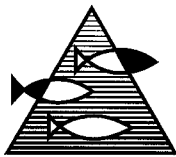


Framtidige muligheter for havbruk i Lysefjorden

av Jan Aure, Øivind Strand og Arne Skaar

PROSJEKTRAPPORT

ISSN 0071-5638



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

MILJØ - RESSURS - HAVBRUK

Nordnesgaten 50 Postboks 1870 5817 Bergen

Tlf.: 55 23 85 00 Faks: 55 23 85 31

Forskningsstasjonen

Flødevigen

4817 His

Tlf.: 37 05 90 00

Faks: 37 05 90 01

Austevoll

Havbruksstasjon

5392 Storebø

Tlf.: 56 18 03 42

Faks: 56 18 03 98

Matre

Havbruksstasjon

5984 Matredal

Tlf.: 56 36 60 40

Faks: 56 36 61 43

Distribusjon:

ÅPEN

HI-prosjektnr.:

Oppdragsgiver(e):

Skjellsenteret på
Forsand, Rogaland

Oppdragsgivers referanse:

A.B. Skjellsenteret

Rapport:

FISKEN OG HAVET

NR. 9 - 2001

Tittel:

FRAMTIDIGE MULIGHETER FOR
HAVBRUK I LYSEFJORDEN

Sender:

Marint miljø/Havbruk

Seksjon:

Fysisk oseanografi

Forfatter(e):

Jan Aure, Øivind Strand og Arne Skaar

Antall sider, vedlegg inkl.:

30

Dato:

13.07.2001

Sammendrag:

Hovedmålet med prosjektet har vært å utrede Lysefjordens naturlige bæreevne for skjell-
dyrking, fiske - og smoltoppdrett. Videre har vi vurdert mulighetene for økt bæreevne og
produksjon av giftfrie skjell ved ferskvannsdrevet kunstig oppstrømning av dypvann og
kombinasjoner av havbruksvirksomhet i Lysefjorden (sambruk). Undersøkelsen er hovedsakelig
basert på Havforskningsinstituttets lange tidsserie av hydrografi, oksygen og næringssalter i
Lysefjorden, Rogaland.

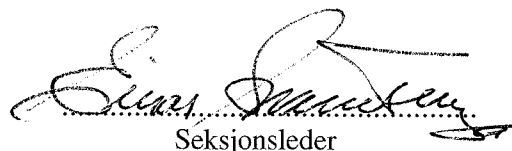
Emneord - norsk:

1. Fjord
2. Havbruk
3. Kunstig oppstrømning

Emneord - engelsk:

1. Fjord
2. Mariculture
3. Artificial upwelling


Prosjektleder


Seksjonsleder

FISKEN OG HAVET NR. 9 - 2001

FRAMTIDIGE MULIGHETER FOR HAVBRUK I LYSEFJORDEN

Av

Jan Aure, Øivind Strand og *Arne Skaar

*BioConsult A/S

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER	3
1. INNLEDNING	6
2. OMRÅDEBESKRIVELSE OG MÅLINGER	6
3. VANNUTSKIFTING OG OKSYGENFORHOLD	9
3.1 Øvre lag	9
3.2 Bassengvannet	11
4. PLANKTONPRODUKSJON	13
5. NATURGITT BÆREEVNEFOR FISKEOPPDRETT	14
5.1 Matfisk	14
5.2 Smolt	18
6. NATURGITT BÆREEVNE FOR SKJELLPRODUKSJON	19
6.1 Beregning av naturlig bæreevne	21
6.2 Sammenligning med produktivitet i andre områder	23
7. ØKT PRODUKSJON AV PLANTEPLANKTON VED KUNSTIG OPPSTRØMNING AV DYPVANN.	23
8. ØKT BÆREEVNE OG PRODUKSJON AV GIFTFRIE SKJELL VED KUNSTIG OPPSTRØMNING.	27
8.1 Økt bæreevne for skjell	27
8.2 Produksjon av giftfrie skjell	28
9. KOMBINASJON AV HAVBRUKSVIRKSOMHET	29
LITTERATUR	

SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER

Topografi, vannmiljø og planteplankton

Lysefjordens har et areal på ca 44 km² og totalt vannvolum er ca 9000 mill m³ hvorav ca 70 % av vannvolumet befinner seg over ca 200 m dyp. Største bunndyp er ca 450 m og terskeldypet i utløpet er ca 14 m.

Brakkvannslagetets midlere tykkelse i Lysefjorden i sommerhalvåret er beregnet til omlag 3 m og midlere brakkvannstransport ut fjorden til omlag 150 m³/sek. Innstrømming av sjøvann under brakkvannslaget forårsaket av innblanding av sjøvann i brakkvannslaget er i middel ca 100 m³/s. Midlere vanntransport mellom brakkvannslaget og 20 m dyp er beregnet til ca 600 m³/sek. Midlere oppholdstid av vann mellom overflaten og ca 20 m dyp er beregnet til ca 11 døgn. Større oppholdstid i indre del av fjorden

Midlere observerte oksygenforbruk i dypbassenget var 0.02 ml/l per måned. Midlere observerte oksygenminimum var 2.8 ml/l, variende fra 3.4 ml/l i 30-100 m dyp til 2.3 ml/l i 300-400 m dyp. Midlere stagnasjonsperiode i bassenget var ca 5.5 år, varierende fra ca 3.7 år i 30-100 m dyp til ca 7 år i 300-400 m dyp.

Typisk ny og total produksjon av planteplankton i fjorder på Vestlandet er henholdsvis ca 50 og 110 - 130 g karbon/m²/år. Produksjonen er fordelt med omlag halvparten på vårblomstringen i mars og resten av veksts sesongen fram til oktober. Beregninger tyder på at en stor del av planktonet (karbonet) i Lysefjorden tilføres fra utenforliggende sjøområder. Tapet av algeproduksjon som følge av vannkraftutbygging er anslått til 15 - 20 %.

Naturgitt bæreevne for fiskeoppdrett og blåskjell

For å unngå en uheldig påvirkning på oksygenforholdene i bassengvannet bør evt fiskeoppdrettsanlegg lokaliseres til områder hvor bunndypet er mindre enn 200 meter og hvor en samtidig sikrer at organisk avfall ikke sedimenterer dypere enn 200 meter. I Lysefjorden utgjør arealet grunnere enn 200 m ca 50 % av fjordens totale areal. En fiskeproduksjon på 5000 tonn/år er beregnet å ha liten effekt på oksygenforholdene mellom 30 og 200 m dyp. Planktonproduksjonen er beregnet å øke med ca 20 %, som tilsvarer en reduksjon av midlere siktedyp om sommeren med ca 4 % (0.2m). Lysefjorden har fra naturens side forholdsvis dårlige oksygenforhold i de dypeste delene og når en tar hensyn til usikkerheten i beregningene bør en produksjon på ca 5000 tonn/år betraktes som en øvre grense for fiskeoppdrett i fjorden.

Eidane Smolt AS har en smoltproduksjon i Lysefjorden på ca 1.5 mill/år. Utslippets effekt på Lysefjorden generelt er ubetydelig (ca 1 % nivå, urensset eller rensset) og vil ikke la seg dokumentere ved miljøovervåking av fjorden. Den lokale effekten fra utslippet til Eidane smolt er meget begrenset og meget lokal. Videre overvåking av utslipsstedet bør gjøres med dykker, eventuelt kombinert med video / bilder, på grunne av bunnens beskaffenhet (skråning av store steinblokker). En årlig produksjon på feks 5 mill smolt er beregnet å kunne øke planktonproduksjonen med 1-3 %.

Basert på et forbruk på ca 15 % av ny planktonproduksjon er den naturlige bæreevnen for blåskjell i Lysefjorden beregnet til ca 6000 tonn per år, dvs ca 140 tonn/km²/år.

Som for fiskeoppdrett bør blåskjellanlegg lokaliseres grunnere enn 200 meter dyp for å unngå uheldig påvirkning på oksygenforholdene i dypvannet.

Økt bæreevne, produksjon av giftfrie skjell ved kunstig oppstrømning og sambruk.

I Lysefjorden vil en kunstig ferskvannsdrevet oppstrømning av næringsrikt dypvann i indre del av fjorden kunne øke produksjonen av planteplankton, endre algesammensetningen mot ikke-giftige alger, gi en mer stabil algeproduksjon og øke vannutskiftningen i de øverste 40 - 50 meter av fjorden.

Beregninger viser at en kunstig ferskvannsdrevet oppstrømning av dypvann på feks 40 m³/s vil kunne øke algeproduksjonen med en faktor på 3 - 4 over et influensområde på feks 5 km² i indre del av fjorden. Skjellproduksjonen innenfor et influensområdet er beregnet å kunne øke med ca 1300 tonn/år.

Hvis vi antar at det tar ca en uke å avgifte blåskjell i et "oppstrømningsområde" er den potensielle kapasitet til å avgifte blåskjell ca 6000 tonn i løpet av 3 måneder. Dette tilsvarer den beregnede bæreevnen for produksjon av blåskjell i Lysefjorden.

Et "oppstrømningsområde" kan også fungere som bufferanlegg i perioder med høsteforbud i andre deler av fjorden inkludert mellomlagring og evt "toppforing" av høstingsklare skjell.

Lavere temperatur i oppstrømningsvannet kan benyttes til å utsette gyting, dvs utvide og sikre høstesesongen for skjell om våren og forsommeren.

Terskeldypet på ca 15 meter begrenser tilgjengeligheten på næringsrikt dypvann. En kunstig oppstrømning på feks 20 og 40 m³/s sjøvann vil etter ca 4 måneder ha forbrukt henholdvis ca 17 % og 35 % av næringssaltene mellom ca 20 og ca 40 meter dyp. Dette kan evt kompenseres med et ferskvannsutslipp i 50 - 60 m dyp med innlagring i 20 - 40 m laget. Et slikt opplegg vil også øke vannutskiftningen i de øverste 100 meter av fjorden

Fiskeoppdrett, smoltproduksjon, kunstig oppstrømning og blåskjellproduksjon inkludert virkningene fra vannkraftutbygging vil kunne kombineres slik at endringene i den naturlige algebiomassen i fjorden blir liten (sambruk).

Konklusjoner

- *Beregnet øvre naturgitt bæreevne for fiskeoppdrett i Lysefjorden er ca 5000 tonn per år under forutsetning at anleggene lokaliseres grunnere enn 200 m dyp.*
- *Den lokale effekten fra utslippet til Eidane smolt er meget begrenset og meget lokal. Videre overvåking av utslipsstedet bør gjøres med dykker, eventuelt kombinert med video / bilder.*
- *Utslippets effekt på Lysefjorden generelt er ubetydelig (ca 1 % nivå, urensset eller renset) og vil ikke la seg dokumentere ved miljøovervåking av fjorden.*
- *En produksjon på feks 5mill smolt er beregnet å kunne øke planktonproduksjonen i fjorden med 1-3 %.*
- *Naturlig bæreevne for blåskjell er beregnet til ca 6000 tonn per år.*
- *Kunstig ferskvannsdrevet oppstrømning er beregnet å kunne øke algeproduksjonen med en faktor på 3 - 4 i indre del av Lysefjorden .*
- *Kunstig oppstrømning er beregnet å kunne øke bæreevnen av blåskjell i indre del av fjorden med ca 1000 tonn per år . Dette gir mulighet for produksjon av giftfrie blåskjell i perioder med giftige skjell i regionen.*
- *Kunstig oppstrømning inderst i Lysefjorden vil trolig kunne redusere forekomstene av skjellgiftalger og gir mulighet for avgifting , "toppforing" og mellomlagring av høstingsklare skjell.*
- *Lavere temperatur i oppstrømningsvannet kan benyttes til å utsette gyting, dvs utvide og sikre høstesesongen for skjell om våren og forsommeren*
- *Vannutskiftningen vil øke i de øverste 40-50 meter av fjorden*
- *Kombinasjon av havbruksvirksomhet kan redusere evt avvik fra naturlig planktonbiomasse i fjorden (inkl vannkraftutbygging).*

1. INNLEDNING

Lysefjorden har, som andre fjorder, en naturlig bæreevne med hensyn på fiskeoppdrett, smolt- og skjellproduksjon. Den hektiske vårbloomstringen i mars forbruker mesteparten av næringssaltene i de øverste 20 meter av vannsøylen. Algeproduksjonen etter vårbloomstringen i fjordene og langs kysten er derfor vesentlig lavere per tidsenhet og i resten av produksjons-sesongen fram til oktober måned er den avhengig av at produksjonslaget tilføres "nye" næringsalter fra dypereliggende vannlag og ferskvann fra land. Næringssaltforholdene etter vårbloomstringen fremmer også vekst av alger hvor vi også finner de vanligste skjellgiftalger. Kunstig ferskvannsdrevet oppstrømning av et balansert næringsrikt dypvann til øvre lag gir økt algeproduksjon og skjellvekst og vil trolig også redusere forekomstene av skjellgiftalger. Etablering av et "giftfritt" område for blåskjell i Lysefjorden er derfor en særlig interessant mulighet.

Vannkraftutbyggingen har redusert tilførslene av ferskvann og dermed tilførslene av næringsalter til Lysefjorden i sommerhalvåret. Dette har trolig redusert algeproduksjonen i fjorden.

Oppdragsgiver for prosjektet var Skjellsenteret på Forsand, Rogaland. Prosjektet har vært støttet økonomisk av Forsand kommune.

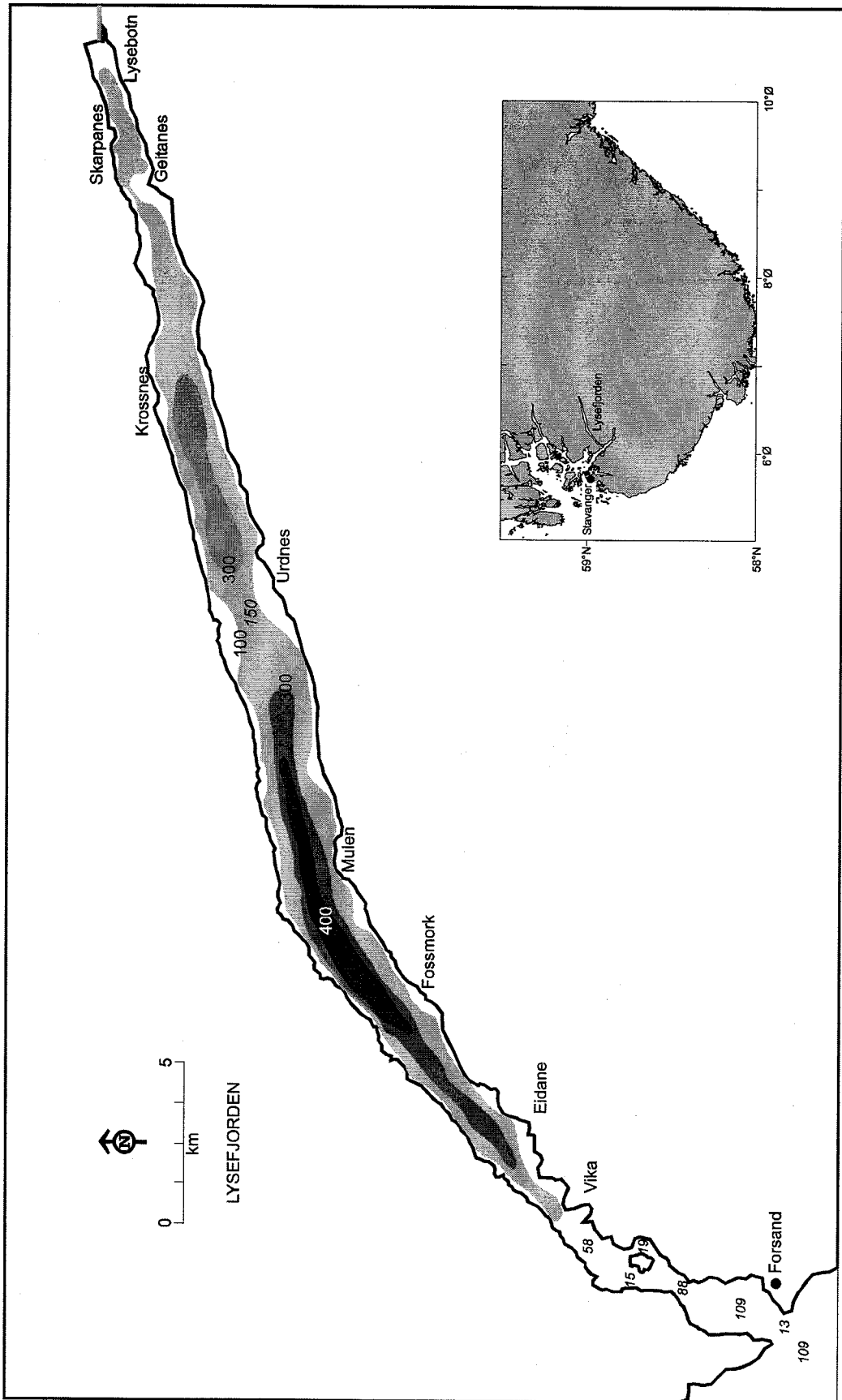
Hovedmålene for prosjektet var :

- å utrede Lysefjordens naturgitte bæreevne for dyrking av blåskjell og fiske - og smoltoppdrett .
- å vurdere mulighetene for økt bæreevne og produksjon av giftfrie blåskjell ved ferskvannsdrevet kunstig oppstrømning av dypvann.

2. OMRÅDEBESKRIVELSE OG MÅLINGER.

Lysefjorden har et forholdsvis trangt innløp med terskeldyp på ca 14 meter ut mot Høgsfjorden og største bunndyp er ca 450 meter omlag midt i fjorden ved Mulen (fig 1 og 2). Avstanden fra Lysebotn til innløpet ved Forsand er ca 37 km og overflatearealet er ca 44 km². Det totale vannvolum i Lysefjorden er ca 9100 mill m³. Omlag 70 % av vannvolumet befinner seg over 200 meter dyp og vannvolumet under 300 meter dyp utgjør bare ca 10 % av totalvolumet (fig 2).

Havforskningsinstituttet har observert oksygen, næringsalter og hydrografi ved to stasjoner i Lysefjorden om høsten de siste 25 årene (fig 2). Undersøkelsene er utført med Havforskningsinstituttets forskningsfartøy i samband med årlige brisling og sildeundersøkelser i norske fjorder i november hvert år. Temperatur og saltholdighet etter 1978 ble målt *in situ* med CTD-sonde (Neill - Brown). Før CTD-sondene ble tatt i bruk ble temperatur avlest på vendetermometer og saltprøver sendt til analyse ved Havforskningsinstituttet i Bergen. Nøyaktigheten for temperatur og saltholdighet er omlag 0.01. Vannprøver for oksygen blir tappet på spesialflasker og tilsatt de nødvendige kjemikalier (Winklers metode). Oksygenet blir vanligvis analysert ombord og nøyaktigheten er omlag 0.1 ml/l.



Figur 1. Kart over Lysefjorden og dybdeforhold

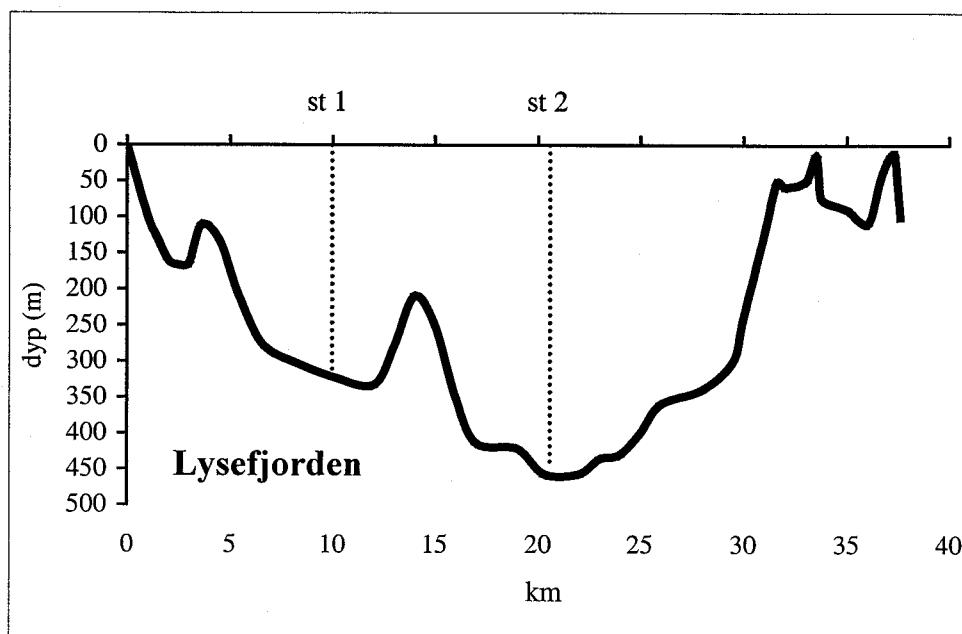


Fig.2. Dybdeprofil for Lysefjorden fra Lysebotn til Høgsfjorden. Stasjon 1 og 2 HI's målestsjoner.

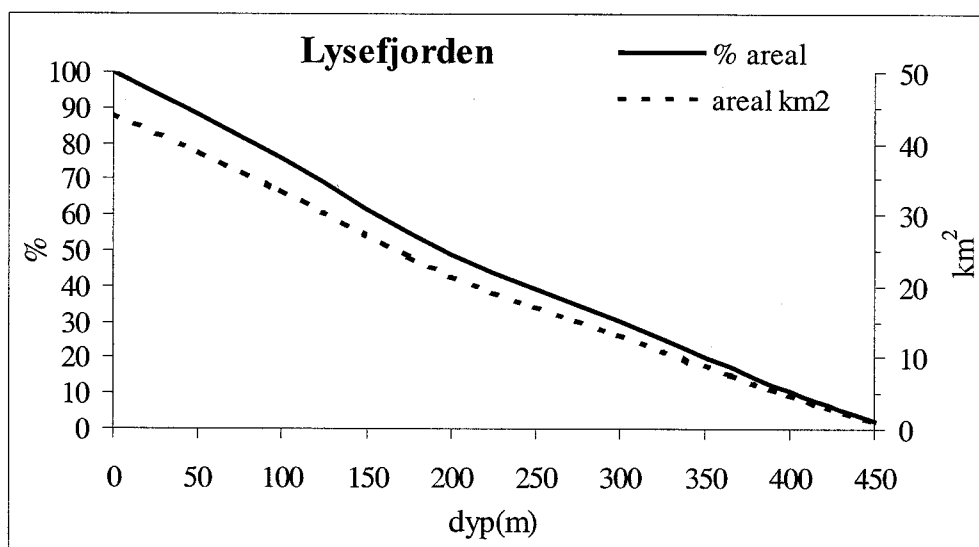


Fig 3. Areal og % areal fra 0 meter til 450 meter dyp i Lysefjorden

Næringssalter er observert etter 1981 og nøyaktigheten for nitrat og silikat er omlag $0.5 \mu\text{mol/l}$, mens nøyaktigheten for fosfat er omlag $0.05 \mu\text{mol/l}$.

I juni 2001 målte HI saltholdighet, temperatur og uorganiske næringssalter ved 8 stasjoner fra Høgsfjorden til Lysebotn. Det ble også satt ut 2 strømseil i 5 - 6 m dyp inderst i Lysefjorden.

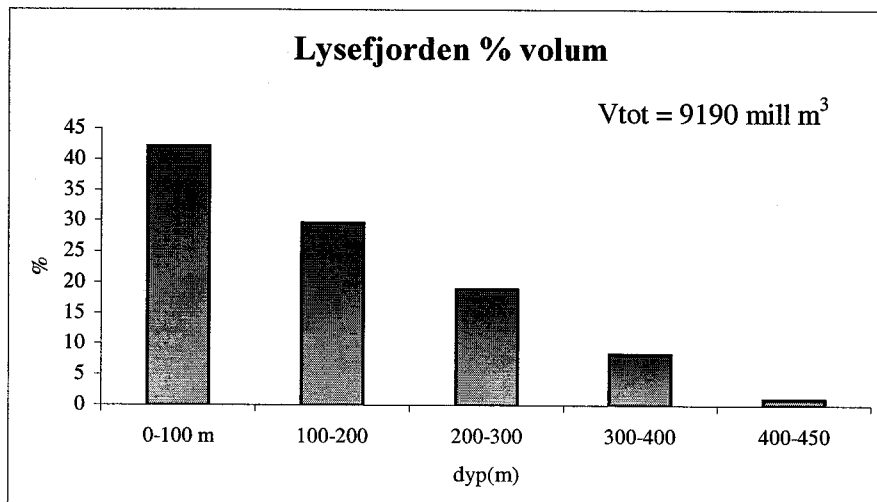


Fig 4 . % av totalvolum for lagene 0-100 m, 100-200 m, 200-300 m, 300-400 m og 400-450 m i Lysefjorden.

3. VANNUTSKIFTNING OG OKSYGENFORHOLD

3.1 Øvre lag

Brakkvannet i en fjord er et resultat av ferskvannsavrenningen fra land. Når ferskvann (Q_f) blandes med sjøvann får vi brakkvann som har en saltholdighet lavere enn kystvannet. Med en gitt ferskvannsavrenning er brakkvannets temperatur, saltholdighet, lagtykkelse osv styrt av meteorologiske forhold og fjordens topografi. Brakkvannet (Q_b) strømmer i middel ut fjorden og saltholdigheten øker pga innblandingen med underliggende sjøvann. Sjøvannet som tilføres brakkvannet (Q_s) må kompenseres utenfra og det strømmer saltere vann inn fjorden under brakkvannslaget. Denne ferskvannsdrevne sirkulasjonen kalles en "estuarin sirkulasjon".

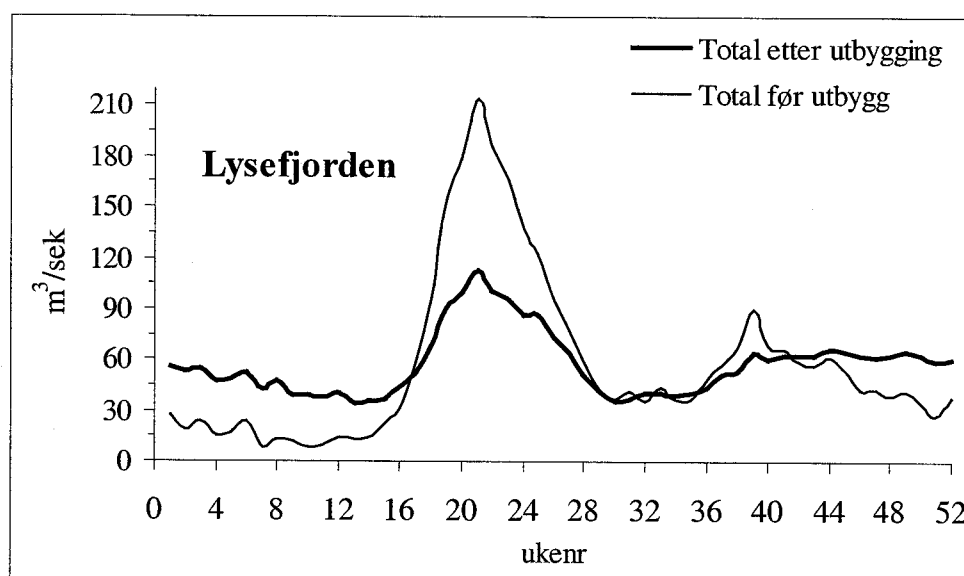


Fig 5. Ferskvannsavrenning til Lysefjorden før og etter vannkraftutbygging.

Midlere ferskvannstilførsel til Lysefjorden etter kraftutbyggingen i 1953 varierer gjennom året mellom 40 og 60 m³/s med unntak av i perioden fra mai til juli hvor ferskvannstilførselen kommer opp i 100 m³/s pga snøsmeltning i uregulerte områder. Etter utbygging av vannkraftverk er det betydelig større vinteravrenning av ferskvann til fjorden, mens ferskvannstilførselen er redusert om sommeren (fig 5). Når en tar hensyn til at endel ferskvann er overført til Lysefjorden fra andre nedbørsfelt er ferskvannstilførselen til Lysefjorden om sommeren redusert med 35 - 40 % etter utbyggingen i 1953. Endringen i ferskvannstilførsel til Lysefjorden etter 1953 har ført til lavere saltholdigheter i øvre lag om vinteren og høyere om sommeren. Den lavere ferskvannsavrenning om sommeren har også ført til økt oppholdstid for brakkvannet i fjorden og redusert vannsirkulasjonen i øvre lag.

Brakkvannstransporten (Q_b) i Lysefjorden kan beregnes som følger:

$$Q_b = Q_f + Q_s \quad (1)$$

Innblanding av sjøvann i brakkvannet (Q_s) og kompenserende transport av sjøvann inn i fjorden er :

$$Q_s = Q_f (P-1) \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (2)$$

Hvor Q_f er ferskvannstilførsel og $P = Q_s/Q_f = S_2/(S_2-S_1)$ hvor Q_s = innblanding av sjøvann, S₂ = 30 = saltholdighet i sjøvann under brakkvannslaget og S₁ = 20 = midlere saltholdighet i brakkvannslaget. Ut fra observerte saltholdigheter og ferskvannstilførsel på 50 m³/s er midlere brakkvannstransport (Q_b) ut fjorden om sommeren beregnet til omlag 150m³/s og innstrømning av sjøvann (Q_s) ca 100 m³/s.

Brakkvannets oppholdstid er bestemt av ferskvannstilførselen og fjordtopografien og midlere oppholdstid for brakkvann i Lysefjorden om sommeren med Q_f = 50m³/s er beregnet til ca 11 døgn . Brakkvannstykkelsen er beregnet til ca 3 meter med samme betingelse som gitt over.

Mellomlagsvann (intermediært vann) befinner seg mellom brakkvannet og bassengvannet, dvs mellom ca 4 og 20 meter dyp er preget av vannmassene utenfor fjorden. Variasjoner i trykkforholdene (tetthet og tidevann) utenfor fjorden fører til inn - og utstrømninger i dette laget. Grunn terskel og lite munningsareal vil begrense den intermediære vannutskiftningen og inn - og utgående tidevannsstrømmer vil ofte kunne være dominerende. Lokal vindrevet strøm bidrar til å utjevne forskjeller i feks temperatur og saltholdighet i øvre lag av fjorden.

For en fjord med lite munningsareal i forhold til fjordarealet kan den intermediære vannutskiftning Q_i beregnes som følger (Stigebrandt, 2001):

$$Q_i = A_m/6 (2g*\delta M/\rho)^{0.5} \quad (3)$$

Hvor A_m= 4500 m² er munningsareal, $\delta M = 13 \text{ kg/m}^3$ er standardavviket for vekten av vannsøylen fra overflaten til terskeldyp (trykket) utenfor Lysefjorden. Med en effektiv vannutskiftning på ca 70 % gir dette en intermediær vannutskiftning på ca 250 m³/s .

Midlere tidevannstranport (inn og ut) (Q_t) er :

$$Q_t = 2 a t^* A_f/T \quad (4)$$

Hvor $at = 0.5 \text{ m}$ = midlere tidevannsforskjell, $Af = 44 \text{ km}^2$ = overflateareal og $T = 12.4$ timer = tidevannsperiode.

Midlere tidevannstranport for Lysefjorden blir ca $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ og når vi antar at ca 30 % blanding av tidevannet i fjorden, blir effektiv innstrømning av nytt vann til Lysefjorden ved tidevann ca $300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vannutskifting (Q_{tot}) mellom brakkvannet (3m) og bassengvann (ca 20m) blir da:

$$Q_{\text{tot}} = Q_s + Q_i + Q_t = 100 + 250 + 300 = 650 \text{ m}^3/\text{s} \quad (5)$$

Midlere oppholdstid (T_o) for dette laget blir:

$$T_o = \text{Vol}_{3-20\text{m}} / Q_{\text{tot}} \quad (6)$$

For Lysefjorden er T_o beregnet til ca 11 døgn. Oppholdstiden i det intermediære vannlaget er minst i ytre delen og øker innover fjorden.

3.2 Bassengvannet

Bassengvannet er innestengt bak terskelen og vil i perioder uten nye innstrømning av nytt vann stort sett beholde sine fysiske egenskaper. Det eneste som kan endre på saltholdighet, temperatur og tetthet i bassengvannet i perioder uten innstrømning er vertikale turbulente blanding vanligvis forårsaket av tidevann. Tettheten vil avta med tiden og dermed øke sannsynligheten for nye innstrømninger til bassengvannet. Derfor er den vertikale turbulente blandingsprosessen meget viktig for utskiftingshyppigheten av bassengvann i fjorder. Når tettheten i terskelnivå utenfor fjorden er høyere enn i bassengvannet strømmer det vann ned i bassengvannet. Innstrømningen vil i noen tilfeller ikke gå helt til bunns, men innlagre seg i nivåer mellom terskeldypet og bunnen og bare delvis fornye vannmassene under terskelnivå. I områder med grunne terskler vil ofte innstrømning til bassengvannet inntreffe om vinteren, mens det i fjorder med dype terskler ofte vil inntreffe innstrømning i vår og sommermånedene. Temperatur og saltholdighet (og andre egenskaper) i bassengvannet etter en innstrømning vil derfor bli være bestemt av terskeldypet til fjorden og forholdene i sjøområdene utenfor.

Når planteplankton dør synker det nedover i vannmassene og brytes ned bakterielt eller beites av dyreplankton. Det meste av det nedsynkende organiske materiale i oksygenrike fjorder brytes ned i vannmassene eller omsettes i bunnsedimentene av bakterier og bunndyr. Resten akkumuleres på bunnen i form av organiske sedimenter. I fjorder med hydrogensulfid i bassengvannet vil nedbrytningen av organisk materiale gå vesentlig saktere og akkumulering i form av bunnsediment øker. Nedbrytningen av organisk materiale forbruker oksygen og frigjør næringssalter. Under oksygenfrie forhold i vann eller i sediment produseres det hydrogensulfid og ammonium, mens nitrat forbrukes i vannmassene like over de oksygenfrie områdene (denitrifikasjon).

I perioder uten innstrømning av oksygenrike vannmasser, vil derfor oksygenverdiene avta og næringssaltverdiene øke i bassengvannet. Oksygenforbruket i et gitt basseng er en funksjon av mengden tilført organisk materiale, tilførsler av oksygen gjennom vertikal blanding og dybden av bassenget (Aure og Stigebrandt, 1989). Oksygeninnholdet etter en innstrømning, oksygenforbruket og varigheten på stagnasjonperioden er bestemmende for hvor lave oksygenverdiene blir i bassengvannet.

Økt menneskeskapt organisk belastning i form av feks økt algeproduksjon som følge av næringssaltutslipp eller direkte utslipp av organisk materiale vil kunne øke oksygenforbruket og dermed redusere oksygenverdiene i bassengvannet.

Det er vanlig å karakterisere forholdene som "dårlige" med hensyn til virkninger på marine organismer når oksygenverdiene er lavere enn 2.5 ml/l, "mindre gode" mellom 2.5 og 3.5 ml/l, "gode" mellom 3.5 og 4.5 ml/l og "meget gode" større enn 4.5ml/l (Molvær et al, 1997).

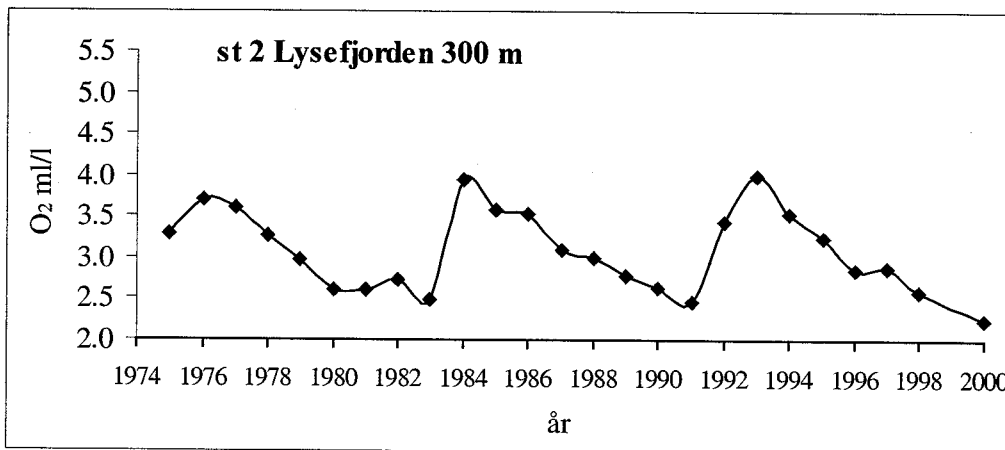


Fig 6 a. Oksygeninnholdet (ml/l) om høsten (november) i Lysefjorden i 300 meter dyp fra 1975 til 2000.

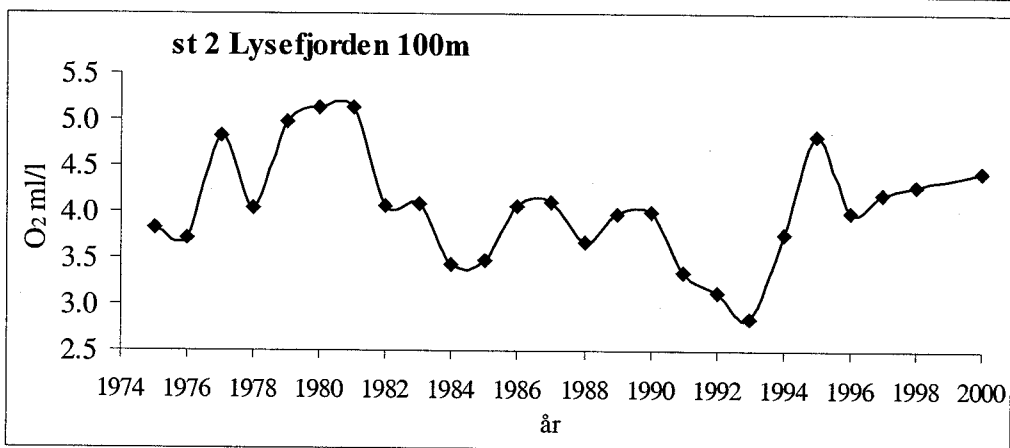
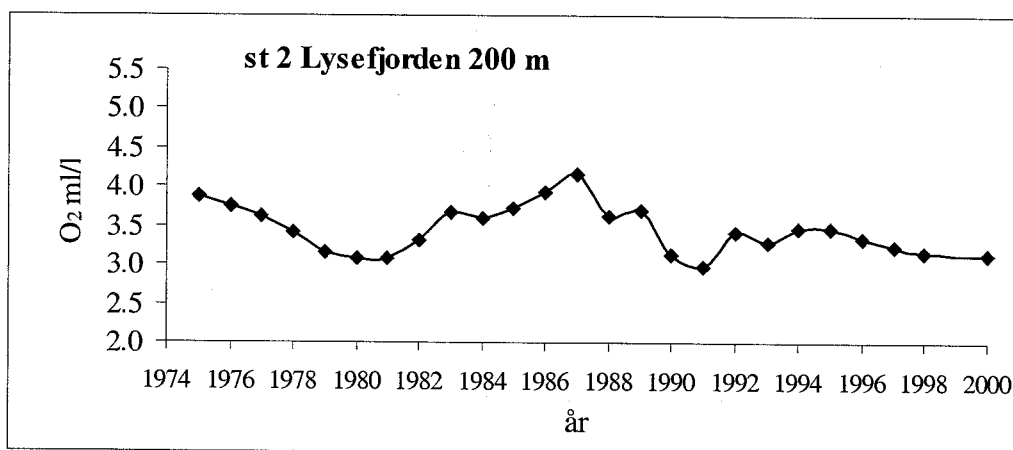


Fig 6 b. Oksygeninnholdet (ml/l) om høsten (november) i Lysefjorden i 100 og 200 meter dyp fra 1975 til 2000.

Oksygenobservasjonene i Lysefjorden viser en typisk stagnasjonsperiode på ca 7 år i 300 m dyp (fig 6 a). I samme dyp var oksygenverdien ved starten av en stagnasjonsperiode ca 4 ml/l (O_2 max), mens oksygenminimum (O_2 min) ved slutten av en stagnasjonsperiode var ca 2.5 ml/l. I 200 meter dyp ser vi at hyppigere innstrømninger førte til lengre perioder med forholdsvis høye oksygenverdier som feks i perioden fra 1983 til 1987 (fig 6 b). Den mest markerte stagnasjonsperioden fra 1975 - 1981 førte til et oksygenminium i 200 m dyp på ca 3 ml/l. I 100 m dyp var det større vannutskifting med gjennomgående høyere oksygenverdier enn i dyperliggende lag og laveste observerte oksygenverdi ble observert i 1993 på ca 3 ml/l.

Tabell 1. Midlere (volumveiet) oksygenforbruk (O_2 F), midlere O_2 max, midlere O_2 min og midlere stagnasjonsperiode for lagene 30 -100m, 100 - 200m, 200 - 300m og 300 - 400m for perioden 1975 - 2000, Lysefjorden.

Dybeintervall (m)	O_2 F (ml/l/måned)	O_2 max (ml/l)	O_2 min (ml/l)	år stagnasjon
30-100	0.027	4.6	3.4	3.7
100-200	0.018	3.9	3.1	3.7
200-300	0.016	3.8	2.5	6.8
300-400	0.017	3.9	2.3	7.8
Middel basseng	0.020	4.1	2.8	5.5

Tabell 1 viser at midlere oksygenforbruk for bassenget var ca 0.02 ml/l per måned mens midlere O_2 max og O_2 min var henholdsvis 4.1 og 2.8 ml/l. Midlere stagnasjonsperiode for hele bassenget var ca 5.5 år og avtok fra 7 - 8 år i 300 - 400 m laget til 3.7 år i 30 - 200 m laget.

Den økte vannutskifting oppover i vannsøylen førte til at midlere O_{2max} og O_{2min} varierte mellom 2.3 og 3.9 ml/l (dvs fra "dårlige" til "gode" oksygenforhold) i 300 - 400 m laget og mellom 3.4 og 4.6 ml/l i 30-100 m laget (dvs fra "mindre gode" til "meget gode" oksygenforhold).

4. PLANKTONPRODUKSJON

Produksjon av planteplankton er avhengig av næringssalter (fosfat, nitrat og silikat) og lys for å vokse. På våre breddegrader vil lyset begrense (utelukke) produksjon i vinterhalvåret. Ut på senvinteren/våren er det en kraftig oppblomstring pga de høye næringssaltverdiene som har bygget seg opp i løpet av vinteren. Resten av året tilføres produksjonslaget en begrenset mengde "nye" næringssalter fra dypere vannlag ved vertikal omrøring, fra elver og nedbør som fører til ny produksjon (NP) av plankton. En begrenset blomstring tidlig på høsten forekommer ofte i forbindelse med kraftig vind som tilfører nye næringssalter til øvre vannlag. En del av planteplanktonet brytes ned/beites i produksjonslaget og næringsaltene som da frigjøres kan igjen benyttes til algeproduksjon (såkalt resirkulert produksjon = RP). Resten synker etterhvert ut av ut av produksjonslaget og sedimenteres og omsettes på dypere vann. Den totale produksjon av planteplankton (primærproduksjon) TP er da:

$$TP = NP + RP \quad (7)$$

Det er ikke gjort målinger av primærproduksjon i Lysefjorden. Typisk ny og total produksjon i fjorder på Vestlandet er henholdsvis omlag 50 gC/m²/år og 110-130 gC/m²/år fordelt med ca halvparten på våroppblomstringen og resten av vekstsesongen. Typisk midlere ny produksjon (NP) for hele vekstsesongen fra mars til september blir da ca 7 gC/m²/måned og fra april til september (etter vårbloomstring) ca 4.5 gC/m²/måned .

NP tilføres Lysefjorden både gjennom ny lokal produksjon (NP_{lok}) og ved tilførsler av alger i form av partikulært organisk karbon (POC) fra fjord og kystområdene utenfor Lysefjorden (NP_{adv}):

$$NP = NP_{lok} + NP_{adv} \quad (8)$$

Midlere NP_{adv} for perioden april til september (etter vårblomstringen) kan beregnes når vi kjenner tilførslen av vann fra utenforliggende sjøområder (Q_{tot}) og midlere POC i de øverste 15 meter i innstrømmende vann:

$$NP_{adv} = POC_{0-15\text{ m}} * (Q_{tot}) / A_f \quad (\text{gCm}^{-2}\text{måned}^{-1}) \quad (9)$$

Hvor A_f er overflatearealet

Typisk midlere POC i 0-15 m fra april til september i feks Samnangerfjorden (Vestlandet) i 1999 var ca 140 mgC/m³ (Aure, Erga og Asplin, 2000) og med Q_{tot} = 650 m³/s (lign 5) blir NP_{adv} omlag 4.5 gC/m²/måned. Selv om det er stor usikkerhet i beregningen antyder resultatet at en stor del av NP etter vårblomstringen (april - september) tilføres Lysefjorden fra utenforliggende sjøområder (NP_{adv}).

Vannkraftutbyggingen i Lysefjorden har ført til at midlere ferskvannstilførsel etter vårblomstringen fra april til september er redusert fra ca 96 til 58 m³/s, dvs en reduksjon på ca 35 - 40 % (fig 5). Ferskvannet inneholder ofte mye nitrat og silikat, men ubetydelig med fosfat. Erfaringer fra andre fjorder viser at bruk av næringssalter til algeproduksjon går "saktere" i fjorder med stort underskudd på fosfat i brakkvannet. Vi mangler opplysninger om i hvor stor grad næringssaltene fra ferskvannstilførslene i Lysefjorden blir omsatt til lokal algeproduksjon, men hvis vi antar at ca 80 % av næringssaltene blir omsatt i Lysefjorden blir bidraget til NP fra ferskvannstilførselen før vannkraftutbygging ca 2.5 gC/m²/måned og etter ca 1.7 gC/m²/måned. Tapet av NP som følge av redusert ferskvannstilførsel til Lysefjorden i perioden fra april til september blir da ca 18 %.

5. NATURGITT BÆREEVNE FOR FISKEOPPDRETT

5.1 Matfisk

Bassengvannet

Oksygenminimum (O₂min) i middel for et fjordbasseng eller deler av fjordbassenget er styrt av oksygenforbruket (O₂F), oksygeninnholdet i vannet etter en innstrømning (O₂max) og stagnasjonsperioden (T_s):

$$O_{2\text{min}} = O_{2\text{max}} - O_{2F} * T_s \quad (\text{ml/l}) \quad (10)$$

Tilførsler av forspill og feces fra fiskeoppdrett øker oksygenforbruket i bassenget :

$$O_{2F} = -RaOC * (FcN + FcF) / H_b \quad (\text{ml/l O}_2\text{/måned}) \quad (11)$$

hvor FcN = naturlig tilførsel av karbon og FcF = tilførsel av karbon fra fiskeoppdrett, RaOC = 3.5 g O₂/gC er omregningfaktor mellom oksygen og karbon, H_b = midlere bassengdyp. O₂min med fiskeoppdrett kan beregnes :

$$O_2\text{min}' = O_2\text{max} - O_2F' * Ts \quad (\text{ml/l}) \quad (12)$$

Med en realistisk forfaktor på 1.1 (dvs 10% forspill inkl feces) og $O_2\text{max}$, T_s , F_cN og H_b gitt ut fra observasjoner kan vi beregne økningen av midlere O_2F' for bassenget og resulterende midlere $O_2\text{min}'$ med økende produksjon av fisk i fjorden (tabell 2)

Tabell 2. Beregnet midlere oksygenforbruk (O_2F') og midlere oksygenminimum ($O_2\text{min}'$)(ml/l) i Lysefjordens bassengvann som funksjon av økt fiskeoppdrett (F) (forfaktor =1.1).

F tonn/år	O_2F' (ml/l per måned)	$O_2\text{min}'$ (ml/l)
0	0.020	2.8
1000	0.021	2.7
2000	0.021	2.7
3000	0.022	2.6
4000	0.023	2.6
5000	0.023	2.5
6000	0.024	2.5
7000	0.025	2.4
8000	0.025	2.4

Tabell 2 viser at midlere $O_2\text{min}'$ i bassengvannet blir redusert fra ca 2.8 ml/l til 2.5 ml/l med en fiskeproduksjon opp til 5000 tonn pr år.

Foran har vi vist at både vannutskiftningen og bassengvolumet avtok med dypet slik at det er den dypeste delen av bassenget som er mest følsom for økt organisk belastning (minst bæreevne). Hvis vi forutsetter at laveste oksygenkonsentrasjon i fjordbassenget ($O_{2\text{min}}$) bør være over 2.5 ml/l viser fig. 7 og 8 at når organisk materiale fra fiskeoppdrett fordeles mellom 30 - 400 m og 30 - 300 m dyp vil $O_{2\text{min}}$ i 200 - 300 m dyp fort komme under grensen på 2.5 ml/l. Med en slik fordeling av organisk materiale fra fiskeoppdrett er bæreevnen i fjorden lik null.

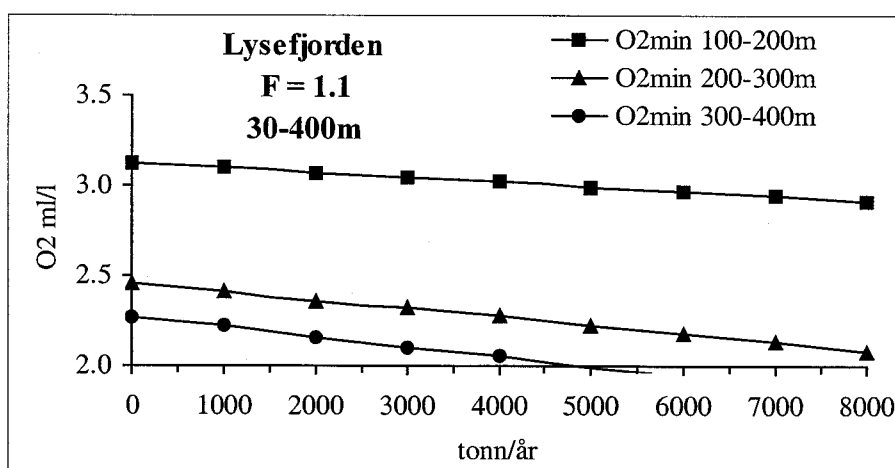


Fig 7. Beregnet reduksjon av oksygenminimum ($O_{2\text{min}}$) som funksjon av fiskeproduksjon (F=1.1) i 100-200m, 200-300m og 300-400 m laget når tilført organisk materiale fordeles mellom 30 og 400 m dyp, dvs hele terskelbassenget.

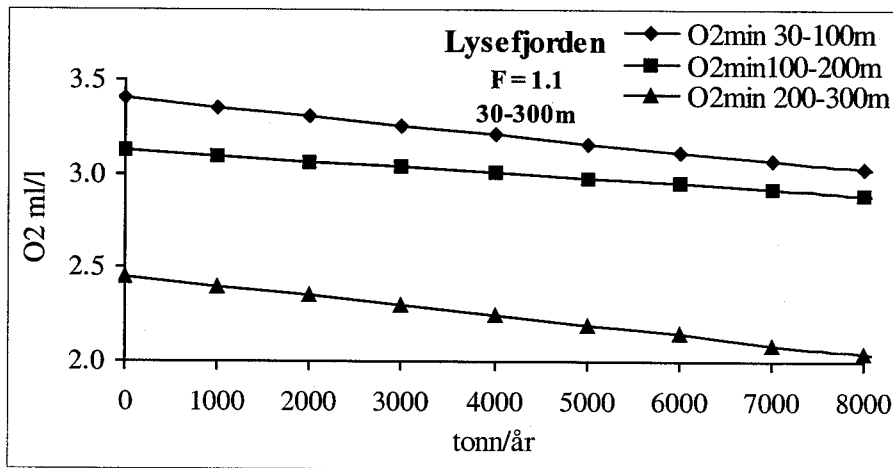


Fig.8 Beregnet reduksjon av oksygenminimum som funksjon av fiskeproduksjon (F=1.1) i 30-100m, 100-200m, 200-300m laget når tilført organisk materiale fordeles mellom 30 og 300 m dyp, dvs sedimenterer grunnere enn 300 m dyp.

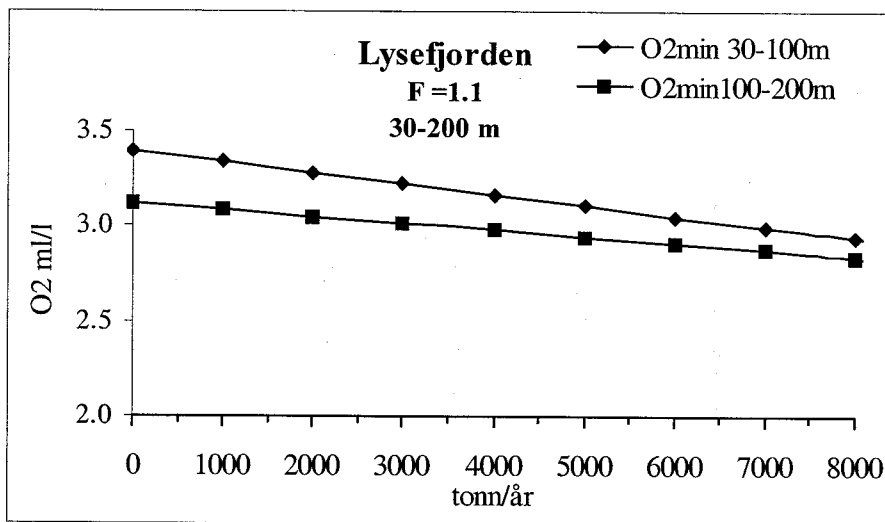


Fig 9. Beregnet reduksjon av oksygenminimum som funksjon av fiskeproduksjon (F=1.1) i 30-100m, 100-200m laget når tilført organisk materiale fordeles mellom 30 og 200 m dyp, dvs sedimenterer grunnere enn 200 m dyp.

På grunn av økt vannutskiftning øker bæreevnen mot overflaten og med sedimentering av organisk materiale fra fiskeoppdrett grunnere enn 200 m vil feks en produksjon på 5000 tonn per år bare redusere O₂min fra ca 3.1 til 3.0 ml/l i 100 – 200 m laget (fig 9) og fortsatt ligge innenfor den samme naturgitte tilstandsklasse (se foran). Lokalisering grunnere enn 100 m vil ytterligere øke bæreevnen.

For å unngå en uheldig påvirkning på oksygenforholdene i bassengvannet bør evt fiskeoppdrettsanlegg lokaliseres til områder hvor bunndypet er mindre enn 200 meter og hvor en samtidig sikrer at organisk avfall ikke sedimenterer dypere enn 200 meter. I Lysefjorden utgjør arealet grunnere enn 200 m ca 50 % av fjordens totale areal, med de størst arealene mellom 0 og 200 m i ytre del av fjorden, ved Urdnes og Geitanes (fig 1 og 3)

Produksjonslaget (0 - 25m)

Fiskeoppdrett tilfører fjorden nitrat og fosfat. Ferskvannet som tilføres fjorden har et stort overskudd av nitrat i forhold til fosfat. Fosfat er derfor trolig det begrensende næringssalt for lokal algeproduksjon etter vårblomstringen i mars. Tilførslene av "løst" fosfat, dvs fosfat som skilles ut direkte fra fisken, er omlag 4 kg pr tonn produsert fisk pr år (Stigebrandt,1999) når vi forsetter at fosfat bundet til organiske partikler (forrester og feces) sedimenterer på vanddyb større enn 30 m. På dyp større enn 30 m er det naturlig høye konsentrasjoner av næringssalter og næringssalter som løses ut fra oppdrettssediment så dypt nede vil være lite tilgjengelig for algeproduksjon.

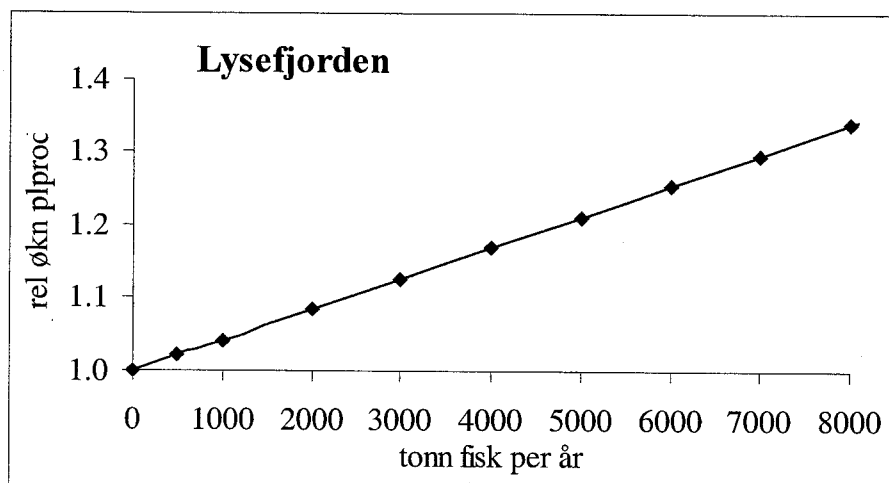


Fig. 10 Relativ økning av produksjon av planteplankton i Lysefjorden med økende produksjon av fisk.

Fig 10 viser beregnet midlere relativ økning av produksjonen av planteplankton i Lysefjorden som en funksjon av økende fiskeproduksjon, basert på at all "løst" fosfat omsettes i fjorden. Feks vil en produksjon på ca 5000 tonn/år kunne øke produksjonen av planteplankton med ca 20 % i forhold til naturlig ny produksjon.

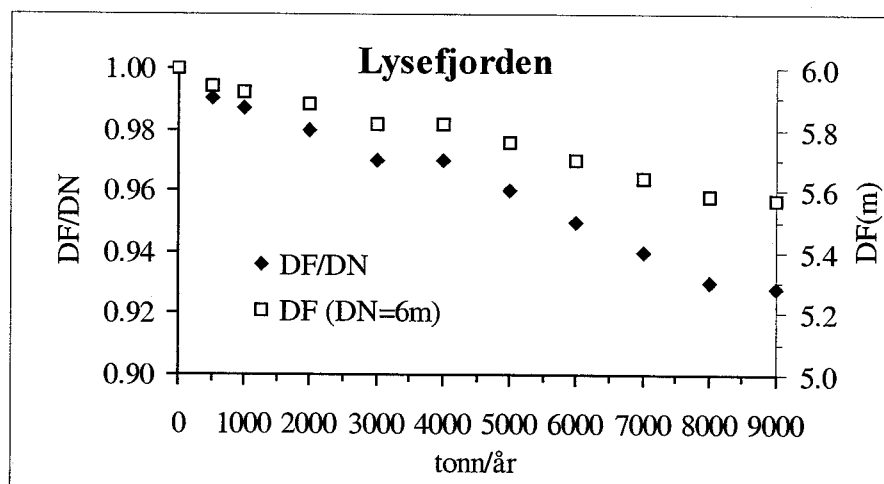


Fig 11. Relativ reduksjon (DF/DN) av siktedyp og endring i siktedyp (DF) med økende fiskeproduksjon. DN = naturlig siktedyp = 6m og DF= siktedyp med fiskeoppdrett.

Når vi antar at fosfat fra fiskeoppdrett tilføres og omsettes i 0-10 m laget (merddyp) vil midlere siktedyp om sommeren kunne reduseres med ca 4 % og 0.2 m med en produksjon på ca 5000 tonn/år (fig 11).

5.2 Smolt

Smoltproduksjon med utslipp til sjø tilfører resipienten nitrogen og fosfor. Ved en produksjon på 1 mill smolt pr år tilføres resipienten ca 615 kg fosfor pr år (løst og organisk bundet fosfor). Ved Eidane Smolt AS i Lysefjorden renses utslippet slik at de totale tilførslene av fosfor er redusert til ca 250 kg/år/mill smolt. Dagens smoltproduksjonen i anlegget er omlag 1.5 mill smolt pr år. Alt prosessvann filtreres gjennom et trommelfilter med filterduk på 100 μ . Deretter ledes vannet ut via to parallelle avløpsrør, som er ca 30 meter lange. Rørene munner ut på henholdsvis 13 og 15 meters dyp. Det gjennomføres nå undersøkelser, i samarbeid med Rogalandforskning, for å dokumentere de reelle utslipp fra anlegget.

Hvis vi antar at alt fosfor fra anlegget (både rensed og urensed) omsettes til alger kan vi beregne den relative økning i planktonproduksjon i Lysefjorden som en funksjon av økende smoltproduksjon. Fig 12 viser at dagens smoltproduksjon (rensed og urensed) ligger på 1 % nivået med hensyn til effekter på planktonproduksjonen. For en produksjon på feks 10 mill smolt pr år er det beregnet at urensed og rensed utslipp potensielt kan øke algeproduksjonen med henholdsvis ca 6.5 og 3 %. Innvirkningen på siktedypet vil være ubetydelig. Særlig for det urensede alternativet vil de beregnede verdiene være noe for høye da en del av de organiske partiklene (og fosfor) trolig sedimenteres ut under produksjonslaget og ikke være tilgjengelig for produksjon.

Det ble gjennomført en dykkerinspeksjon av utslippsområdet for Eidane Smolt AS 23 april 2001. Målet med dette var å få et visuelt bilde av den lokale effekten til utslippet. I tillegg var det ønskelig å se på muligheter for videre overvåking / prøvetaking i området. Det var uheldigvis meget begrenset sikt under dykket (ca 1 - 2 meter). Dette medførte at bildene som ble tatt fra utslippet ikke ble av den beste kvalitet (derfor ikke gjengitt i denne rapporten). Begge rørene munner ut i en meget grov steinfylling på henholdsvis 13 og 15 meters dyp. Flere av steinblokkene har en diameter på 1 - 2 meter. Bunnen skråner videre nedover utenfor utslippspunktene. Under dykket ble det dykket til 19 meter uten at sikten ble bedre. Bunnen skrånet fortsatt ut mot midten av fjorden. Den lokale effekten av utslippet var tilsynelatende meget begrenset. Det mest åpenbare var at de store steinblokkene fungerer som slamfeller for partikler som sedimenterer i utslipps- området Mellom steinene var det flekkvis akkumulering av organisk stoff (ca 0 - 10 meters diameter fra utslippet) . Fra enkelte av disse flekkene ble det observert noe gassdannelse. Ut over dette hadde enkelte av de nærmeste steinen (ca 10-20 meters diameter fra utslippet) et tynt flekkvis belegg av bakterien *Beggiatoa*. Dette er meget vanlig i områder med moderat tilførsel av organisk stoff. Den synlige faunaen i denne typer grov steinfylling er naturlig nok meget begrenset og var karakterisert av enkelte av sjøstjerner (*Asterias rubens*). På rørene var det en dominans sekkedyr (*Tunikater*).

Effekten av utslippene fra smoltanlegget kan inndeles i lokale (50 - 100 meters omkrets fra utslippet) og regionale effekter (effekter i Lysefjorden generelt). Av disse er de lokale effekter lettest å registrere. På grunn av de store steinblokkene på utslippsstedet er prøvetaking fra overflaten av liten verdi. En standart type overvåking, med for eksempel grabbprøver, vil gi liten informasjon om utslippspunktets fauna og miljøtilstand. En visuell inspeksjon kombinert med video / bilder, på en dag med god sikt, vil kunne gi et bedre grunnlag for vurdering av utslippets lokale effekt. Et alternativ kunne være forsøke å finne en egnet referansestasjon i 50 - 100 meter fra utslippspunktet, hvor for eksempel prøvetaking med grabb kunne være mulig. Disse grabbprøvene kunne så vurderes i henhold til NS 9410: *Overvåking av marine matfiskanlegg*.

Den beregnede effekten av dagens utslippet fra Eidane Smolt, urensset eller rensset, ligger som nevnt foran på ca 1 % nivå, med hensyn til effekt på planktonproduksjon i Lysefjorden (Figur 12). Det vil i praksis si at det ikke vil være mulig å dokumentere endringer som kan relateres til dette utslippet.

Synketiden for partikulært organisk material (POM)(dødt plankton) ned til basseng vannet er:

$$T_p = H_{tb}/w \text{ (dager)} \quad (13)$$

Hvor H_{tb} = dypet hvor utsynkende plankton fanges opp av bassengvannet = 20 m og w = synkehastighet for dødt plankton = ca 1.5 meter pr døgn. Dette gir en T_p for Lysefjorden på ca 13 døgn. Det er antatt at når $T_p/T_v > 1.5$, hvor T_v er vannets oppholdtid over terskelnivå, blir det meste av lokalt produsert plankton, fra feks fiskeoppdrett, transportert ut av fjorden. Midlere oppholdtid for vannet over terskeldyp er tidligere beregnet til ca 11 døgn og T_p/T_v for Lysefjorden blir da ca 1.2. Dette viser at i middel for fjorden at mye av lokalt produsert plankton fra feks fiske -og smoltoppdrett blir eksportert ut av fjorden.

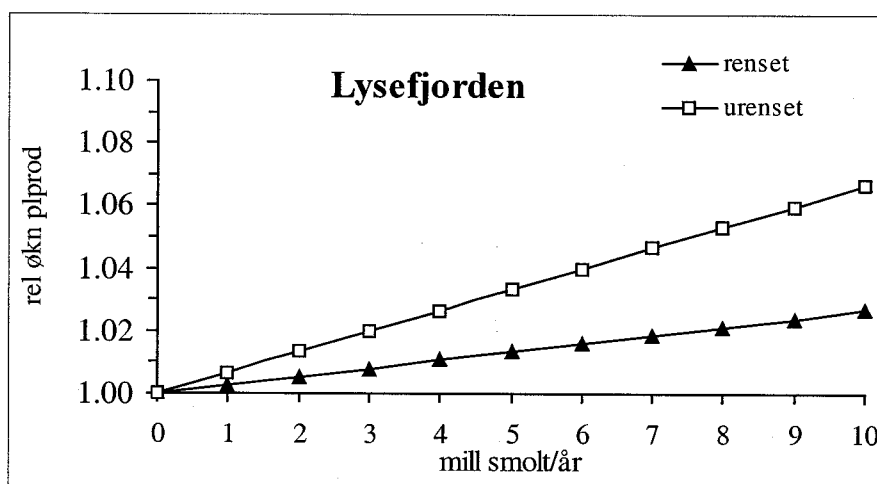


Fig.12. Beregnet relativ økning av produksjon av planteplankton i Lysefjorden med økende produksjon av smolt.

Da oppholdtiden T_v avtar utover fjorden vil lokalisering av fiskeoppdrett - og smoltanlegg i ytre del av fjorden redusere evt lokal påvirkning i Lysefjorden.

6. NATURGITT BÆREEVNE FOR SKJELLPRODUKSJON

Bæreevne for skjell dyrking i et område kan defineres som den mengde skjell som gir det største utbytte av markedsklare skjell per år. Primærproduksjonen er bestemmende for bæreevne på område/økosystem nivå, mens tetthet av skjell (konsentrasjon av biomasse) og vannstrøm (fødetilgang) er de viktigste faktorene på lokal skala (anlegg).

I dyrking av skjell ønsker man å optimalisere konsentrasjonen av skjellbiomasse for å oppnå best mulig effektivitet i produksjonen. Lav vekst ved en gitt tetthet av skjell kan indikere at bæreevne for lokaliteten er overskredet. Hensyn til økonomisk utbytte i forhold til arealbruk, drifttekniske forhold etc. er imidlertid også avgjørende elementer i effektiv blåskjell dyrking, og en optimal konsentrasjon av skjellbiomasse vil ofte være et kompromiss mellom disse forholdene og redusert vekst som følge av fødebegrensning i tette kulturer.

Fødetilgang til skjell, både mengde og kvalitet, og miljøforhold som påvirker fødeopptak og omsetning av føde (stoffskifte) varierer gjennom året, samtidig som konsentrasjon av biomasse endres i produksjonssyklusen. Variasjoner i føde- mengde og kvalitet gjør det vanskelig å karakterisere fødens ernæringsmessige betydning for skjellene. Det er også viktig å ta hensyn til at det i en skjellkultur og i vannmassene rundt finnes en rekke andre beitere, dyreplankton og andre filter-fødere, som begroing på dyrkingsinstallasjoner oa, som konkurrerer om den samme føden som skjellene spiser. Beregninger av disse prosessene er relativt komplisert.

Ved en vurdering av hvordan skjell utnytter fødegrunlaget kan det være nyttig å presisere skala som legges til grunn for beregningen. Dette kan illustreres ved innledningsvis å betrakte et skjellindivid. Produksjonen i et skjell vil være betinget av en del "indre" (endogene) forhold som størrelse, alder og fysiologisk status (modnings status) og "ytre" (eksogene) faktorer hvor de viktigste er temperatur og fødetilgang. I dyrkingssammenheng vil den individuelle bæreevne kunne uttrykkes som den maksimale veksthastighet og matinnhold (kvalitet) ved høsting, ved de naturlige miljøforhold og ubegrenset fødetilgang. Skjell vil i ulik skala kunne "overforbruke" føden, også i konkurranse med andre beitere, dyreplankton, sekkedyr, etc.

1. På individnivå vil overforbruk oppstå når et skjell fjerner fødepartikler fra vannet som omslutter dyret hurtigere enn vannstrømmen fornyer dette vannet
2. Med hensyn på et skjellanlegg, vil det i et område hvor tidevannet forårsaker en strømretning i to motgående retninger oppstå et overforbruk når skjellene i anlegget fjerner fødepartikler fra vannet som passerer skjellene nedstrøms i anlegget så effektivt at skjellene som mottar "brukt" vann blir fødebegrenset. Det oppstår da forskjeller i vekst mellom skjell i utkanten av anlegget og skjell midt i anlegget. Dette er en situasjon som ofte oppstår, og det er her nødvendig å optimalisere konsentrasjonen av skjellbiomasse for å oppnå best mulig effektivitet i produksjonen (se over).
3. Med hensyn på fødetilgangen til skjell i et bestemt område - en bukt, fjord eller lignende, vil den generelt være bestemt av tilført næring (som fødepartikler eller næringsalter til algeproduksjon), primærproduksjon i området og beiting. Når beiting (skjell og konkurrenter) på algene i et område fjerner fødepartikler hurtigere enn det som blir tilført eller produsert i området vil det oppstå overforbruk. Slike situasjoner er kjent fra flere områder i verden hvor skjell dyrkes i store tettheter og mengder. I Norge har vi naturlige forutsetninger og kunnskap som gjør det unødvendig å komme i slike situasjoner. Det vil dessuten være restriksjoner på andre forhold, som størrelse og plassering av anlegg, konsesjonskrav til avstand mellom anlegg, etc. som vil gjøre overforbruk i område - skala til et begrenset problem.

Bæreevne for skjellproduksjon vil kunne vurderes også i forhold til andre begrensninger. Belastning skjellene har på miljøet som reseipient vil ha gitte grenser for hva som alminnelig aksepteres. Det er imidlertid tvilsomt om driftsformer som er aktuelle i norsk skjellproduksjon vil kunne få en påvirkning som kan oppfattes som miljømessig uforsvarlig. Satt på spissen vil en lokalitet med forurensningskilde som vil resultere i skjell som er helsekadelig eller uakseptabel i et marked, naturligvis ikke ha bæreevne for skjellproduksjon. Likeledes vil områder hvor giftige alger forekommer hyppig kunne ha klare begrensninger i forhold til bæreevne.

Ulike modeller er utviklet som beskriver prosessene fødeopptak og vekst, og disse kan være et hjelpemiddel i beregninger av hvordan de enkelte faktorer påvirker produksjon og dermed fjordens/lokalitetens bæreevne under gitte miljøforhold. For beregning av naturlig bæreevne for skjellproduksjon i Lysefjorden er det benyttet tilgjengelig informasjon om fjorden og informasjon fra andre områder hvor det er utført beregninger av bæreevne for skjellproduksjon. Det er i denne omgang aktuelt å betrakte produksjon av føde (planteplankton) og begrensninger som påvirker omsetning av føde til skjellbiomasse.

Våre beregninger og betraktninger av naturlig bæreevne for skjellproduksjon i Lysefjorden tar utgangspunkt den mengde skjellbiomasse som kan omsettes fra ny produksjon (NP) (summen av lokal produksjon og tilført partikulært carbon) (se kap 4 om Planteplanktonproduksjon). Over tid vil den totale mengde skjell som høstes fra en fjord ikke kunne overstige den mengde næringsalter/organiske partikler som tilføres fjorden. Primærproduksjonen uttrykt som partikulært carbon, representerer her det potensielle fødegrunlaget for skjellproduksjon, og vil være grunnlag for å beregne begrensninger for skjellproduksjon. Strømregimet i fjorden i forhold til hvor effektivt skjellbiomassen omsetter føden vil kunne være begrensende for utnyttelsesgrad av primærproduksjonen.

6.1 Beregning av naturlig bæreevne basert på "ny produksjon" i Lysefjorden

Det er ikke gjort målinger av primærproduksjon i Lysefjorden. Typisk ny og total primærproduksjon i fjorder på Vestlandet er ca 50 gC/m²/år og 110-130 gC/m²/år fordelt med ca halvparten på våroppblomstringen og resten av vekstsesongen (se kap 4 om Planteplanktonproduksjon). Disse tallene varierer lite mellom fjorder og det er rimelig å anta at dette vil gi en akseptabel presisjon for beregning av bæreevne for skjell i Lysefjorden.

I tabell 3 er det gitt en oversikt over omregningsfaktorer og bakgrunnstall for beregningene.

Tabell 3

<i>SKJELL</i>	
carbon : levende vekt skjell	0,034
C:N:P (plankton vekt)	46:7.2:1
C:N:P (skjell vekt)	46:15:1
Rel omsetning føde-skjell N	0,25
Rel omsetning føde-faeces skjell N	0,25
Fjordareal total km ²	45000000
Ny prod gC/m ² /mnd M-S	7
Ny prod gC/m ² /mnd A-S	4,5
Skjell vekstsesong mnd	7

Primærproduksjonen varierer gjennom året og våroppblomstringen utgjør vanligvis 40% av totalproduksjonen. I vintermånedene er produksjonen meget lav og neglisjerbar i denne sammenheng. Midlere ny produksjon er ca 7 gC/m²/mnd for perioden mars-september, mens den i produksjonssesongen utenom våroppblomstringen er 4,5 gC/m²/mnd. Det er videre antatt en vekstsesong for skjellene i samme periode, mars-september. Ny produksjon på 50 gC/m²/år vil for hele Lysefjorden gi et teoretisk fødemengde på 2250 tonn C/år, som ved 100 % utnyttelse tilsvarer 66 000 tonn blåskjell.

Av føde som blir filtrert av skjell vil omsetning til skjellbiomasse variere med føde, temperatur og skjellenes fysiologiske status. Beregninger basert på nitrogen vil imidlertid være relativt lite påvirket av disse forholdene. Basert på nitrogen vil 25 % av inntatt føde bli omsatt til skjellmat, 30 % blir ikke tatt opp og returnert som partikulær avføring, mens 45% er metabolske avfallsprodukter (ammonium) som straks blir til ny næring for omgivende planteplankton. En andel av nitrogenet i den partikulære avføring vil regenereres og være tilgjengelig for ny omsetning i skjellene, mens det resterende vil bli bundet i annen biomasse eller forsvinne ut av systemet og dermed være tapt. Det er i beregningene antatt at 50% blir regenerert.

Fødens tilgjengelighet til skjellene vil være begrenset av fysiske forhold som strømgimet i fjorden i forhold til skjellene biomasse-fordeling (anleggenes plassering og tetthet), og konkurranse fra andre beitere på føden. Basert på den nitrogenbaserte omsetning av føde beregnet over, vil maksimalt 25% av føde tilført skjell kunne omsettes til skjellbiomasse. Den produserte føde vil imidlertid også tas opp av andre filterfødere og skjellenes opptak er betinget av at føden tilføres skjellenes "beiteområde". På grunn av slike begrensninger (strøm, konkurranse) er den reelle omsetning vesentlig lavere. Basert på omsetningsfaktorer estimert i andre skjellproduserende områder vil en omsetning på 10-20% sannsynligvis gi et realistisk skala på bæreevne.

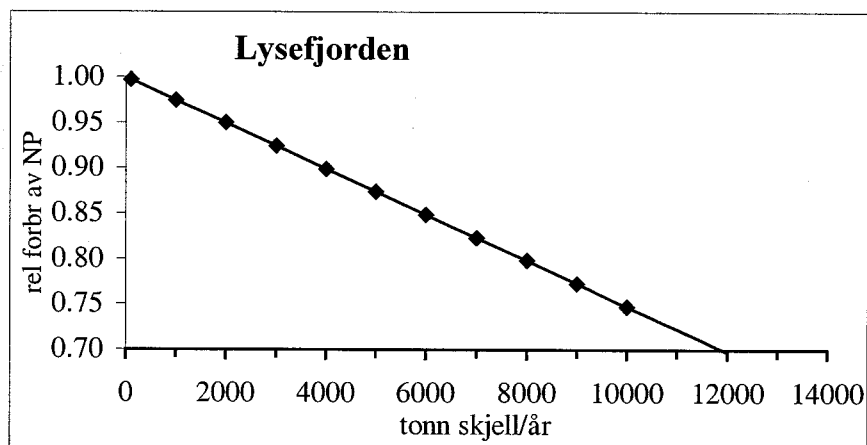


Fig.13. Sammenhengen mellom skjellproduksjon per år og relativt forbruk av ny produksjon (NP).

Den naturlige bæreevne for skjellproduksjon basert på estimert ny produksjon og omsetning av produsert føde til skjellbiomasse på ca 15 % av ny produksjon er beregnet til 6000 tonn skjell per år (fig 13). Usikkerheten i estimert omsetning er relativt høy, og i figur 13 har vi fremtildt sammenheng mellom årlig skjellproduksjon i fjorden og andel dette krever av ny produksjon.

6.2 Sammenligning med produktivitet i andre skjellproduserende områder

En vurdering av bæreevne for et område kan også baseres på erfaringsmessige og historiske data som fremstilles som produktivitet, biomassefordeling etc. De spanske fjordene i Galicia, "rias", er blant de mest produktive skjelldyrkingsområder i verden. En av disse fjordene, Ria de Arosa, har et areal på 253 km². Den har en primærproduksjon som gir grunnlag for en produksjon av blåskjell på ca. 120.000 tonn per år, eller 474 tonn per km². Norske fjorder og kystfarvann ligger vesentlig lavere i primærproduksjon, men ved en optimal plassering og biomassefordeling av skjell mener vi det er rimelig å anta at produksjonsgrunnlaget her vil

kunne ligge under det halve av de spanske fjordene, omlag 170 tonn per km² / år. Dette gir et potensiale for Lysefjorden på ca 7500 tonn per år, som stemmer godt overens med beregningen av bæreevne for fjorden.

For å unngå en uheldig påvirkning på oksygenforholdene i bassengvannet fra sedimentering av organisk materiale og mulige tap av blåskjell anbefales det at blåskjellanlegg lokalisert grunnere enn 200 meter dyp (se fiskeoppdrett).

7. ØKT PRODUKSJON AV PLANTEPLANKTON VED KUNSTIG OPPSTRØMNING AV DYPVANN

Fra forsøk hvor store poser i sjøen og innelukkete poller som er tilført næringsalter med en balansert sammensetning av nitrat, fosfat og silikat øker planktonproduksjonen med en dominans av ikke - giftige alger (diatomeer). I prosjektet "Fjordcult" ved Havforskningsinstituttet er det vist at nye næringsalter fra dypereliggende lag kan transporteres opp i produksjonslaget ved hjelp av et dykket ferskvannsutslipp (fig 14)(Aure, Erga, Asplin, 2000 og McClimans og Eidnes, 2000).

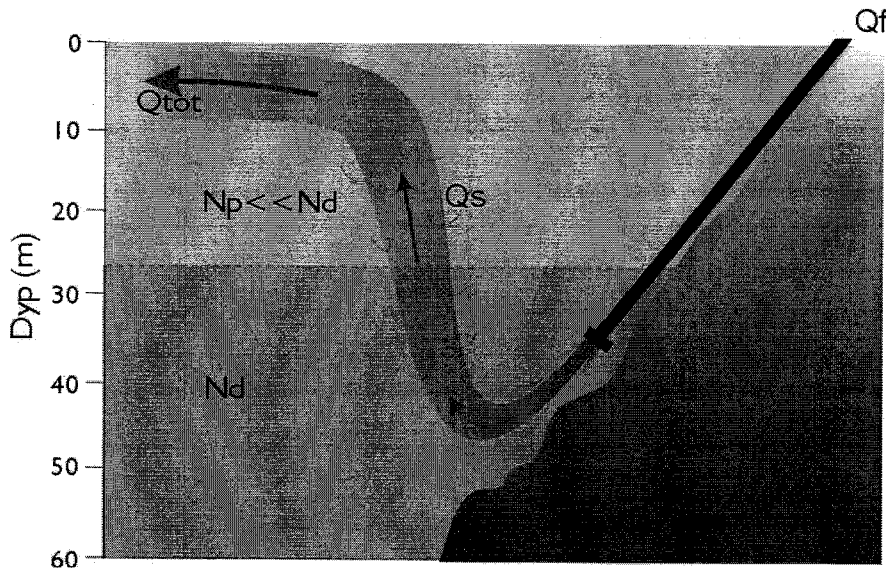


Fig. 14. Prinsippsskisse for kunstig oppstrømning av dypvann ($Q_{tot} = Q_f + Q_s$) ved dykket ferskvannsutslipp (Q_f). Q_s = tilført dypvann. N_d = næringsalter dypvann og N_p = næringsalter i produksjonslaget etter vårblomstring.

I Lysefjorden vil kunstig ferskvannsdrevet oppstrømning av næringsrikt dypvann til produksjonslaget i indre del av fjorden kunne : 1) øke algeproduksjonen 2) gi en mer stabil algeproduksjon 3) endre algesammensetningen mot ikke - giftige alger og 4) øke vannutskiftingen i de øverste 40-50 meter av fjorden.

I dag ser vi for oss at kunstig oppstrømning i fjorder kan få anvendelse i forhold til å bedre vekstforholdene for skjell, sikre produksjon av giftfrie blåskjell og evt dyrking av makroalger.

For å transportere næringsrikt dypvann opp mot overflatelaget kreves energi og metodene kan være dykket ferskvannsutslipp, luft eller store strømsettere. Den mest aktuelle og minst kostnadskrevende metoden er å bruke et dykket ferskvannsutslipp hvor ferskvann blander seg

med næringsrikt dypvann på vei opp mot overflatelaget (fig.14). Et ferskvannsutslipp må konstrueres slik at vi får maksimal transport av næringsrikt dypvann opp til produksjonslaget. Ved siden av den tekniske dimensjonering av utslippssystemet, vil naturgitte endringer i vertikalfordeling av tetthet og næringssalter i fjorden påvirke både innlagringsdyp og transporten av næringssalter til produksjonslaget.

Ut fra midlere tetthetfordeling i Lysefjorden ved stasjon 1 i november er det beregnet at et blandingsforhold mellom ferskvann (Q_f), dykket ned til ca 35 - 40 m dyp, og sjøvann (Q_s) på ca 10 ($Q_s/Q_f = 10$) gir innlagring av blandingsvannet like under brakkvannet, dvs i 3 - 5 meter dyp. Innlagringsdypet vil variere noe med lagdelingen i fjorden.

Tabell 4. Midler konsentrasjoner av nitrat (NO_3), fosfat (PO_4) og silikat (SiO_4) ved St 1 i Lysefjorden for lagene 40-25m, 25-10m og i ferskvann i en antatt sommersituasjon.

Næringssalter	mmol/m ³
NO_3 middel 40-25m	10
SiO_4 middel 40-25m	7
PO_4 middel 40-25	0.7
NO_3 middel 25-10m	1.8
SiO_4 middel 25-10m	1.4
PO_4 middel 25-10m	0.1
NO_3 ferskvann	10
SiO_4 ferskvann	10
PO_4 ferskvann	0.05

Basert på målingene utført av HI i Lysefjorden i november fra 1980 til 2000 har vi beregnet midlere nitrat, silikat og fosfatkonsentrasjoner mellom 40 – 25 meter (tabell 4). I 25 - 10 meter laget har vi satt inn typisk lave sommerverdier for næringssaltene. Ut fra tidligere målinger av næringssalter i elver på Vestlandet har vi satt nitrat, silikat og fosfat-konsentrasjonene i ferskvann til henholdsvis 10,10 og 0.05 mmol/m³.

Fig 15 viser feks at et ferskvannsutslipp på feks 4 m³/sek ($Q_s = 40 \text{ m}^3/\text{s}$) i ca 40 meter dyp i middel kan tilføre øvre lag 400 kg/døgn nitrat, 600 kg/døgn silikat og 55 kg/døgn fosfat. Sammensetningen av næringssaltene er tilnærmet den samme som like før vårblomstringen og skulle dermed favorisere fremvekst av diatomeer (silikatforbrukende alger). Dette er alger som ikke er kjent å gi problemer med skjellgift i norske sjøområder.

De beste forholdene for etablere kunstig oppstrømning er i inderste del av fjorden hvor oppholdstiden for vannet under brakkvannslaget trolig er betydelig lenger enn ute i fjorden.

Målinger utført av HI i juni 2001 viste at næringssaltkonsentrasjonene i dypereliggende lag i Lysefjorden var høyere enn for novembermiddelet benyttet foran. Dette førte til at beregnet transport av næringssalter til øvre lag var ca 30 % høyere i juni 2001 enn beregningne angitt i fig 15. Fig 15 viser feks at et ferskvannsutslipp på feks 4 m³/sek ($Q_s = 40 \text{ m}^3/\text{s}$) i ca 40 meter dyp i middel kan tilføre øvre lag 400 kg/døgn nitrat, 600 kg/døgn silikat og 55 kg/døgn fosfat. Sammensetningen av næringssaltene er tilnærmet den samme som like før vårblomstringen og skulle dermed favorisere fremvekst av diatomeer (silikatforbrukende alger). Dette er alger som ikke er kjent å gi problemer med skjellgift i norske sjøområder.

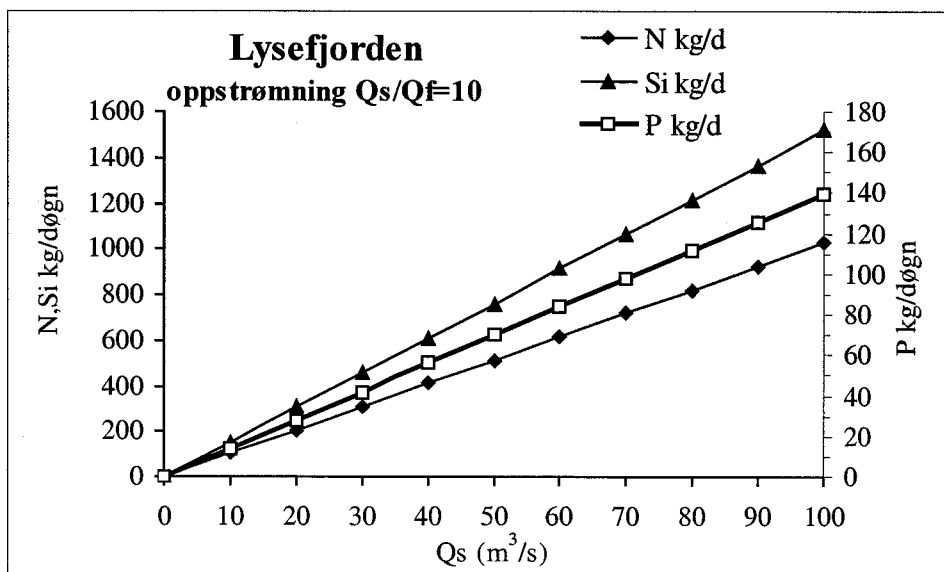


Fig.15. Tilførsler av nitrat (NO₃),silikat (SiO₄) og fosfat (PO₄) til produksjonslaget som funksjon av økte tilførsler av næringsrikt dypvann (Qs) med Qs/Qf=10 og utslipp i 40 m dyp.

De beste forholdene for etablere kunstig oppstrømning er i inderste del av fjorden hvor oppholdstiden for vannet under brakkvannslaget trolig er betydelig lenger enn ute i fjorden. Målinger utført av HI i juni 2001 viste at næringssaltkonsentrasjonene i dypereliggende lag i Lysefjorden var høyere enn for novembermiddelet benyttet foran. Dette førte til at beregnet transport av næringsalter til øvre lag var ca 30 % høyere i juni 2001 enn beregningene angitt i fig 15.

Influensområdet for ny produksjon basert på en ferskvannndrevet oppstrømning av næringsrikt dypvann innerst i Lysefjorden er styrt av oppholdstiden for det algeførende laget (To) i fjorden og algenes veksthastighet (Va). Med feks liten To og lav Va vil algene tranporteres ut av et lokalt fjordområde og produksjonen blir spredt over et forholdsvis stort område (regional effekt). Betingelsen for lokal eller regional effekt av tilførte næringsalter kan uttrykkes som følger (Aksnes, 1993):

$$R = 1/(To*Va) \tag{14}$$

Hvor $R \ll 1$ er vilkåret for lokal oppblomstring, mens $R \gg 1$ betyr at algeproduksjonen domineres av ytre forhold og effekten av lokale næringssalttilførsler spres over et større område (regional effekt). $R = 1$ betyr at lokal og ytre påvirkning er av samme størrelsesorden.

Foran har vi beregnet midlere oppholdstid for vann mellom ca 4 og 20 meter dyp til ca 11 døgn med økende oppholdstid innover i fjorden. Hvis vi antar at oppholdstid To for vannet like under brakkvannslaget i indre del av fjorden er ca 15 døgn og $Va = 1.7 * 10^{-5} \text{ sek}^{-1}$ (1.5 algedeling per døgn) blir $R = 0.04$. Dette viser at det er stor sannsynlighet for at kunstig oppstrømning av næringsrikt dypvann i indre del av Lysefjorden fører til lokal blomstring.

Vi antar at all fosfat som tilføres øvre lag ved kunstig oppstrømning omsettes til plankton (NPu) og relativ økningen av produksjonen (Rel NP) i forhold til naturlig ny produksjon (NP) blir da:

$$\text{RelNP} = (NP+NPu)/NP \tag{15}$$

Midlere naturlig ny produksjon etter vårbloomstringen er foran antatt å være omlag $4.5 \text{ gC/m}^2/\text{måned}$. Beregning av RelNP ved kunstig oppstrømning er gitt for arealer fra 3 til 15 km^2 (fig 16). Hvor stort areal den nye produksjonen fra oppstrømning av dypvann vil fordele seg over i indre del av Lysefjorden er usikkert og er bla avhengig av den lokale vannutskiftingen (oppholdstid) og algenes veksthastighet. Basert på næringssaltmålingene i Lysefjorden i juni 2001 var verdiene ca 30% høyere enn angitt i fig 16.

For et areal på feks 5 km^2 , hvor produksjonen hovedsakelig vil foregå i de inderste omlag 4 km av Lysefjorden, vil en oppstrømning Q_s på $40 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_f = 4 \text{ m}^3/\text{s}$) kunne føre til en $3 - 4$ dobling av algeproduksjonen i perioden etter vårbloomstring fra april til september.

Hvis vi fordeler den nye produksjonen for $Q_s = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ over hele fjordarealet på 44 km^2 er produksjonen beregnet å øke med ca 20% (faktor 1.2) i forhold til naturlig årsproduksjon.

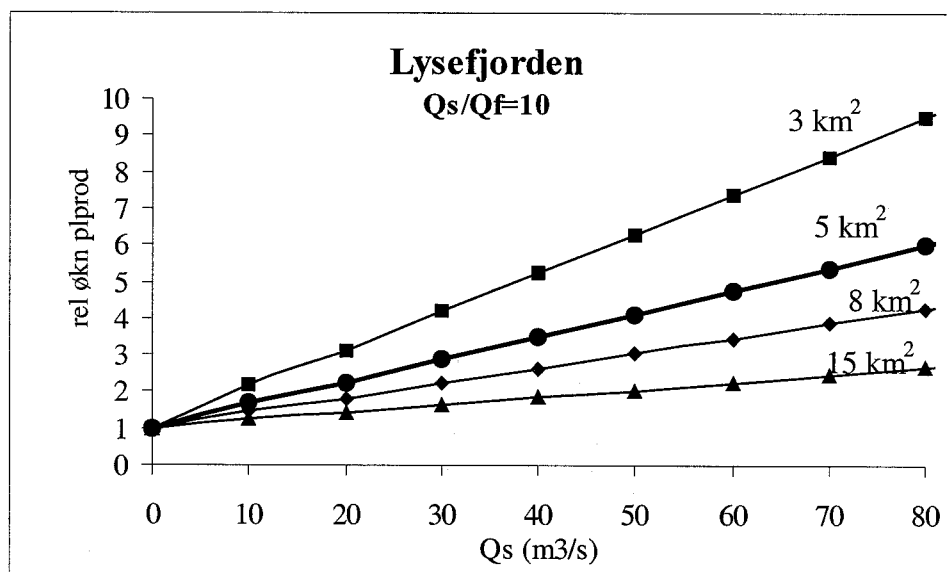


Fig. 16. Beregnet relativ økning av planktonproduksjonen som funksjon av økte tilførsler av næringsrikt dypvann (Q_s) og influensområde (km^2). $Q_s/Q_f=10$.

En viktig begrensning for ny produksjon ved kunstig oppstrømning i Lysefjorden er terskeldypet på ca 15 meter. Medrivningen av sjøvann forårsaket av ferskvannsutslippet på feks 40 meter dyp vil transportere sjøvann fra $40 - 20$ meter laget opp i øvre lag. Dette vil tappe $40 - 20$ m laget for vann som etterhvert må erstattes av lettere og i sommersesongen mer næringsfattig vann fra øvre lag. Lettere vann mellom 20 og 40 m dyp vil også øke hyppigheten av innstrømning av vann over terskelen og ned til $40 - 50$ m dyp i Lysefjorden. I perioder med oppstrømning av næringsrikt og tyngre vann langs kysten (upwelling) kan $40 - 20$ m laget derfor tilføres endel nye næringssalter i løpet av sommersesongen.

En totaltransport av sjøvann (Q_s) på feks $40 \text{ m}^3/\text{sek}$ til øvre lag gir en transport av sjøvann ut av $20 - 40$ m laget på ca $28 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_s \cdot 0.7$). Dette gir en "tappetid" T_n for $20 - 40$ m laget på ca 12 måneder (tabell 5). Med en driftstid på feks 4 måneder i sommerhalvåret vil en kunstig ferskvannsdrevet oppstrømning av sjøvann på feks 40 og $20 \text{ m}^3/\text{s}$ teoretisk forbruke henholdsvis ca 17 og 35% av det næringsrike vannet mellom 20 og 40 meter dyp. Hvis ikke $20 - 40$ m laget får påfyll av næringsrikt vann enten utenfra eller ved vertikalblanding fra dypere vannlag, vil vi derfor få en gradvis reduksjon av primærproduksjonen basert på kunstig oppstrømning.

I løpet av høsten og vinteren vil trolig 20 - 40 m laget igjen fylles opp med nye næringsalter både som følge av tilførsler næringsrikt vann fra dypere liggende lag av fjorden og som følge av innstrømninger av vintervann med høyt næringssaltinnhold. For å kompensere for næringssaltene som transporteres opp i øvre lag er det også mulig å etablere et eget opplegg

Tabell 5. Tiden (Tn) det tar å tappe 20 - 40m laget for vann ved kunstig oppstrømning Qs fra 10 til 50 m³/s (Qs/Qf =10 og utslipp i 35-40 m dyp)

Qs (m ³ /s)	Tn (måned)
10	45.0
20	22.5
30	15.0
40	11.3
50	9.0

hvor næringsrikt vann fra feks 50 - 60 m dyp transporteres opp i 20 - 40 m laget ved kunstig oppstrømning. Et slikt opplegg vil også øke vannutskiftingen i de øverste 50 - 100 meter av Lysefjorden

8. ØKT BÆREEVNE OG PRODUKSJON AV GIFTFRIE SKJELL VED KUNSTIG OPPSTRØMNING.

8.1 Økt bæreevne for skjell

Vi antar at bæreevnen for skjell vil øke i samme forhold som økningen av ny produksjon av planteplankton ved kunstig oppstrømning av næringsrikt vann (fig 16 og 17). For eksempel med tilførsel av sjøvann til øvre lag 40 m³/s (Qs) dvs Qf = 4m³/s vil bæreevnen for et influensområde på 5 km² øke med en faktor på 3.5 i perioden fra april til september. For hele fjorden (44 km²) i vekstsesongen fra mars til september er bæreevnen beregnet å øke med en faktor på 1.2 (20 %)

Influensområdet for ny produksjon basert på en ferskvannndrevet oppstrømning av næringsrikt dypvann innerst i Lysefjorden er bla bestemt av oppholdstiden for det algeførende laget og algenes veksthastighet. Beregningene foran viser at tilførsel av næringsrikt dypvann i indre del av fjorden hovedsaklig vil omsettes til ny algeproduksjon i samme området.

Foran er det beregnet at naturlig bæreevne for blåskjell i vestnorske fjorder er omlag 140 tonn/km²/år med vekstsesong fra mars til september når vi antar at ca 15 % av årlig ny produksjon omsettes til skjellbiomasse. Ny naturlig algeproduksjon etter vårblomstringen fra april til september er lavere og mer variabel, som igjen fører til mindre og ujevn fødetilgang til blåskjell. Økt ny produksjon som følge av kunstig oppstrømning vil trolig både øke fødetilgangen og skape en mer stabil fødetilgang for blåskjell. Sammensetningen av næringssaltene fra dypvannet, med et balansert forhold mellom nitrat, fosfat og silikat vil sannsynligvis føre til en økt produksjon av diatomeer (silikatforbrukende alger) som i norske sjøområder ikke inneholder skjellgifter. Økt fødetilgang kan også føre til at skjellene skiller ut evt giftstoffer hurtigere enn under naturlige forhold.

I beregningene antar vi en naturlig skjellproduksjon på ca 90 tonn/km² for perioden fra april til september dvs at ca 50 tonn/km² er knyttet til vårblomstringsperioden i mars og evt algeproduksjon i oktober. Ved kunstig tilførsel av næringsrikt dypvann på feks 30 m³/s (Qs) dvs Qf = 3m³/s og med feks et influensområde på 8 km² kan skjellproduksjonen i perioden fra april til september økes fra en naturlig bæreevne på ca 700 tonn til ca 1600 tonn. For et influensområde på 3 km² vil produksjonen kunne øke fra ca 270 tonn til ca 1100 tonn (fig 17).

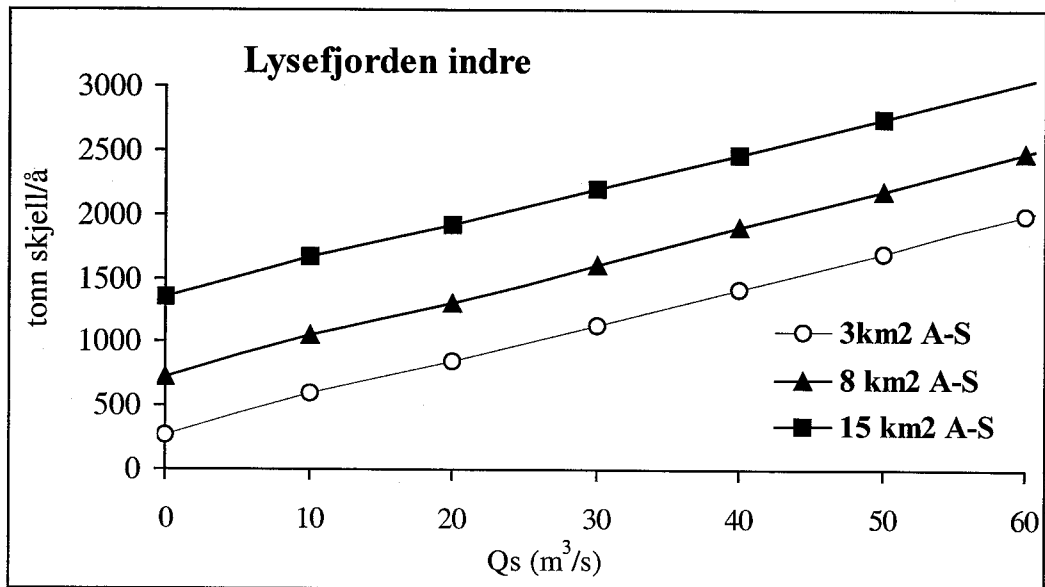


Fig 17. Beregnet produksjon av skjell (tonn per år) som funksjon av tilføsel av dypvann (Q_s) for utvalgte influensområder (km^2) fra april til september.

Dette viser at de tilførte nye næringssaltene ved kunstig oppstrømning med feks $Q_s = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ er beregnet å kunne gi en økt skjellproduksjon på ca 850 tonn i perioden fra april til september uavhengig av størrelsen på influensområdet. Som nevnt foran var næringssaltverdiene i dypvannet ca 30 % høyere i juni 2001 enn i middelåret og den potensielle skjellproduksjon basert på disse observasjonene blir tilsvarende høyere.

8.2 Produksjon av giftfrie skjell

Ved bruk av influensområdet for kunstig oppstrømning til feks avgiftning av blåskjell er det en fordel at området er forholdsvis lite (høy algekonsentrasjon). Hvis vi antar at blåskjellene blir giftfrie etter ca en uke har feks et "oppstrømningsområde" med $Q_s = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ en potensiell kapasitet til å fjerne alggifter fra ca 6000 tonn blåskjell i løpet av 3 måneder. Dette tilsvarer den beregnede årlige naturlige bæreevne for blåskjell i hele Lysefjorden (se foran).

Mulige andre måter å benytte "oppstrømningsområdet" på:

- Oppstrømningsområdet er beregnet å kunne ha en betydelig kapasitet til å produsere giftfrie skjell og vil dermed kunne fungere som bufferanlegg i perioder med høsteforbud i andre deler av fjorden.
- Mellomlagre og evt "toppfore" høstingsklare skjell i et giftfritt område.
- Lavere temperatur i oppstrømningsvannet kan benyttes til å utsette gyting, dvs utvide og sikre høstesesongen for skjell om våren og forsommeren.

9. KOMBINASJON AV HAVBRUKSVIRKSOMHET (SAMBRUK)

Ved feks å kombinere fiske/smoltoppdrett, skjell dyrking, inkludert tapet av ny produksjon som følge av vannkraftutbygging og økt produksjon som følge av kunstig oppstrømning kan vi sette opp et budsjett for endringen i årlig algebiomasse i Lysefjorden (tabell 6).

Tabell 6. Eksempel på et budsjett for endringer i årlig algebiomasse i Lysefjorden med en kombinasjon av fiske- og smoltoppdrett, skjellproduksjon, vannkraft og kunstig oppstrømning.

Virksomhet	Avvik (%) fra naturlig algebiomasse
Fiskeoppdrett 5000 tonn per år	+ 20%
5 mill smolt per år (urensset)	+ 3 %
Vannkraft (sommer)	- ca 20 %
Blåskjell 6000 tonn pr år	-20 %
*Kunstig oppstrømning ($Q_s = 40 \text{ m}^3/\text{s}$)	+ 20 %
Netto per år	+ 3 %

En slik kombinasjon er beregnet til å øke årlig algebiomasse med ca 3 %. Dette betyr at det vil bli små forandringer av planktonkonsentrasjonene i Lysefjorden ved en slikt kombinert opplegg.

Det er også verd å merke seg at en økt algeproduksjon som følge av en årsproduksjon på feks 5000 tonn fisk omlag vil omlag kompenseres med en skjellproduksjon på ca 6000 tonn/år.

LITTERATUR

- Aure, J. og Stigebrandt A. 1988. Observations of plant nutrients in some Norwegian fjords. *Sarsia* 74:303-307.
- Aure, J. og Stigebrandt A. 1989. Fiskeoppdrett og fjorder. En konsekvensanalyse av miljøbelastningen for 30 fjorder i Møre og Romsdal. *Havforskningsinstituttet i Bergen*. Rapp nr. FO -8803, 106 s.
- Aure, J. and Stigebrandt, A. 1989. On the influence of topographic factors upon the oxygen consumption rate in sill basins of fjords. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1989) 28: 56-69.
- Aure, J. and Stigebrandt, A. 1990. Quantitative estimates of the eutrophication effects of fish farming on fjords. *Aquaculture*, 90: 135-156.
- Stigebrandt, A. 1990. On the response of the horizontal mean vertical density distribution in a fjord to low - frequency density fluctuations in the coastal water. *Tellus* 1990; 42A:605-614.
- Stigebrandt, A. 1999. MOM: Turnover of energy and matter by fish - A general model with application to salmon. *Fisken og Havet* NR.5-1999. 26s
- Stigebrandt, A., Aure, J. og Molvær, J. 1992. Utprøving og kalibrering av Terskelfjordmodellen. *NIVA Rapp.* nr. O-89073 (Lnr. 2701), 145s.
- Aure, J., Asplin, L. Og Strand, Ø. 2000. Kan vi gjøre våre fjorder mer produktive? *Fisken og Havet*, Særnummer 2-2000: 90-94.
- Aure, J., Erga, S.R., og Asplin, L. 2000. Fjorcult: Økt biologisk produksjon i fjorder ved kunstig oppstrømning av dypvann. *Fisken og Havet* Nr 11 - 2000. 30s

McClimans, T., Eidnes, G., J. 2000. Laboratory simulations of controlled artificial upwelling in a fjord using a submerged fresh water discharge. *SINTEF Bygg og miljøteknikk*, Rapport 22D139, september 2000. 18 s

Aure, J., Erga, S.R., Frette, Ø. og Asplin, L. 2000. Fjordcult: Increased biological production in fjord by artificial upwelling. *1.st MARCULT Conference* in Trondheim, June 2000.

Aure, J., Berntsen, J. og Aksnes, D. 2000. Kunstig oppstrømning av dypvann - en ny mulighet for havbruk i våre fjorder?. *Norske Havforskeres Forening Årsmøte* Oslo 8.-10. november 2000

Aure, J. 2000. Kunstig oppstrømning av dypvann - en ny mulighet for havbruk i våre fjorder? *NAM konferansen* i Bergen 2.-3. November 2000

Molvær, J. et al. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT - Rapport 1997. Veledning 97:03. 36 s.

Stigebrandt, A. 2001. FJORDENV - A water quality model for fjords and other inshore waters. Rapp C40 2001. Department of Oceanography, Göteborg University: 41 p