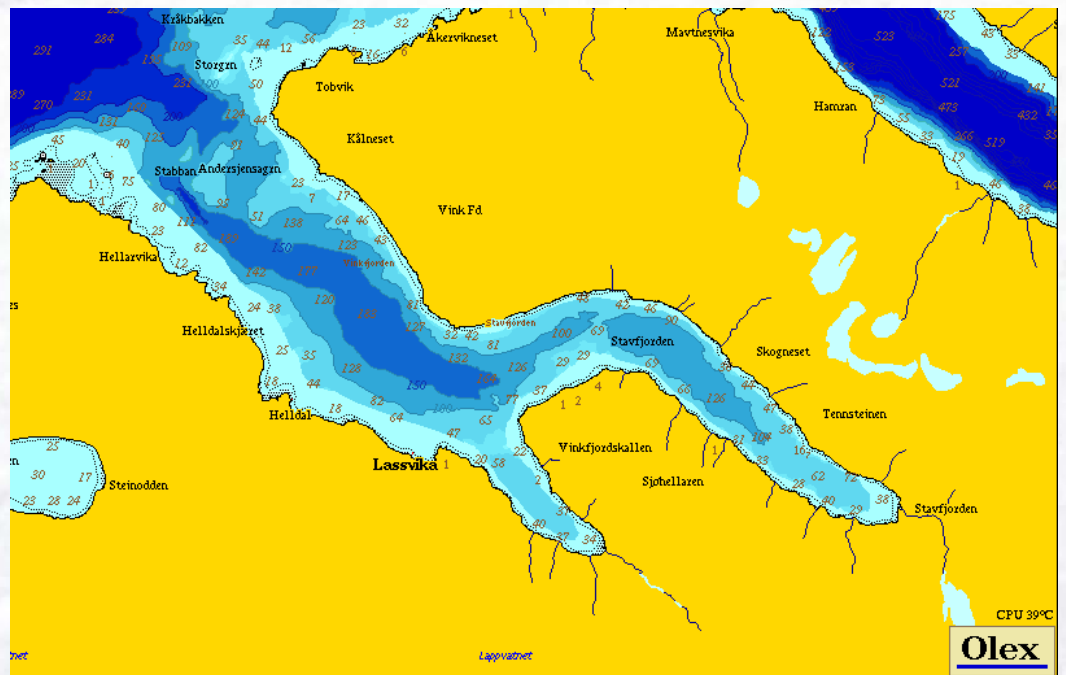


Vurdering av bæreevne til Vinkfjorden i Nordland, 2010



Akvaplan-niva AS

Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur

Org.nr: NO 937 375 158 MVA

Polarmiljøseieret

9296 Tromsø

Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01

www.akvaplan.niva.no

**Rapporttittel / Report title**

Vurdering av bæreevne til Vinkfjorden i Nordland, 2010

Forfatter(e) / Author(s)

Øyvind Leikvin

Akvaplan-niva rapport nr / report no

4885 - 01

Dato / Date

24.02.2011

Antall sider / No. of pages

32 + 3

Distribusjon / Distribution

Gjennom oppdragsgiver

Oppdragsgiver / Client

Mainstream Norway AS

Oppdragsg. referanse / Client's reference

Truls Hansen

Sammendrag / Summary

Modellering med fjordmodellen FjordEnv indikerer at Vinkfjordens terskelbasseng har begrenset bæreevne angående organisk materiale. Det er forskjellen mellom største terskeldyp (ca. 135 m) og største dyp i fjorden (ca. 205 m) som svekker utskiftningen av dypvannet. Andre begrensende faktorer er at Vinkfjorden har to indre fjordarmer, som også er terskelbasseng. Det at Vinkfjordens areal og bassengvolum er forholdsvis lite, er også med på å begrense bæreevnen. Observasjoner av oksygenmetningen i de dypere lag i Vinkfjorden støtter opp om modellens resultater.

Mainstreams nåværende produksjon på lokaliteten Hellarvika, der en har hatt en produksjonsmengde på omtrent 2000 tonn/år og maksimal stående biomasse på 4,6 MTB, ser ut til å være innenfor tåleevnen til Vinkfjorden som fjordsystem, ifølge både modellsimuleringer (oksygenforhold i bunnvannet og siktedyp) og målinger (oksygenforhold i bunnvannet). Modellsimuleringene viser at Vinkfjorden kan ha kapasitet til noe større produksjon innenfor terskelen. Ved en eventuell økning anbefales det målinger av oksygenmetning om høsten og vinteren for å fange opp oksygenminimum og sedimentanalyser (TOC) på største dyp i Vinkfjorden for å sikre kontrollen av fjordens bæreevne.

Fiskeproduksjon i Vinkfjorden bør foregå slik at deponeringen av organisk materiale i størst mulig grad foregår på dyp grunnere enn terskeldypet og i forholdsvis nær tilknytning til terskelen. Det anbefales videre å legge produksjonen på to lokaliteter, med et systematisk brakkleggingssystem hvor kun det ene anlegget er i aktiv drift. Mainstream har konsesjon på to lokaliteter i Vinkfjorden, som vil gjøre en slik produksjonsstrategi mulig.

Det er ikke tatt hensyn til punktbelastninger under anleggene i disse vurderingene, kun til miljøtilstanden til Vinkfjorden som fjordsystem.

Prosjektleder / Project manager

Asle Guneriussen

Kvalitetskontroll / Quality control

Roger Velvin

© 2011 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	2
1 INNLEDNING	3
1.1 Bakgrunn og formål.....	3
1.2 Vinkfjorden.....	3
1.3 Drift	5
2 MATERIALE OG METODER	6
2.1 Dybdemålinger	6
2.2 Fjordmodellen.....	6
2.3 Valideringsundersøkelser, oksygenmetning.....	7
2.4 Inngangsdata til fjordmodellen.....	10
2.4.1 Topografi	10
2.4.2 Drivkrefter for sirkulasjon.....	10
2.4.3 Tilførsel av næringssalter og organisk materiale.....	11
2.4.4 Fjordarmenes bidrag	12
2.4.5 Simuleringer	14
3 RESULTATER.....	15
3.1 Dybdemålinger	15
3.2 Modellberegninger.....	17
3.2.1 Indre fjordarmer.....	17
3.2.2 Ytre Vinkfjorden-basseng	17
3.2.3 Scenario 1: Belastning uten fiskeoppdrett.....	18
3.2.4 Scenario 2: Belastning ved 5 % fôrspill og 25 % deponering i dypområdet.....	18
3.2.5 Scenario 3: Belastning ved 5 % fôrspill og 50 % deponering i dypområdet.....	20
3.2.6 Scenario 4: Belastning ved 5 % fôrspill og 75 % deponering i dypområdet.....	21
3.2.7 Scenario 5: Belastning ved 5 % fôrspill og 100 % deponering i dypområdet.....	22
3.2.8 Scenario 6: Belastning ved 10 % fôrspill og 100 % deponering i dypområdet (worst case scenario).....	23
3.2.9 Oppsummering	24
4 VURDERINGER AV NÆRINGSSALTER OG SIKTEDYP	25
5 SAMMENFATTENDE VURDERINGER OG ANBEFALINGER	27
6 REFERANSER.....	32
VEDLEGG	33

Forord

Foreliggende undersøkelser er gjennomført av Akvaplan-niva AS etter oppdrag fra Mainstream AS. I forbindelse med bedriftens ønske om å utvide produksjonen fra eksisterende anlegg for fiskeoppdrett i Vinkfjorden i Nordland, ønsker de å få gjennomført modellering av resipientkapasiteten til fjorden. Modelleringene skal avdekke eventuelle endringer i oksygenminimum i bassengvannet i fjorden i forhold til økt produksjon av oppdrettslaks i fjorden.

Følgende personer har deltatt:

Asle Guneriussen, Akvaplan-niva
Øyvind Leikvin, Akvaplan-niva
Ida Dahl-Hansen, Akvaplan-niva
Bjørn Erik Bye, Akvaplan-niva
Oddmund Isaksen, Akvaplan-niva
Anders Stigebrandt, Ancylus
Mainstream AS

Prosjektledelse og oksygenmålinger
Modellering og rapportering
Inngangsdata til modellering
Oksygenmålinger
Grafikk av hydrografi- og oksygenmålinger
Faglig kvalitetssikring og rådgivning
Olex dybdemålinger

Akvaplan-niva vil takke Mainstream AS for det gode samarbeidet gjennom undersøkelsene og interessante diskusjoner angående temaer i rapporten.

Tromsø, 24. februar 2011



Asle Guneriussen

1 Innledning

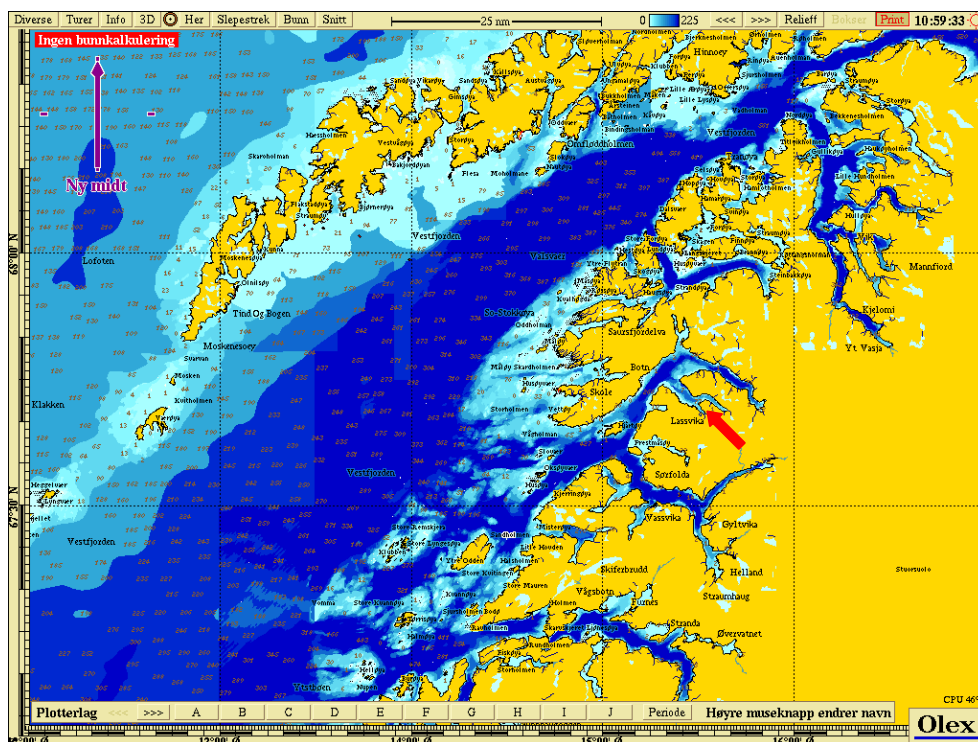
1.1 Bakgrunn og formål

For å få bedre indikasjoner på bæreevnen til terskelfjorden Vinkfjorden har Mainstream AS engasjert Akvaplan-niva AS til å modellere denne ved hjelp av modellen FjordEnv (Stigebrandt, 2001).

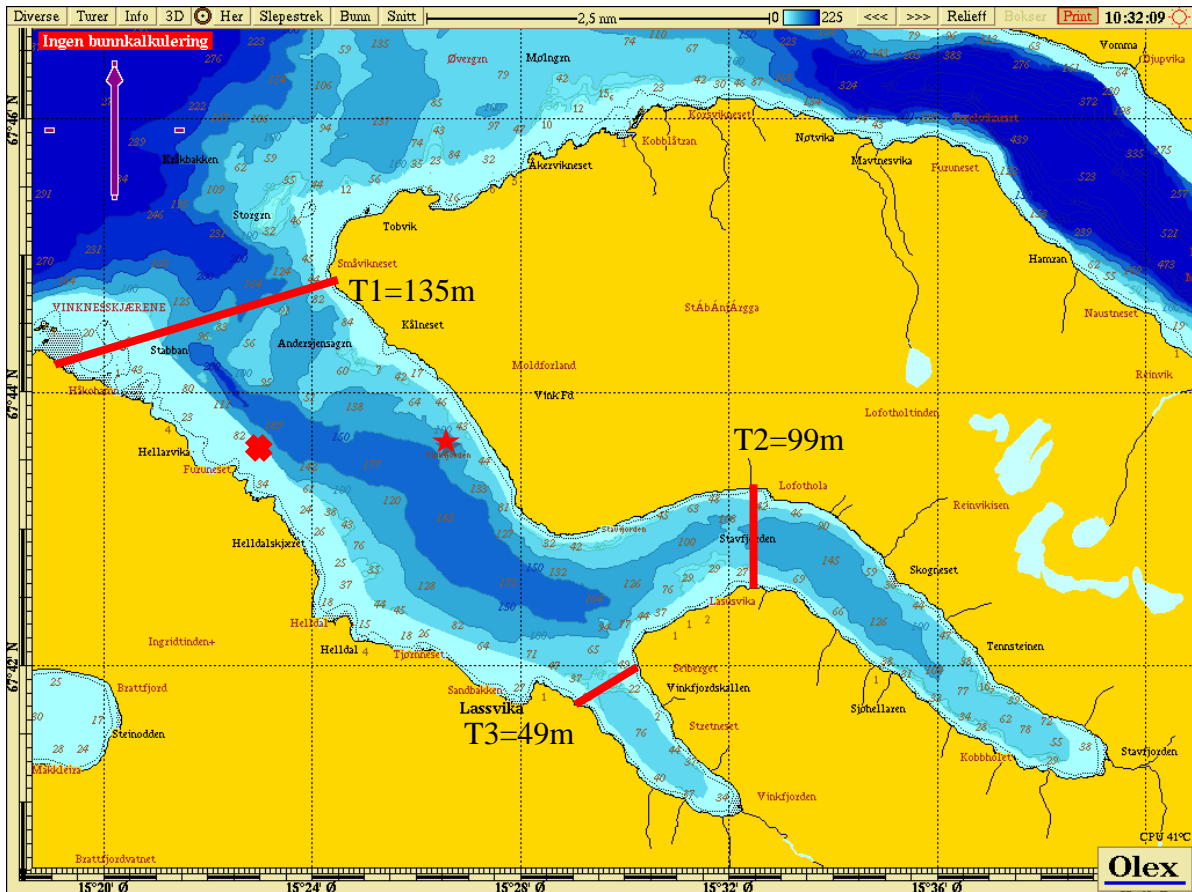
Mainstream AS ønsker å få gjennomført modellering av fjordens bæreevne i forhold til dagens produksjon og eventuelt hvor stor produksjon fjorden kan tåle uten å få oksygensvikt i bunnvannet. Formålet med prosjektet er å foreta en teoretisk beregning av fjordens kapasitet for mottak av organiske tilførsler. Ved hjelp av en numerisk modell som er basert på kjent fjordfysikk og -dynamikk samt tilgjengelige lokale data på forhold i vannmassene, topografi, naturlige og antropogene tilførsler, får man et mål for konsekvensene ulike grader av organisk tilførsel vil ha på oksygenforholdene i fjorden.

1.2 Vinkfjorden

Vinkfjorden ligger i Steigen kommune i Nordland (Figur 1). Den er en terskelfjord med to indre fjordarmer, som også er terskelfjorder (Figur 2). Koordinatene til Vinkfjorden er ca. 67°43'N og 15°25'Ø. Fjorden ser ut til å ha god kontakt med kystvannet i ytre kyststrøk, da der ikke er noen grunne terskler mellom Vinkfjorden og Vestfjorden.



Figur 1: Oversiktskart over området rundt Vinkfjorden sydøst for Lofoten i Nordland fylke. Vinkfjordens beliggenhet er anvist med rød pil (kartkilde: Olex).



Figur 2: Oversiktskart over Vinkfjorden i Steigen kommune, med dens to indre fjordarmer, Stavfjorden i nord og Indre Vinkfjorden i syd (kartkilde: Olex). Tersklene til de tre delfjordene er markert med røde streker og de respektive terskeldyp T1-T3 er notert. Det røde krysset viser det eksisterende oppdrettsanlegget (Hellarvika). Den røde stjerna viser hvor Mainstream har fått konsesjon til å produsere fisk (Flehammer).

1.3 Drift

I januar 2010 er det kun Mainstream AS som produserer fisk inne i terskelbassenget i Vinkfjorden. Mainstream AS driver lakseoppdrett like øst for Hellarvika på lokaliteten Hellarvika (Figur 2), med en maksimal stående biomasse på 3600 tonn (=4,6 MTB¹) per 1. februar 2010. Dette anlegget ligger på ca. 45-105 m dyp. Produksjonstall for perioden 2006-2009 er ifølge oppdragsgiver:

2006: 1417 tonn

2007: 2281 tonn

2008: 2219 tonn

2009: 1950 tonn

Mainstream AS planlegger å drive oppdrett også på et alternativt sted inne i Vinkfjorden, av omtrent samme størrelse som på Hellarvika. Mainstream har fått konsesjon på 3120 tonn per år (4 MTB) ved Flehammer (se Figur 2). Da kan driften alterneres mellom det eksisterende anlegg Hellarvika og det nye anlegget på lokaliteten Flehammer.

Det planlegges en produksjonsstrategi med 4-års sykluser for hvert anlegg med antatt stående biomasse på 2500 tonn etter første år, og opp til 5500 tonn i løpet av andre år og så 2 år med brakklegging.

Dette betinger ifølge Mainstream en lokalitetsklarering på maksimal stående biomasse pålydende 7 MTB (=5460 tonn). Produksjonsstrategien vil ikke gi produksjon (slakting) i år 1, 3 og 4 og en produksjon (utslakting) på ca. 7 tusen tonn i løpet av 2. år (antar da at samlet produksjon tilsvarer maksimal stående biomasse + 30 %).

¹ 1 MTB=780 tonn for Nordland fylke

2 Materiale og metoder

For å finne Vinkfjordens bæreevne når det gjelder organisk belastning, ønsker vi å benytte modellen FjordEnv (Stigebrandt 2001). For å bruke denne er følgende materiale og metode brukt: se kapittel 2.1 - 2.4.

2.1 Dybdemålinger

Olex er et dybdemålingssystem som automatisk måler opp havbunnen ved hjelp av GPS og ekkolodd. Havbunnens topografi beregnes matematisk mellom loddskuddene, og havbunnskartene kombineres med offisielle vektorkart. Havbunnskartet forbedres kontinuerlig mens båten seiler. Olex registreringene ble foretatt langs linjer på kryss og tvers over terskelområdet nordøst for lokaliteten Hellarvika (Figur 2). Formålet med kartleggingen av terskelen er å finne største terskeldyp og for å kunne beregne tverrsnittet av vannprofilen over terskelen. Dette er data som inngår i grunnlaget for modelleringen.

Videre er Olex-målinger kombinert med dybde data stilt til rådighet av Fiskeridirektoratet (<http://kart.fiskeridir.no/>) brukt for å finne arealer av Vinkfjorden innenfor terskelen, på forskjellige dybdenivåer. Disse verktøy er også brukt på å finne arealer og terskelbredder på ulike dybdenivåer i de indre terskelfjordarmene Stavfjorden og Indre Vinkfjorden.

2.2 Fjordmodellen

Den numeriske modellen FjordEnv, versjon 3.3, er utviklet av Anders Stigebrandt (Stigebrandt 2001) for vurdering av miljøeffekter fra tilførsel av næringssalter og organisk materiale i fjorder, som tilførsel fra fiskeoppdrettsanlegg, bebyggelse, industri og elver. FjordEnv er en såkalt "boksmøll", der fjordvannet betraktes som fordelt i tre lag innenfor en terskel: Overflatelaget, intermediært lag over terskeldypet, og et bunnlag under terskeldypet. Modellen beregner gjennomsnittsførhold for hvert lag, basert på volumet i hvert lag i forhold til tverrsnittsarealet til fjordmunningen. Parametere som beregnes er oppholdstid for vann over terskeldypet, nedsynkning av partikulært organisk materiale, oksygenforbruk ved nedbrytning, og hvor lang tid det tar for dypvannet i fjordbassenget å skiftes ut. Videre beregnes minimum oksygenkonsentrasjon i bassengvannet og endring av siktedypet i overflatelaget, og disse parametrene brukes til å vurdere endring av vannkvalitet i fjorden. FjordEnv er et verktøy for å vurdere relative endringer i belastning av fjorden ved ulike tilførsler av næringssalter, for eksempel ved ulike nivåer for produksjon ved fiskeoppdrett. Modellen kan ikke brukes til å angi bestemte områder inne i fjorden med spesielt gode/dårlige forhold, og den kan ikke beregne gradienter i vannsøyla.

FjordEnv er i utgangspunktet ment å være noe konservativ med hensyn på å simulere miljøforhold som oksygenminimum på dypvannet og endring i siktedyp i overflatelaget.

Modellen er kalibrert for terskelfjorder på terskeldyp fra 50 m og grunnere. For fjorder med terskeldyp større enn dette vil de fysiske utskiftningsratene for vannlagene være troverdige, men verdier for synke- og deponeringsrater vil være mer usikre.

2.3 Valideringsundersøkelser, oksygenmetning

Ved å undersøke vannkvaliteten i Vinkfjorden i dyplaget, kan man få en vurdering av miljøtilstanden. Enkleste måte å få et mål på vannkvaliteten er å måle oksygenmetningen i forskjellige dyp på en lokalitet før en eventuell omrøring av vannmassene inntreffer om høsten (oksygenminimum). En mer omstendelig måte å undersøke miljøtilstanden ved havbunnen er å ta sedimentprøver og/ eller foreta bunndyrsanalyser.

Akvaplan-niva har i løpet av 2005-2010 foretatt en rekke oksygenmålinger i Vinkfjorden i Nordland for Mainstream AS. Stasjonene for målingene er vist i Figur 5.

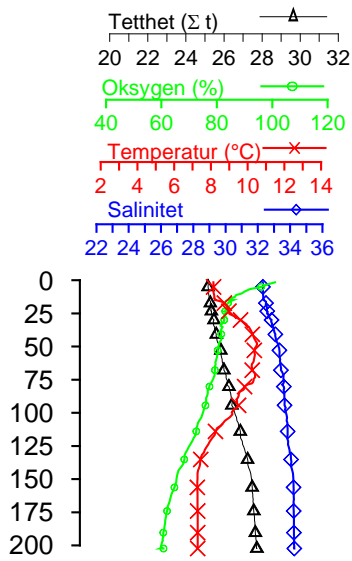
Målingen fra Vinkfjorden 8. april 2010 ble foretatt ved stasjon 2, ned til ca. 186 m dyp (Figur 4). Oksygenmetningen her, ganske tett på maksdypet på ca. 205 m, var nesten 80 %. Vi ser av Figur 4 at oksygenmetningen øker i det dypeste vannlaget. I det midtre vannlaget er oksygenmetningen ca. 68 %. Dette midtre laget strekker seg ned til ca. 160 m dyp. Gitt at dette tilsvarer oksygenminimum for året, tilsvarer dette tilstandsklasse I (Meget god) i henhold til SFTs veiledning for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær m.fl., 1997). Mest sannsynlig har det vært dypvannsutsiftning sent om høsten/ tidlig om vinteren med oksygenrikt vann, og at det senere har kommet inn mindre oksygenrikt vann ovenpå dette mer oksygenrike bunnvannet, ved hjelp av horisontal sirkulasjon (adveksjon).

Målingene fra 26. november 2009 viser 4 stasjoner som er avmerket på kartet i Figur 5. Ytterst i fjorden ved stasjon 1 viser målingene at oksygennivået avtar fra godt over 80 % ved overflaten jevnt og trutt til omtrent 60 % ved bunnen på ca. 202 m. Dette tilsvarer omtrent maksimum dyp i Vinkfjorden. Stasjon 2 og 3 noe lenger inn i Vinkfjorden viste liknende resultater, med minimum oksygennivå på omtrent 60 % ved bunndyp på henholdsvis 190 m og 176 m. Ca. 65 % oksygenmetning ble funnet på ca. 140 m dyp. Ifølge SFTs veiledning nevnt ovenfor, tilsvarer det en tilstandsklasse "Meget God" for vannmassene over ca. 140 m dyp og tilstandsklasse "God" for vannmassene under dette, for stasjon 1-3 i ytre del av Vinkfjorden. Dette forutsatt at disse målingene tilsvarer oksygenminimum for året.

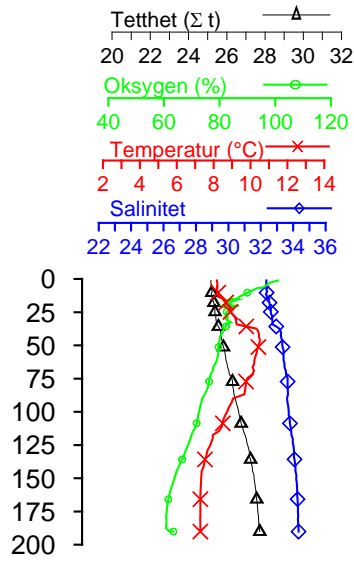
Stasjon 4, som ligger innenfor terskelen til den indre fjordarmen Stavfjorden, har vesentlig lavere oksygenmetning i bunnvannet, som ble målt til 46 % på ved bunnen på ca. 149 m. Dette tilsvarer tilstandsklasse "Mindre God" etter SFTs veiledning, gitt at dette er oksygenminimum for året. Ved 130 m dyp var oksygenmetningen steget til ca. 50 %, (tilstandsklasse "God") og ved 110 m dyp var oksygenmetningen steget til ca. 65 % (tilstandsklasse "Meget God"). Ved overflaten var den godt over 80 %, slik som ved de andre stasjonene.

En omfattende miljøundersøkelse med blant annet vannkvalitets-, sediment- og bunndyrsprøver og strømmålinger ble utført ved anlegget Hellarvika i Vinkfjorden i 2005 (Guneriusen, 2006). Vannkvalitetsresultater herfra viser hydrografi og oksygenmålinger fra stasjoner som ligger på og like ved dette eksisterende oppdrettsanlegget i Vinkfjorden, på henholdsvis 90 og 115 m dyp. På begge disse målepunktene økte oksygenmetningen fra ca. 71 % ved bunnen til ca. 76 % ved overflaten, med anlegg i drift. Sediment- og bunndyrsanalysen viste tydelige tegn på organisk belastning like under anlegget (tilstandsklasse "God" – "Meget Dårlig", i henhold til tilstandsklassifiseringen fra SFT (Molvær m.fl., 1997), basert på konsentrasjon av TOC (totalt organisk karbon). Ca. 150 m fra anlegget på 100 m dyp, mot dypområdet i nordøst, var imidlertid tilstanden "Meget God".

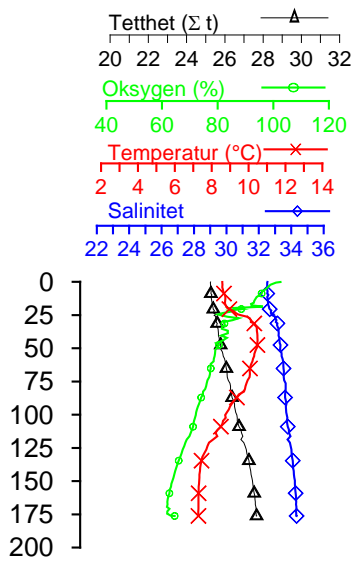
Vinkfjord st.1
26.11.09



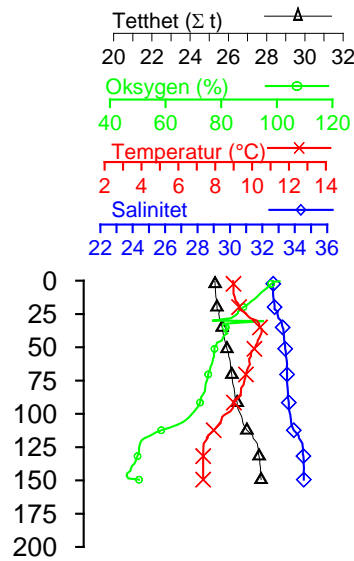
Vinkfjord st.2
26.11.09



Vinkfjord st.3
26.11.09

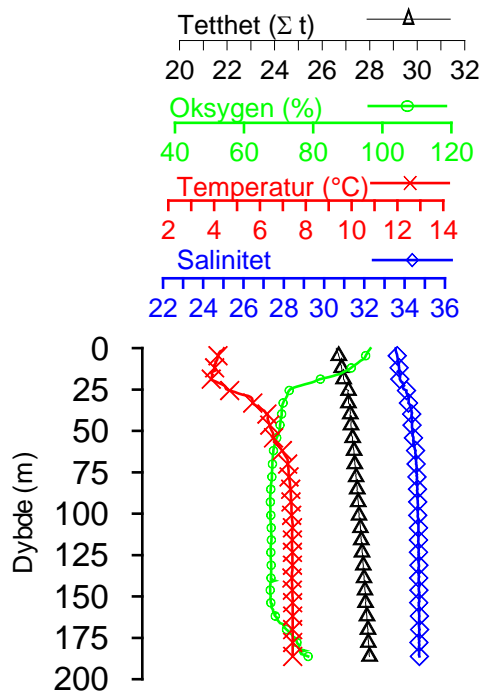


Stavfjorden st.4
26.11.09

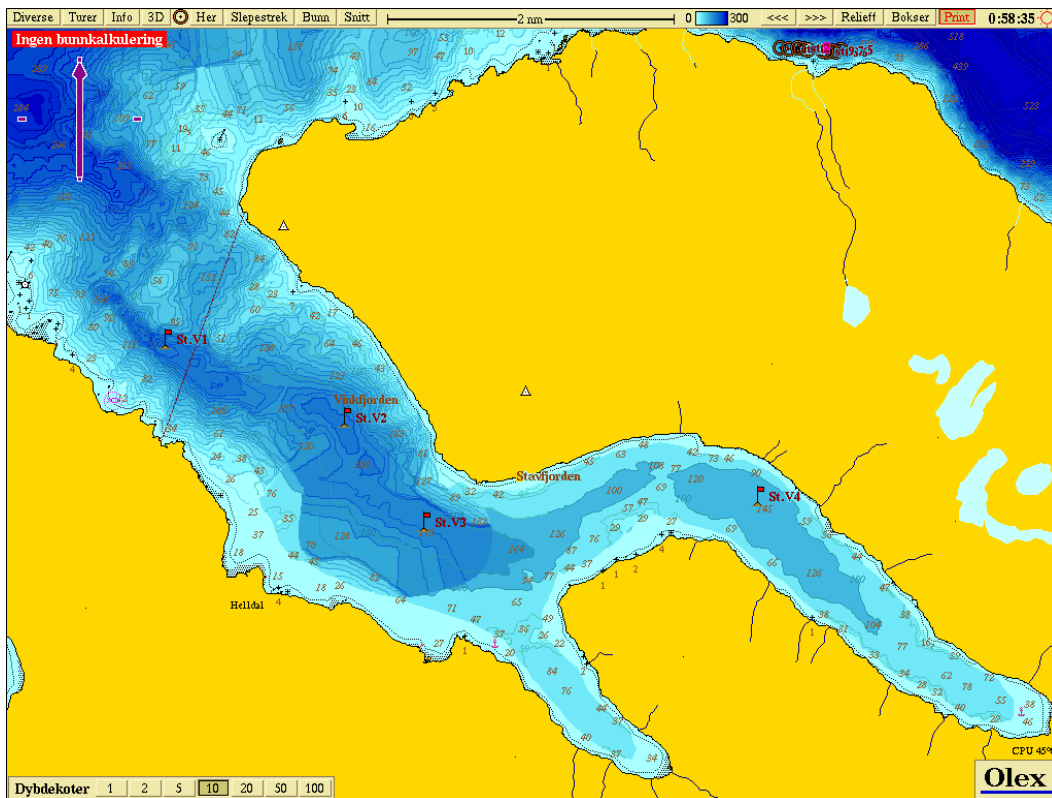


Figur 3: Hydrografiprøver tatt 26. november 2009 i Vinkfjorden og Stavfjorden

Vinkfjord 08.04.10



Figur 4: CTD-O-profil fra vannkvalitetsprøve tatt på 186 m dyp i Vinkfjorden 8. april 2010. Dette tilsvarer stasjon V2 i Figur 5 nedenfor.



Figur 5: Vinkfjorden med stasjon V1 – V3 og Stavfjorden med stasjon V4 inntegnet.

2.4 Inngangsdata til fjordmodellen

2.4.1 Topografi

Modellberegningene for Vinkfjorden er gjort for området innenfor terskelen som ligger nordøst for lokaliteten Hellarvika (Figur 2). Dybdemålinger utført av oppdragsgiver viser at største terskeldyp i munningen av fjorden er omtrent 135 m (se kapittel 3.1), og tverrsnittsarealet av åpningen på munningen er beregnet til å være 0,2 km². Arealet i det ytre bassenget i Vinkfjorden er ca. 20 km², mens største dyp er på omtrent 205 m. Totalt volum av dette ytre hovedbassenget i Vinkfjorden er beregnet til å være 1,8 km³. Volumet av bassengvannet er ca. 0,17 km³.

Vinkfjorden deler seg videre opp i 2 mindre fjordarmer mot øst, som også begge er terskelfjorder. Den ene, i syd er en fortsettelse av selve Vinkfjorden, og vi kaller den Indre Vinkfjorden. Den har et overflateareal på 1,7 km², en terskel på omtrent 49 m og største dyp i bassenget på ca. 86 m. Den nordlige armen heter Stavfjorden og har et areal på 6 km². Den har en terskel på ca. 99 m nord for Tverrfjellodden (Figur 2) og med største dyp i det indre bassenget i øst på ca. 150 m.

Opplysninger om areal og volum i ulike dybdeintervall innenfor tersklene i Vinkfjorden er beregnet fra dybder fra kartapplikasjonen til Fiskeridirektoratet (www.fiskeridir.no) og Olex-systemet.

2.4.2 Drivkrefter for sirkulasjon

Utskifting av og oppholdstid for vann både over og under terskeldypet drives primært av tidevannet, tetthetsforskjell mellom fjord- og kystvann, og ferskvannstilførsel fra land (estuarin sirkulasjon). Parametere for tetthetsdrevet vannutskifting er hentet fra databasen som inngår i modellen FjordEnv (Stigebrandt, 2001). Tidevannsamplituden brukt i beregningene er 1,1 m (forskjellen mellom flo og fjære blir da 2,2 m), og er basert på modellens database. Denne verdien er sjekket mot verdier fra nærmeste faste målestasjon for vannstand (Statens kartverk sjø, <http://vannstand.statkart.no>) fra Narvik, og er funnet til å være en representativ verdi. Den totale ferskvannstilførselen er anslått til å være 20 m³/s i modellen. Effekter av vind er ikke tatt med i beregningene. Andre inngangsdata er minste siktedyp sommerstid og oksygenkonsentrasjon i ”nytt” bassengvann før nedbrytning av organisk materiale starter. For disse parametere er verdiene hentet fra modellens database.

Oksygenkonsentrasjonen er representert med 6 ml/l og siktedypet er satt til 5 m.

Om vi antar at ”nytt” bassengvann med oksygenkonsentrasjon 6 ml/l tilsvarer 90 % oksygenmetning, kan oksygenkonsentrasjonene i ml/l omregnes til %. Dette tilsvarer sjøvann med temperatur på ca. 9,5 °C. Dette tilsvarer en konservativ verdi, fordi kaldere vann gir høyere løsningssevne for oksygenet. Til sammenlikning ville tilsvarende 90 % oksygenmetning for sjøvann med temperatur på 2 °C være ca. 6,9 ml/l (Aure m.fl., 2009). Temperaturmålinger fra Vinkfjorden viser at vannet i november og april har temperaturer mellom 4 og 10,5 °C (Figur 3 og Figur 4), men vannet forventes å ha både kaldere vann midt på vinteren og varmere vann tidlig om høsten. Respektive data fra nabofjorden Mørsvikfjorden viste temperaturer mellom 2 og 11,5 °C (Guneriusen & Sørflaten, 2007; Guneriusen, 2010; Leikvin, 2010).

2.4.3 Tilførsel av næringsalter og organisk materiale

Det aller meste av næringsalttilførselen til fjorden (utenom det som kommer fra oppdrett og antropogen påvirkning) skjer på grunn av innstrømmende kystvann, bakgrunnsavrenning (elvetilførsel) og nedbør på havoverflaten. Det meste av naturlig produksjon av organisk materiale i vannsøylen skjer ved hjelp av algeproduksjon i overflatelaget, gjennom forbruk av næringsalt som naturlig finnes i sjøvannet. I modelleringen er det brukt en bakgrunnsfluks på $5,5 \text{ gC/m}^2$ per måned som bestemmende for den naturlige primærproduksjonen. Ut fra dette beregnes en typisk mengde organisk materiale (karbon) som synker ned i dypbassenget, og gjennomsnittlig oksygenforbruk under terskeldypet.

I området rundt Vinkfjorden er det ca. 30 fritidsboliger. Vi kan dermed regne med at fjorden blir tilført næringsalter tilsvarende $30 \times 2,5$ personenheter (pe), altså 75 pe, enten som direkte kloakktlipp eller som tilsig fra septiktanker. Det er ingen betydelig industri eller landbruk i området. Av antropogene bidrag av næringsalter har vi i modellberegningene derfor kun tatt hensyn til de 75 pe i tillegg til bidraget fra oppdrettsanleggene. 75 pe tilsvarer en årlig tilførsel av omlag 0,06 tonn fosfor og 0,04 tonn nitrogen (omregningstall fra Mosevoll m.fl., 1999). Dette er svært lite sammenlignet med den marine tilførselen. En kontrollsimulering med tidobbel antropogen tilførsel fra land ga ikke utslag på oksygenforbruket i dypbassenget, fordi organisk materiale fra lokal biologisk produksjon i fjordens overflatelag dominerer, samtidig som vannet ovenfor terskelen skiftes ut raskere enn næringsaltene når å synke ned under terskelnivå.

Som beskrevet i kapittel 1.3, har Mainstream AS pr. 2010 en tillatt maksimal stående biomasse på 3600 tonn ved Hellervika syd for terskelen på vestre side i Vinkfjorden, og ønsker også å ta i bruk en alternativ lokalitet inne i fjorden.

Lakseproduksjonen medfører økt tilførsel av karbon, nitrogen og fosfor til fjorden fra fekalier fra fisken og fiskefôr som ikke blir spist (overskuddsfôr). Overskuddsfôret og fekalier fra fisken vil synke ned mot bunnen under anlegget. Dette organiske materialet vil påvirkes av strømforholdene mens det synker og spres over et større område før det sedimenteres. Organisk materiale som sedimenteres i grunnområder vil normalt ikke ha negativ innvirkning på oksygenforholdene i terskelbassenget. Nedbrytning av organisk materiale som sedimenteres dypere enn terskeldypet kan derimot føre til oksygenkrisiske forhold, dersom tilførselen av "friskt" bunnvann ikke er god nok. Uten å gjennomføre en detaljert sprednings- og deponeringsmodellering er det vanskelig å si nøyaktig hvor stor del av tilførselene fra oppdrettsanleggene som faktisk vil synke ned i de dype delene av fjordbassenget. Vi har derfor valgt å gjøre forskjellige modelleringer med gradvis økning av andelen av sedimentering på dypt vann, under terskeldybden (0, 25, 50, 75 og 100 %).

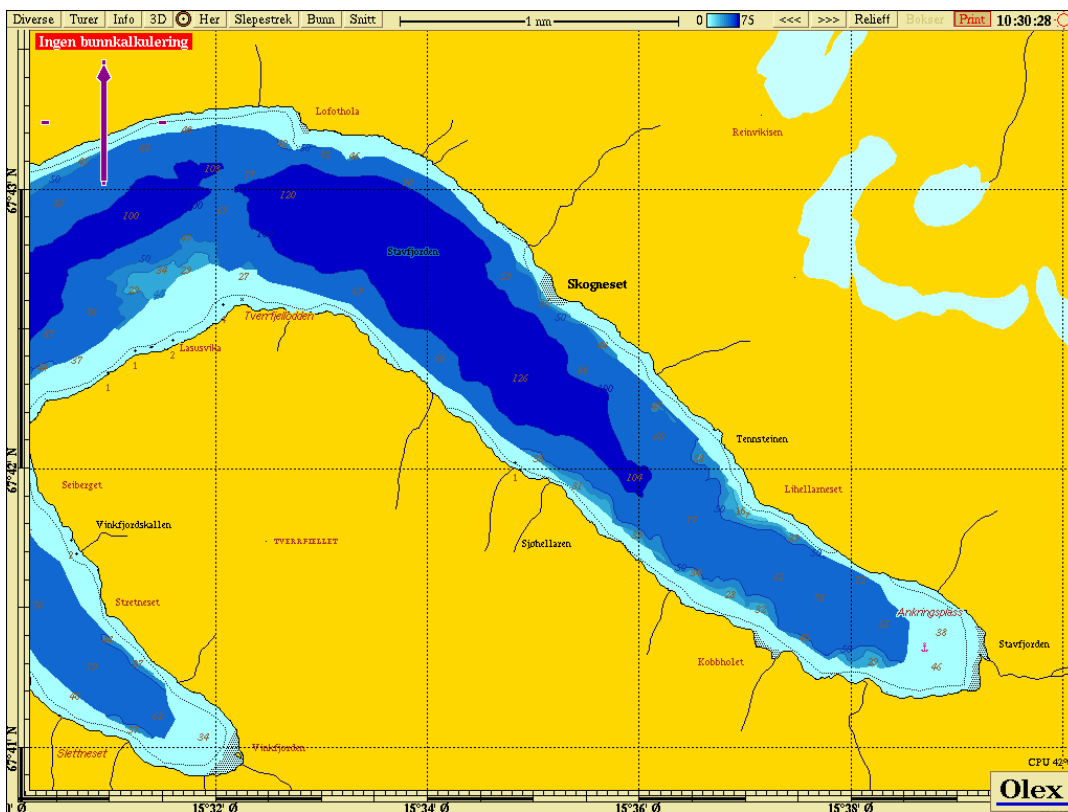
Det er antatt en fôrfaktor på 1.

2.4.4 Fjordarmenes bidrag

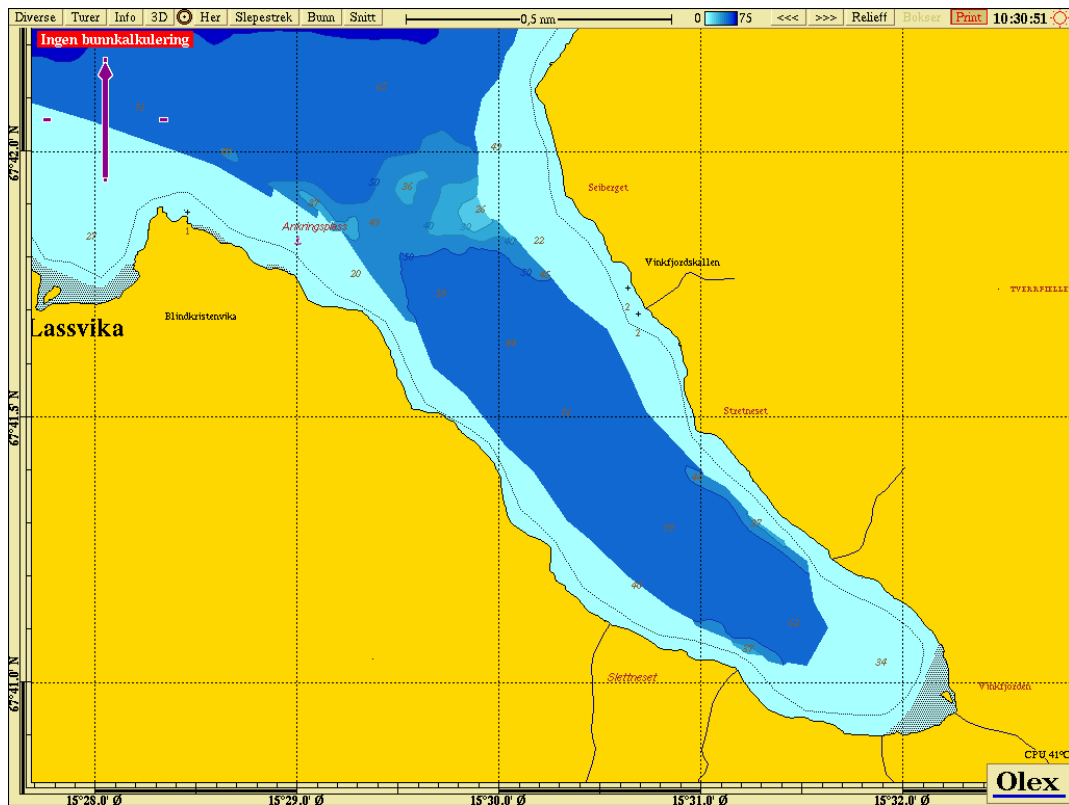
Fjordarmenes bidrag kan inkluderes i Fjordenv-modellen. Fjordarmene i Vinkfjorden har definerte terskler, og deres bidrag til vannutsiftningen i hovedbassenget skal modelleres separat. Nedenfor kommer kartbilder av indre del av Stavfjorden i nord (Figur 6) og Vinkfjorden i sør (Figur 7). I Tabell 1 nedenfor presenteres de viktigste geometriske karakteristika for disse terskelfjordarmene.

Tabell 1: Geometriske karakteristika til terskelfjordarmene til Vinkfjorden

Terskelfjordarm Vinkfjorden	til	Overflateareal [km ²]	Terskeldybde [m]	Største dybde [m]
Indre Vinkfjorden		1,7	49	86
Stavfjorden		6	99	150



Figur 6: Stavfjorden. Terskelen ligger i nordvest, nord for Tverrfjellodden (Kartkilde: Olex).



Figur 7: Indre Vinkfjorden. Terskelen ligger oppe mot nordvest i fjorden (kartkilde: Olex).

2.4.5 Simuleringer

Basert på datamaterialet ovenfor ble det gjort modellkjøringer for å finne belastning og tilstand i de to indre fjordarmene uten utslipp fra oppdrettsvirksomhet. På denne måten kunne vi finne ut av hvilken grad disse fjordarmene eventuelt har potensial for å påvirke det ytre bassenget i Vinkfjorden. Modellering ble altså først foretatt for kun naturlig belastning og belastning fra antropogene utslipp, ingen fiskeproduksjon i fjordarmene.

Basert på datamaterialet ovenfor ble det gjort en modellkjøring for å finne belastning og tilstand i ytre del av Vinkfjorden uten utslipp fra oppdrettsvirksomhet, før modellkjøringer med forskjellige belastninger fra oppdrettsanlegg ble foretatt. Økende produksjoner ble simulert helt til bassengvannet gikk tomt for oksygen. To forskjellige prosentdelene på overskuddsfôr ble simulert for, 5 % og 10 %. Dette indikerer antall prosent av fiskefôret som synker ned på havbunnen, og er tenkt å illustrere henholdsvis en sannsynlig situasjon og en "worst case scenario"-situasjon.

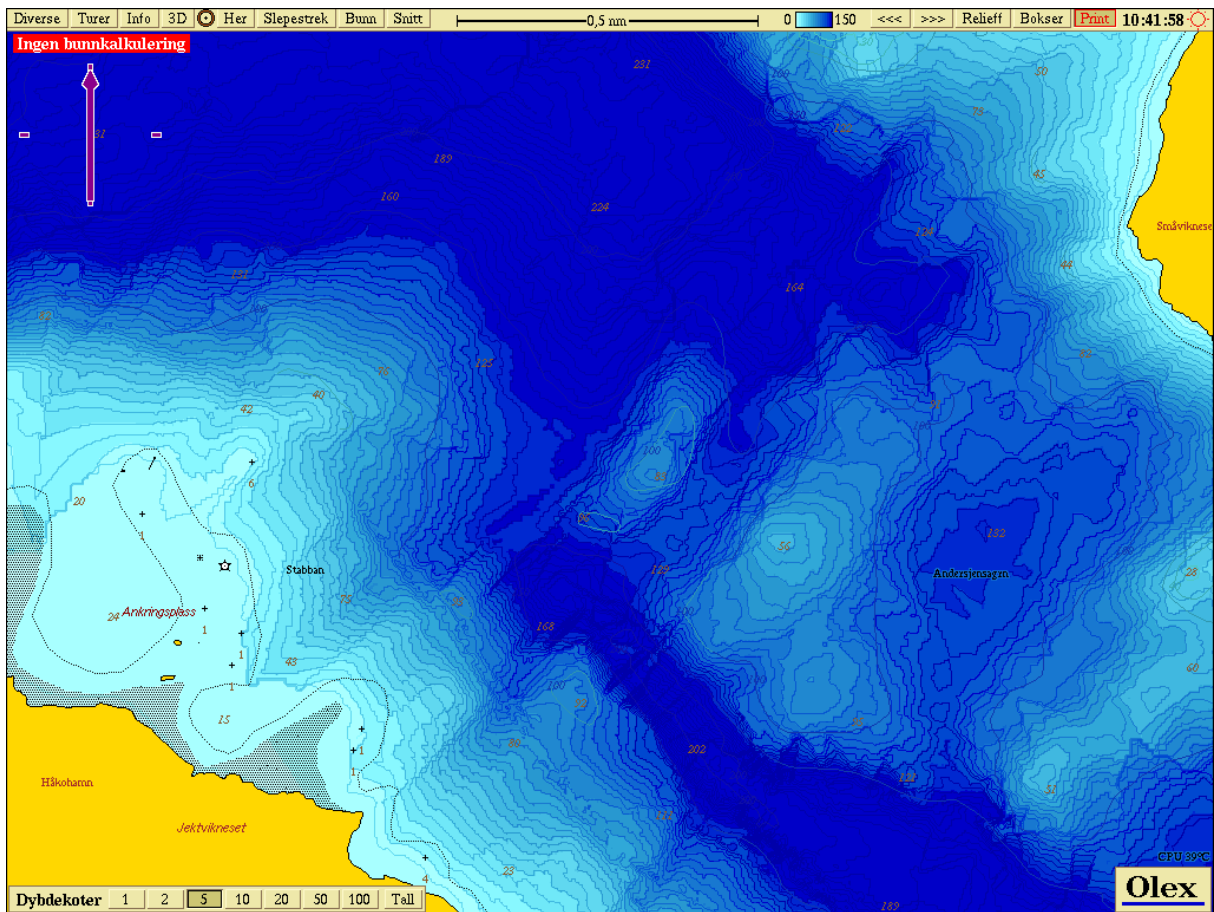
Modellering er altså foretatt for følgende scenarioer, med påvirkninger fra indre fjordarmer inkludert (ingen fiskeproduksjon her):

- 1) Kun naturlig belastning og belastning fra antropogene utslipp, ingen fiskeproduksjon.
- 2) 5 % av fiskefôr går til havbunnen. 25 % av sedimentering fra anlegget foregår på dyp under terskeldybden. Økning av fiskeproduksjon inntil oksygenminimum går i null (tomt for oksygen i dypvannet).
- 3) 5 % av fiskefôr går til havbunnen. 50 % av sedimentering fra anlegget foregår på dyp under terskeldybden. Økning av fiskeproduksjon inntil oksygenminimum går i null (tomt for oksygen i dypvannet).
- 4) 5 % av fiskefôr går til havbunnen. 75 % av sedimentering fra anlegget foregår på dyp under terskeldybden. Økning av fiskeproduksjon inntil oksygenminimum går i null (tomt for oksygen i dypvannet).
- 5) 5 % av fiskefôr går til havbunnen. 100 % av sedimentering fra anlegget foregår på dyp under terskeldybden. Økning av fiskeproduksjon inntil oksygenminimum går i null (tomt for oksygen i dypvannet).
- 6) 10 % av fiskefôr går til havbunnen. 100 % av sedimentering fra anlegget foregår på dyp under terskeldybden. ("Worst case scenario"). Økning av fiskeproduksjon inntil oksygenminimum går i null (tomt for oksygen i dypvannet).

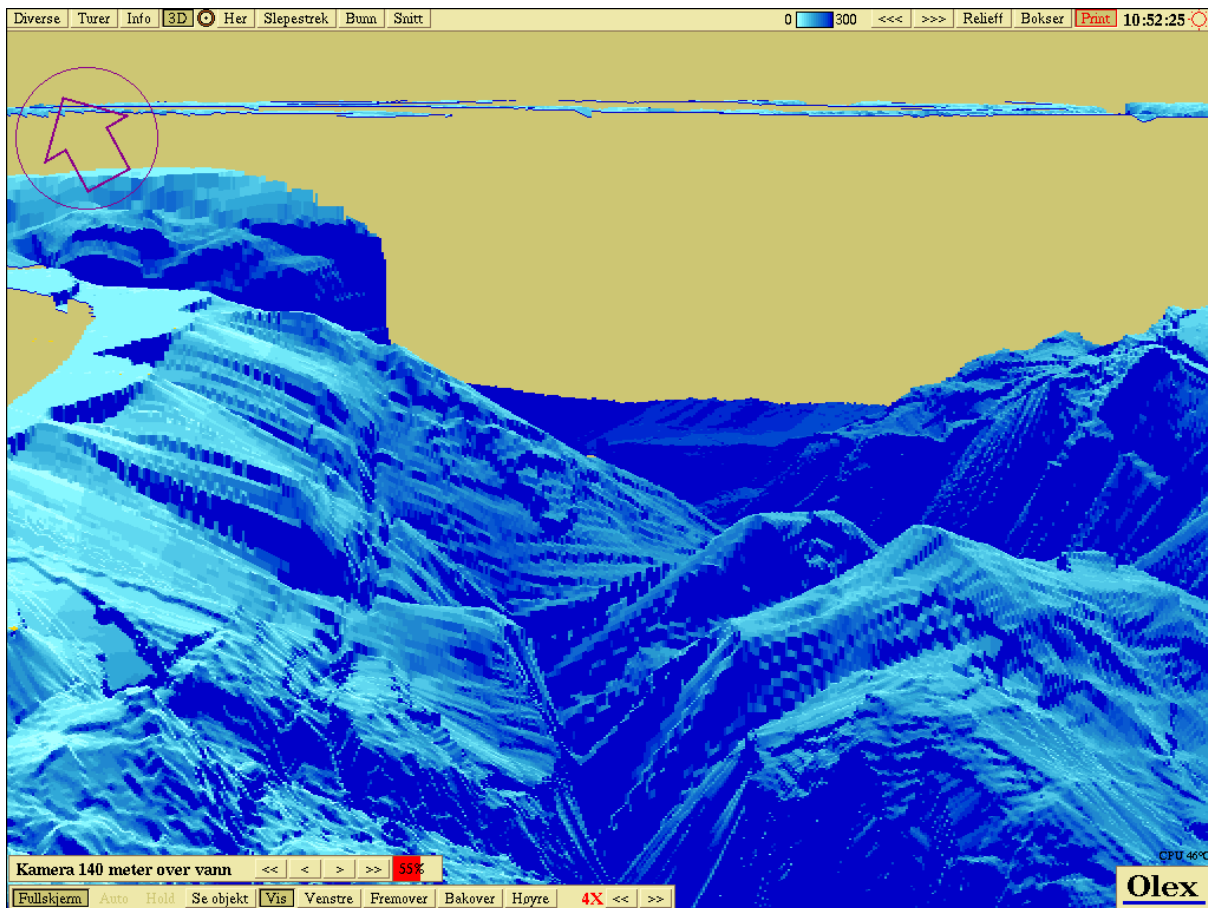
3 Resultater

3.1 Dybdemålinger

Olex dybdemålinger viste at største terskeldyp i vest i Vinkfjorden er omtrent 135 m, se Figur 8. Største dyp ble målt til 205 m. Det oppmålte terskelområdet er gjengitt i 3D i Figur 9.



Figur 8: Dybdekart for terskelområdet vest i Vinkfjorden, oppmålt med Olex. Beregnede dybdekoter for hver 5. meter er vist. Den mørkeste blåfargen er vandyp større enn 150 m. Tallene er dybder fra Statens Kartverk, Sjøkartverket.



Figur 9: Dybdekart i 3D for terskelområdet vest i Vinkfjorden, oppmålt med Olex. Kameraet kikker fra øst mot vest over terskeldypet. Mørk blåfarge er dypest vann. Vi ser den litt udefinerte terskelryggen som ligger like bak de tre undersjøiske fjellene, som ligger til høyre for dyprenna i midten. NB: Vertikaloppløsningen er forstørret 4 ganger, for å tydeliggjøre konturene i terskelområdet.

3.2 Modellberegninger

Vi har valgt å presentere de viktigste resultatene fra de to indre fjordarmene til Vinkfjorden først. Til slutt kommer det store ytterste Vinkfjord-bassenget, hvor de indre fjordenes resultater også er implementert i simuleringene.

3.2.1 Indre fjordarmer

Nedenfor er resultatene fra modelleringen med FjordEnv på de to fjordarmene til Vinkfjorden-bassenget presentert på tabellform (Tabell 2). Antropogene utslipp fra jordbruk (ubetydelige), kloakk (svært små bidrag, se kapittel 2.4.3) og fiskeoppdrett er ikke inkludert, kun naturlige utslipp. Vi ser at de to fjordarmene gir noe effekt til det ytre Vinkfjord-bassenget i form av effekten fra indre bølger som blir satt opp over tersklene. Denne er størst for Stavfjorden, og produserer krefter som virker for økt vertikal omrøring av vannmassene, og dermed bedre utskifting av bassengvannet i det ytre Vinkfjorden. Imidlertid vil terskelfjordarmene begrense det totale areal og volum til selve Vinkfjord-bassenget, slik at bassenget får en lavere bæreevne for mottak av organisk materiale. Disse to effektene oppveier hverandre i mer eller mindre grad.

Tabell 2: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv på de to terskelfjordarmene i Vinkfjorden.

Terskelfjordarmer til Vinkfjorden	Oksygenminimum [ml/l]	Oksygenminimum [%]	Vannutskiftningstid [mnd]	Tid for oksygenforbruk [mnd]	Effekt til ytre basseng [kW]
Indre Vinkfjorden	1,5	23	18	24	0,0088
Stavfjorden	3,6	23	13	31	0,0348

3.2.2 Ytre Vinkfjorden-basseng

I følge modellberegningene er den intermediære sirkulasjonen (som drives av forskjeller mellom egenvekten til vannet i og utenfor fjorden) dominerende for Vinkfjorden med 2633 m³/s. Til sammenligning er den ferskvannsdrevne sirkulasjonen beregnet til 177 m³/s (unøyaktig verdi) og den tidevannsdrevne sirkulasjonen 686 m³/s. Vannet over terskeldypet vil ifølge modellen bli skiftet ut i løpet av 7 døgn, mens utskifting av alt bassengvannet vil ta omtrent et halvt år (6 måneder). Vi vil nå simulere for forskjellige verdier for antatt fôrspill og for gradvis økning av belastningen av fiskeproduksjon. Første scenario har ingen fiskeoppdrett. Scenario 2-5 har gradvis større andel av det nedsynkende organiske materialet som deponerer på dypvannet, med 5 % fôrspill. Scenario 6 har 10 % fôrspill med 100 % deponering på dypvannet. Med større andel av sedimenteringen fra oppdrettsanleggene som foregår i grunne områder, vil oksygenkonsentrasjonene samsvare mer med de i scenario 1.

3.2.3 Scenario 1: Belastning uten fiskeoppdrett

Basert på inngangsdataene for antropogen tilførsel av næringssalt fra land og elver samt naturlig biologisk produksjon i fjorden er det beregnet at en total mengde på ca. 140 tonn karbon (C), 25 tonn nitrogen (N) og 3 tonn fosfor (P) vil synke ned i de dypere delene av fjorden pr. år. Nedbrytning av dette er beregnet å kreve et oksygenforbruk 0,17 ml/l pr. måned, slik at tidsskalaen for å forbruke alt tilgjengelig oksygen i bassenget (under terskeldypet) er omtrent 36 måneder (3 år). Til sammenligning er tidsskalaen for utskifting av bassengvannet beregnet til ca. 6 måneder. Ved tilførsel av næringssalter fra kun "naturlige" og antropogene kilder vil altså bassengvannet i Vinkfjorden bli skiftet ut før oksygenet er forbrukt. Beregnet minimumsoksygenkonsentrasjon i bassengvannet er 5,07 ml/l.

3.2.4 Scenario 2: Belastning ved 5 % fôrspill og 25 % deponering i dypområdet

Modellering av forskjellige belastninger med 5 % fôrspill er gitt i Tabell 3 og Figur 10. Her er vist økende belastninger helt til alt oksygenet blir brukt opp.

Resultatene fra modelleringen viser for eksempel at Vinkfjorden kan romme en produksjon på omkring 14000 tonn/ år før oksygenminimum i dypvannet går ned til 50 %.

Det simuleres her med den antagelse at 25 % av ekskrementer og fôrspill blir deponert på havbunnen, på dybder under terskeldypet.

Den naturlige tilførselen av organisk karbon, nitrogen og fosfor tilsvarer omtrentlig det som tilføres av en fiskeproduksjon på ca. 7500 tonn/ år.

Tabell 3: Modelleringer med 5 % fôrspill og 25 % deponering på dybder under terskeldybden. Tallene for C (karbon), N (nitrogen) og P (fosfor) er gitt ved summen av tilførsel fra fiskeproduksjon (varierer) og naturlig tilførsel (konstant). (OBS: Samlet produksjon tilsvarer omtrent maksimal stående biomasse + 30 %).

Produksjon [tonn/år]	Oksygen- minimum [ml/l]	Oksygen- minimum [%]	C [tonn/år]	N [tonn/år]	P [tonn/år]
0	5,07	77	140	25	3
1000 (250)	4,95	74	19+140=159	3+25= 28	1+3= 4
2000 (500)	4,82	72	38+140=178	7+25= 32	1+3= 4
3000 (750)	4,70	70	56+140=184	10+25= 35	2+3= 5
4000 (1000)	4,57	69	75+140=215	14+25= 39	2+3= 5
5000 (1250)	4,45	67	94+140=243	17+25= 42	3+3= 6
6000 (1500)	4,32	65	113+140=253	20+25= 45	3+3= 6
7000 (1750)	4,20	63	131+140=271	24+25= 49	4+3= 7
8000 (2000)	4,07	61	150+140=290	27+25= 52	5+3= 8
9000 (2250)	3,95	59	169+140=309	30+25= 55	5+3= 8
10000 (2500)	3,82	57	188+140=328	34+25= 59	6+3= 9
11000 (2750)	3,70	55	206+140=346	37+25= 62	6+3= 9
12000 (3000)	3,58	54	225+140=365	41+25= 66	7+3=10
13000 (3250)	3,45	52	244+140=384	44+25= 69	7+3=10
14000 (3500)	3,33	50	263+140=402	47+25= 72	8+3=11
15000 (3750)	3,20	48	281+140=421	51+25= 76	8+3=11
16000 (4000)	3,08	46	300+140=440	54+25= 79	9+3=12
17000 (4250)	2,95	44	319+140=459	57+25= 82	10+3=13
18000 (4500)	2,83	42	338+140=478	61+25= 86	10+3=13
19000 (4750)	2,70	40	356+140=496	64+25= 89	11+3=14
20000 (5000)	2,58	39	375+140=515	68+25= 93	11+3=14
21000 (5250)	2,45	37	394+140=534	71+25= 96	12+3=15
22000 (5500)	2,33	35	413+140=553	74+25= 99	12+3=15
23000 (5750)	2,21	33	431+140=571	78+25=103	13+3=16
24000 (6000)	2,08	31	450+140=590	81+25=106	14+3=17
25000 (6250)	1,96	29	469+140=609	84+25=109	14+3=17
26000 (6500)	1,83	27	488+140=628	88+25=113	15+3=18
27000 (6750)	1,71	26	506+140=646	91+25=116	15+3=18
28000 (7000)	1,58	24	525+140=665	95+25=120	16+3=19
29000 (7250)	1,46	22	544+140=684	98+25=123	16+3=19
30000 (7500)	1,33	20	563+140=703	101+25=126	17+3=20
31000 (7750)	1,21	18	581+140=721	105+25=130	17+3=20
32000 (8000)	1,09	16	600+140=740	108+25=133	18+3=21
33000 (8250)	0,96	14	619+140=759	111+25=136	19+3=22
34000 (8500)	0,84	13	638+140=778	115+25=140	19+3=22
35000 (8750)	0,71	11	656+140=796	118+25=143	20+3=23
36000 (9000)	0,59	9	675+140=815	122+25=147	20+3=23
37000 (9250)	0,46	7	694+140=834	125+25=150	21+3=24
38000 (9500)	0,34	5	713+140=853	128+25=153	21+3=24
39000 (9750)	0,21	3	731+140=871	132+25=157	22+3=25
40000 (10000)	0,09	1	750+140=890	135+25=160	23+3=26
40700 (10175)	0	0	763+140=903	137+25=162	23+3=26

3.2.5 Scenario 3: Belastning ved 5 % fôrspill og 50 % deponering i dypområdet

Modellering av forskjellige belastninger med 5 % fôrspill er gitt i Tabell 4 og Figur 10. Her er vist økende belastninger helt til alt oksygenet blir brukt opp.

Det simuleres her med den antagelse at 50 % av ekskrementer og fôrspill blir deponert på havbunnen, på dybder under terskeldypet.

Resultatene fra modelleringen viser for eksempel at Vinkfjorden kan romme en produksjon på omkring 7000 tonn/år før oksygenminimum i dypvannet går ned til 50 %.

Den naturlige tilførselen av organisk karbon, nitrogen og fosfor tilsvarer omtrentlig det som tilføres av en fiskeproduksjon på litt under 4000 tonn/ år.

Tabell 4: Modelleringsresultater med 5 % fôrspill og 50 % deponering på dybder under terskeldybden. Tallene for C (karbon), N (nitrogen) og P (fosfor) er gitt ved summen av tilførsel fra fiskeproduksjon (varierer) og naturlig tilførsel (konstant). (OBS: Samlet produksjon tilsvarer omtrent maksimal stående biomasse + 30 %).

Produksjon [tonn/år]	Oksygenminimum [ml/l]	Oksygenminimum [%]	C [tonn/år]	N [tonn/år]	P [tonn/år]
0	5,07	77	140	25	3
1000 (500)	4,82	72	38+140=178	7+25= 32	1+3= 4
2000 (1000)	4,57	69	75+140=215	14+25= 39	2+3= 5
3000 (1500)	4,32	65	113+140=253	20+25= 45	3+3= 6
4000 (2000)	4,07	61	150+140=290	27+25= 52	5+3= 8
5000 (2500)	3,82	57	188+140=328	34+25= 59	6+3= 9
6000 (3000)	3,58	54	225+140=365	41+25= 66	7+3=10
7000 (3500)	3,33	50	263+140=402	47+25= 72	8+3=11
8000 (4000)	3,08	46	300+140=440	54+25= 79	9+3=12
9000 (4500)	2,83	42	338+140=478	61+25= 86	10+3=13
10000 (5000)	2,58	39	375+140=515	68+25= 93	11+3=14
11000 (5500)	2,33	35	413+140=553	74+25= 99	12+3=15
12000 (6000)	2,08	31	450+140=590	81+25=106	14+3=17
13000 (6500)	1,83	27	488+140=628	88+25=113	15+3=18
14000 (7000)	1,58	24	525+140=665	95+25=120	16+3=19
15000 (7500)	1,33	20	563+140=703	101+25=126	17+3=20
16000 (8000)	1,09	16	600+140=740	108+25=133	18+3=21
17000 (8500)	0,84	13	638+140=778	115+25=140	19+3=22
18000 (9000)	0,59	9	675+140=815	122+25=147	20+3=23
19000 (9500)	0,34	5	713+140=853	128+25=153	21+3=24
20000 (10000)	0,09	1	750+140=890	135+25=160	23+3=26
20350 (10175)	0	0	763+140=903	137+25=162	23+3=26

3.2.6 Scenario 4: Belastning ved 5 % fôrspill og 75 % deponering i dypområdet

Modellering av forskjellige belastninger med 5 % fôrspill er gitt i Tabell 5 og Figur 10. Her er vist økende belastninger helt til alt oksygenet blir brukt opp.

Det simuleres her med den antagelse at 75 % av ekskrementer og fôrspill blir deponert på havbunnen, på dybder under terskeldypet.

Resultatene fra modelleringen viser for eksempel at Vinkfjorden kan romme en produksjon på nesten 5000 tonn/år før oksygenminimum i dypvannet går ned til 50 %.

Den naturlige tilførselen av organisk karbon, nitrogen og fosfor tilsvarer omtrentlig det som tilføres av en fiskeproduksjon på 2500 tonn/ år.

Tabell 5: Modelleringsresultater med 5 % fôrspill og 75 % deponering på dybder under terskeldybden. Tallene for C (karbon), N (nitrogen) og P (fosfor) er gitt ved summen av tilførsel fra fiskeproduksjon (varierer) og naturlig tilførsel (konstant). (OBS: Samlet produksjon tilsvarer omtrent maksimal stående biomasse + 30 %).

Produksjon [tonn/år]	Oksygenminimum [ml/l]	Oksygenminimum [%]	C [tonn/år]	N [tonn/år]	P [tonn/år]
0	5,07	77	140	25	3
1000 (750)	4,70	70	56+140=184	10+25= 35	2+3= 5
2000 (1500)	4,32	65	113+140=253	20+25= 45	3+3= 6
3000 (2250)	3,95	59	169+140=309	30+25= 55	5+3= 8
4000 (3000)	3,58	54	225+140=365	41+25= 66	7+3=10
5000 (3750)	3,20	48	281+140=421	51+25= 76	8+3=11
6000 (4500)	2,83	42	338+140=478	61+25= 86	10+3=13
7000 (5250)	2,45	37	394+140=534	71+25= 96	12+3=15
8000 (6000)	2,08	31	450+140=590	81+25=106	14+3=17
9000 (6750)	1,71	26	506+140=646	91+25=116	15+3=18
10000 (7500)	1,33	20	563+140=703	101+25=126	17+3=20
11000 (8250)	1,33	20	563+140=703	101+25=126	17+3=20
12000 (9000)	0,59	9	675+140=815	122+25=147	20+3=23
13000 (9750)	0,21	3	731+140=871	132+25=157	22+3=25
13567 (10175)	0	0	763+140=903	137+25=162	23+3=26

3.2.7 Scenario 5: Belastning ved 5 % fôrspill og 100 % deponering i dypområdet

Modellering av forskjellige belastninger med 5 % fôrspill er gitt i Tabell 6 og Figur 10. Her er vist økende belastninger helt til alt oksygenet blir brukt opp.

Det simuleres her med den konservative antagelse at 100 % av ekskrementer og fôrspill blir deponert på dybder under terskeldypet.

Resultatene fra modelleringen viser for eksempel at Vinkfjorden kan romme en produksjon på ca. 3500 tonn/år før oksygenminimum i dypvannet går ned til 50 %.

Den naturlige tilførselen av organisk karbon, nitrogen og fosfor tilsvarer det som tilføres av en fiskeproduksjon på litt under 2000 tonn/ år.

Tabell 6: Modelleringer med 5 % fôrspill og 100 % deponering på dybder under terskeldybden. Tallene for C (karbon), N (nitrogen) og P (fosfor) er gitt ved summen av tilførsel fra fiskeproduksjon (varierer) og naturlig tilførsel (konstant). (OBS: Samlet produksjon tilsvarer omtrent maksimal stående biomasse + 30 %).

Produksjon [tonn/år]	Oksygenminimum [ml/l]	Oksygenminimum [%]	C [tonn/år]	N [tonn/år]	P [tonn/år]
0	5,07	77	140	25	3
1000	4,57	69	75+140=215	14+25= 39	2+3= 5
2000	4,07	61	150+140=290	27+25= 52	5+3= 8
3000	3,58	54	225+140=365	41+25= 66	7+3=10
4000	3,08	46	300+140=440	54+25= 79	9+3=12
5000	2,58	39	375+140=515	68+25= 93	11+3=14
6000	2,08	31	450+140=590	81+25=106	14+3=17
7000	1,58	24	525+140=665	95+25=120	16+3=19
8000	1,09	16	600+140=740	108+25=133	18+3=21
9000	0,59	9	675+140=815	122+25=147	20+3=23
10000	0,09	1	750+140=890	135+25=160	23+3=26
10175	0	0	763+140=903	137+25=162	23+3=26

3.2.8 Scenario 6: Belastning ved 10 % fôrspill og 100 % deponering i dypområdet (worst case scenario)

Ved å beregne et fôrspill på 10 %, som er en konservativ verdi når det gjelder denne parameteren og kan fungere som "worst case scenario", får vi resultater som gitt i Tabell 7 og Figur 10.

Det simuleres her med den konservative antagelse at 100 % av ekskrementer og fôrspill blir deponert på dybder under terskeldypet.

Resultatene fra modelleringen viser for eksempel at Vinkfjorden kan romme en produksjon på nesten 3000 tonn/år før oksygenminimum i dypvannet går ned til 50 %.

Denne modelleringen kan da antas som en "worst case scenario" for hvor sterkt fiskeproduksjonen i Vinkfjorden går ut over miljøtilstanden i terskelbassenget.

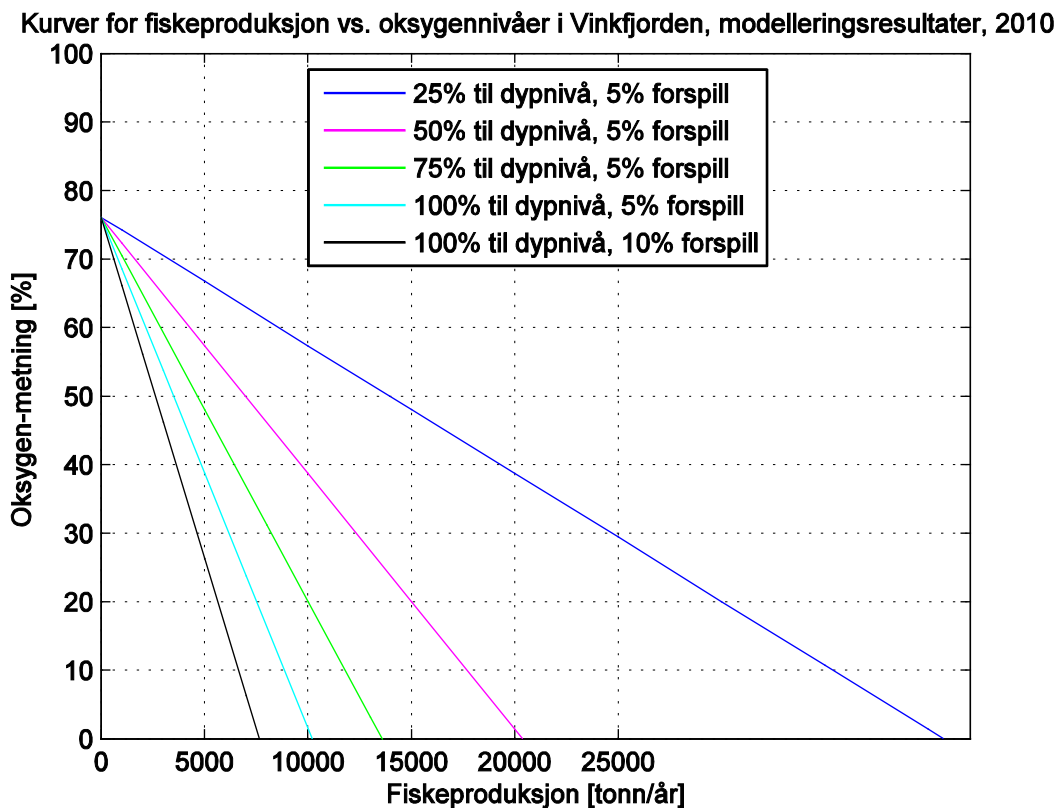
Den naturlige tilførselen av organisk karbon, nitrogen og fosfor tilsvarer omtrentlig det som tilføres av en fiskeproduksjon på litt i underkant av 1500 tonn/ år.

Tabell 7: Modelleringsresultater med 10 % fôrspill og 100 % deponering på dybder under terskeldybden. Tallene for C (karbon), N (nitrogen) og P (fosfor) er gitt ved summen av tilførsel fra fiskeproduksjon (varierer) og naturlig tilførsel (konstant). (OBS: Samlet produksjon tilsvarer omtrent maksimal stående biomasse + 30 %).

Produksjon [tonn/år]	Oksygenminimum [ml/l]	Oksygenminimum [%]	C [tonn/år]	N [tonn/år]	P [tonn/år]
0	5,07	77	140	25	3
1000	4,41	66	100+140=240	18+25= 43	3+3= 6
2000	3,74	56	200+140=340	36+25= 61	6+3= 9
3000	3,08	46	300+140=440	54+25= 79	9+3=12
4000	2,41	36	400+140=550	72+25= 97	12+3=15
5000	1,75	26	500+140=640	90+25=115	15+3=18
6000	1,09	16	600+140=740	108+25=133	18+3=21
7000	0,42	6	700+140=840	126+25=151	21+3=24
7630	0	0	763+140=903	137+25=162	23+3=26

3.2.9 Oppsummering

En oppsummering av simuleringene for de ulike scenarioene er gitt i Figur 10 nedenfor. Merk at modelleringene våre gir resultater for dypvannet, under terskeldybden, mens fiskeproduksjonen foregår i overflatevannet og øverste del av mellomlaget.



Figur 10: Modelleringsresultater for hvordan oksygenmetningen i laget under terskeldypet varierer med ulike scenarioer for fiskeproduksjon i overflatelaget. Scenariene viser økende grad av andeler organisk materiale som deponeres på dyp under terskelbassenget, med 5 % forspill. I tillegg er en "worst case scenario" vist, med 10 % forspill og 100 % deponering i dyplaget (sort), med økende fiskeproduksjon langs x-aksen.

4 Vurderinger av næringsalter og siktedyp

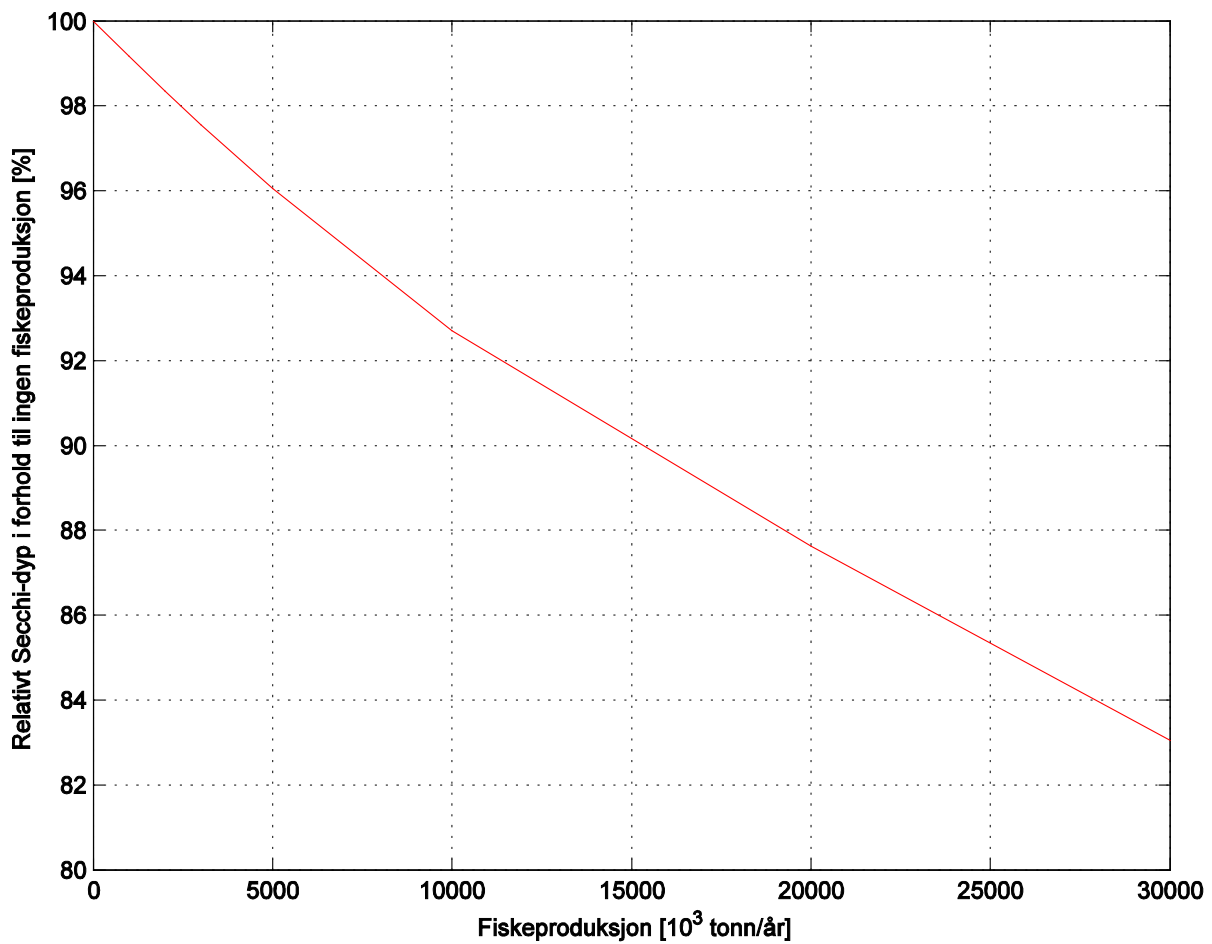
I forbindelse med en eventuell overbelastning av næringsalter i Vinkfjorden, kan vannkvaliteten reduseres. Som regel reduseres siktedypet, og det kan være fare for lokal overbelastning av næringsalter i strandsonen og algeoppblomstring. Mest sannsynlige periode for slike effekter er i sommerhalvåret (april-oktober), spesielt i forbindelse med vårfloppen. Sommerstid vil det dessuten også være høysesong for fiskefôring fra fiskeoppdrettsanlegg. Modellen FjordEnv kan simulere en slik reduksjon av siktedypet, som følge av tilførselen av næringsalter.

I kapittel 2.2 så vi at Fjordmiljømodellen ikke er kalibrert for terskler som er så dype som den i Vinkfjorden (50 m vs. 135 m). Større andeler av fôrspill og spesielt fekalier vil da ha tendens til å bli skyllet ut av Vinkfjorden eller bli oppløst og nedbrutt innen de når helt ned til dypvannet. Modellen beregner flushtiden til vannet over terskeldybden til ca. 7 dager.

På grunn av den begrensede tilførselen av næringsalter fra mennesker (kloakk) og jordbruk (se kapittel 2.4.3), vurderes næringsalter fra fiskeoppdrett og næringsalter som blir flushet inn med kyststrømmen som de viktigste kildene. Synkehastigheten til mesteparten av fiskefôret og noen av fekaliene vurderes som såpass høy at de vil synke nedenfor eutrofi-laget (30 m) på få minutter, før de brytes ned og løses opp til næringsalter. Hvis sprangsjiktet er sterkt (tetthetsforskjellen pga. ferskt og varmt vann over kaldere og saltere vann) og overflatestrømmen er mot strandsonen, vil nedsynkningshastighetene reduseres og de aller letteste partiklene eller næringssaltene fra disse kan bli transportert mot strandsonen. Denne tilførselen fra fiskeproduksjonsanlegg har potensial til å være med og bidra til overbelastning av næringsalter i strandsonen og dermed også til utrydding av for eksempel sukkertare (Klif, 2009). Forskning pågår på dette området. Høy vannføring i elver og gjerne i en kombinasjon med bidrag fra kyststrøm og intens fiskefôring vurderes som de største kildene til en eventuell algeoppblomstring eller overbelastning av næringsalter i Vinkfjorden. Det er ikke klart hvor stor andel av fekalier og fiskefôr som har såpass liten synkehastighet, at de kan bli transportert til strandsonen før de synker ned til havbunnen. Det er heller ikke klart hvor mye som kan nå å bli oppløst i overflatens vannmasser, innen de synker ned under vandypet hvor fisken står i anleggene.

Fjordmiljø-modellen antar verdier basert på årlige gjennomsnitt for tilførsel av næringsalter og fiskeproduksjon, men baserer seg på såkalte "worst-case scenario"-data. Resultater er gitt i Figur 11. Det er i simuleringene tatt hensyn til at modellversjon 3.3 har en for høy andel av protein i fôrsammensetningen, og endringene i siktedypet er derfor redusert med en faktor 2. (Stigebrandt, A., 2010). Ved en produksjon på omtrent 4 tusen tonn, vil Secchi-siktedypet kunne bli redusert med drøye 3 %. Aure og Stigebrandt (1990) foreslår at endringen i siktedypet ikke bør overstige 10 % som følge av tilførsel av næringsalter fra fiskeproduksjonsanlegg. I Vinkfjorden tilsvarer dette ca. 15 tusen tonn fiskeproduksjon per år.

I virkeligheten vil det for eksempel være mer intens fôring i oppdrettsanleggene i sommerhalvåret (ca. 3-5 ganger mer). I tillegg er det en naturlig økning av alger om våren og om høsten. Vi kan forestille oss at de letteste partiklene fra fekalier og fiskefôr vil kunne stille næringsalter til disposisjon for alger i overflatevannet. Alger vil da kunne blomstre og hope seg opp i strandsonen, ved pålandsvind, og en regner da med at disse næringssaltene og algene blir fordelt på en mindre del av fjordarealet. Hvis vi tar slike vurderinger med, bør man være enda mer restriktiv med hensyn til vannkvaliteten og siktedyp. Hvis flere uheldige omstendigheter faller sammen i tid og sted, kan dette altså ha kritiske konsekvenser for det marine livet i strandsonen.



Figur 11: Relativt Secchi siktedyp når fiskeproduksjonen øker i Vinkfjorden

5 Sammenfattende vurderinger og anbefalinger

Største dyp (ca. 205 m) i Vinkfjorden er omtrent 70 meter dypere enn terskeldybden (ca. 135 m) i fjorden. Dette medfører en naturlig og forventet noe begrenset vannutskiftning til dypområdet i fjorden. Fjordmodelleringen viser følgelig at Vinkfjorden har noe begrenset kapasitet til å bli belastet med fiskeproduksjon med deponering i det dype laget i fjorden. Det at fjordvolumet og bassengvolumet er relativt lite, er også en begrensende faktor for bæreevnen til terskelfjorden Vinkfjorden. Med antagelsen om at alt det organiske materiale som synker ned fra fiskeoppdrettsanleggene deponeres på dyp under terskeldypet, er det kun kapasitet til 2,5-3,5 tusen tonn fiskeproduksjon før gjennomsnittlig oksygenminimum gjennom dyplaget blir for eksempel 50 % (Figur 10). Ved et oksygenminimum på 35-50 %, vil miljøtilstanden jfr. Klifs (SFTs) veiledning for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann (Molvær m.fl., 1997) være karakterisert som "Mindre God".

Ved å anta at ikke alt det organiske materialet fra oppdrettsanlegget blir deponert på dybder under terskeldybden, vil miljøet i terskelbassenget belastes betraktelig mindre. Vinkfjorden vil da ha betraktelig større kapasitet for fiskeproduksjon. Hvis man for eksempel antar at omtrent 25 % deponeres i dypvannet og vurderer at modellen er gjennomgående konservativ og bruker forenklinger (se kapittel 2.2), kan det ifølge modellen produseres omtrent 14 tusen tonn før gjennomsnittlig oksygenminimum gjennom dyplaget når for eksempel 50 % (se Figur 10). 50 % er grensen Klifs (SFTs) veiledning gir for at miljøtilstanden går mot "Mindre God" (Molvær m.fl., 1997).

Ifølge modellen, vil tommelfinger-regelen være at det er rom for fordobling av produksjon, hvis bare halvparten av det organiske materialet fra et oppdrettsanlegg deponeres på dypvannet. Dette er en grov tilnærming, og andre effekter som for eksempel algeoppblomstring og uhensiktsmessige punktbelastninger på havbunnen kan oppstå som følge av overbelastning ved produksjonsanlegget.

De indre terskelfjordarmene, Stavfjorden og indre Vinkfjorden, har grunnere terskler (henholdsvis 49 og 99 m) enn selve Vinkfjorden (135 m). Flushtiden til vannet overfor terskelen i det ytre Vinkfjorden-bassenget er på ca. 7 dager. Derfor forventes vannet å bli hyppig skiftet ut over tersklene til alle de 3 delbassengene, og følgelig at de alle har god vannkvalitet over deres respektive terskeldyp. Disse betraktninger er blitt bekreftet av målinger (se kapittel 2.3). Det forventes da at bærekraftig fiskeoppdrettsvirksomhet i ytre Vinkfjorden-basseng har svært liten eller ingen negativ effekt på miljøforholdene i de indre terskelfjordarmene Stavfjorden og Indre Vinkfjorden.

Det eksisterende anlegget Hellarvika ligger på 45-105 m dyp. Et dypbasseng med maksimaldyp på ca. 205 m ligger nordøst for anlegget. Den horisontale avstanden fra ytre kant av anlegget til dypbassenget blir dypere enn terskeldypet (ca. 135 m) er ca. 200 m. Akvaplan-niva har målt strøm ved dette anlegget 3 ganger. Første gang var i 2005 i tidsrommet 6. oktober til 3. november, da det ble målt på 10 m dyp og nær bunnen. Andre gang var i 2007, mellom 17. januar og 14. februar, på 10 m dyp. Siste gang var i 2010, fra 8. april til 6. mai. Denne gang ble det målt på 5 og 15 m (andre målinger fra andre dyp var av dårlig kvalitet).

Vi har beregnet relativ vanntransport fra en 120 graders sektor som åpner seg ut mot dypvannet (sektoren 335-95 grader) i forhold til total vanntransport, for de ulike måleseriene. Resultatene er gitt i Tabell 8. Det forventes at mesteparten av det nedsynkende materialet faller ned i umiddelbar nærhet av anlegget. Hvis det likevel fortsetter et stykke bort fra

anlegget, så ser vi at kun 10 – 20 % av det organiske materialet går i retning mot dypvannet. Dette gjelder i de øverste 15 m, men forventes å gjelde også et stykke nedover i vannsøylen.

Sedimentanalyser fra 2005 med anlegg i drift (Guneriusen, 2005) viste organisk belastet havbunn (karbon) angående deponert organisk materiale like under anlegget, med tilstandsklassifisering fra SFT/ Klif (Molvær m.fl., 1997) mellom “God” og “Meget dårlig”. En sedimentanalyse tatt fra ca. 150 m avstand fra anlegget, mot dypområdet, viste beste tilstandsklasse. Denne ble tatt på ca. 100 m dyp, og vil derfor være tydelig preget av den gode vannutskiftningen over terskeldypet.

Hvis vi velger å bruke 25 % -simuleringene for lokaliteten Hellarvika (se kapittel 3.2.4) simulerer modellen for eksempel at hvis vi opererer med 50 % oksygenminimum som en grense, at det kan være kapasitet til ca. 14 tusen tonn/år. Dette resultatet er sett i forhold til bæreevnen for hele Vinkfjorden angående organisk materiale. Det presiseres at disse tallene og betraktningene gjelder kun hvis det er produksjonen av oksygenforholdene i dyplaget til Vinkfjorden som er den begrensende faktor for bæreevnen til fjorden.

Med en produksjon på 1950 tonn i løpet av 2009 (se kapittel 1.3), og en fullstendig utslakting i anlegget i løpet av høsten 2009, ble oksygenmetningen målt til ca. 60 % nederst i dypområdet i terskelbassenget sent i november 2009. Hvis vi tar gjennomsnittet over dypet under terskelnivået (135-202 m), vil oksygenmetningen fra november 2009 bli omtrent 63 %. Med en produksjon på 2 tusen tonn/ år viser imidlertid modellsimuleringene et oksygenminimum i dypvannet på drøye 70 % (Figur 10). Årsaken til avviket mellom valideringsmålinger og simuleringer kan være både usikkerheter i modellen og fysiske faktorer i Vinkfjorden og omkringliggende vannmasser som ikke er inkludert i simuleringene. Det har for eksempel tidvis vært observasjoner av store mengder overvintrende sild i nærliggende fjorder (for eksempel Tysfjorden), som vil kunne bidra til redusert oksygenmetning i vannmassene (Havforskningsinstituttet, 2002).

Hvis vi kalibrerer modellen med det målte oksygenminimum på 63 % for produksjon på 2 tusen tonn, vil vi fortsatt få god utskiftning av dypvannet vinterstid.

Tabell 8: Oversikt over lokaliteten Hellarvika og andel av vannfluks som går mot dypvannet (120 graders sektor).

Måledyp	Dato	% andel av vanntransport mot en 120 graders-sektor mot dypbassenget
5 m	8.4.2010	10 %
10 m	6.10.2005	10 %
10 m	17.1.2007	20 %
15 m	8.4.2010	4 %
3 m over bunn	6.10.2005	46 %

Et anlegg ved Flehammer er planlagt etablert på omtrent 40-90 m dyp. Et dypbasseng på omtrent 184 m ligger sydvest for anlegget. Avstanden fra ytre kant av anlegget til dypbassenget blir dypere enn terskeldypet (ca. 135 m) er ca. 250 m. Akvaplan-niva har målt strøm ved dette anlegget 2 ganger. Første gang var i 2007, om vinteren, der det ble foretatt to suksessive bunnmålinger på 3 og 5 m over bunnen. I tillegg ble det målt strøm på 10 m dyp. Andre gang var i 2010, fra 8. april til 6. mai. Denne gang ble det målt på 5 m dyp. Vi har beregnet relativ vanntransport fra en 120 graders sektor som åpner seg ut mot dypvannet (sektoren 150-270 grader) i forhold til total vanntransport, for de ulike måleseriene. Resultatene er gitt i Tabell 9. Det forventes at mesteparten av det nedsynkende materialet

faller ned i umiddelbar nærhet av anlegget. Når vi tar vanntransporten i betraktning ved merdanlegget, ser vi at omtrent 50 % av det organiske materialet går i retning mot dypvannet. Dette gjelder både ved 10 m målingen og ved bunnen. Ved overflaten (5 m) vil det være mindre transport av organisk materiale mot dypbassenget. Hvis vi velger å bruke 50 % - simuleringene (konservativt) for lokaliteten Flehammer, (se kapittel 3.2.4), gir da Figur 10 eksempelvis at en produksjon på ca. 7 tusen tonn/år gir oksygenminimum på ca. 50 % i dypvannet.

Tabell 9: Oversikt over lokaliteten Flehammer og andel av vannfluks som går mot dypvannet (120 graders sektor).

Måledyp	Dato	% andel av vanntransport mot en 120 graders-sektor mot dypbassenget
5 m	8.4.2010	19 %
10 m	17.1.2007	43 %
5 m over bunn	17.1.2007	51 %
3 m over bunn	28.2.2007	46 %

Disse simuleringene/ estimatene for lokalitetene Hellarvika og Flehammer anses for å være konservative, spesielt med tanke på at mesteparten av fôrspillet vil falle til havbunnen under eller like ved anlegget.

Miljøtilstanden til dypområdene vil da, med tilsiget av organisk materiale fra oppdrettsanlegget, bli ytterligere utsatt for organisk belastning og oksygenforbruk. På grunn av Vinkfjorden inkludert dens fjordarmers naturlige begrensning på vannutskiftning i dypvannet, anbefales det derfor å ta i bruk lokaliteter med hovedsakelig grunnere vann enn terskeldypet, slik som både ved Hellarvika og Flehammer.

Hvis det er ønskelig med mer nøyaktige beregninger på andelen av og kartlegging av deponeringen fra matfiskanlegget, kan deponeringsmodellen Depomod (Cromey m.fl., 2002) benyttes.

Ved lokaliteten Hellarvika og Flehammer vil imidlertid det relativt grunne vanddypet føre til mindre potensial for spredning av det deponerte materialet. Her blir strømhastigheter og -retninger avgjørende for spredningen av organisk materiale på havbunnen. Det vil da være mulighet for punktbelastninger under og i umiddelbar nærhet av anleggene. Et effektivt avbøtende tiltak kan være brakklegging og altermning mellom to lokaliteter, slik som Mainstream AS allerede har planlagt.

I denne undersøkelsen er det fjorden i sin helhet som er vurdert, og det er ikke tatt hensyn til eventuelle lokale forsenkninger der organisk materiale kan samles opp og gi oksygenkrisiske forhold lokalt. Det tas heller ikke hensyn til spesielle hendelser som for eksempel algeoppblomstringer eller plutselige opphopninger av sild i fjorden. Det har i visse år vært en enorm populasjon av overvintrende sild i Tysfjorden nord for Vinkfjorden. Dette har bidratt til en betydelig reduksjon i oksygenivået sent om høsten/ tidlig om vinteren og dermed forverret miljøtilstanden i fjorden (Havforskningsinstituttet, 2002). Det kan ikke utelukkes at liknende scenarier kan finne sted i Vinkfjorden.

Fjordmodellen er en forenklet boksmoell, som betrakter Vinkfjorden som 3 lag, nemlig overflatelag, intermediærlag og nedre lag under terskeldypet. Modellen har mange generaliserte verdier basert på statistikk fra et stort utvalg fjorder, og tar som regel utgangspunkt i konservative verdier angående miljøtilstand. Som tidligere nevnt tar den ikke hensyn til gradienter verken vertikalt innenfor hvert av lagene eller horisontalt innover i

fjorden, angående miljøforhold og ulike parametere. Modellen beregner års-gjennomsnitt, og tar ikke hensyn til sesongvariasjoner i for eksempel fiskeproduksjon eller vannføring i elver.

FjordEnv-modellen er testet og kalibrert for terskelfjorder med terskeldyp fra omtrent 50 m og mindre. I Vinkfjorden er terskeldypet på ca. 135 m. Derfor blir synkehastigheter for organisk materiale usikre. Det er da mer uvisst hvor mye som egentlig blir deponert på innsiden av terskelen i fjorden. Vinkfjorden har en relativt stor terskelåpning på ca. 2,5 km som ikke smalner inn før fjordarmene kommer. Utskiftningen forventes dermed å være uhindret, spesielt ved terskelåpningen. Både den eksisterende lokaliteten Hellarvika og den planlagte ved Flehammer, ligger forholdsvis nær terskelåpningen, og dette vil forventes å være gunstig for vannutskiftningen i produksjonsområdene.

Et usikkerhetsmoment i inngangsdata til modellen er også oksygeninnholdet i det kystvannet som strømmer inn i Vinkfjorden, som vi har satt til 6 ml/l og at det da har en metningsgrad på 90 % (se kapittel 2.4.2).

På grunn av disse mange tilnærminger i modellberegningene, er det derfor essensielt med valideringsresultater. Observasjonelle undersøkelser og analyser er viktige for å bekrefte modellens indikasjoner på miljøforhold og kapasitet.

Oksygenmålinger fra disse områdene (kapittel 2.3) viser noe lavt oksygennivå i de dypere vannmasser sent om høsten og relativt høyt på sen vinteren (tidlig i april), og bekrefter modellens indikasjoner på god utskiftning av bassengvannet i løpet av vinteren.

Oppdrettsfisken antas å leve i de øverste 30 m av vannmassene. Vannkvaliteten ved overflaten, der fisken står, skal også tilfredsstillende de krav som oppdrettsnæringen har for sin produksjon. Ifølge forskriftene til Mattilsynet, er kravet spesifikt for hver lokalitet. Anbefalte verdier for oksygenmetning i vannet hvor fisken lever, varierer fra 60-70 %, som minsteverdier. Hvis bunnlaget i fjorden har oksygenfattige forhold, og vertikal omrøring skjer, kan oksygenfattig bunnvann komme oppover i vannmassene og ha potensial til å skape ugunstige forhold for oppdrettsfisken. Slik vertikal utskiftning av terskelvann skjer imidlertid som oftest kun i vinterhalvåret, og dette vannet vil bli godt fortynnet på vei oppover i vannmassene.

Ved høy fiskeproduksjon inne i Vinkfjorden, vil også siktedypet bli redusert. Modellen FjordEnv simulerer at dette først kan bli et problem ved årlig produksjon på 15 tusen tonn. Det anbefales å legge inn en sikkerhetsmargin her, på grunn av opphopning av næringsalter i strandsonen og intensivering av fôring i sommerhalvåret. Derfor rådes det til å begrense produksjonen til ca. 10 tusen tonn, tilsvarende en reduksjon av siktedypet på ca. 8 %. Det presiseres at disse tallene og betraktningene gjelder kun hvis det er produksjonen av næringsalter i Vinkfjorden som er den begrensende faktor for bæreevnen til fjorden.

Ifølge målinger ser dagens produksjon i fjorden ut til å ligge på et trygt nivå angående bæreevnen til Vinkfjorden (se kapittel 2.3).

Ved en eventuell økning av produksjonen anbefales det at oksygenforholdene i fjorden overvåkes med målinger sent om høsten/ tidlig vinter for å registrere oksygenminimum i fjordens dypområder. På denne måten kan vi finne ut av bunnvannets vannkvalitet. Det kan også være betryggende med en kontrollmåling av oksygenet sent om vinteren, for å få verifisert at vi har fått vertikal omrøring og utskiftning av bassengvannet, som er viktig for vannkvaliteten i dypvannet.

For å overvåke hvorvidt det organiske utslippet fra oppdrettsvirksomheten sedimenteres under terskeldyp og eventuelt i fjordens dypområder, anbefales det også å ha kontroll over den organiske konsentrasjonen i dypområdene. Dette kan utføres med miljøundersøkelse type C (NS9410), der en etablerer faste prøvetakingsstasjoner i transekt fra anlegget til dypområdet, til det anlegget som til enhver tid er i drift. Prøvetakingen bør legges til tidspunkt som samsvarer med høyeste produksjon for å kunne gjøre sammenlignende vurderinger av resultatene fra undersøkelsene. Dette vil gi gode indikasjoner på om produksjonen i fjorden er innenfor et miljømessig akseptabelt nivå. En alternativ produksjonsstrategi med alternering av produksjon på to lokaliteter, der lokalitetene skiftevis er brakklagt, kan vurderes.

Med henblikk på oksygenminimum i dyplaget, simulerer modellen at produksjonen kan være i underkant av 7 tusen tonn på lokaliteten Flehammer og i underkant av 14 tusen tonn på lokaliteten Hellarvika, uten at det går på nevneverdig kompromiss med oksygenforholdene i dyplaget i Vinkfjorden. Da vil fjorden i dyplaget bevare miljøtilstanden "God" jfr. oksygenminimum på mer enn 50 % metning i forhold til Klifs veiledning (Molvær m.fl., 1997).

På bakgrunn av strømmålinger indikerer modellen større kapasitet på lokaliteten Hellarvika enn lokaliteten Flehammer når det gjelder oksygenmetning i dyplaget til Vinkfjorden (scenario 2, kapittel 3.2.4 vs. scenario 3, kapittel 3.2.5).

For betraktninger angående bæreevnen til hele fjordsystemet Vinkfjorden, viser modellsimuleringene at det er tilførselen av næringsalter som setter begrensninger på fiskeproduksjonen i fjorden. Modellen antyder en grense på omtrent 10 tusen tonn/år. Det presiseres at det ikke er tatt hensyn til punktbelastninger i denne vurderingen av bæreevnen til hele Vinkfjorden.

Ved en eventuell økning av produksjon på spesifikke lokaliteter kan punktbelastninger vurderes og estimeres for eksempel ved hjelp av modellene Depomod (Cromey m.fl., 2002) og MOM (Stigebrandt m. fl., 2004), der sistnevnte også kan gi veiledning på utforming av anleggene. Dessuten anbefales det å legge produksjonen til en lokalitet der deponering av fôrspill og ekskrementer ikke vil ramme dyp under terskeldypet i særlig grad. Optimal plassering for oppdrett i Vinkfjorden vil altså være på dybder grunnere enn terskeldybden der det kan påvises at fremherskende strømretning ikke er i retning mot dypområdet, og helst ganske nær terskelen. Disse to faktorene vil gi lettere utskiftning med friskt og oksygenrikt vann fra områder utenfor Vinkfjorden. De eksisterende konsesjonslokalitetene Hellarvika og Flehammer ser ut til å tilfredsstille disse betingelsene.

Eventuelt kan sirkulasjonsmodeller (for eksempel RMA2 (Donnel m.fl., 2005)) og/ eller deponeringsmodeller (for eksempel Depomod (Cromey m.fl., 2002)) benyttes for å finne andre alternative gunstige plasseringer av anlegg med liten deponering av organisk materiale i dypområdene under terskeldybden.

6 Referanser

- Aure J. & A. Stigebrandt A., 1990.** Quantitative estimates of eutrophication effects on fjords of fish farming. *Aquaculture* 90: 135-156.
- Aure, J., J. Vigen og F. Oppedal, 2009.** Hva bestemmer vannutskiftning og oksygenforhold i oppdrettsmerder? *Kyst og Havbruk*, 2009. Havforskningsinstituttet. Side 169-171.
- Cromey, C.J., T. D. Nickell, og K. D. Black, 2002.** DEPOMOD - modelling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *AQUACULTURE* 214 (1-4): 211-239.
- Donnell, B., J. V. Letter, Jr, W. H. McAnally, and W. A. Thomas, 2005.** Users Guide to RMA2 WES Version 4.5. U.S. Army, Engineering Research and Development Center Waterways Experiments Station, 277 pp.
- Guneriussen, A., 2006.** Miljøundersøkelse i Hamarøy og Steigen kommune 2005. Akvaplan-niva rapport 3460, 129 sider.
- Guneriussen, A. og A. Sørflaten, 2007.** Modellering utslipp – inntak ved settefiskanlegg i Mørsvika. Akvaplan-niva rapport nr. 3717-1, 38 sider.
- Guneriussen, A., 2010.** Mørsvikfjord – oksygenmålinger 2008 /2009. Notat til Smolten AS. 2010. 7 sider.
- Havforskningsinstituttet, 2002.** Kapittel 4: Økosystemene på kysten og i fjordene. *Havets Miljø* 2002. 13 sider.
- Klima- og forurensningsdirektoratet, 2009.** Vurdering av tiltak mot bortfall av sukkertare. Rapport TA 2585. 96 sider.
- Leikvin, Ø., 2010.** Vurdering av bæreevne til Mørsvikfjorden i Nordland, 2010. Akvaplan-niva rapport 4884, 20 sider.
- Molvær, J. & J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei, J. Sørensen, 1997.** Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. *SFT veiledning 97:03*. 36 sider.
- Mosevoll, G., S. Haraldsen, L. Enander, J. Fjellsøy, K.T. Nedland & E. Bøhleng, 1999.** Veiledning for dokumentasjon av utslipp fra befolkningen. NORVAR-rapport 99-1999. Norsk VA-verkforening. 81 sider.
- Stigebrandt, A., 2001.** FjordEnv - A water quality model for fjords and other inshore waters. Gøteborg University, Earth sciences centre report C40. 41 sider.
- Stigebrandt, A., J. Aure, A. Ervik, P.K. Hansen, 2004.** Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming. III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling – Ongrowing fish farm – Monitoring system. *Aquaculture* 234 (2004). Pp 239-261.
- Stigebrandt, A., 2010.** Personlige meddelelser.

Vedlegg

Vedlagt ligger en rapport fra en kjøring med FjordEnv. Simuleringen er hentet fra ytre Vinkfjorden, og det er simulert at 25 % av fôrspill og fekalier går til dyp under terskel. Produksjonen i denne simuleringen er 4000 tonn/år.



Reports FjordEnv 3.3

Reports for: Vinkfjorden_inkl_sidearmer

13.12.2010

Topography

Fjord Area for Chosen depths

Depth (m)	Area (km ²)
0	28
20	22
50	18
100	11,5
150	4
170	2,6
180	1,2
190	0,3
200	0,02
205	0,001

Mouth width for Chosen depths

Depth (m)	Width (m)
0	2648
10	2445
30	2148
50	1800
80	989
100	738
115	530
125	430
130	230
135	50

Topographic conditions in the fjord

Maximal depth of the basin (m)	205
Sill depth (m)	135
Mean depth of the sill basin (m)	27,36440086
Volume of the fjord (km ³)	2,319152117
Volume above sill depth (km ³)	2,148124933
Volume of the sill basin (km ³)	0,171027511
Area at the sea surface (km ²)	28
Area at sill level (km ²)	28
Vertical cross-sectional area of the mouth (m ²)	186640
Depth of half of the mouth area (m)	40,66910934
The fjord mouth is channel formed	No
Length of mouth channel (m)	0
Fjord area/Mouth area	150,0213928

Location

Nordland

Natural conditions

Secchi depth, typical summer value (m)	5
Oxygen conc in 'new' basin water (ml O ₂ /l)	6
Tidal amplitude - M ₂ + S ₂ (m)	1,100000024
Semidiurnal contribution (1/fi)	1,1111111045
Background deepwater mixing (mW/m ²)	0,019470001
Deltaro (kg/m ³)	0,860000014
Sigmaro (kg/m ³)	0,262019604
Interm circulation: forcing (kg/m ²)	48
Freshwater supply (annual mean) (m ³ /s)	28
Power supply from interior sills (kW)	4,4E-05
Flux of organic matter (gC/m ² /month)	5,5

Supplies from land and fish farming

Phosphorus, annual supply (tons)	0
Nitrogen, annual supply (tons)	0
Fish production, over shallow areas (tons/yr)	3000
Fish production, over deep areas (tons/yr)	1000
Excess feed (%)	15

General Fjord Diagnosis

Choking Coefficient	1
Tidal Speed in the mouth (m/s)	0,0231033
Speed of internal waves in the fjord (m/s)	0,432758689
Intermediary circulation (m ³ /s)	2632,822021
Tidally forced circulation (m ³ /s)	686,2763062
Estuarine Circulation	176,6468964
Residence time for water above sill level (days)	7,112235069

Settling time for particular organic matter (days)	90
The Function f1	0
The Function f2	0

Conditions in the basin water

The fjord is a wave fjord, $ci/us0 = 18,73146$	18,73146057
Filling time for basin water (days)	0,566255629
Re-value of the sill basin (kg/m3)	0,262019604
Work against the buoyancy forces (mW/m2)	0,066269398
Background (mW/m2)	0,019470001
Tidally forced (mW/m2)	0,039759401
From interior sills (mW/m2)	0,001571429
Density reduction (kg/m3/month)	0,046719119
Oxygen consumption (ml/l/month)	0,254700989
Time-scale for water exchange (months)	5,608401775
Time-scale for Oxygen consumption (months)	23,55703926
Oxygen minimum in the basin water (ml/l)	4,57153511

Fjord improvement

to achieve $o2min = 2$ ml/l add power (kW)	0
The function f3	0
Power supply to exterior basin (kW)	0,248496309

Fluxes of organic matter in to the sill basin

Carbon, natural (tons/year)	140,1154022
Nitrogen, natural (tons/year)	24,67441177
Phosporus, natural (tons/year)	3,414762259
UOD, natural (tons/year)	490,4039307

From fish farming

Carbon from excess food and faeces (tons/year)	75
Nitrogen from excess food and faeces (tons/year)	13,5
Phosporus from excess food and faeces (tons/year)	2,25
UOD from excess food and faeces (tons/year)	262,5