

# Resipientforholdenes innvirkning ved lokalisering av oppdrettsanlegg

Av Svein Rune Erga.

Svein Rune Erga er ansatt som forsker ved NIVAs Vestlandsavdeling.

*Innlegg på seminar i Norsk Vannforening  
4. april 1989*

## 1. Innledning

Lakseoppdrett utgjør i dag ryggraden i norsk havbruk, men norske fjorder og kystfarvann er også velegnet for oppdrett av andre fiskeslag som torsk, kveite, piggvar, breiflabb, steinbit, regnbueørret, røye og ål. Siden miljøkravene er artsspesifikke bør valg/tildeling av lokalitet vurderes nøye i henhold til den art man ønsker å produsere. Sentralt i denne sammenheng står de såkalte lokaliseringskriterier (fig. 1). Det er også viktig å kunne velge den driftsform (merder, flytende lukket anlegg, landbasert anlegg) som best kan tilpasses fiskens trivselskrav, samtidig som det tas hensyn til resipientens bæreevne. Ideelt sett burde den art som stiller de strengeste krav til vannkvalitet få beste prioritet ved valg av lokalitet.

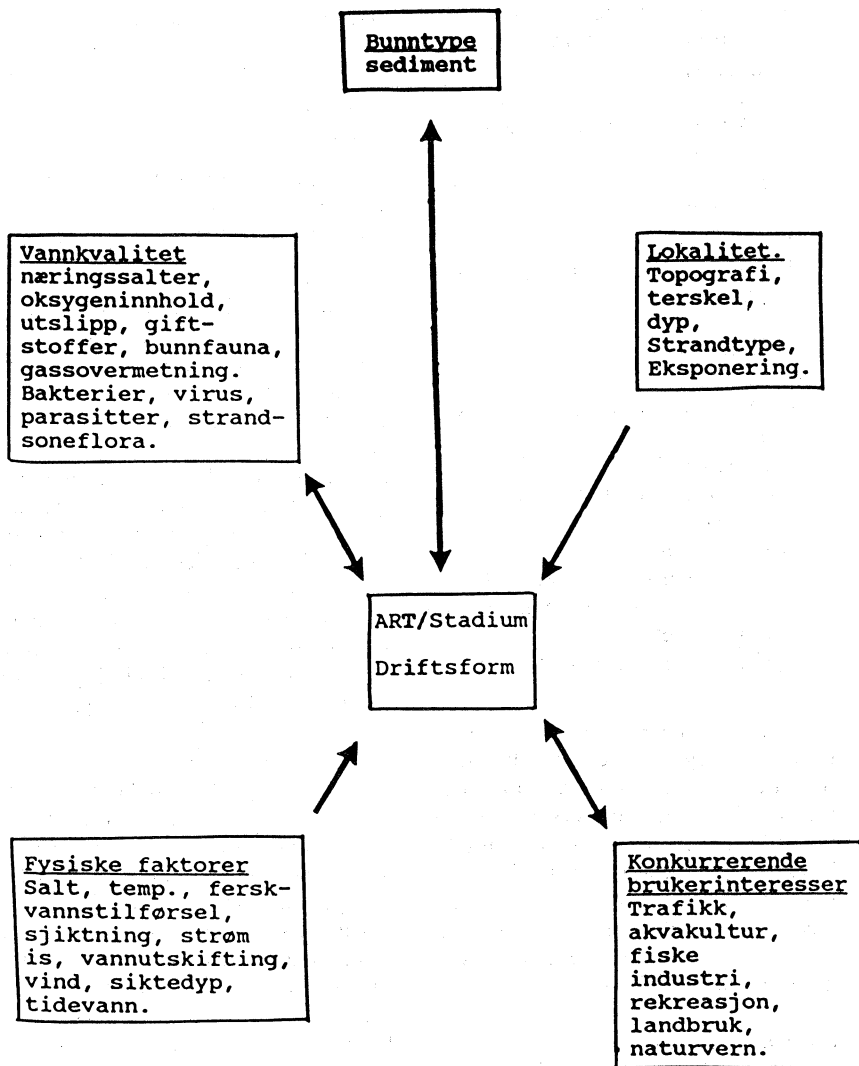
### *Lokaliseringskriterier*

Den mest sentrale rammebetingelsen innen havbruk er opprettholdelsen av en tilstrekkelig god vannkvalitet, slik at fisken trives og vokser. Begrepet vannkvalitet er noe diffust, og er i seg selv ikke noen målbar størrelse. Den

kan uttrykkes ved ulike parametre som bakterieinnhold, næringssalt-konsentrasjon, oksygeninnhold, klarhet m.m. Fiskeartene stiller ulike krav til vannkvalitet, og kravene kan variere mellom ulike livsstadier for en og samme art. De fleste artene vil helst ha klart vann, mens f.eks. ålen trives godt selv om vannet er grumset.

Ved undersøkelse av de enkelte lokaliteters egnethet for oppdrett, må følgende parametre vurderes (Erga og Bakke, 1989):

1. Forhold vedrørende allerede eksisterende havbruks-virksomhet.
  - a) Geografisk plassering av eksisterende anlegg og plassering av nye i forhold til disse.
  - b) Anleggstyper i bruk.
  - c) Tetthet av fisk/anlegg i ulike soner.
  - d) Hvilke arter produseres hvor.
  - e) Produksjon i ulike soner.
  - f) Observerte forurensningseffekter.
  - g) Sykdomsutbredelse.
2. Fysiske forhold.
  - a) Topografi (terskeldyp, generelle dybdeforhold).
  - b) Eksponering (vind/bølger).
  - c) Ferskvannsutslipp.



Figur 1. Nøkkelparametrene som inngår i generelle lokaliseringkriterier for marine oppdrettsorganismer. (Etter Erga og Bakke, 1989).

- d) Bunnforhold og dyp (sediment type).
  - e) Strandtype/tilgjengelighet.
  - f) Hydrografi (saltholdighet/temperatur).
  - g) Hyppighet av episoder med brå endringer i salinitet og temperatur (stressfaktor).
  - h) Strømforhold (tidevann, vind-generert).
  - i) Isforhold.
  - j) Effekter av utbygginger (vassdrag/veifyllinger).
3. Miljøforhold.
- a) pH.
  - b) Oksygeninnhold (dypvannskvalitet, H<sub>2</sub>S).
  - c) Næringsstoffs-konsentrasjon (nitrat, ammonium, silikat, fosfat).
  - d) Giftige forbindelser.
  - e) Forurensningstilførselen (industri, jordbruk, annen havbruksvirksomhet).
  - f) Gassovermetning (nitrogen).

For de lokaliteter som ser ut til å være rimelig bra egnet, er det å anbefale at man i første omgang velger ut de mest ideelle til videre undersøkelser, og beholder resten som reservelokaliteter inntil videre. Teknologiske nyvinninger kan gjøre disse aktuelle på sikt. Nedenunder følger en del utfyllende opplysninger vedrørende de mest sentrale lokaliseringskriterier.

#### *Forurensningseffekter*

Negative forurensningseffekter kan ofte observeres som økt begroing i strandsonen, og er et varsel om at området er overbelastet med nærings-salter. Forurensning fra oppdrett kan i over-

flaten dreie seg om fettstoff og fôrrester som akkumulerer i strandsonen. Økt sedimentering under anleggene kan også være et problem. Industriutslipp kan ha mer skjulte effekter på organismer i sjøen.

#### *Sykdom*

Hyppige sykdomsutbrudd ved allerede eksisterende anlegg er et varsel om at lokaliteten ikke er velegnet.

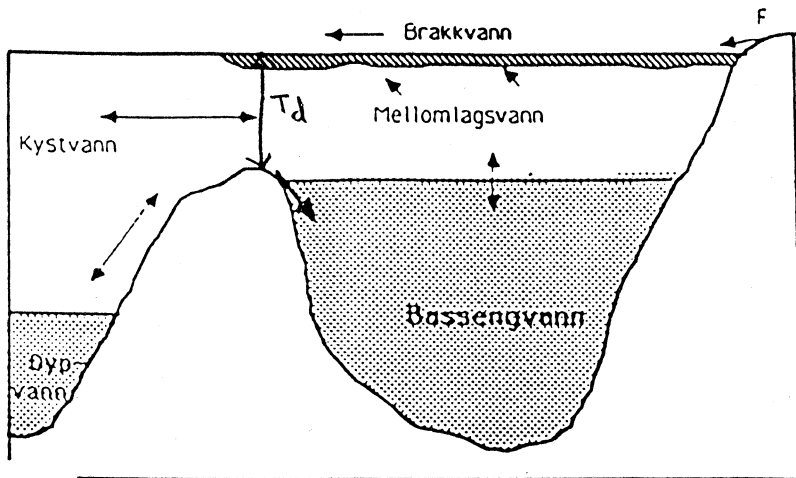
#### *Vannmasser*

Fjordene tilføres vannmasser fra kystområdene og ferskvann fra land (fig. 2). Vannutskiftingen med kysten og ferskvannstilførselen fra land vil til enhver tid bestemme hvilke vannmasser som er tilstede i fjorden og hvor lenge. Vi kan dele opp vannmassene i fjordene i tre hovedvannmasser: Brakkvann, Mellomlagsvann og Bassengvann. (Aure og Stigebrandt, 1988). Ved kysten har vi øverst kystvann og under dette dypvannsvannmasser bestående av Nordsjøvann og/eller Atlantisk vann i forskjellige blandingsforhold avhengig av hvor vi er på kysten.

#### *Salinitet og temperatur*

Sentralt, og sideordnet med begrepet vannkvalitet, er sjøvannets temperatur og salinitet (saltinnhold). Disse størrelsene er viktige miljøfaktorer for fisken. Temperatur og salinitet bestemmer sjøvannets tetthet. Tetthetsfordelingen bestemmer bl.a. hvor lett ulike vannmasser blandes og forflyttes. Sesongmessige variasjoner kan være merkbare, særlig i øvre lag, der avkjøling/oppvarming og variasjon i tilrenning gir mest utslag.

Salinitet uttrykker mengden av oppløste salter i sjøvannet. Typiske verdier er 30—35 ‰, som tilsvarer 30—35



Figur 2. *Vannmassetyper og sirkulasjon. Pilene angir strømretning (F = ferskvann,  $T_d$  = terskeldyp). (Etter Aure og Stigebrandt, 1988).*

gram salter pr. kg. sjøvann. Siden laks og ørret tåler lave saltholdigheter mye bedre enn de marine artene som torsk, kveite, piggvar, steinbit, breiflagg m.fl., er det nærliggende å plassere de førstnevnte innover i fjordene og forbeholde de ytre områder til marine arter.

Fisk mangler evnen til å kontrollere sin kroppstemperatur og opprettholde den uavhengig av omgivelsene. Temperaturen påvirker hastigheten til biologiske reaksjoner. Høyere temperaturer fører til økt forbrenning og med det økt oksygenforbruk. Samtidig vil de skille ut mer karbondioksyd (pH reduseres) og ammonium/ammoniakk. Plutselige endringer i temperatur og saltholdighet kan stresser fisken (Bjerknes et al., 1987). For laks kan en temperaturøkning på 5—6°C om høsten og vinteren få alvorlige følger for egg og embryo. Temperaturen bør ikke overskride 13°C i perioden oktober—mai

og 20°C fra juni—september. Det må legges til at temperaturløstoleransene varierer kraftig fra art til art og fra stadium til stadium (egg—larver—yngel—voksen).

#### *Isforhold*

Is representerer en direkte fare for oppdrettsanlegg ved mekanisk slitasje. Føring og drift kan hindres. Utluftning av øvre vannlag hindres. Ulike tiltak kan iverksettes for å motvirke isdannelse. Veifyllinger, kraftverksreguleringer m.m. kan påvirke isdannelsen i tilstøtende områder. Slike inngrep må en få vurdert konsekvensene av.

#### *Strømforhold*

Gode strøm- og utskiftningsforhold er en betingelse for opprettholdelse av god vannkvalitet. I oppdrettssammenheng er det viktig å være klar over at strømhastighetene kan variere markert

både i tid og rom. Ved det enkelte oppdrettsanlegg er det kun observasjoner (målinger) over lengre tid som kan gi et representativt bilde av strømforholdene. Det hjelper lite å benytte naboanleggets målinger. Strømmen gjennom anlegget gir en rammebetingelse for anleggets kapasitet. Kombinert med opplysninger om kvaliteten på det vannet som strømmer inn i anlegget, kan en beregne hvor mye fisk og den fôringsintensitet en til en hver tid kan ha, uten at kritiske vannkvalitetsverdier overskrides. For laks bør strømhastigheten i gjennomsnitt ligge i området 10 cm s<sup>-1</sup>. I kortere tidsrom kan minimumsverdier på 2 cm s<sup>-1</sup> og maksimumsverdier på 50 cm s<sup>-1</sup> aksepteres (Aure og Møller, 1983).

#### *Eksponering (vind/bølger)*

Eksponeringsgrad kan beregnes ut fra sjøkart (bygger bl.a. på lengden av åpen strekning utenfor lokaliteten). Vindeksponering kan være et hinder for driften av et anlegg. Fordyrende tiltak må settes inn for å sikre anlegget. Vind som over lengre tid blåser fra en kant, kan føre til uheldig opphopning av overflatevann og forurensninger (giftige alger) inne i en bukt.

Bølgeeksponering kan vanskeliggjøre driften av anlegg. En anleggstype må velges som tåler bølgepåvirkningen. Bølgene kan være lokalgenerert som følge av vindpåvirkning eller kan være havdønninger generert langt borte. Tiltak kan iverksettes for å dempe bølgene.

I beskyttede områder bør bølgehøyden ikke overskride 0,6 m og strøklengden bør ikke være lengre enn 10 km.

#### *Effekter av veibygging*

Typisk er veibygginger og bruer, som reduserer overflatestrøm og utskiftning. Vassdragsreguleringer kan drastisk endre brakkvannskaraktistikker og islegging, og medføre utslipp av gassovermettet vann i sjøen.

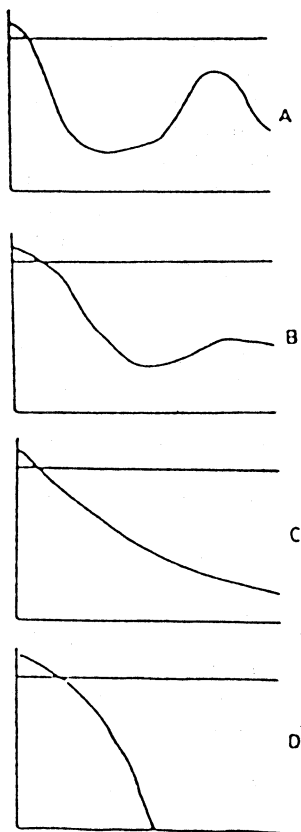
#### *Bunnforhold og dyp*

Sedimenttypen reflekterer strømforholdene like ved bunnen. Der hvor bunnstrømmen er meget svak, vil fine organiske partikler akkumulere (mudd) og gi opphav til anoksiske forhold og dannelse av hydrogensulfid. Grove sedimenter indikerer at bunnstrømmen er så sterk at finstoff ikke sedimenterer.

Wikander (1986) har satt opp en skjematisk klassifikasjon for egnethet basert på bunntopografien, se fig. 3. Også her gjelder at klassifikasjonen må brukes med fornuft, bl.a. må en ta hensyn til vannvolumet innenfor terskelen. I en stor terskelfjord, som f.eks. Sognefjorden, er vannvolumet innenfor terskelen enormt i forhold til påvirkningen fra oppdrettsanlegg. Klassifikasjonssystemet må følgelig tilpasses det aktuelle geografiske nivå.

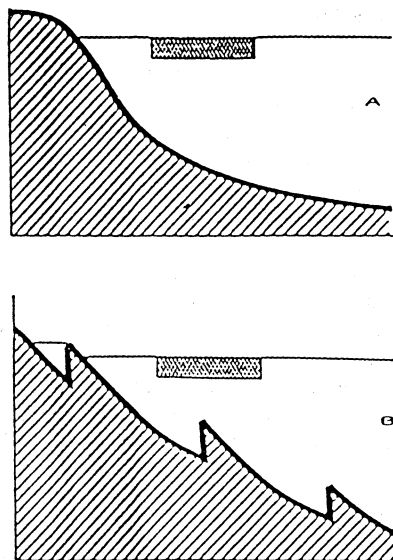
Selv om hovedtrekkene i bunntopografien synes å være tilfredsstillende, kan forholdene ved enkeltlokaliteter variere, uten at dette kommer fram på kart. Fig. 4 viser dette skjematisk, der type A er bedre egnet enn type B. Dette skyldes at i B er det flere små basseng på den ellers tilsynelatende godt egnede skrånningen (jfr. fig 3).

Bruk av flytende åpne anlegg setter krav til dybden p.g.a. forurensningseffekter. Til enkelte årstider kan det være behov for ekstra dype nøter p.g.a. store temperaturvariasjoner. I grunnt-



Figur 3. Skjematiske bunntopografier med økende egnethet for nær-anlegg fra A til D. Fra Wikander (1986).

vannsområder kan det være stor fare for nedkjøling om vinteren. Kjennskap til bunntopografien er nødvendig for å vurdere faren for opphopning av ekskrementer og fôrrester, og for den lokale vannutskiftningen. For nærdrift bør dypet på lavvann helst ikke være mindre enn 20 m. Dyp større enn 50 m er å anbefale (Bjerknes et al., 1987). Dette er imidlertid avhengig av strømforholdene. Sterk organisk belastning



Figur 4. En glatt bunnoverflate (type A) er bedre enn en med sprekker og forsenkninger (type B). (Etter Bjerknes et al., 1987).

vil vise seg ved utvikling av mørke sulfider og lukt av  $H_2S$ . Lokalteter med et slikt sediment bør i første omgang unngås.

#### Strandtype/tilgjengelighet

Betydningen av strandsonens beskaffenhet og tilgjengelighet i akvakultur-sammenheng, er i høy grad avhengig av driftsform. Således vil et helt eller delvis landbasert anlegg være avhengig av strender med relativt lav helningsgrad og god tilgjengelighet, mens flytende anlegg kan plasseres overalt der eksponeringen ikke er for stor og forankringsmuligheter forefinnes (god vannkvalitet forutsettes).

## Miljøforhold

### pH

Generelt gjelder at pH verdier innen intervallet 6—9 er ufarlig for de fleste fiskearter. Toleransegrensene er avhengig av både art, størrelse, alder, konsentrasjonen av fri karbondioksyd og tilstedeværelsen av giftige forbindelser.

Sjøvann har under normale forhold stor bufferkapasitet, d.v.s. å motstå endringer i pH ved tilførsel av surt vann. Dette p.g.a. alkaliniteten som er definert som det antall milliekvivalenter av  $H^+$  ioner som kan nøytraliseres av 1 kg sjøvann når overskudd av syre tilsettes.

### Oksygen

Letal konsentrasjonen ligger vanligvis på  $3 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$  ( $2, 1 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$ )\*. Toleransen overfor lave oksygenverdier er imidlertid avhengig av art, alder, aktivitetsnivå, fødeopptakshastighet, temperatur, salinitet og karbondioksydkonsentrasjon (Poxton og Allouse, 1982). Problemet er at karbondioksyd influerer sterkt på blodets affinitet overfor oksygen. Som en generell regel kan man si at enhver betydelig reduksjon i oppløst oksygen i forhold til metningsnivå (100%) kan ved moderat høye temperaturer påvirke vekst hos fisk. En minimumsverdi på  $5 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$  ( $7, 1 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1}$ ) vil normalt være tilstrekkelig for vekst av fisk og skaldyr, men ål kan klare seg med mindre.

### Dypvannskvalitet

Opprettholdelse av brukbar dypvannskvalitet er avgjørende for et balansert økosystem. I terskelfjorder og poller med dårlig vannutskifting kan

\*)  $1 \text{ ml O}_2 \text{ l}^{-1} = 1.4286 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ .

det forekomme anaerobe sedimenter og oksygenfattige vannmasser som kan skade alt liv.

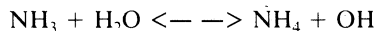
Tilsvarende forhold kan oppstå ved bunnen under et oppdrettsanlegg selv i mer åpne farvann når utskiftingen av dypvann er utilstrekkelig. Utskiftingen av vann i terskelfjorder vil skje til bestemte tider styrt av vind og hydrografiske forhold.

### Næringssalter

Nitrat ( $\text{NO}_3$ ), ammonium ( $\text{NH}_4$ ), og fosfat ( $\text{PO}_4$ ) utgjør de viktigste nærings saltene i sjøvann. Disse er viktige for vekst av alle typer planteplankton. I tillegg kommer betydningen av silikat ( $\text{Si}(\text{OH})_4$ ) for vekst av kiselalger. Økt organisk belastning vil raskt føre til økning i konsentrasjonen av både  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  og  $\text{PO}_4$ . Dette kan føre til oppblomstringer av giftige alger. Nærings saltkonsentrasjonene vil vanligvis ikke representere noe problem for nyetableringer innen havbruk i uforurenset fjord/kystfarvann.

### Giftige forbindelser

Dersom en ser bort fra rene giftutslipp er ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ), er forgiftning det mest sannsynlige som kan inntreffe i fiskeoppdrettssammenheng. Ammonium ( $\text{NH}_4$ ) er derimot helt ufarlig. Det eksisterer imidlertid en pH-avhengig sammenheng mellom  $\text{NH}_4$  og  $\text{NH}_3$ :



En økning i pH vil dermed resultere i en relativ økning i  $\text{NH}_3$  konsentrasjonen. Økning i  $\text{CO}_2$  konsentrasjonen vil medføre redusert  $\text{NH}_3$  konsentrasjon. Ved normal pH, temperatur og salinitet kan ammoniakk-konsentrasjoner på

over 0.3—0.4 mg l<sup>-1</sup> være skadelig for mange fiskearter.

#### Forurensningstilførsler

Lokaliteter som er belastet med kloakk/industriutslipp, forurensning fra jordbruk og annen havbruksvirksomhet vil være uegnet for tradisjonelt havbruk. I tillegg til oppløste forbindelser kan innholdet av bakterier, virus, parasitter og rester av antibiotika være et problem i slike områder.

#### Gassovermetning

For høye gass-konsentrasjoner i vann kan skade fisken. Nitrogenovermetning er kritisk. Det er blitt fastsatt at overmetningen av løste gasser ikke må overstige 110% av metningsverdien for gassene ved det aktuelle atmosfæriske og hydrostatiske trykk for å unngå skader på vannorganismer. Kritisk

høye verdier kan oppstå i forbindelse med blanding av ulike vannmasser, ved oppumping av dypvann (p.g.a. trykk/temperaturreduksjon), i bølgesonen under kraftig nedpisking av luftbobler og ved utløp av vassdrag.

#### Artsspesifikke lokaliseringskriterier

På grunn av sjøvannets bufferkapasitet vil pH kun være et problem i indre strøk med store ferskvannstilførsler. Kritisk oksygen verdi for fisk er omtalt tidligere. Her er det kun snakk om små artsforskjeller for de aktuelle arter. *Rent* og *oksygenmettet* sjøvann er de to viktigste lokaliseringskriteriene som må tilfredsstilles for at en lokalitet skal være aktuell. Nedenfor er gitt noen utfyllende opplysninger vedrørende temperatur og saltholdighetskrav for laks, torsk og kveite. Temperatur og

*Laks (etter smoltifisering)* (etter Caine et al., 1987)

Faktor		Gradering		
		God	Middels	Dårlig
Temp.	Sommer Vinter	10—15°C 7°C	16—21°C 5—7°C	21°C 4°C
Salt	Langtid Fluktuasjoner	24 ‰ 3 ‰	12—22 ‰ 3—5 ‰	12 ‰ 5 ‰

#### Torsk

Faktor	Toleranseområde	
	Matfisk	Yngel
Temperatur	6—12°C	10—18°C
Salt	25—35 ‰	15—35 ‰



saltholdighetskrav kan også variere fra stadium til stadium (egg-larver-ungel-voksen) innen arten.

I tillegg må tilføyes at *vannbevegelse* (strøm) er en forutsetning for trivsel hos laks. Som en tommelfingerregel regner man med at strømhastigheten bør overstige  $2 \text{ cm s}^{-1}$ . Dette kan realiseres enten ved naturgitte strømforhold eller mekanisk ved strømsettere.

Som det fremgår foretrekker småtorsk (0-gruppe/ungel) gjerne brakkvannskalliteter og større fisk mer rent havvann. Det må imidlertid fremheves at grenseverdiene er høyst usikre. Torsken ser ut til å kunne tilpasse seg et ganske vidt spekter av både temperatur og saltholdighet, men den tåler *brå* variasjoner i temperatur og saltholdighet dårligere enn laks.

#### *Kveite*

Det er fremdeles huller i basiskunnskapen vedrørende kveitens krav til salt og temperatur. Forsøk har vist at kveitelarver kan tåle temperaturer fra  $4\text{--}17^\circ\text{C}$ , men at de krever ganske jevn saltholdighet ( $32\text{--}35 \text{ ‰}$ ). I ungelstadiet øker toleransen overfor lavere saltholdigheter ( $26\text{--}35 \text{ ‰}$ ). Ved kveiteoppdrett er det derfor viktig å ha tilgang på:

- 1) Dypvann med jevnt høy saltholdighet og stabil temperatur ( $7\text{--}10^\circ\text{C}$ ).

- 2) Vann fra de øvre vannlag med varierende temperatur og saltholdighet.

En må regne med at kveiten tåler brå variasjoner i temperatur og salt dårlig. Mørke i larvefasen og lys i yngelvasen har nylig vist seg å være viktige faktorer for optimal overlevelse frem til påvekstfasen. (Erga og Bakke, 1989).

#### **Hvordan oppfylle de artsspesifikke lokaliseringskriterier gjennom valg av driftsform**

Lokaliseringskriteriene vedrørende nyetableringer innen havbruk må sees i sammenheng med hvilken driftsform en velger. Således vil et landbasert anlegg sette større krav til landsiden enn til sjøsiden sammenlignet med et tradisjonelt sjøbasert anlegg med merder. Det finnes også mellomvarianter som flytende og lukkede anlegg. Hvilke tekniske løsninger som velges for oppdrett av de ulike arter må vurderes ut fra lokalitetens beskaffenhet og dens vannkvalitet. Et landbasert anlegg kan derfor gjerne legges til områder som er uegnet for flytende anlegg f.eks. p.g.a. eksponering, bunnforhold og vannkvalitet i den øvre delen av vannsøylen (forutsatt tilgang på dypvann av høy kvalitet). Dessuten kan det være aktuelt å forbeholde en del lokaliteter i ytre kystområder til marine arter.

## LITTERATUR

- Aure, J. og Møller, D., 1983. Miljømessige krav ved lokalisering av marine fiskeoppdrettsanlegg. Notat 7 s.
- Aure, J. og Stigebrandt, A., 1988. Fiskeoppdrett og fjorder — En konsekvensanalyse av miljøbelastning i 30 fjorder i Møre og Romsdal. Delrapport 3. «Terskelfjordrapporten» — Hoveddel. — Havbruksplan Møre og Romsdal, 100 s.
- Bjerknes, V., Golmen, L. G., Sørensen, J. A., Sørgaard, K. og Wikander, P. B., 1987. Kriterier og metoder ved planlegging av fiskeoppdrett i sjøen. NIVA-rapport nr. 0-86080, 167 s.
- Caine, G., Truscott, J., Reid, S. og Ricker, K., 1987. Biophysical criteria for siting salmon farms in British Columbia. Aquaculture Association of B.C., 49 s.
- Erga, S. R. og Bakke, H., 1989. Lokaliseringskriterier og egnethetsundersøkelser for akvakultur. — Temarapport 1, vedlegg til delrapport nr. 4. Rettleiar i kommunal kystzoneplanlegging — Havbruksplan Møre og Romsdal. NIVA-rapport nr. 0-88081, 69 s.
- Poxton, M. G. og Allouse, S. B., 1982. Water quality criteria for marine fisheries. Aquacultural Engineering 1, 153—191.
- Wikander, P. B., 1986. Egnethetsundersøkelser for havbruk i Aust-Agder fylke. NIVA-rapport nr. O-85260, 159 s.