fjord Area for Chosen depths

Depth (m)	Area (km ²)
0	2,41
10	1,75
20	1,475
40	0,587
50	0,075
53	0,001

Mouth width for Chosen depths

Depth (m)	Width (m)
0	700
10	450
20	400
30	45
37	10

Topographic conditions in the fjord

Maximal depth of the basin (m)	53
Sill depth (m)	37
Mean depth of the sill basin (m)	7,48
Volume of the fjord (km ³)	0,06
Volume above sill depth (km ³)	0,06
Volume of the sill basin (km ³)	0,01
Area at the sea surface (km ²)	2,41
Area at sill level (km ²)	2,41
Vertical cross-sectional area of the mouth (m ²)	12417,50
Depth of half of the mouth area (m)	11,03
The fjord mouth is channel formed	No
Length of mouth channel (m)	0,00
Fjord area/Mouth area	194,08

Location

Sogn & Fjordane

Natural conditions

Secchi depth, typical summer value (m)	5
Oxygen conc in 'new' basin water (ml o ₂ /l)	6
Tidal amplitude - M2 + S2 (m)	0,75
Semidiurnal contribution (1/fi)	1,25
Background deepwater mixing (mW/m ²)	0,01
Deltaro (kg/m ³)	1,31
Sigmaro (kg/m ³)	0,76
Interm circulation: forcing (kg/m ²)	36,20
Freshwater supply (annual mean) (m ³ /s)	50
Power supply from interior sills (kW)	0
Flux of organic matter (gC/m ² /month)	8

Supplies from land and fish farming

Phosphorus, annual supply (tons)	20
Nitrogen, annual supply (tons)	400
Fish production, over shallow areas (tons/yr)	0
Fish production, over deep areas (tons/yr)	0
Excess feed (%)	0

General Fjord Diagnosis

Choking Coefficient	1
Tidal Speed in the mouth (m/s)	0,02
Speed of internal waves in the fjord (m/s)	0,28
Intermediary circulation (m ³ /s)	173,02
Tidally forced circulation (m ³ /s)	40,27
Estuarine Circulation	100,00
Residence time for water above sill level (days)	2,41
Settling time for particular organic matter (days)	24,67
The Function f1	0
The Function f2	0

Conditions in the basin water

Filling time for basin water (days)	0,23
Re-value of the sill basin (kg/m ³)	0,76
Work against the buoyancy forces (mW/m ²)	0,02
Background (mW/m ²)	0,01
Tidally forced (mW/m ²)	0,01
From interior sills (mW/m ²)	0
Density reduction (kg/m ³ /month)	0,23
Oxygen consumption (ml/l/month)	1,2
Time-scale for water exchange (months)	3,2
Time-scale for Oxygen consumption (months)	5,1

Oxygen minimum in the basin water (ml/l) 2,2

Fluxes of organic matter in to the sill basin

Carbon, natural (tons/year) 31,5
 Nitrogen, natural (tons/year) 5,6
 Phosporus, natural (tons/year) 0,8
 UOD, natural (tons/year) 110

Field data, optional input

Oxygen consumption in the basin water (ml o₂/l/month) -99
 Oxygen minimum (ml o₂/l) -99

Change of Supplies from land

Change of N-supply (%) -15
 Change of P-supply (%) -25

Environmental changes

Secchi depth (%) 10
 Oxygen consumption, change (%) 0
 New Oxygen minimum in the basin water (ml/l) 2,2