

*Bioproduksjon og foredling*

# Fôr og fôrmidler – den største utfordringen for vekst i norsk havbruk

*En utredning utført på oppdrag for Norges forskningsråd*



**Norges  
forskningsråd**

**Copyright © Norges forskningsråd 2001**

Norges forskningsråd  
Postboks 2700 St. Hanshaugen  
0131 OSLO  
Telefon: 22 03 70 00  
Telefaks: 22 03 70 01  
Grønt nummer telefaks: 800 83 001  
Internett: bibliotek@forskningsradet.no  
X.400: S=bibliotek;PRMD=forskningsradet;ADMD=telemax;C=no;  
Hjemmeside: <http://www.forskningsradet.no/>

Forfattere: Rune Waagbø, Fiskeridirektoratets ernæringsinstitutt, Bergen  
Ole J. Torrissen, Havforskningsinstituttet, Bergen  
Erland Austreng, Akvaforsk, Ås

Design omslag: Adcore BMR as  
Forsidefoto: Per Eide/Eksportutvalget for fisk  
Trykk omslag: Oslo trykk og kopisenter  
Trykk innmat: A.S Lettindustri  
Opplag: 250

Oslo, juni 2001  
ISBN 82-12-01619-6

# Forord

Veksten i havbruk er avhengig av en rekke faktorer. Blant annet er det viktig at vi har tilgang til fôr som har riktig kvalitet og riktig pris, og som framstilles etter miljøvennlige og bærekraftige prinsipper.

Den betydelige veksten i havbruk både i Norge og internasjonalt, fører til økt etterspørsel etter fôr. Dette skaper en viss frykt for at en del viktige fôringredienser kan bli mangelvare. Allerede i 1998 så vi at det var problemer med å skaffe nok marint fett, da værphenomenet El Niño forårsaket drastisk reduksjon i det pelagiske fisket i Sør-Amerika.

Denne situasjonen aktualiserer betydningen av å sette i gang målrettet forskning og utvikling med sikte på å framskaffe alternativer som kan supplere dagens fôringredienser. Det er viktig at Norge og norske forskningsmiljøer kan være ledende i dette utviklingsarbeidet, og derved bidra til å styrke vår konkurransesituasjon innen havbruk.

I denne rapporten presenteres resultat av et utredningsarbeid som Forskningsrådet har fått gjennomført for bedre å kunne vurdere situasjonen og behovene for forskning og utvikling om fôr og fôrmidler. Arbeidet er utført av:

Professor Rune Waagbø, Fiskeridirektoratets ernæringsinstitutt, Bergen  
Forskningsdirektør Ole J. Torrissen, Havforskningsinstituttet, Bergen  
Professor Erland Austreng, Akvaforsk, Ås

Gruppen takkes for utført arbeid.

Oslo 25. juni 2001



Lars Espen Aukrust  
Direktør, dr. philos  
Bioproduksjon og foredling  
Norges forskningsråd



# Innhold

1. Bakgrunn og mandat.....	7
2. Sammendrag .....	8
3. Status for akvakulturproduksjonen ved millenniumsskiftet .....	11
3.1 Verdens tilgang på fisk .....	11
3.2 Status for norsk fiskeoppdrett.....	11
3.3 Fôrproduksjon.....	12
3.4 Fiskeråstoff og fiskebiprodukter.....	15
3.5 Vegetabilske fôrmidler .....	15
3.6 Kvalitet på sluttproduktet .....	15
4. Prognoser for produksjonsøkning.....	16
4.1 Produksjonsøkning .....	16
4.2 Framtidig behov for fôrråstoffer.....	17
4.3 Konkurransen om samme råstoff.....	19
5. Forbedring av akvakulturproduksjonen innen dagens rammer .....	20
5.1 Bedring av vekst og fôrutnyttelse hos oppdrettslaks .....	20
5.2 Optimalisering av laksens behov for næringsstoffer gir økt vekst og bedre helse .....	21
5.3 Fôringssystemer .....	24
5.4 Miljøfaktorer.....	25
5.5 Forbedring av fôrteknologien .....	26
5.6 Fôr til andre oppdrettsarter enn laksefisk .....	26
6. Alternative fôrmidler til akvakultur.....	28
6.1 Akvatiske fôrmidler – bedre ressursutnyttelse .....	29
6.2 Alternative marine ressurser - ressursgrunnlaget i Nordøst-Atlanteren .....	30
6.3 Et stort potensial i fôrmidler fra landjord .....	32
6.4 Biprodukter fra landdyr .....	43
6.5 Industrielt produserte eller forandrete fôrmidler .....	43
6.6 Etske aspekter ved bruk av høyverdige marine ressurser som fôrmidler .....	46
7. FoU-utfordringer.....	47
Behov for fôrvarer .....	47
Forbedring av dagens produksjon.....	47
Matvaretrygghet og produktkvalitet .....	48
Utnyttelse av nasjonale og internasjonale marine ressurser til arter i oppdrett .....	48
Utnyttelse av vegetabilske og industrielt produserte fôrvarer i oppdrett.....	49
Litteraturhenvisninger.....	52



# I. Bakgrunn og mandat

Allerede i *Perspektivskisse for norsk havbruk* (1990) ble råstoff til fôr og rimelig fôr av god kvalitet framhevet som den viktigste begrensningen på utviklingen av intensivt oppdrett. Til tross for politiske vedtak om produksjonsregulerende tiltak har vi i dag nådd de prognosene som ble gitt her, med nasjonal produksjon av omlag 500 tusen tonn laksefisk per år. En videre vekst i oppdrett av fisk og skalldyr fra dagens nivå vil kreve en betydelig økning i tilførselen av protein og fett til fôrproduksjon i Norge og internasjonalt. Det er frykt for at det i løpet av relativt kort tid (5 – 10 år) skal bli mangel på en del viktige fôrråstoff, spesielt marint fett.

For å møte denne situasjonen ble det vedtatt å gjennomføre et utredningsarbeid knyttet til temaet som skal danne grunnlaget for en økt og mer målrettet FoU-virksomhet.

Utredningsarbeidet tar utgangspunkt i dagens fôrråstoffsituasjon og framtidige behov innen oppdrett nasjonalt og internasjonalt. Ulike løsninger på kort og lang sikt skal vurderes så som: høsting fra lavere trofiske nivå, økt bruk av bifangster/avskjær, økt bruk av vegetabiliske produkter, fôrråstoff med utgangspunkt i gass, produksjon av alger og alternative produksjonsmetoder. Tilgjengelighet og egnethet av fôrmidlene skal også vurderes.

Mandat for utredningsgruppen har vært å utrede

- hvilke scenarier for utvikling oppdrettsvirksomhet som kan utvikles basert på dagens fôrråstoffsituasjon og framtidig behov
- aktuelle løsninger på kort og lang sikt
- FoU-utfordringer i tilknytning til temaet

Utredningen bygger delvis på innspill fra forfatterne respektive fagmiljø, og forfatterne vil med dette takke for bidragene.

## 2. Sammendrag

I løpet av få år vil vi komme i en mangelsituasjon på fôrmidler til oppdrett av laksefisk. Mangel på marint fett vil bli den første begrensende faktor, men protein til en rimelig pris kan også komme til å bli mangelvare. Dette vil gjøre situasjonen kritisk for oppdrett av laksefisk. I 1998 fikk vi en forsmak på reduksjon i den marine råvaretilgangen som resulterte i to-tre-dobling av prisene. Dette kan veldig raskt gjenta seg. Med økt fokus på matvaretrygghet ser vi også at fremtidige internasjonale lovverk kan utelukke deler av dagens marine ressurser til oppdrett, ut fra innhold av uønskete stoffer. Utviklingen i retning av en permanent mangelsituasjon kan gå raskt og vil i løpet av tre til åtte år skape store problemer for veksten i norsk fiskeoppdrett om vi ikke er beredt med alternative fôrråvarer.

Vår konkurransesituasjon innen havbruk er avhengig av at Norge er ledende i utviklingen. I motsatt fall vil økt vekst skje hos våre konkurrenter. Det skyldes at vi relativt sett har høyere arbeids- og transportkostnader enn i andre land. Skal vi opprettholde hegemoniet i lakseoppdrettet, må vi derfor satse skikkelig og langsiktig på tiltak for å utnytte de fôrmidler vi har mer effektivt og å skaffe nye alternative fôrmidler. Dette gjelder også de utfordringer vi får med hensyn på øvre grenseverdier av uønskete stoffer i dagens marine ressurser.

Produksjonen av feite oppdrettsarter ventes å øke år for år. Med en fôrsammensetning som i dag, vil vi i år med gode fiskerier ha nok fôr til det doble av dagens produksjonsvolum. Økning i produksjon utover dette kan bare skje ved økt forskning og deretter forbedringer av fôret. Dette er viktig uansett om vi får mangelsituasjoner eller ei, forbedringer som reduserer produksjonskostnadene og dermed konkurransesituasjonen er avgjørende for Norge. Viktigheten av slike tiltak kan illustreres ved at en innsparing på ett øre pr. kg fôr vil gi besparelser på sju millioner kroner for oppdrettsnæringa. På bakgrunn av et slikt lønnsomhetspotensial vil nesten all forskningsinnsats på fôr bli lønnsom.

I betraktninger omkring fôrressurser vil oppdrett av laksefisk være dominerende. Andre oppdrettsarter i Norge utgjør i dag bare i overkant av en prosent av totalproduksjonen. Kveite, er feit omtrent som laks, og trenger langt på vei et fôr som ligner laksefôr. Oppdrett av magre fiskearter, slik som torsk, krever i større grad proteinrike fôr. Det er en utfordring å få til et lønnsomt oppdrett av torsk gjennom kostnadseffektive fôr. Dette vil ikke med det første utgjøre noen vesentlig konkurrent om fôrressurser til oppdrett av laksefisk, men parallell fôrforskning må anses som viktig. Dessuten er det viktig å basere havbruksproduksjonen på forskjellige oppdrettsarter for eventuelt å kunne utnytte biprodukter fra en oppdrettsart til en annen. Utviklingen i husdyrproduksjonen den siste tiden har skapt avsetningsproblemer for biprodukter derfra. Skal disse i det hele tatt kunne brukes som fôr til produksjonsdyr vil sjansen for smitteoverføringer være mye mindre ved å bruke det til fisk enn til andre varmblodige skapninger. Her er det idag lovmessige forhold som står som hinder, men dette skyldes i første rekke markedsmessige forhold. Biologiske begrunnelser for å utelukke fôrmidler basert på biprodukter både fra fisk og landdyr bør vurderes i lys av forskning, spesielt innen smitteoverføring og innhold av uønskete stoffer.

Endret beskatningsmønster på ulike fiskearter kan kanskje gi noe mer industrifisk til fôr, men dersom det skal monne med marine fôrmidler må vi høste på et lavere trofisk nivå. I



følge gjennomgangen av tilgjengelige råstoffer vil fangst av krill være en viktig bidragsyter til fôr fra havet, men det er problemer knyttet til både fangst, konservering og innhold av kitin og fluor. I tillegg er det også forvaltningsmessige og etiske utfordringer ved bruk av disse ressursene. Løses disse utfordringene vil vi kunne flerdoble intensivt fiskeoppdrett i verden.

Så lenge tørrfôr har hatt posisjon som fiskefôr har det vært et visst innslag av vegetabiliske fôrmidler i fôret. Disse kan tilpasses og drøye de marine protein- og fettressursene. På samme måte kan produksjon av encelleprotein bli en betydelig proteinkilde i fiskefôr. Med fornuftig forskningsinnsats kan disse enten alene eller i kombinasjon erstatte minst halvparten av proteinet i fiskefôret. På fettsiden er det ikke så oppløftende utsikter, fordi vegetabilisk fett endrer produktets sammensetning og kvalitet. Gjennom fôringsregimer som sparer mye av det marine fett til siste vekstfase av oppdrettet eller i moderate innblandinger, kan vegetabilisk fett av egnet kvalitet også bidra til en betraktelig økning (dobling) av produksjonen. Det gjenstår å få oversikt over hvordan vegetabilisk fett påvirker fiskens omsetning og helse.

Det foregår betydelig industriell bearbeiding av fôrråvarer og fôrblandinger. Den fôrteknologiske forskningen er relativt ny og mange framskritt vil sikkert komme, spesielt i forhold knyttet til bruk av vegetabilier. Vi er i starten av den moderne bioteknologiske forskningen og her vil nye metoder bli tatt i bruk. Det er i dag restriktive holdninger til GMO. Som hjelpemiddel i produksjon av for eksempel n-3-fettsyrer kan det imidlertid ligge et stort potensial her ettersom det genmodifiserte materialet ikke vil finnes i produktet. Riktig bruk av bioteknologi vil kunne gi betydelige vekstmuligheter.

Forskning som er viktig for å kunne fortsette veksten innen fiskeoppdrett, kan grupperes i tre. Det som kvantitativt kan bidra mest er økt høsting fra havet, ved å beskatte krill, amfipoder, plankton, blekksprut o.a. Dette har det imidlertid vært arbeidet mye med og det er åpenbare utfordringer. Her trengs det stor innsats i minst et par tiår for å få store uttelling. Ved å bruke fôrressurser fra landjorda er det ingen kvantitative begrensninger, men store utfordringer med uønskede forbindelser og upassende fett- og proteinkvaliteter. For soyaprodukter har det for eksempel allerede vært gjort mye uten å komme til fullgode resultater. Derfor kan det være riktig å arbeide med flere typer vegetabilier. Encelleprotein synes å utgjøre en lovende framtidig ressurs. Den fôrteknologiske utviklingen vil også være avgjørende for hvordan og i hvor stor grad vi skal kunne bruke enkelte fôrmidler. Ved allsidig satsing på vegetabilier vil satsingen sikkert lykkes for enkelte produkter innen kort tid, men det er viktig å holde denne forskningen i kontinuerlig gang fordi potensialet er stort. Og selv om det skulle lykkes å skaffe mer marine ressurser vil de vegetabiliske fôrmidlene representere et tilleggspotensial. Det tredje forskningsfeltet er knyttet til oppdrettsartene. Her vil avl fortsatt være et nyttig hjelpemiddel, men det gjør at også fiskens ernæringsbehov og avleiring av næringsstoff vil være under stadig endring. Derfor vil kjennskap til ernæringsbehovene hos fiskene og mekanismene som styrer avleiring i kroppen være særdeles viktige forskningsfelt som må holdes kontinuerlig i gang. Her er det svært mye ugjort og forskningen vil sikkert gi framgang med hensyn på fôrforbruk og produktkvalitet. Det er også viktig å få økt kunnskap om samspill mellom fisk og fôringsregimer for å kunne redusere fôrforbruket.

I de siste årene har forskningen innen oppdrett av laksefisk fått urimelig lite forskningsmidler sett i forhold til den betydning næringen har, og de forventninger som er satt til fortsatt vekst. Den største utfordringen vil bli å skaffe nok fôr. Derfor må det satses enhetlig og sammenhengende på tiltak som gagnar hele norsk oppdrettsnæring. For de

skisserte forskningsfeltene må vi kunne legge en plan og gjennomføringsstrategi som ligger rimelig fast de neste 15-20 årene. Det kan gi stabilitet innen forskningen og resultater som virkelig kan bety noe for den forventede veksten i næringen.

## **3. Status for akvakulturproduksjonen ved millenniumskiftet**

### **3.1 Verdens tilgang på fisk**

I perioden 1989 til 1998 økte verdens akvakulturproduksjon fra 12,3 til 30,8 mill tonn, mens fiskeriene i samme periode tilførte mellom 85 og 95 mill tonn fisk (Hansen, 2001). Akvakultur utgjorde 26 % av verdens fiskeproduksjon i 1998 og representerer tilnærmet hele økningen i fiskeproduksjon dette tiåret. Verdens akvakulturproduksjon innbefatter i dag oppdrett av mer enn 200 arter alger, skjell, krepsdyr og fisk, med stor variasjon i driftsformer, men når det gjelder tilgang på fôrråstoff har dette først og fremst betydning for den intensive produksjon av karnivor fisk og reker.

Akvakulturproduksjonen i ferskvann var i 1998 18,7 mill tonn (hvorav 99 % fisk), mens salt- og brakkevannsproduksjon utgjorde 12,4 mill tonn (hvorav 10 % fisk). Denne fordelingen vil ha betydning både for framtidig tilgang på fôrråstoff og geografisk spredning av aktiviteten. Kina og India er de største ferskvannsprodusentene med 48 % av den totale akvakulturproduksjonen, og denne domineres av ulike herbivore og omnivore karpefisk. Av den totale produksjonen utgjør skjell 23 % og planter 21 %.

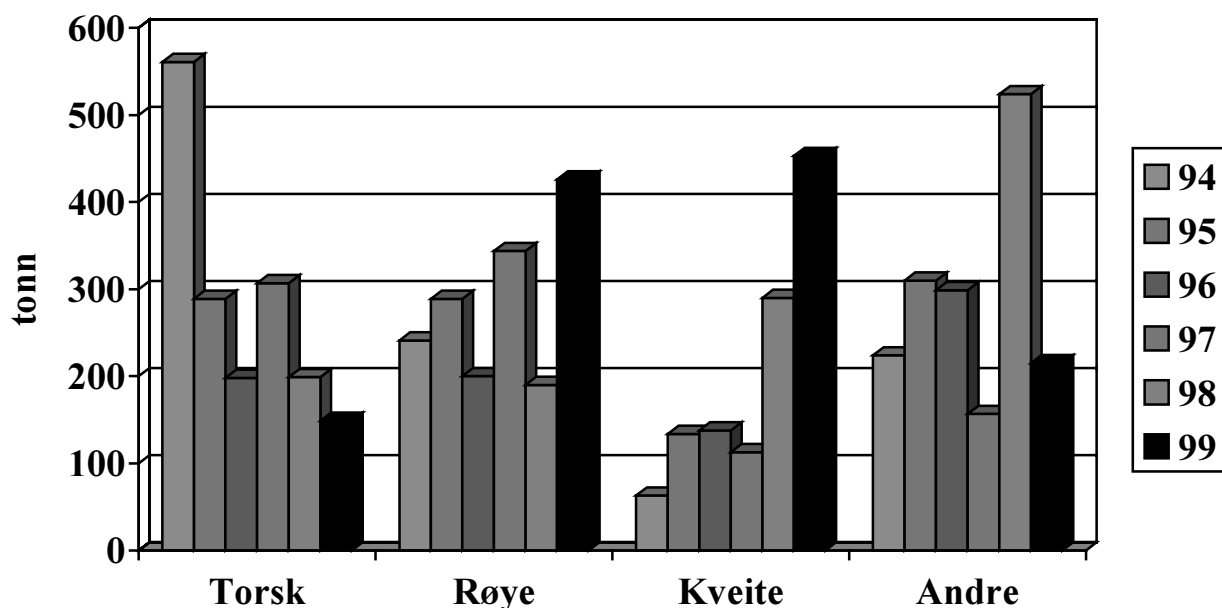
### **3.2 Status for norsk fiskeoppdrett**

Norges forskningsråd sier i sin rapport ”*Det marine eventyret*” at omsetningen i fiskeri- og havbrukssektoren kan femdobles, fra 33 milliarder kr i 1999 til minst 150 milliarder i 2020.

Siste år passerte norsk fiskeoppdrettsnæring et produksjonskvantum på 500.000 tonn slaktet laks og ørret. Det tilsvarer det dobbelte av hele kjøttproduksjonen i norsk landbruk. Vi har i løpet av tretti år sett framvekst av en helt ny næring, en næring ingen drømte om skulle få en slik vekst og betydning for landet.

Produksjonsøkningen for laksefisk vil fortsette, men oppdrett av andre arter enn laks og ørret har også vært ønsket i lengre tid. De artene som er blitt mest fokusert er kveite, torsk, røye og steinbit. Produksjonen har til nå vært begrenset av dårlig lønnsomhet og at man ikke har mestret alle faser i produksjonen, herunder yngelproduksjon.

Produksjonen av torskeyngel er begrenset, og har hittil vært en begrensende faktor. Det er imidlertid under bygging flere store kommersielle klekkerier. Tilgangen på oppdrettet torskeyngel ventes derfor å øke fra 400 000 til ca. 6 mill i løpet av et par år. Produksjonen har variert (Figur 1), og utgjorde i år 1999 om lag 150 tonn (Fiskeridirektoratet, 1999). En produksjon av 6 mill fiskeyngel i 2002 vil gi en mulig produksjon på 15-20 000 tonn innen 2005. Kunnskapen om fôr til torsk under oppfôring ble nylig gjennomgått av Hemre m.fl. (2000). Oppdrett av torsk krever magrere fôr og vil i mindre grad konkurrere om fettkilder. Bruk av mindre energitette og rimeligere råvarer i torskefôr enn i fôr til laksefisk gjør biprodukter og vegetabiliske råvarer spesielt interessante.



**Figur 1.** Produksjon av andre fiskeslag enn laksefisk (Hamre, 2001; Fiskeridirektoratets statistikk, 1999).

Det foregår en begrenset produksjon av røye i Norge, Island og Irland (Holm, 2001), til sammen rundt 1000 tonn i 1995. Den årlige produksjonen av røye i Norge var i 1999 litt over 400 tonn (figur 1). Dødelighet på grunn av lav sjøvannstoleranse ved lave temperaturer gir dårlig lønnsomhet i produksjonen. Veksten i produksjonen av røye vil fortsatt være lav, og det er lite trolig at produksjonen i Norge vil overstige 1000 tonn de nærmeste årene.

I 1987 var produksjonen av oppdrettskveite 275 tonn, mens det i 1999 ble produsert 453 tonn (figur 1; Fiskeridirektoratets statistikk, 1999). Det er fortsatt problemer i forbindelse med produksjonen av settefisk og den forskningsmessige innsatsen på oppdrett av kveite har i stor grad vært fokusert på problemene med å produsere metamorfosert kveite. Det er lite trolig at produsert kvantum av kveite vil overstige 5000 tonn de neste 5-10 år. Den ernæringsmessige kunnskapen er fremdeles mangelfull når det gjelder påvekstfasen. Produksjonen av en 5 kilos kveite tar i dag fra 37 til 44 måneder (Engelsen, 1998), som er svært lenge med tanke på omløpstid og produksjons-effektivitet. Per i dag er det ingen av disse artene som i praksis vil ha betydning for det totale fôrkvantum, men det kan kanskje være at fôrressurser som ikke passer til laksefisk kan brukes til noen av de andre artene (for eksempel blåskjell til steinbit).

### 3.3 Fôrproduksjon

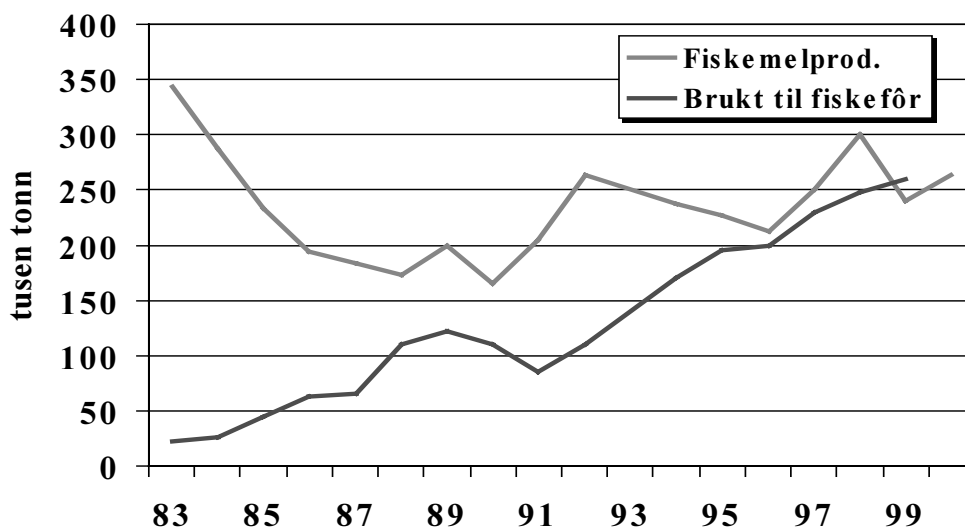
Fôret utgjør den største variable kostnad i havbruk (ca. 50 %, Fiskeridirektoratet 1999) og lønnsomheten påvirkes derfor strekt av tilgang, kvalitet og pris på råstoffene. Av næringsstoffene er det proteinråstoffene som hittil hovedsakelig har bestemt fôrkostnaden, og dette har vært mye av motivasjonen i arbeidet for å finne rimeligere alternativer. Med mer energirike fôr og begrenset tilgang på marine fettkilder har prisen på fett fått økende betydning for prisen på fôret.

## Fôrråstoff

Tradisjonelt har det i stor grad vært brukt marine råstoffer i fôr til laks og ørret, både fiskemel som proteinkilde og fiskeolje som fettkilde (energi- og flerumettede fettsyrer). Tilgangen på fiskemel og -olje er imidlertid begrenset. I følge IFOMA (International Fishmeal and Oil Manufacturers Association) produseres 6-7 millioner tonn fiskemel og 1,2-1,4 millioner tonn fiskeolje i normalår. Om lag 2/3 av dette produseres i Chile og Peru, og reduseres betraktelig i år med naturfenomenet El Niño. I 1998 førte reduksjonen i fiske til en prisstigning på 20 % for fiskemel og 50 % for fiskeolje. De største importørene av fiskemel og -olje er Kina, Taiwan og Japan med ca. 2 mill tonn (1997). Produksjonstallene over omfatter alle kvaliteter av fiskemel. Intensivt oppdrett av fisk krever imidlertid spesialkvaliteter av fiskemel uten tørkeskade på proteinet, og forråtnelses- og harskningsprodukter.

I følge FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) og IFOMA var verdensproduksjonen av oppdrettsfisk om lag 19,2 millioner tonn i 2000. Til denne produksjonen ble det brukt 2,1 millioner tonn fiskemel. I perioden 1988 til 1998 økte andelen av verdens fiskemelproduksjon brukt til fiskefôr fra 10 til 30 %, men fortsatt benyttes en dominerende andel i produksjon av kylling(ca. 50%), gris (25%) og storfe (5%). Fra 1995 har fiskemel og olje tilsvarende hele den norske produksjonen gått til produksjon av fiskefôr (figur 2, fra Hamre, 2001).

For videre vekst er det følgelig et stort behov for å kartlegge og ta i bruk alternative ressurser i havet og på land. Bruk av biprodukter fra varmblodige dyr i norsk fiskefôr er i dag forbudt og vil ikke bli aktuelt før det blir introdusert systemer som fanger opp og effektivt kan begrense fôrbåren smitte av farlige sykdommer.



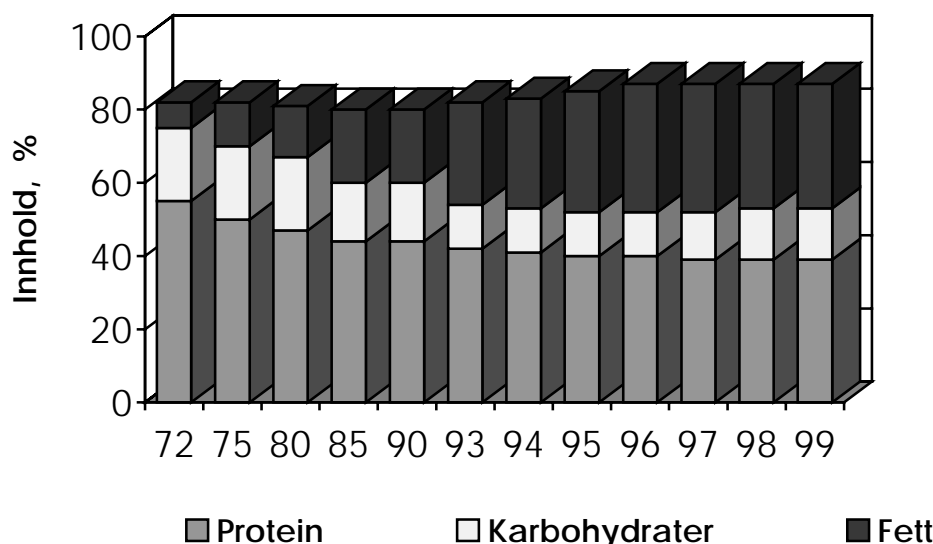
**Figur 2.** Landing av industrifisk, produksjon av mel og olje, og mengde fiskemel brukt til fiskefôr i Norge 1983-2000 (fra Hamre, 2001).

## Fôrsammensetning

På 1970-tallet var våtfôr bestående av fisk, bindemel med mikronæringsstoffer og eventuelt cantaxanthin, rekeavfall, og fiskeolje "det eneste fôret laks i saltvann aksepterte". Pelleterte, granulerte fôr ble da bare brukt i ferskvann. Viktige framskritt ble gjort med hensyn på veksthastighet og overleving hos laksen når fettinnhold ble økt fra 8% til 20% i pelleterte tørrfôr (Austreng, 1979), selv om våt- og mykfôr ofte kunne inneholde tildels høye mengder fett på tørrvekt (30-40 %).

Innholdet av protein i fôret og dermed kostnaden per kg tilvekst avtok i samsvar med økningen i fett. Siden da har fettinnholdet i fôret økt og proteininnholdet fortsatt avtatt (figur 3). Denne utviklingen ble mulig fordi ekstrudering av fiskefôr erstattet pelletering i 1980-årene, og mer fett ble tilsatt ved "vakuum-coating"-teknikk i 1990-årene.

I dag produseres det fôrtyper som er spesielt tilegnet alle stadier i produksjonssyklus, fra startfôr, settefiskfôr, smoltfôr, vekstfôr i sjøen, slaktefôr, og til stamfiskfôr. Startfôr produseres ved pelletering eller ekstrudering og granulering, eller partiklene formes ved agglomering. De fleste fôr til større fisk i Norge er ekstruderte, men noe våtfôr brukes fortsatt. Tabell 1 viser fôrmidler som blir brukt i dagens ekstruderte vekstfôr.



**Figur 3.** Endring i sammensetningen av laksefôr fra 1972 til 1999.

**Tabell 1.** Sammensetning av "det norske fiskefôr" beregnet etter bruk av fôrmidler. Tallene kommer fra ulike kilder for årene 1999 og 2000.

Fôrmiddel	g/kg
Fiskemel	350
Fiskeensilasje	50
Mais- og hvetegluten	70
Soyaprodukter	60
Fiskeolje	280
Soyaolje	30
Hvetemel	120
Diverse tilsetninger	40

### **3.4 Fiskeråstoff og fiskebiprodukter**

Norsk lakseproduksjon benyttet i starten våtfôr som i stor grad var basert på rå industrifisk og fiskebiprodukter med tilsetning av bindere og mikronæringsstoff. Etter hvert ble dette utkonkurrert av tørrfôr. I 1983 ble det oppdrettet omtrent like mye fisk med tørrfôr som våtfôr. Siden den tid har tørrfôret dominert, selv om det i enkelte tilfeller kan ha både vekstmessige og økonomiske fordeler å bruke våtfôr. Bruk av syrekonserverte produkter ble forsket fram rundt 1980 og er til dels videreført gjennom bruk av ensilasje i tørrfôret (tabell 1).

Totalt i verden går det fremdeles mer næringsstoff til spille fra ubenyttet bifangst og fiskeavfall, enn det som blir foredlet til fiskemel. De siste statistikkene her i landet viser at vi årlig har rundt 650 000 tonn fiskebiprodukter og hvor 25 % ikke utnyttes (RUBIN, 2000). Totalt på verdensbasis regnes ca. 30 mill tonn som tapt av biprodukter eller utkast.

### **3.5 Vegetabiliske fôrmidler**

Bare i begrenset grad har vegetabiliske fôrråvarer blitt brukt i fôr til laks; soya, gluten av mais og hvete som proteinkilde, og stivelsesholdige vegetabiler (hvete, mais etc.) som bindemiddel. I de senere årene er også planteoljer i noen grad tatt i bruk, da særlig av raps og soya (tabell 1). Det har vært diskusjon om bruken av vegetabiliske råvarer til laks, med tanke på fiskens helse, lokale miljøeffekter og ikke minst fiskens spisekvalitet. Dette er utfordringer som blir diskutert i mer detalj.

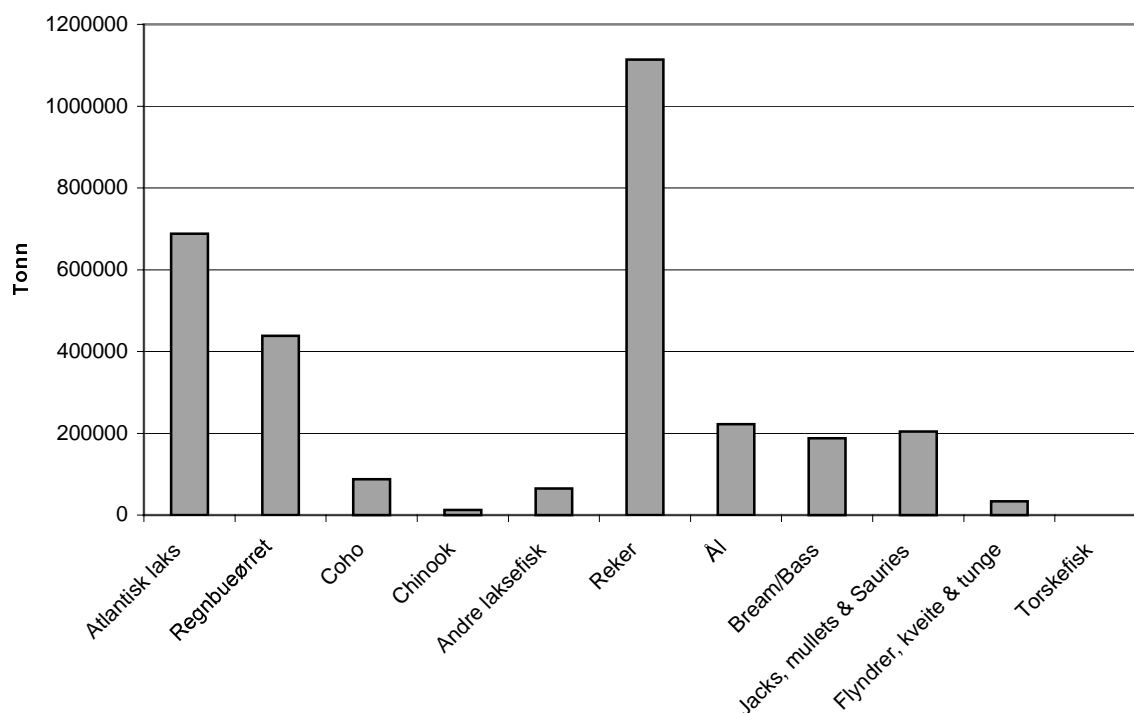
### **3.6 Kvalitet på sluttproduktet**

Næringen må bruke fôrmidler som bevarer fiskens normale og aksepterte karakteristikk, og unngå å benytte fôrråstoffer som har lav aksept i markedet, for eksempel genmodifiserte vegetabiliske fôrråstoff (GMO). På sikt må vi imidlertid forvente en differensiering i markedet, der vi i større grad tar spesifikt hensyn til enkelte markeders spesielle ønsker, og der vi åpner for bruk av alternative fôrråstoffer til markeder uten spesifikke krav.

## 4. Prognoser for produksjonsøkning

### 4.1 Produksjonsøkning

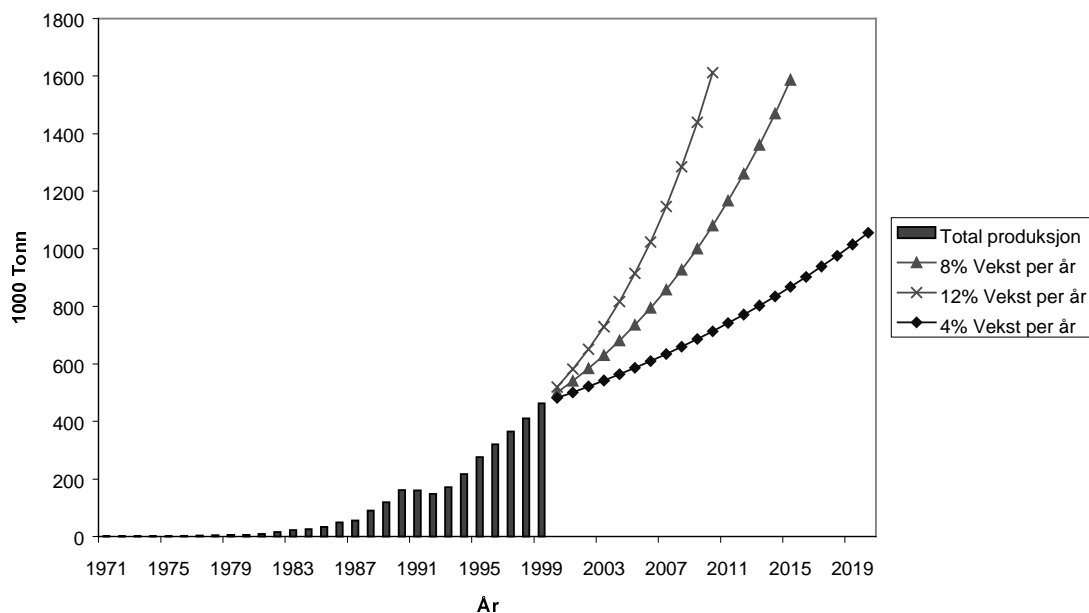
Akvakultur har globalt vært den raskest voksende sektor innen matproduksjon det siste decennium (Tacon and Forster, 2000). Sektoren er divers både med tanke på antall arter av dyr og planter og produksjonsmetoder. I fôrressurssammenheng er det først og fremst karnivore fisk i tillegg til omnivore krepsdyr som konkurrerer om de samme fôrressursene. Av krepsdyr ble det i 1998 produsert totalt 1,56 millioner tonn mens det for karnivore fisk ble produsert 2,53 millioner tonn. Tilsammen utgjør dette ca. 4 millioner tonn fisk og kreps der en har behov for mer eller mindre marint fett og protein (figur 4).



**Figur 4.** Produksjon av karnivore fisk og krepsdyr i 1998 som krever fiskemel eller fiskeolje i fôret. Figuren er i hovedsak basert på Tacon og Forster (2000).

Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab la i 1999 fram rapporten ”Norges muligheter for verdiskaping innen havbruk” der det sies at vi har et potensial for å produsere om lag 2,5 millioner tonn laksefisk i år 2020. Veksten i norsk produksjon av laks og ørret har i løpet av nittiårene i gjennomsnitt vært på ca 10 %. Estimert for en produksjon på 2,5 millioner tonn laksefisk i år 2020 er basert på en årlig vekst i lakse- og ørretproduksjonen på ca. 9 % per år. I figur 5 er tre forskjellige vekstalternativer, ett forsiktig på 4 % per år og ett ekspansivt på 12 % og ett midt i mellom på 8 %. Ved en vekst på 12 % per år vil den totale norske laksefiskproduksjonen nå 1,5 millioner tonn i løpet av 7-8 år, mens en ved 4 % årlig vekst vil nå ca. 1 million tonn rundt 2020.





**Figur 5.** Total produksjon av norsk laks og ørret og produksjonutvikling ved tre forskjellige vekstrater, 4, 8 og 12 % årlig vekst.

Den politiske regulering gjennom nye konsesjoner og øking av fôrkvotene vil være de to viktigste faktorer på kort sikt, de nærmeste 2-3 år, når det gjelder vekst i norsk havbruksnæring. Dernest vil selvsagt pris og etterspørsel være helt avgjørende for muligheten for å få en lønnsom produksjon. Inkludert her er også den konkurransemessige situasjonen i forhold til andre store produsentland som Chile, Storbritannia og Canada.

Norsk laks er i dag blitt et tonnasjeprodukt der konkurransen går på lav pris og stort kvantum heller enn kvalitet og eksklusivitet. Næringen har møtt utfordringen med økt konkurranse gjennom en storstilt vertikal integrering og internasjonalisering for å presse produksjonskostnadene ytterligere ned. Dette sammen med effektiviseringstiltak, nye fôrtyper og bruk av lys har redusert produksjonskostnadene for laks fra kr 39,99 per kg i 1989 til 17,31 i 1999 (regnet som 1999-kroner; Fiskeridirektoratet, *Økonomiske analyser fiskeoppdrett*). Fortsatt er det et betydelig potensial for en billigere produksjon, i følge *Fiskeridirektoratets lønnsomhetsanalyse for matfiskanlegg* (1999) er gjennomsnittlig produksjonskostnad for de 52 beste anleggene kr 13,75 per kg. På sikt er det ikke urealistisk å se for seg produksjonskostnader på under 10 kr per kg.

## 4.2 Framtidig behov for fôrråstoffer

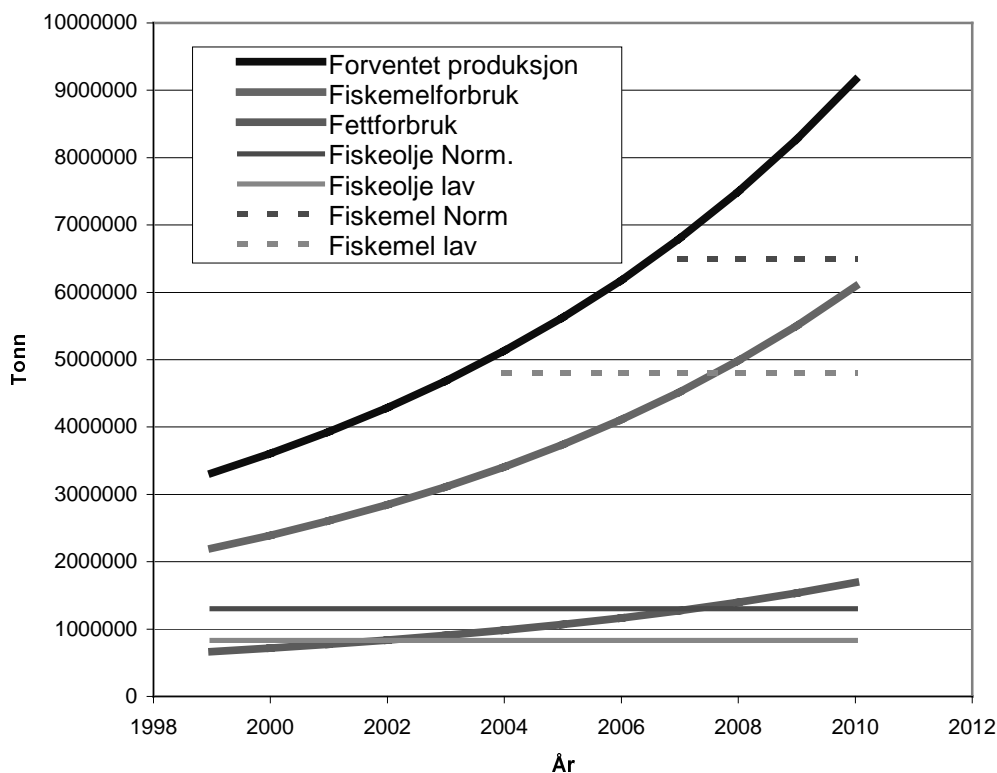
Biologisk sett vil tilgang på marine fôrråstoffer være den første begrensende faktor for vekst i lakseproduksjonen. Det går i dag med 437 g protein og 391 g fett for å produsere ett kg laks. Tar vi utgangspunkt i en global produksjon på 1 million tonn laks og ørret i 2000, hvor Norge bidrar med ca. 50%, ble det altså benyttet ca. 440 000 tonn protein og ca. 400 000 tonn fett i denne produksjonen. Det tilsvarer altså 11 % av verdens tilgang på protein fra fiskemel og 30 % av verdens tilgang på marint fett beregnet for et normalår. Allerede i 1998 så vi problemer med å skaffe nok marint fett som en effekt av El Niño. Fôrindustrien løste dette ved å blande inn vegetabiliske fettkilder, noe som igjen ga

problem med endret kvalitet på fisken. Det vil derfor være behov for nye fettkilder som ligner marint fett for å dekke de økte behovene vi vil se ved videre vekst i laksefiskproduksjonen. Selv om vi nok kan blande inn 20-30 % vegetabiliske oljer inn i fettkilder til laksefôr uten at det får store konsekvenser for markedets aksept, vil vi med en fortsatt vekst i verdens lakseproduksjon se en underdekning i marint fett innen relativt få år. Dersom vi ønsker å holde oss borte fra genmodifiserte planter, vil det være en god strategi å satse på en bedre utnyttelse av bifangst og fiskeavfall og høsting av marine dyr lengre ned i næringskjeden enn sild og lodde, som for eksempel krill. Med økende produksjon av blåskjell vil vi få en del utkast som kan brukes som fôr. Det kan også være mulig å produsere blåskjell med tanke på fôr.

Det vil i forholdsvis lang tid framover være tilstrekkelig fiskemel i markedet for å dekke næringens behov. Det er imidlertid viktig å få alternativer til fiskemel for å få redusert kostnadene til fiskefôr, men også for å unngå å bruke råstoff i fiskefôr som kunne ha vært benyttet direkte til humant konsum.

Veksten i produksjon av karnivore og omnivore akvakulturarter varierer, men ligger for de kvantumstunge artene på rundt 10 % per år. Det er farlig å lage prognoser for framtidig vekst basert på historiske produksjonsdata. Slike prognoser vil i de fleste tilfeller ha store feilkilder. Vi har imidlertid lagd en prognose for produksjon av akvakulturarter som krever fiskemel i fôret basert på historiske veksttrender (figur 6). Det er ved beregning tatt hensyn til at en del reker og også karnivore fisk oppdrettes i ekstensive systemer uten nevneverdig tildeling av formulerte fôr. I figuren er det også estimert et forbruk av fiskemel eller fiskeolje basert på dagens innblandingsforhold i kommersielle fôr. Figuren indikerer også tilgjengelighet av fiskemel og fiskeolje i normal år i produksjonstallene i et år med lav produksjon (El Niño i 1998). Selv med de store feilmarginer vi må regne med i denne type prognoser og en innblanding av vegetabiliske protein og fettråstoffer i fiskefôr vil vi innen relativt kort tid få en mangelsituasjon. Dette gjelder i første rekke for fiskeolje, der vi i normalår ser en mangelsituasjon allerede før 2005. For fiskemel vil vi først få en mangelsituasjon etter år 2010. I figuren er det ikke regnet med konkurranse om råstoff fra andre husdyr.

De begrensede ressurser av fiskemel og -olje som produseres på verdensbasis, sammen med en dramatisk økning i intensiv akvakulturproduksjon fører til at den norske oppdrettsnæringen konkurrerer på et svært svingende ressursmarked (jfr. El Niño krisen i 1998). Det vil derfor være viktig og øke ressursgrunnlaget mot et bredere utvalg av råstoff så snart som mulig.



**Figur 6.** Estimert akvakulturproduksjon av dyr som krever fiskemel eller fiskeolje i fôret samt forventet forbruk av fiskemel og fiskeolje forutsatt samme innblandingsforhold som i dagens kommersielle fiskefôr.

### 4.3 Konkurransen om samme råstoff

Det er forventet en konkurranse om fôrråstoff fra annet oppdrett og husdyrhold, men også en stigende andel vil gå til direkte humant konsum. Spesielt er marine oljer rike på n-3 flerumettede fettsyrer knyttet til positive helseeffekter, blant annet ved å forebygge vestlige livsstilssykdommer som hjerte-kar lidelser. I følge dagens ernæringspolitikk er det et mål å øke innslaget av sjømat og marint fett i kostholdet. I tillegg tilbys tran og fiskeoljer med høyt innhold av n-3 fettsyrer som helsekost til direkte humant konsum. Vi kan derfor forvente økt etterspørsel på marine oljer i konkurranse med oppdrett. På den andre siden kan det muligens bli frigjort fett som resultat av mindre etterspørsel av herdet fett (margarin).

## 5. Forbedring av akvakulturproduksjonen innen dagens rammer

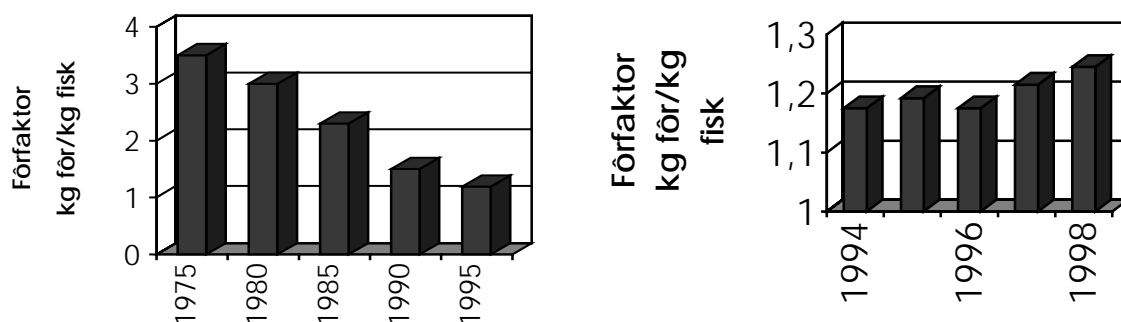
Gjennom produksjon av laksefisk i snart 20 år har Norge erfart at forskningsinnsats på fiskens avl, fysiologi, ernæring, helse og produksjonstekniske forhold har gitt resultater i form av en effektiv og stabil næring, med et potensial til stadig økende produksjon styrt av politiske føringer og normale markedsmekanismer. Likevel ser vi potensialet for å forbedre produksjonen på flere områder.

Produksjon av laks deles inn i to atskilte faser: reproduksjon og ungfiskstadiet i ferskvann, og vekst og kjønnsmodning i saltvann. Gyting skjer senhøstes, klekking og startfôring på senvinteren og våren. Laksen kan enten være ferdig smoltifisert (fysiologisk tilpasset til et liv i saltvann) første høst, eller på forsommeren, vel ett år etter startfôring. Smolten settes ut i sjøen når den veier mellom 70 og 120 g. Laksen slaktes vanligvis når den veier mellom 3 og 5 kg. Gjennomsnittlig produksjonstid er ca. 31 måneder. Det er hovedsakelig fisk i sjøvannsfasen som trekker på fôrressursene, slik at eventuelle forbedringer her vil ha størst innflytelse på den framtidige fôrsituasjonen.

### 5.1 Bedring av vekst og fôrutnyttelse hos oppdrettslaks

Veksthastigheten i norske oppdrettsanlegg forbedres stadig på grunn av avl og bedre fiskehelse, oppdrettsteknologi, fôr, fôringsrutiner og røkt. For eksempel tok det 2 år fra smolten ble satt i sjøen til den ble slaktemoden midt på 1970-tallet. I dag er det vanlig at 4 kg nås etter omtrent 9 måneder i sjø. I anlegg med spesielt gunstig temperatur og gode driftsrutiner finnes det eksempler på at laks har vært klare for markedet allerede etter 6 måneder.

Fôrutnyttelsen har også bedret seg betraktelig i løpet av de siste 20 årene. På slutten av åttiårene var det vanlig å bruke mer enn 2 kg fôr per kg tilvekst, mens det i gjennomsnitt for norsk lakseoppdrett de siste årene brukes omtrent 1,2 kg fôr per kg tilvekst (figur 7). Likevel vet vi at det er store variasjoner mellom livsfaser, mellom vår- og høstutsatt smolt, mellom laks og regnbueørret og geografisk plassering av lokaliteter. For eksempel kan laks i ferskvannsfasen vokse ett kg på 0,5-0,75 kg godt balansert fôr, mens større fisk i sjøen har en mer energirik tilvekst og derfor trenger mer fôr. Det er imidlertid viktig å huske at dødelighet betyr mye i beregning av økonomiske fôrfaktor.



**Figur 7.** Fôrfaktor i norsk lakseoppdrett i perioden 1975-98.

I dagens avlssystem legges ikke all seleksjonen på vekst, men fordeles omtrent med en tredel på hver av vekst, sykdomsresistens og produktkvalitetsmål. Fokuserer vi på å redusere fôrforbruket gjennom avl kan vi oppnå visse forbedringer, men dette vil nødvendigvis ta tid. På 3-4 generasjoner (12-15 år) kan vi redusere fôrfaktoren med anslagsvis: 0,05 ved å selektere for raskere vekst; 0,02 ved å selektere for mindre innvolls fett; og 0,10 ved å senke innhold av muskelfett med om lag fem prosentenheter. Dersom disse tiltakene blir gjennomført vil vi totalt senke fôrforbruket med rundt 15 % fra dagens nivå, noe som tilsier om lag én prosent per år.

Fôrutnyttelsen er også forbedret vesentlig gjennom bedre fôr, fôringsrutiner og stell. Til tross for at vi har begrenset informasjon om næringsbehov hos atlantisk laks så har vi erfaringer fra andre oppdrettsarter som forteller oss hva et fôr bør inneholde. Selv om det er vanskelig å anslå kvantitativt så er det sannsynligvis fortsatt et potensial for forbedring i fôrutnyttelse, både gjennom økt forståelse av laksens behov for næringsstoffer gjennom produksjonssyklus, forbedret teknologi ved foredling av fôrmidler og i framstillingen av fôr.

## 5.2 Optimalisering av laksens behov for næringsstoffer gir økt vekst og bedre helse

Det faktum at veksthastighet, sammensetning av veksten, og fôrutnyttelse er under konstant endring hos laks har minst tre viktige konsekvenser med tanke på gyldigheten av behov for næringsstoffer:

- Behov vil endres over tid etter hvert som sammensetningen av veksten endres
- Markerte endringer i behov kan forventes når laksen smoltifiserer eller blir kjønnsmoden
- Mangelsykdommer og feilernæring vil raskt kunne komme til uttrykk hos et dyr som vokser raskt, og hvor en stor andel av fôret omsettes effektivt til vekst

Dette betyr at publiserte behovstall (f.eks. NRC 1993) må brukes med en viss varsomhet. For eksempel kan et behov estimert med 10 g laks gitt et fôr med 15 % fett og 50-60 % råprotein, med en tilveksthastighet på 2 % i døgnet og en fôrutnyttelse på 1,6 kg fôr/kg tilvekst ha vært representativt for produksjon av settefisk i ferskvann på begynnelsen av 1980-tallet. Det er sikkert at dette estimatet ikke er representativt for dagens forhold hos 1-2 kg laks i saltvann, med 38 % fett og 35 % protein i fôret, med en vekstrate over 2 % i døgnet, og en fôrfaktor på mindre enn 1 kg fôr/kg tilvekst.

## Økning av proteinretensjon

Proteininnhold og metabolisme endres gjennom laksens liv. Fra startfôring bygges kroppens proteininnhold raskt opp til 17-18 %, som opprettholdes helt til kjønnsmodning (Shearer m. fl., 1994). Fordøyelse av protein er effektiv hos laks (Krogdahl m. fl., 1999), selv om fordøyelighet av protein og aminosyrer varierer fra et fôrmiddel til et annet og mellom like fôrmidler (tabell 2). Hovedgrunnen til variasjon i proteinfordøyelighet innen like fôrmidler er ofte ulik varmebehandling (Andorsdottir, 1985). Rå fiskemuskel fordøyes nærmest 100 % (Skrede m. fl., 1980), på linje med hvetegluten (tabell 2). Figuren illustrerer noe av potensialet ved korrekt foredling av råvarer og en fortløpende evaluering av fôrmidlene før komponering av fôrblandinger.

**Tabell 2.** Tilsynelatende fordøyelighet for protein hos laks målt med stryke metode

<b>Fôrmiddel</b>	<b>Fordøyelighet (%)</b>
Torskefilet, rå	97
Krill, rå	92
Akkar, rå	90
Heil mager fisk	87
Fiskeensilasje	87
Fiskemel, LT	88
Fiskemel, NSM	85
Krillmel	88
Kjøttbeinmel	55
Soyamel	85
Hvetegluten	95
Hvetemel	87
Maismel	87
Havremel	85

Laks synes å utnytte protein fra høyenergifôr mer effektivt til vekst enn protein fra lavenergifôr (protein sparing). Det er ikke uvanlig at opptil 50-60% av fôrets protein avleires i tilvekst (tabell 3).

**Tabell 3.** Proteinretensjon ved ulikt fettinnhold i fôret til laks (ca. 3 kg) (Austreng, 1994)

<b>Fettinnhold i fôr (%)</b>	<b>22</b>	<b>30</b>
Tørrfôrforbruk, kg/kg	1,18	1,10
Innhold pr. kg fôr		
Bruttoenergi, MJ/kg	25,7	25,3
Fordøyelig energi, MJ/kg	21,0	21,8
Protein, g/kg	493	383
Fôrutnyttelse til rund fisk, %		
Av bruttoenergi	44	44
Av fordøyelig energi	53	51
Av protein	37	47

I forhold til det gunstige innholdet av essensielle aminosyrer i fiskemel kan en forholdsvis høy andel fiskeprotein i fôret byttes ut med proteiner som har en mer ubalansert aminosyresammensetning, som for eksempel vegetabiliske råvarer. Soyaprotein inneholder lite av aminosyren metionin, mens hvetegluten inneholder lite lysin. Vekst og fôrutnyttelse var ikke vesentlig forskjellig hos laks som fikk fôr med LT fiskemel som eneste proteinkilde, eller fôr hvor 75 % av proteinet var fra soya-protein-konsentrat (Storebakken m. fl., 1998a). Heller ikke utbytting av LT fiskemel med 33% hvetegluten førte til vekstreduksjon hos raskvoksende laks (Storebakken m. fl., 2000b).

Siden behovstall enda mangler for de fleste aminosyrer i fôr til laks, beregnes ofte dekning av aminosyrebehovet ut fra aminosyresammensetning i hel laksekropp og aminosyrebehov hos andre laksefiskarter (Espe m.fl., 2001). Behov for essensielle aminosyrer i intensivt oppdrett bør studeres spesielt med tanke på bruk av alternative og ubalanserte proteinkilder. For enkelte essensielle aminosyrer (metionin, histidin) synes behovet å være større i enkelte oppdrettsituasjoner, noe som har gitt seg utslag i for eksempel utvikling av øyesykdommen katarakt. Sannsynligvis førte nettopp endringer i råvarevalg, med selvpålagt utelukkelse av blodmel blant norske fiskefôrprodusenter, til at problemer med øyesykdommen katarakt hos laks ble mer synlig.

## **Fett som energikilde og essensielle næringsstoff**

Lipidene i fôret bidrar til energi (fettsyrer og glukose fra glyserol) og essensielle næringsstoffer (essensielle fettsyrer, fosfolipider). Forbrenning av fettsyrer er den viktigste kilde til energi hos laks i sjøen, hvor laksemuskel er det kvantitativt viktigste vevet for  $\beta$ -oksidasjon. I ferskvann er leveren også et viktig organ for  $\beta$ -oksidasjon hos laks (Frøyland m. fl., 2000). Det er trolig et potensial til sparing av både protein og essensielle fettsyrer ved å optimalisere fettsyresammensetningen i fôret mot fettsyrer som er preferert for oksidasjon (f.eks oljesyre 18:1 n-9). I et forsøk hvor opp til 50% av fiskeoljen i fôret ble byttet ut med canolaolje (lav-eruka rapsolje) fant McKenzie m. fl. (1998) at maksimal svømmehastighet hos laks økte lineært med økende innhold av canolaolje, noe som antyder at planteoljer med høyt innhold av f.eks. 18:1 er foretrukket som substrat for energiproduksjon sammenlignet med langkjedete fettsyrer i fiskeolje.

Laks og de fleste andre fiskeslag er ikke i stand til å syntetisere fettsyrer av n-3 og n-6-familiene og må få disse tilført gjennom fôret. Behovet for n-3-fettsyrer hos liten laks er fastsatt til ca. 1% av fôret på vektbasis hvis fettsyrene tilsettes som 20:5n-3 og 22:6n-3 fra marine råstoff, og noe høyere hvis tilsetningen er i form av 18:3n-3 fra planteoljer. Til sammenlikning er behovet for n-6-fettsyrer lavt (Ruyter m. fl., 2000 b). Behovet for essensielle fettsyrer er ikke fastsatt hos større laks. Essensielle fettsyrer er viktige bestanddeler av membranenes fosfolipider og er forløpere til signalstoffer (eikosanoider). Cellenes membraner kan ha forskjellig sammensetning både av fosfolipidklasser og ulik sammensetning av fettsyrer i fosfolipidene. Fettsyresammensetningen av fosfolipidene i metabolsk viktige vev som lever, gjeller og hjerte påvirkes av fôrets fettsyresammensetning (Ruyter m. fl., 2000 a, b). Bruk av ulike fettkilder vil derfor kunne påvirke membranenes funksjonelle egenskaper.

Eikosanoider (prostaglandiner, tromboksaner, leukotriener og lipoksiner) produseres fra essensielle C20-fettsyrer av n-3 og n-6-familiene, hovedsakelig 20:5 n-3 og 20:4 n-6. Eikosanoider har hormonliknende effekter, og deltar aktivt i metabolsk regulering og i kroppens immunforsvar. Fettsyresammensetningen i fôret påvirker produksjonen av eikosanoider (McKenzie m. fl., 1998), og 20:5 n-3 og 20:4 n-6 fettsyrene fører i mange

tilfeller til produksjon av eikosanoider som ”balanserer” hverandre eller har antagonistisk effekt. Ut i fra dette vil både nivået av n-3-fettsyrer og forholdet mellom n-3 og n-6-fettsyrer i fôret vil ha konsekvenser for laksens fysiologi og helse.

Effektene av fett i fôret på fiskens helse er imidlertid sammensatte. For eksempel observerte Bell m. fl. (1993) at laks utviklet forandringer i hjertet når all fiskeoljen i fôret ble byttet ut med solsikkeolje. Noen forandringer ble også observert i fisken som fikk fiskeolje i fôret, men ikke hos laks som fikk bare linolje. Linolje, på den andre siden, førte til unormal fettsyresammensetning i fosfolipidene i hjertet. Særlig høye nivåer av 20:5 og 22:6 n-3 synes også å kunne hemme laksens immunforsvar (Erdal m. fl., 1991; Waagbø m. fl., 1993a; Bell m. fl., 1996). På den andre siden fører bruk av oljer med høyt innhold av n-3-fettsyrer til redusert blodkoagulering, og øker styrken av røde blodceller. Dette synes å ha særlig relevans for laks ved lav temperatur i sjøen, hvor også motstandskraft mot smitte ble bedret hos fisk gitt fôr med høyt innhold av n-3-fettsyrer (Salte m. fl., 1988; Waagbø m. fl., 1993b).

Laksefôr må inneholde oljer med høyt innhold av mono- og flerumettede fettsyrer, fordi mettet fett med høyt smeltepunkt blir dårlig fordøyd (Austreng m.fl., 1979). Fordøyelighet av norske fiskeoljer varierer ofte mellom 90 og 95% (Aksnes, 1995; Storebakken m. fl., 1998 b; 2000 b). De fleste vegetabiliske oljer har lavere smeltepunkt enn fiskeoljer og har generelt høy fordøyelighet (Austreng m.fl., 1979; Torstensen m.fl., 2000). I tillegg er fett i fôret knyttet til fordøyelse og opptak av en rekke essensielle fettløselige næringsstoffer.

De store mengdene fett i moderne laksefôr (figur 3) setter store krav til kvaliteten av fôrfettet. Det er viktig å kjenne effektene av fôrets fettsyresammensetning på laksens produktkvalitet, både sensorisk og teknisk.

## **Karbohydrater som energi og bindemiddel**

Ulike kilder til karbohydrater har til alle tider vært benyttet i fiskefôr som bindemiddel og energi (Hemre, 2001). Dagens bruk av lett tilgjengelige karbohydratkilder i oppdrett tjener begge formålene, og det forventes ingen framtidige begrensninger i tilgangen på karbohydratkilder til bruk i oppdrett. Det vil imidlertid være behov for kunnskap om proteinsparende effekter av ulike innblandingnivå av karbohydrater og egnethet av ulike kilder med hensyn på fordøyelighet, fiskehelse og produktkvalitet.

## **5.3 Fôringsregime**

Ulike måter eller strategier for fôring har jevnlig vært diskutert. Likevel er det stadig spørsmål om hva vi kan oppnå gjennom å endringer i fôringsregime. Det som er fasitsvaret er at fisken til en hver tid kan spise seg mett og ikke går lange perioder uten tilgang på fôr. For å oppnå dette er det derfor viktig å ha metoder som fastslår når vi fôrer etter appetitt. Dette kan vi til en viss grad fastslå med tekniske hjelpemidler, men vi mangler fortsatt mye kunnskap om de biologiske faktorene som styrer appetitt og som kan hjelpe oss til å fôre riktigere.

Dersom vi ikke greier å holde fisken mett til enhver tid resulterer dette i to uheldige forhold. For det første er det slik at en fisk som ikke er mett, trives dårligere og er mer



aggressiv. Dette medfører i sin tur mer bittskader og redusert kvalitet på sluttproduktet. For det andre vil fôrforbruket øke i form av et relativt sett høyere vedlikeholdsbehov.

Det er vanskelig å anslå hvor store gevinster det er å hente på dette området, siden det fra oppdretters side vil være et kontinuerlig mål å hindre fôrspill og å redusere energi- og veksttap ved hierarkidannelse og aggresjon. Mer strategiske fôringsregimer med redusert fôring ved kalde temperaturer og senere kompensasjonsvekst kan være en måte å øke fôrutnyttelsen, men denne problemstillingen inkluderer både biologiske og etiske utfordringer.

## 5.4 Miljøfaktorer

Norge har utviklet egne miljømål og miljøstandarder for fiskeoppdrett, samtidig som oppdrettsnæringen også må forholde seg til internasjonale miljøstyringssystem. Disse inkluderer overvåking av innsatsfaktorer (råvarer og energi), miljøpåvirkninger i produksjon (forurensing, biologisk mangfold), transport til marked og bruk av varen hos konsument (Maage & Damsgård, 2001). Miljøpåvirkning fra oppdrettsnæringen knyttes til totalproduksjonen (tabell 4), med utslipp av organisk materiale i form av fôrspill, ekskrementer og oppløste stoffer. Utslippene per tonn fisk produsert er betydelig redusert de siste ti årene. Tallene viser økt effektivitet i overføring av nitrogen og fosfor fra fôr til fisk, men på grunn av veksten i næringen har det totale utslippet økt.

**Tabell 4.** *Utregnet utslipp av organisk stoff (BOF), nitrogen og fosfor fra norsk lakseproduksjon i 1988 og 2000 i kg stoff/tonn produsert laks. Tallene i parentes er prosent av totalt tilført i fôr (fra Maage & Damsgård, 2001).*

År	Fôrfaktor kg fôr/kg fisk produsert	Utslipp, kg/tonn		
		BOF	Nitrogen	Fosfor
1988	1,6*	±1000 (40%)	90 (75%)	18 (80%)
2000	1,15**	480 (27%)	41 (59%)	8 (67%)

\* Fôrsammensetning brukt for 1988: 20 % fett, 47 % protein, 17 % karbohydrat, 14 g P kg<sup>-1</sup>, ME: 16 MJ kg<sup>-1</sup>

\*\* Fôrsammensetning brukt for 2000: 34 % fett, 38 % protein, 12 % karbohydrat, 11 g P kg<sup>-1</sup>, ME: 24 MJ kg<sup>-1</sup>

Miljøpåvirkningen påvirkes av politiske vedtatte reguleringer om produksjonsbegrensende tiltak i næringen, slik som fôrkvoter. Introduksjon av fôrkvoter i lakseoppdrett i Norge har nok ført til mer bevisst holding til fôr og fôringsrutiner, og dermed mer effektiv fôring i næringen.

Det vil være et kontinuerlig press fra opinionen og myndighetene på miljøhensyn som et viktig element i bærekraftig oppdrett. To områder som peker seg ut som framtidige utfordringer er uønskete stoffer som tilføres fôret gjennom marine fôrråstoffer og redusert fordøyelighet og økte utslipp ved bruk av vegetabiliske proteinkilder.

Undersøkelser viser at nivåene av miljøgifter (dioksiner, PCB, PAH, arsen o.a.) i industrifisk og oppdrettsfisk kan overstige gjeldende og framtidige maksimumsgrenser

fastsatt i internasjonale reguleringer og direktiver. Det vil spesielt være ønskelig å redusere eller fjerne uønskete organiske miljøgifter fra den marine næringskjeden, og dette er mulig gjennom rensing av fôrråvarer til oppdrett. På kort sikt vil være mulig og nødvendig å rense marine oljer som stammer fra visse geografiske områder. Dette vil eventuelt også kunne muliggjøre bruk av visse typer biprodukter fra oppdrettsfisk, som ellers ville klassifiseres som ubrukbare ressurser til oppdrettsformål.

Bruk av uraffinerte vegetabiliske proteinkilder i fôr til laks har vist seg å redusere forfordøyelsen av næringsstoffer, både på grunn av et høyere innhold av fiber og andre ufordøyelige komponenter og deres innhold av antinæringsstoffer. Dette fører til økt fôrfaktor og økte lokale utslipp. Forbedringer vil inkludere ulike typer forbehandling og raffinering av fôrvarene.

## 5.5 Forbedring av fôrteknologien

Produksjonen av kraftfôr (2,3 mill. tonn per år i Norge, verdt 12-13 milliarder kr) har i mange år vært betegnet som en lavteknologisk og enkel prosess der komponenter har blitt blandet til et fullverdig fôr til ulike dyreslag. Krav til økt produktkvalitet og produksjonseffektivitet fra industriens kunder, miljøkrav, internasjonal konkurranse og impulser fra annen industri har medført bruk av ny teknologi i fôrproduksjonen til flere dyreslag, bl.a. fisk og drøvtyggere. Industrien har løftet seg selv flere hakk fra møller og blanderier opp mot avansert prosessindustri. Innen produksjon av fiskefôr har Norge vært trendsettere innen ekstruderteknologi. Utviklingen i fôrteknologi vil nok fortsette mot alternative og mer energisparende produksjonsformer med bruk av avansert teknologi.

## 5.6 Fôr til andre oppdrettsarter enn laksefisk

Produksjonen av andre oppdrettsarter avhenger først og fremst av at man behersker de yngre stadier i produksjonen. Det er først som settefisk disse vil kreve fôrressurser av betydning, og vil da eventuelt konkurrere om samme fôrmidlene som laks og ørret (for eksempel kveite, røye) eller kunne benytte andre råvarer som for eksempel torsk.

### Kveite

Kveite viser proteinfordøyeligheter i samme størrelsesorden som laks, i området 82 % – 86 % for tørrfôr basert på LT-fiskemel (Grisdale-Helland og Helland, 1998; Berge m.fl., 1999). Tilsvarende fordøyelighet av fôrproteinet på 75 %-88 % er vist i mykfôr (Berge og Storebakken, 1991; Berge m.fl., 1991; Haugen, 1999). For liten kveite (<100 - 200 g) gir høyt proteininnhold i fôret (opptil 61 %) best vekst (Hjertnes og Opstvedt 1989; Hjertnes m.fl. 1993; Helland og Grisdale-Helland upublisert). For kveite i vektclassen 150 til 550 gram er trolig proteinbehov lavere, på rundt 40 % (Aksnes m.fl., 1996; Helland og Grisdale-Helland, 1998). For kveiter mellom 0,6 og 1,5 kilo var det ingen effekt av å gå fra 48% til 54% protein på bekostning av fett i fôret (Berge og Storebakken, 1991; Grisdale-Helland og Helland, 1998). Det finnes ingen vitenskaplig publisert informasjon om proteinbehovet til større kveiter. Tilsvarende som for laks er fordøyelighet av fett høy (95-99%) og fordøyelighet av karbohydrat i fôret synkende fra 85 til 40 % ved økende mengde fra 5 til 24 %.

Mest sannsynlig vil kveite likestilles med laks med hensyn til framtidig behov for fôrressurser. Tre alternative proteinkilder til fiskemel har blitt utprøvd i fôr til kveite. Berge m.fl. (1999) byttet ut 44% av fiskemelproteinet i fôret med soyaproteinkonsentrat og tilsatte ekstra methionin. Disse diettene gav ingen forskjell i utnyttelsen av fôr-nitrogenet hos kveite (600 til 900 gram), selv om fôrutnyttelsen var noe dårligere. Kveitene kompenserte trolig høyere fiberinnhold og lavere energitetthet i soyafôrene med å øke fôrinntaket. Utskiftingen av fiskemel med inntil 30% av fôrproteinet med fullfett soyabønnemel hadde ingen påvirkning på fôrinntak, vekst og fôrutnyttelse, og viste heller ikke patologiske tarmforandringer (Grisdale-Helland m.fl., upublisert). Hvetegluten er også en akseptabel proteinkilde i fôr til kveite, til tross for lavt innhold av aminosyren lysin. Med 30% innblanding av hvetegluten i fôret ble det påvist noe høyere lysinbehov (20 g/kg vektøkning eller 2,9-3,5% i tørrt fôr) for ca.100 gram kveite enn litteraturen angir (NRC 1993; Helland m.fl., 2000).

## **Torsk**

Som laksefisk vokser torsk raskere på forholdsvis energirike (fete) enn på magre fôr (Dos Santos m.fl., 1993; Jansen og Austreng, 1995). Torsk lagrer imidlertid overskuddsfett i leveren i motsetning til laksefisk (Hemre m.fl., 2000). Torskelever kan inneholde fra 25-60 % fett, og fôr med høyt fettinnhold har vist seg å føre til både økt leverstørrelse og fettinnhold (Lie m.fl., 1988; Grant m.fl., 1998). Hos villfanget torsk utgjør leveren normalt 3-7 % av kroppsvekten mens den hos oppfôret torsk kan utgjøre 7-19 %. Dette tilsier at torskefôr bør være magert (<25 % fett) (Hemre m.fl., 2000). Torsk utnytter stivelse dårlig (Hemre, 1992). Kjøtt fra oppfôret torsk har andre tekniske egenskaper enn kjøtt fra villfanget torsk. Blant annet forringes kvaliteten på oppfôret torsk betydelig ved frysing ved at kjøttet får dårlig vannbindingsevne. Mengden stivelsesholdige råvarer i fôr til torsk må derfor holdes under kontroll.

Oppdrett av torsk vil derfor kreve et relativt proteinrikt fôr, sannsynligvis basert på rimelige marine biprodukter og vegetabiliske kilder.

## 6. Alternative fôrmidler til akvakultur

Ved vurdering av andre fôrmidler må man ha klare mål som skal oppfylles i forhold til anvendelighet, næringsverdi, tilgjengelighet, og ikke minst pris. Målene vi ønsker å oppfylle er:

- sikker mat for forbrukerne
- ingen negative effekter på fiskens helse
- liten miljøpåvirkning (god fôrutnyttelse)
- fortsatt god vekst
- god fôrutnyttelse
- spesifisert matkvalitet i forhold til ulike markeders ønsker

Vi kan søke etter alternativer til dagens fôrressurser både i havet og på landjorda. Det ligger store muligheter for bedre utnyttelse av fiskebestandene i havet gjennom bedre og mer taktisk bestandsforvaltning. Det vil være en utfordring å utløse dette potensialet gjennom internasjonale forhandlinger og avtaleverk. Også EU kommisjonen ønsker en bred diskusjon om problemstillinger som knytter seg til framtidens internasjonale fiskerier og akvakultur gjennom et omfattende forslag til felles policy innen fiskeri og havbruk "*The future of the common fisheries policy*" ("Green paper", 20.03.2001). Videre er det et betraktelig potensial i bedre utnyttelse av marine biprodukter, både fra fiskeri og oppdrett. På verdensbasis går det tapt omlag 30 mill tonn. Det er også en mulighet å søke etter marine råstoffer til havbruk på et lavere trinn i næringskjeden enn fisk. Det finnes flere alternative marine kilder i store kvanta som vist i tabell 5. Av landproduksjon har vi vegetabiliske og industrielt fremstilte råvarer som er nærmest ubegrenset til dette formålet, selv om disse varierer i egnethet.

**Tabell 5.** *Biomasse og produksjon av dyreplankton og mesopelagisk fisk standardisert innenfor et havområde på 3.1 mill. km<sup>2</sup> som tilsvarener Norskehavet og Barentshavet, samt østlige deler av Grønlandshavet og Islandshavet.*

Art/gruppe	Biomasse (mill. tonn)	Produksjon (mill. tonn)	Opprinnelig areal (mill. km <sup>2</sup> )	Kilde
Krill	91		1,7	Dalpadado <i>et al.</i> , 1998
Krill	161	242*	3,1	Melle, upubl. resultat
Amfipoder	201		1,7	Dalpadado <i>et al.</i> , 1998
Amfipoder	49	74*	3,1	Melle upubl., resultat
Calanus (raudåte)	22**	88	2,9	Aksnes & Blindheim, 1996
Calanus (raudåte)	30-125	120-500**	3,1	Hassel & Melle, 1999
Calanus (raudåte)	75	298**	3,1	Holst <i>et al.</i> , 2000
Mesopelagisk fisk	7		1,7	Dalpadado <i>et al.</i> , 1998
Gonatus	8,2	20	2,9***	Bjørke & Gjørseter, 1998

\* Basert på P/B=1.5 (Sakshaug *et al.* 1994)

\*\* Basert på P/B=4 (Sakshaug *et al.* 1994)

\*\*\* Arealet representerer hovedutbredelsesområdet for arten

## 6.1 Akvatiske fôrmidler – bedre ressursutnyttelse

Omlag 25 mill tonn fisk og fiskeavfall går i dag til fiskemelproduksjon og gir i overkant av 6 millioner tonn fiskemel (FAO, 2001). FAO gir i ”*The state of world fisheries and aquaculture 2000*” oversikter som viser at verdens fiskebestander er i økende grad overfisket og at utbyttet totalt sett kunne ha vært betydelig bedre om ressursene hadde vært utnyttet optimalt. I tillegg produseres det ca 30 millioner tonn fiskeavfall eller utkast av ukurant råstoff (art, størrelse m.m.) som kunne ha vært nytt til produksjon av fiskemel. Dette kvantumet er altså større enn hele det kvantum som går til fiskemel, men juridiske så vel som logistiske problem hindrer en fullverdig utnyttelse av dette råstoffet.

### Forbedret bruk av biprodukter

Biprodukter og bifangst fra fiskerier verden over utgjør to viktige muligheter til økning av fôrmidler til havbruk, oftest alternativt til dumping. Av logistikkhensyn (transport, ferskhet på råvarene, pris) må man betrakte biprodukter som lokale og nasjonale ressurser, dersom de ikke går til fiskemel- og oljeproduksjon. Av dagens totale produksjon av biprodukter fra den norske fiskerinæringen på 640 000 tonn utnyttetes i dag rundt 75 %. Ut i fra økt fiskeforedling og produksjon i havbruk er det forventet en økning til et totalt volum på 800-900 000 tonn per år i 2010 (Rubin, 2000).

I Norge utgjorde biproduktvolumet fra fiskeoppdrett 110 000 tonn i 1999, hvorav hele 107 000 tonn ble utnyttet. Volumet vil anslagsvis kunne øke til 300 000 tonn innen ti år. Det meste av det som tas hånd om av biprodukter blir brukt til fiskefôr, husdyrfôr og pelsdyrfôr, mens 50 000 tonn går til mer høyverdige anvendelser som kosttilskudd og «functional food» produkter. Hovedmengden biprodukter vil være fra laks og disse kan etter fiskesykdomsloven ikke benyttes til oppdrett. Her kan man skille protein og fettfraksjoner, hvor proteinfraksjonen eventuelt kan benyttes til andre arter.

Globalt sett er potensialet for bruk av biprodukter betraktelig. Man regner at 200 000 tonn sildeavskjær kan erstatte inntil 80 000 tonn tørrfôr. Utnyttelsen vil imidlertid avhenge av råstoffkvalitet og næringssammensetning, samt gjeldende forskrifter i forhold til fiskefôr og fiskesykdommer.

Selv om det er viktig å fremme større totalutnyttelse av biprodukter til havbruk er det faglige og politiske innvendinger mot denne bruken. På bakgrunn av strenge føre-var hensyn til forbrukertrygghet arbeider EU-kommisjonen med et direktiv til forvaltning av animalske biprodukter, noe som vil få betydning og gi begrensninger i bruk av biprodukter som ressurs i havbruksnæringen. Direktivet vil ikke tillate bruk av ubehandlet fiskeavskjær i fôr fordi dette representerer en potensiell smittefare. Direktivet vil videre forby bruk av selvdød fisk, eller slakteavfall fra for eksempel ILA-smittet fisk. Forslaget til direktiv innebærer en sortering av biprodukter på mottakersiden i tre kategorier (Rubin, 2001):

- *Kategori 1* er høyeste risikokategori, og knyttes til risiko for sykdommer som kugalskap, høyt innhold av miljøgifter, eller tilstedeværelse av forbudte reststoffer. Ingen marine biprodukter vil normalt komme med i denne gruppen. Avfallet skal brennes.
- *Kategori 2* er en mellomkategori der det knyttes risiko for andre sykdommer enn kugalskap, eller det er rester av veterinære legemidler. Fisk med medisinerrester og

selvdød fisk, kommer i denne kategorien. Skal brennes eller graves ned, eller en kan bruke det som gjødsel etter varmebehandling.

- *Kategori 3* er laveste risikokategori, og inkluderer i utgangspunktet alt slakteavfall fra marine dyr som godkjennes for konsum, samt avfall fra tilvirkningsanlegg for marine biprodukter. Kun biprodukter av 3. kategori kan benyttes som råvarer i fôr eller i teknisk produksjon, og mottak for slikt råstoff kan ikke ta i mot biprodukter fra de to andre kategoriene.

Per i dag er det ikke kjent hvor store praktiske og økonomiske begrensninger dette representerer i bruken av biprodukter til fiskefôr. Det er blant annet en viss usikkerhet med hensyn på hvor mye uønskete stoffer som finnes i biproduktene. Tatt i betraktning at innvoller representerer biologiske barrierer og lager for tungmetaller (tarm, lever) og miljøgifter (lagringsfett), kan man forvente at biprodukter inneholder mer uønskete stoffer enn andre fôrmidler. EU kommisjonen gjennomfører i sine regelverk prinsippet om at alle fôrmidler, i tillegg til fullfôr, skal overholde vedtatte øvre grenseverdier for uønskete stoffer. Man kan derfor ikke fortynde høye nivå av uønskete stoffer fra visse fôrmidler gjennom bruk av fôrmidler med lavere innhold (f.eks. vegetabiliske råvarer) for å få akseptable nivå i fullfôret.

## **6.2 Alternative marine ressurser – ressursgrunlaget i Nordøst-Atlanteren**

Nivået for uttak av biomasse fra de marine fiskeressursene er nær det maksimale både innenfor de norske fiskeriene og på verdensbasis (Pauly m.fl., 1998) ved dagens forvaltningsregime. Det er derfor ikke mulig å basere en vekst i havbruksnæringen på fôr produsert fra de tradisjonelle fiskeressursene, selv om utnyttelsesgraden av fiskefangstene i dag ikke er optimal. På denne bakgrunn har en vendt blikket mot marine ressurser som hittil ikke har vært utnyttet, og disse ressursene vil måtte finnes innenfor de lavere trofiske nivå i de marine økosystemer. Det vil si dyreplankton som amfipoder, krill og raudåte, mesopelagisk fisk og kanskje enkelte arter av blekksprut. (Se Mjelde, 2000). Det finnes publiserte og delvis upubliserte tall for bestandsstørrelser av de fleste viktige arter av dyreplankton og mesopelagisk fisk i Nordøst-Atlanteren (Hassel & Melle, 1999). For noen bestander er det også beregnet årlig produksjon. Disse tallene er oppsummert i tabell 5.

### **Ressurser i andre havområder**

En planktonressurs som det allerede drives fangst på rundt Antarktis er krill. Her er det også etablert et forvaltningssystem som gir årlige kvoter for fisket. Forvaltningssystemet er i stor grad basert på økologiske betraktninger og dette skjer innenfor CCAMLR (*Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources*). Dette er et interessant fiske både som eksempel på alternativ fangsteknologi og forvaltningssystem, men også som en direkte mulighet for norske båter til å delta i fisket.

### **Fangst**

Ved hjelp av en modell som bl.a. inkluderer driftskostnader for fiskefartøy, fôrprosesseringskostnader og en melpris rundt 7 NOK per kg, er det beregnet en nødvendig ressurs-

tetthet på 2,5 g våtvekt per m<sup>3</sup> i sjøen (Mjelde, 2000). Publiserte gjennomsnittlige tettheter overskrider sjelden denne grensen. De høyeste tetthetene av så forskjellige arter som raudåte, krill og amfipoder kan imidlertid overskride 2,5 g våtvekt per m<sup>3</sup> (Melle, upubl. resultat). Dette indikerer at det er potensial for å utvikle regningssvarende fangstteknikker.

## Økologiske konsekvenser

Selv om tallene for årlig produksjon og midlere biomasse innenfor de laver trofiske nivå er formidable (tabell 5) har de liten relevans i forbindelse med et fiskeri på enkelte arter eller artskomplekser av dyreplankton. For det første må uttaket sannsynligvis skje innenfor et relativt avgrenset tidsrom og i forbindelse med oseanografiske strukturer som fronter og virvler. Dessuten vil dette uttaket ganske sikkert falle sammen i tid og rom med beitevandringene til de store planktonspisende fiskebestandene. Dermed vil et uttak kunne få lokal effekt på dyreplanktonbestandene og også en indirekte effekt på fiskebestandene som er avhengige av dyreplanktonet som næringsgrunnlag (Melle *et al.*, 2000, Dalpadado *et al.*, akseptert).

De økologiske konsekvensene av fiskeriene får stadig større oppmerksomhet. Det er for eksempel vist at samtidig som en over de senere år har fisket på stadig lavere trofiske nivå så har totalfangstene gått ned (Pauly m.fl. 2000). Gjennom en økosystemtilnærming til forvaltningen må sannsynligheten for slike effekter av et fiske på dyreplankton kunne kvantifiseres.

## Egnethet av marine fôrressurser

Det vil i tillegg være nødvendig å undersøke egnethet av mel og olje produsert fra dyreplankton i forhold til dagens lovgivning (tabell 6). Eksempelvis er det i *Forskrift om fôrvarer til fisk* (1999) angitt øvre grenseverdier for fluor på 150 mg kg<sup>-1</sup>, noe som normalt ikke er et problem i fiskefôr. Bruk av for eksempel krillmel vil imidlertid måtte begrenses eller i verste fall utelukkes på grunn av sitt høye fluorinnhold, selv om fluor finnes i en kjemisk form som trolig nyttes i liten grad av fisken. I slike tilfeller er det viktig å støtte opp om lovgivende myndigheter med vitenskapelige fakta, både om naturlig innhold av fluor i næringskjeden og betydning av fluor for fiskens helse, miljø og kvalitet.

Likeledes bør man evaluere den kvantitative betydningen av ulike dyreplankton i fiskefôr ut i fra geografi, art og beskatningsgrunnlag. De ulike artene kan variere fra å utgjøre en betydelig protein- og fettkilde til å utgjøre tilsetningsstoff for komplettere ubalanserte fôrmidler eller bidra med farge, n-3 fettsyrer og attraktanter.

**Tabell 6.** Marine ingredienser til fiskefôr, egnethet og innblandingsnivå (data hentet fra Hertrampf & Piedad-Pasciual, 2000).

Proteinkilde (Global produksjon, år, % fraksjon)	Innhold av protein og fett	Eventuell behandling	Egnethet +/- (egenskaper)	Anbefalt innblanding (%)
<b>Fiskemel</b>	78/12	fettseparasjon, lavtemp. tørk	+	25-50
<b>Marin ensilasje</b>	58/16	Oppmaling, syre/lut	Avh.av råstoffkvalitet -(uønskete stoffer)	<20 av protein
<b>Rekeskallmel</b> (ca. 1 mill t, 2000, 40% biprodukt)	31/4	Tørking, maling	-(kitin, aske, fiber) +(kvalitet, n-3 PUFA, pigment, attraktant)	Maks.10
<b>Krabbemel</b> (1 721 000 t, 1993, 60-80% biprodukt)	32/3	Fjerne skall, ekstraksjon	-(askeinnhold, heterogent) +(til reker)	5-10
<b>Krillmel</b> (som fiskemel)	60/9	Konservering, evt. mel/olje sep.	-(F, Cd, aske) +(kvalitet, n-3 PUFA, pigment, attraktant)	40-60 av protein
<b>Akkarmel</b> (1.5 mill t årlig, 50 % biprodukt)	80/4	Tørking, maling	+(proteinkvalitet, attraktant)	5-10 (20-30 yngel og stamfisk)
<b>Mollusk/skjellmel</b> (420 000 t årlig)	60/8.5	Steam, tørk evt. fersk	+(til reke, attraktant, pigment)	5-10

Tabell 6 oppsummerer produksjonsvolum, egnethet og innblandingsnivå av ulike marine råvarer til fiskefôr. De fleste av disse råvarene egner seg som fôrvarer med høy innblanding i fiskefôr. Noen råstoff inneholder imidlertid høye nivåer av uønskete stoffer som ufordøyelige komponenter, tungmetaller og organiske miljøgifter, som eventuelt vil kreve alternativ tilberedning og rensetiltak før disse benyttes. I tillegg produseres det totalt 8.6 mill tonn akvatiske planter. Disse benyttes i liten grad til karnivore fiskeslag, men små mengder benyttes som bindemiddel.

### 6.3 Et stort potensial i fôrmidler fra landjorda

Til andre arter enn atlantisk laks det vært naturlig å inkludere vegetabiliske råvarer i fôret fordi det naturlig inngår i kosten til herbivore og omnivore oppdrettsarter, samt høye kostnader og lav tilgjengelighet av marine råstoffer av god kvalitet. Økende etterspørsel og pris på de marine fôrvarerne gjør det mer aktuelt enn tidligere å bruke vegetabiliske råstoffer også i fôr til laks og marine oppdrettsarter. Norsk oppdrettsfisk er strikte karnivore fisk, og er derfor i utgangspunktet dårlig tilpasset vegetabiliske fôrråvarer (Buddington m.fl., 1997). Dette skyldes dels at sammensetningen av essensielle (livsviktige) aminosyrer i planteprotein ofte er ubalansert i forhold til vekst og proteinutnyttelse hos fisk (tabell 7), og dels at planter generelt inneholder lite protein og mye karbohydrater (stivelse og kostfiber). Slike råvarer benyttes ofte i kombinasjon med andre for å utjevne ernæringsmessige mangler (komplettering) og for å bedre produksjonstekniske egenskaper av fôrblendingen. De vegetabiliske fôrråvarene som brukes i dagens laksefôr tjener som proteinkilder, bindemiddel (karbohydrater) og energikilder (fett og karbohydrater).



## Vegetabiliske proteinkilder

Det er først og fremst gluten av mais og produkter av soya som blir brukt som vegetabiliske proteinkilder i dagens fiskefôr (tabell 7). Maisgluten, som inneholder 60-70% protein, er et restprodukt fra produksjon av maisstivelse. Soya blir avfettet og eventuelt videreforedlet før bruk. Fullfett soya inneholder om lag 40% protein, mens avfettet soya kan inneholde opp mot 50%. Maisgluten inneholder nok av aminosyren metionin, men lite lysin og arginin. Soyaprotein inneholder lite metionin, men relativt mer av lysin og arginin. Soya inneholder imidlertid mye fiber ( $\approx 20\%$ ) og i tillegg såkalte "antinæringsstoffer" som forstyrrer fordøyelsen og andre fysiologiske prosesser hos fisken. Derfor bidrar soya i dag med  $<10\%$  av proteinet i norsk fiskefôr. Renere proteinkonsentrater av soya kan benyttes med høyere innblandingsprosent. Siden vegetabiliske proteinråvarer har en lavere proteinkvalitet følger det at disse er lavere prissatt enn fiskemel. For eksempel er kiloprisen på høykvalitet fiskemel normalt 2,5 x høyere enn kiloprisen på soyamel, og fra 1,2 til 2,2 ganger høyere enn kiloprisen på maisgluten. Prisen vil i liten grad bestemmes av bruken til fiskefôr, men mer som fôrvare til varmblodige dyr.

Av tabell 7 følger at få planteråvarer er aktuelle som rene proteinkilder til fiskefôr. Unntakene er soya- og glutenprodukter, som allerede er i bruk. Basert på sammensetning kan andre planteråvarer være aktuelle som kombinerte kilder til protein og stivelse (mel av erter og åkerbønner) eller protein og olje (raps). Det høye fiberinnholdet må imidlertid reduseres før raps kan komme i betraktning. Havre har et potensial som kilde til både protein, olje og stivelse. Havrestivelse har imidlertid dårlige tekniske egenskaper for produksjon av ekstruderte fôr.

**Tabell 7. Aktuelle vegetabiliske ingredienser til fiskefôr, egnethet og innblandingsnivå (data hentet fra Hertrampf & Piedad-Pascual 2000).**

<b>Proteinkilde (Global produksjon, år, % fraksjon)</b>	<b>% protein - fett</b>	<b>% stivelse - fiber</b>	<b>Egnethet +/(egenskap)</b>	<b>Anbefalt innblanding (%)</b>
<b>Soyabønner</b> (75%)	43 - 5.6		-(Met, Cys, smak, tryp.inhib., lektiner, antinæringsstoffer)	5-15 avh. av størrelse (10-30*)
<b>Fullfett soya</b>	42 - 21	3 - 19	(som over)	(som over)
<b>Avfettet soyamel</b>	53 - 1	3 - 23	-(Met) +(fordøyelighet)	Maks. 20
<b>Soyaprotein konsentrat</b>	70 - 1	7 - 19	-(Met) +(fordøyelighet)	56 av protein
<b>Soyaprotein isolat</b>	91 - 1		-(Met) +(fordøyelighet)	30-35 av protein
<b>Soya lecitin</b> (0.5-1.5% av soya)	0 - 100		+(emulgering, fosfolipider)	3-6 (høyenergifôr)
<b>Maismel</b> (60% av mais)	10 - 5		-(fordøyelighet)	Maks.20 (35*)
<b>Maisgluten</b> (4.5% av mais)	60 - 3.6	21 - 3	-(Lys, Trp, Arg)	Maks.15 (20*)
<b>Maisstivelse</b> (69% av mais)	-		+(energikilde)	Maks. 15 (35*)
<b>Maisfrømel</b> (3.2% av mais)	14 - 50		-(fiber)	?
<b>Potetprotein</b> (1.8% av potet)	82 - 3		(antinæringsstoffer) +(aminosyrer, fiber)	Ca. 5
<b>Hvetegluten</b> (7-14% av hvete)	80 - 1.5	7 - 0		2-5
<b>Hvetemel</b> (84% av hvete)	14.3 - 1.7		-(fiber, fytat, amylaseinhib.) +(binder)	10-15
<b>Ertemel</b> (ca. 15 viktige arter) (60 000 t årlig)	25 - 5	45 - 18	-(S-aminosyrer, Trp, antinæringsstoffer, fiber)	<15 (voksne)
<b>Riskli</b> (50 mill. t årlig) (10 % av ris)	9 - 7.4		-(fiber, fytat, lektiner, tiaminase, teknisk)	Maks. 15 (35)
<b>Avfettet rapsmel</b>	43 - 5	2 - 35		?
<b>Avskallet havre</b>	17 - 7	56 - 15		?

\*tallene i parentes gjelder omnivore og herbivore arter

Planteprotein inneholder som nevnt generelt lite av aminosyrene arginin, lysin og metionin. Ulike planteråvarer har komplementerende aminosyreprofiler (tabell 8). For å dekke aminosyrebehovet til for eksempel laks må proteinet inneholde minst 5 % arginin (Berge m.fl., 1997), 4 % lysin (Berge m.fl., 1998) og 2,5 % metionin (Rollin m.fl., 1994). Som tabell 8 viser har protein fra belgvekster som soya, erter og bønner et relativt høyt innhold av arginin og lysin. På den andre siden har maisgluten og havreprotein høye

innhold av metionin. Havreprotein inneholder også mer arginin og lysin enn protein fra de fleste andre kornsorter, og rapsprotein har et høyt innhold av arginin, lysin og metionin. En kombinasjon av soyamel og maisgluten (Pongmaneerat og Watanabe, 1993; Watanabe m.fl., 1993; Akiyama m.fl., 1995) og raps og erter (Gomes m.fl., 1993, 1995) har derfor vist seg å gi gode resultater som delvis erstatning av fiskemel i fôr til regnbueørret. Best resultater ble oppnådd med soyamel og maisglutenkombinasjoner, siden disse råvarene inneholder mer protein og mindre fiber enn raps og erter. Kombinasjoner av erter eller åkerbønner med protein- og oljerike havreprodukter kan også være interessante.

**Tabell 8.** Essensielle aminosyrer i fiskemel og vegetabiliske proteinråvarer (i % av råprotein). Uthevet skrift angir at nivået dekker behovet hos laksefisk.

Råvare Aminosyre	Fiskemel <sup>1</sup>	Soya <sup>1</sup>	Erter <sup>2</sup>	Raps <sup>3</sup>	Havre <sup>4</sup>	Gluten av	
						Mais <sup>5</sup>	Hvete <sup>6</sup>
Arginin	<b>5,9</b>	<b>7,3</b>	<b>8,0</b>	<b>7,9</b>	<b>6,9</b>	3,7	3,6
Histidin	2,9	2,8	2,7	3,3	2,2	2,9	1,9
Isoleucin	4,4	4,7	4,7	4,3	3,9	3,5	3,5
Leucin	7,5	7,5	7,6	6,1	7,4	11,4	7,0
Lysin	<b>8,1</b>	<b>6,1</b>	<b>7,8</b>	<b>6,6</b>	<b>4,2</b>	1,8	1,5
Metionin	<b>3,0</b>	1,4	1,0	<b>2,3</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>	1,6
Fenylalanin	4,0	5,0	5,1	3,8	5,3	6,6	5,0
Threonin	4,3	4,0	4,0	5,6	3,3	3,8	3,7
Valin	5,4	4,9	5,3	4,3	5,3	4,4	3,9

<sup>1</sup>Ljøkjel m.fl., 2000; <sup>2</sup>Gouveia og Davies, 2000; <sup>3</sup>Burel m.fl., 2000; <sup>4</sup>Robbins m.fl., 1971; <sup>5</sup>Anderson m.fl., 1992; <sup>6</sup>Storebakken m.fl., 2000.

Som nevnt er proteininnhold og –kvalitet (aminosyreprofil) de viktigste begrensende faktorene for bruk av planteråvarer som proteinkilde i fiskefôr. Planteprotein kan oppkonsentreres industrielt, noe som for eksempel gjøres ved produksjon av soya-proteinisolater og –konsentrater (beskrevet av Lusas og Riaz, 1995) og glutenprodukter. Med unntak av gluten, som er et restprodukt fra stivelsesproduksjon, er raffinering kompliserte og fordyrende prosesser. Proteinkvaliteten på planteprotein kan også bedres ved tilsetning av begrensende aminosyrer i krystallinsk form (Pongmaneerat m.fl., 1993; Rodehutsord m.fl., 1995; Mambrini m.fl., 1999).

De fleste vegetabiliske proteinmel er restprodukter fra industriell produksjon av planteoljer eller stivelse (tabell 9). Slike produksjoner omfatter oftest en eller flere varmebehandlinger for å myke opp frø, fjerne ekstraksjonsmidler og/eller tørke melet. Overdreven varmebehandling kan påføre proteinet varmeskade ved at aminosyrer danner kryssbindinger innen og mellom proteinmolekyler, binder seg til andre næringsstoffer, harskningsprodukter og oksider (Finley og Phillips, 1988; Davidek m.fl., 1990). Reaksjonene ødelegger aminosyrene og bindingene reduserer fordøyeligheten av proteinet (Skrede og Krogdahl, 1985; Ljøkjel m.fl., 2000). De mest utsatte aminosyrene er lysin, svovelholdige aminosyrer (cystein og metionin) og tryptofan. Lysin reagerer med reduserende sukker som dannes ved hydrolyse av karbohydrater (Maillardreaksjon; Davidek m.fl., 1990). Både lysin og tryptofan kan binde seg til harskningsprodukter i fettrike råvarer (Nielsen m.fl., 1985). Det største problemet er oftest dannelse av kryssbindinger mellom cysteinheter, som reduserer proteinfordøyeligheten generelt og cysteinfordøyeligheten spesielt (Opstvedt m.fl., 1984). Varmeskade på protein unngås

eller reduseres ved moderat, kortvarig og fuktig varmebehandling. Moderat ”toasting” (dampkoking ved 105 °C i 30 minutter) for å fjerne heksan etter avfetting av soya påfører for eksempel proteinet liten skade (Ljøkjel m.fl, 2000).

**Tabell 9.** Vegetabiliske oljefrøplanter hvor restfraksjonen (presskaken) kan benyttes som fôrråstoff til fisk. Tallene refererer til pressede og avskallede produkter (Hertampf og Piedad-Pascual, 2000). Kildene er rangert i forhold til produksjon (se tabell 11).

Oljeplante (% andel mel)	Innhold av protein og fett	Innhold av aske og fiber	Egnethet -/(+)(egenskap)	Anbefalt innblanding (% i fôret)
Soyabønner (75%)	43 - 5.6	6.2 - 5.4	-(Met, Cys, smak, tryp.inhib., lektiner, antinæringsstoffer)	5-15 avh. av størrelse (10-30*)
Fullfett soya	37 - 18.9	5.5 - 5.4	(som over)	(som over)
Raps (44%)	34.5 - 7.2	6.7 - 12.1	-(glucosinolater, tanniner, eurukasyre, fiber)	2-5
Canola			+(lav eurukasyre, glucosider)	5-10
Solsikkefrø (62%)	37 - 9.3	6.3 - 12.3	-(Lys, fiber, tanniner, prot. inhib.)	10 (20*)
Jordnøtt (34%)	46.5 - 7	5.1 - 6.1	-(Lys, Met, Thr, Trp, tanniner, tryp.inhib.) +(Arg)	5-10 (10-15*)
Bomullsfrø (50%)	41.1 - 6.2	6 - 11.2	-(gossypol, cycloproprenoider)	5-15
Kokosnøtt (13%)	20.6 - 8.9	5.7 - 12.4	-(Lys, Met, fiber)	5-10 (5-15*)
Oliven (40%)	5.6 - 12.7	3.1 - 35.2	-(fiber, generelt næringsinnhold)	<10
Palmekjerne (18.4%)	16.6 - 7.6	4 - 17.5	-(fiber, Lys, Met, proteininnhold)	3-8 (5-10*)
Linsefrø (70%)	33.4 - 5.7	6.4 - 9.2	-(glucosider)	2-5 (3-7*)

\*tallene i parentes gjelder omnivore og herbivore arter

## Antinæringsstoffer i vegetabiliske proteinkilder

Ved bruk av visse soyaprodukter (f. eks. ubehandlede mel av soya) risikerer man med selv moderat innblanding i fôret (10 %) å få negative effekter på fiskens fordøyelse av fett og proteiner. Antinæringsstoffer i disse produktene påvirker aktiviteten av fordøyelsesenzym og slimhinnene i tarmen hos laks, noe som fører til redusert absorpsjon av næringsstoffene. Raffinerte soyaprodukter viser ikke tilsvarende effekter på fordøyelse hos fisk.

Antinæringsstoffer er plantenes naturlige forsvar mot planteetere, og stimuleres av miljøstress slik som lysmangel, næringsmangel og tørke. Innholdet kan derfor variere med avlinger og dyrkingsbetingelser. Det er også store artsforskjeller (Kakade m.fl., 1972; Pull m.fl., 1978). Noen antinæringsstoffer er proteinbasert og ødelegges ved varmebehandling. Andre antinæringsstoffer er imidlertid varmestabile. De mest kritiske

varmelabile antinæringsstoffene er proteasehemmere (trypsininhibitorer) og agglutinerende lektiner. Disse finnes generelt i belgvekster, men konsentrasjonene er spesielt høye i soya.

Proteinasehemmer binder og hemmer bukspyttproteasene trypsin og chymotrypsin. Proteaser reabsorberes normalt i tarmen, så dette utgjør et tap av disse viktige tarm-enzymene. I sum reduseres fordøyeligheten av protein, og da særlig av aminosyren cystein, siden både proteaser og proteasehemmere er cystinrike (Liener, 2000). Aktiviteten av proteinase-hemmere estimeres som trypsin-inhibitor-aktivitet (TIA), som måles som mg bovint trypsin hemmet per g mel (Hammerstrand m.fl., 1981). TIA i rå soya er > 30 mg/g, men reduseres til < 9 mg/g ved normal toasting av avfettet soyamel (Anderson og Wolf, 1995). TIA i rå erter er < 2 mg/g (Pisulewska og Pisulewski, 2000). Laksefisk tolerere TIA opptil 5 mg/g (Krogdahl m.fl., 1994). Bruk av varmebehandlet soya og andre rå belgvekster i fôr til laksefisk gir derfor små eller ingen TIA-problemer.

Agglutinerende lektiner er glykoproteiner som kan bindes til reseptorer i tarmslimhinnen slik at børstesømmen tilbakedannes og ødelegges (Hendriks m.fl., 1990). Intakte lektiner kan absorberes ved endocytose og gi fysiologiske forstyrrelser ved bl.a. å forårsake klumping av røde blodlegemer (agglutinerings). Rå soya kan inneholde opptil 12 mg lektiner per g, mens innholdet i varmebehandlet soya er marginalt (< 0,15 mg/g; Maenz m.fl., 1999).

Korsblomsvekster som raps inneholder glucosinolater. Disse spaltes til goitrin, nitriler og isothiocyanyder av det varmelabile enzymet myrosinase når plantecellene knuses og vesikler som inneholde myrosinase sprekker (Thangstad m.fl., 1990). Goitrin, nitriler og isothiocyanyder hemmer opptak av jod og/eller produksjon og aktivering av tyroksin i skjoldbruskkjertelen. Ved bruk av glucosinolatholdig raps i fiskefôr utvikler derfor fisken struma og metabolske forstyrrelser (Hardy and Sullivan, 1983; Hilton and Slinger, 1986). I dag finnes rapssorter foredlet for lavt innhold av glucosinolater, som kan benyttes til fiskefôr.

De mest kritiske varmestabile antinæringsstoffene er kondenserte tanniner, saponiner og allergener. Kondenserte tanniner er brune fargestoffer med bitter smak som kan hemme enzymer og kompleksere med protein (Mueller-Harvey og McAllan, 1992). Innholdet er spesielt høyt i skallet av brune belgvekster (Rao og Prabhavathi, 1982). Kondenserte tanniner utgjør et mindre problem ved bruk av lyse belgvekster som soya og erter til fiskefôr.

Saponiner er steroider eller triterpenoider (fettløselige sapogeniner) med sidekjeder av vannløselige oligosakkarider. Saponiner virker derfor som detergenter. De kan bindes til og destabilisere cellemembraner i tarmslimhinnen og dermed redusere absorpsjon ved aktiv transport (Cheeke, 1971; Oakenfull, 1981; Johnson m.fl., 1986). Saponiner kan også kompleksere med og redusere absorpsjonen av kolesterol (Milgate og Roberts, 1995). Saponiner i soya er imidlertid lite potente som antinæringsstoffer (Liener, 2000), og er uproblematisk i fiskefôr (Bureau m.fl., 1998).

Planter kan inneholde allergener som framkaller intoleransereaksjoner og matallergier. En velkjent eksempel er intoleranse for hvetegluten hos mennesker (søliaki, beskrevet av Muir m.fl., 1996). Unge pattedyr som fremdeles absorberer hele proteiner ved endocytose er imidlertid svært intolerante overfor de viktigste lagerproteinene i soya (Dréau m.fl., 1994; Lallès m.fl., 1995ab). Tarmen hos laksefisk kan absorbere intakte proteiner ved

endocytose hele livet (Buddington m.fl., 1997). Laksefisk ser ikke ut til å være allergiske overfor hvetegluten (Storebakken m.fl., 2000), mens soyafôret laksefisk utvikler tarmbetennelse (Ingh m.fl., 1991, 1996; Rumsey m.fl., 1994; Baeverfjord og Krogdahl, 1996). Både årsaken til og betydningen av dette for vekst, fôrutnyttelse og helse er foreløpig usikker. Det er også uklart om andre planteråvarer enn soya gir tilsvarende intoleransreaksjoner. Dette bør undersøkes for alle vegetabiliske proteinråvarer før de tas i bruk fôr til fisk.

Avlingene av mais (til gluten) og soya produseres i økende grad fra eller er kontaminert med genmodifiserte planter (se GMO seinere). Flere genmodifiserte varianter har vist seg å ende opp med et utilsiktet høyere innhold av antinæringsstoffer, noe som legges til de generelle betenkeligheter med bruk av GMO i fiskefôr.

## Fosfor og fytat

Som tabell 10 viser, inneholder vegetabiliske proteinråvarer lite fosfor sammenliknet med beinrike animalske råvarer som fiskemel. Tilgjengeligheten av fosfor i fiskemel kan imidlertid være svært variabel hos fisk (Nordrum m.fl., 1997) og lav fosfortilgjengelighet kan utgjøre et problem ved rask vekst og effektiv fôrutnyttelse. Bruk av planteråvarer i fiskefôr reduserer fôrets totale fosforinnhold, men dette kan kompenseres ved tilsetning av letttilgjengelige fosforkilder som natrium- og ammoniumfosfat. Totalt sett kan utslipp av fosfor i avløpsvann reduseres (Ketola og Harland, 1993; Cain og Garling, 1995; Vielma m.fl., 2000), noe som er viktig i ferskvannssystemer.

**Tabell 10.** Fosfor og fytinsyre i tørrstoff av fiskemel og vegetabiliske proteinråvarer

Råvare	Fiskemel <sup>1</sup>	Soyamel <sup>2</sup>	Erter <sup>1</sup>	Rapsmel <sup>1</sup>	Hvetegluten <sup>3</sup>
Fosfor (g/kg)	24,6	4,5	4,4	14,9	2,5
Fytinsyre (g/kg)	-	7,5	9,7	41,5	2,1
Fytinsyrefosfor av totalfosfor (%)	-	47	49	63	24

<sup>1</sup>Burel m.fl., 2000; <sup>2</sup>Refstie m.fl., 1999, <sup>3</sup>Storebakken m.fl., 2000

Planter lagrer fosfor hovedsakelig som fytinsyre (tabell 10). Fytinsyre er ufordøyelig og dermed utilgjengelig for fisk og enmagede dyr med liten mikrobiell aktivitet i tarmen. Fytinsyre kan kompleksere med protein i sur løsning (Spinelli m.fl., 1983) og destabilisere trypsin i tarmen (Caldwell, 1992). Dette forstyrrer fordøyelsen av protein i magesekken og tarmen, som resulterer i redusert proteinfordøyelighet (Storebakken m.fl., 1998). Sist men ikke minst kompleksere fytinsyre med toverdige mineraler i nøytral løsning og felles ut (Budavari m.fl., 1989). Dette medfører redusert tilgjengelighet og opptak av viktige mineraler som sink, mangan og jern fra tarmen (Storebakken m.fl., 1998; Vielma m.fl., 1998; Forster m.fl., 1999).

Fytinsyreinnholdet i planteprodukter kan reduseres ved tilsetning av mikrobielle fytaser i fôret (Vielma m.fl., 1998; 2000; Forster m.fl., 1999). Dagens mikrobielle fytaser har temperaturoptimum rundt 50 °C, og derved bare 10% aktivitet ved naturlige temperaturer i laksetarmen. Videre er de varmelabile, og deaktiveres ved ekstrudering av fôr. Alternativt forbehandling (pre-inkubering) av råvarer med fytaser ved optimal temperatur og fuktighet er et alternativ til en tilsetning av fytaser direkte i fôr (Cain og Garling, 1995;

Storebakken m.fl., 1998). En komplementerende angrepsvinkel kan være å foredle plantesorter, samt justere dyrkingsbetingelser for å oppnå lavere innhold av fytinsyre i avlinger til fiskefôr.

De fleste antinæringsstoffer i proteinrike vekster kan elimineres ved industriell prosessering og produksjon av proteinkonsentrater. Dette er imidlertid kostbare prosesser, og produktene øker i pris. Derfor bør forskning og utvikling innen planteprotein for fisk fokusere på valg av de mest egnete arter og finne kostnadseffektive teknologiske løsninger som eliminerer aktuelle antinæringsstoffer.

## Vegetabiliske fettkilder

Vegetabiliske fettkilder (tabell 11 og 12) inkluderer oljer og fettstoffer som kommer fra frukter (for eksempel palmeolje, olivenolje, avokadoolje) eller frø (for eksempel soyaolje, rapsolje, solsikkeolje o.a.). I følge FAOSTAT 1990-1998 var verdensproduksjonen av vegetabiliske oljer på 100.6 mill. tonn i 1998, og utgjør dermed en ubegrenset ressurs for fôr til akvakultur. Tabellen under viser en rangert produksjon av viktige vegetabiliske oljer. Til sammenlikning utgjør produksjonen av fiskeolje ca. 1 % av den vegetabiliske, og derved mindre enn alle de nevnte fettkildene i tabellen.

De ulike oljene har triacylglyceroler (TAG) med karakteristisk fettsyresammensetning, dominert av 18C mono- eller flerumettede fettsyrer (tabell 12). Til sammenlikning inneholder fiskeoljer store mengder langkjedete flerumettede n-3 fettsyrene 20:5 n-3 (eikosapentaensyre, EPA) og 22:6 n-3 (dokosaheksaensyre, DHA). Dette er den viktigste forskjellen mellom vegetabiliske og marine fettkilder, og det som vil være avgjørende for fremtidig bruk av planteoljer i fiskefôr.

**Tabell 11.** Vegetabiliske fettkilder i % av årlig produksjon (100.6 mill. tonn i 1998) og % av karakteriske fettsyrer (Hertampf og Piedad-Pascual, 2000).

Oljeplante	% av årlig produksjon	16:0	18:1	18:2 n-6	18:3 n-3
Soyabønner	24	9	27	57	6
Palme	19	42	36	9	-
Raps	12	2	34*	17	7
Solsikkefrø	9	5	27	57	<1
Jordnøtt	5	7	56	30	-
Bomullsfrø	4	22	25	49	1
Kokosnøtt	3	8**	5	3	-
Mais	2	10	35	51	<1
Oliven	2	14	70	9	1
Palmekjerne	2	19***	36	7	<1
Andre	18				

\* + 38 % 22:1 n-13 (eurukasyre) \*\* + 65 % 12:0;14:0 \*\*\*+ x % 10:0; 12:0;14:0

Laksefisk har som nevnt behov for om lag 1% n-3 flerumettede fettsyrer i fôret, men kan til en viss grad kjedeforlenge og desaturere 18:3 n-3 til de karakteristiske langkjedete og flerumettede EPA og DHA fettsyrene. Marine fiskeslag synes å ha begrensede muligheter til å omdanne fettsyrer og har behov for n-3 fettsyrer i form av EPA og DHA tilført gjennom fôret. Denne egenskapen hos laks kan eventuelt påvirkes gjennom fôringsregime og fôrets fettsyresammensetning, og derved få netto økt mengde langkjedete n-3 fettsyrer.

**Tabell 12.** Fettsyresammensetning i noen planteoljer (% av oljen)

Fettsyrer (%)	Planteolje <sup>1</sup>			
	Raps (Canola)	Linse	Soya	Havre <sup>2</sup>
C14:0	-	-	-	0,6
C16:0	3,3	3,3	8,6	18,9
C16:1 n-7	0,5	-	-	-
C18:0	1,2	2,3	2,6	1,6
C18:1 n-7	3,2	0,5	1,3	-
C18:1 n-9	<b>58,2</b>	14,1	22,5	<b>36,4</b>
C18:2 n-6	20,9	15,0	<b>58,1</b>	<b>40,5</b>
C18:3 n-3	10,3	<b>70,6</b>	6,2	1,9
C20:1 <sup>2</sup>	1,2	0,2	0,2	
C22:1 <sup>3</sup>	0,4	-	-	

Lipid klasser			
Σ mettede	5,3	5,9	12,0
Σ monoener	63,4	14,8	24,0
Σ PUFA <sup>4</sup>	31,2	85,6	64,3
Σ HUFA <sup>5</sup>	-	-	-
Σ n-3	10,3	70,6	6,2
Σ n-6	20,9	15,0	58,1
Ratio n-3/n-6	0,5	4,7	0,1

<sup>1</sup>Analysert ved AKVAFORSK; <sup>2</sup>Young og Püskülcü, 1976

<sup>3</sup>Sum n-7, n-9 og n-11; <sup>4</sup>2-4 dobbeltbindinger; <sup>5</sup>>4 dobbeltbindinger

Det er to viktige kriterier som må oppfylles for at vi helt eller delvis skal kunne erstatte fiskeoljer med vegetabiliske oljer som fettkilde i fiskefôr. For det første må fiskens behov for essensielle fettsyre dekkes slik at god vekst og optimal helse sikres. Det andre kriteriet er at man ikke forringer de ernæringsmessige egenskaper og kvaliteten til produktet. Det første innebærer at oljen har nok essensielle fettsyre, en optimal balanse mellom n-3/n-6 fettsyre og nok energigivende fettsyre. Det andre kriteriet krever at de ferdige oppdrettsproduktene inneholder høye nivå av flerumettede langkjedete n-3 fettsyre (EPA og DHA) som kjennetegner sjømat, og mindre av n-6 fettsyre og direkte energigivende fettsyre som det allerede er for mye av i vestlig kosthold.

En rekke forsøk med laksefisk og andre fiskeslag viser at det er mulig, helt eller delvis, å erstatte marine med vegetabiliske oljer, uten at dette går ut over vekst og fôrutnyttelse. De energigivende fettsyrene fra marine oljer (fra nordlige trakter) er ofte langkjedete monoener (20:1n-9 og 22:1n-11) som i prinsippet bør kunne erstattes med oljesyre (18:1 n-9). Selv om andelen av 18:1 fettsyren økes i produktet er dette en gunstig fettsyre i kostholdet (kanskje bedre enn fiskeoljens langkjedete monoener). Det er ikke vanskelig å dekke det grunnleggende behovet for n-3 fettsyre, gjennom de tilgjengelige fôrstoffene. Balansen mellom n-3 og n-6 fettsyre kan imidlertid utløse uønskete effekter på fiskens helse og fysiologi (Waagbø 1994). Dette er et område som i begrenset grad er studert, men noen få forsøk har vist at planteoljer i fiskefôr kan påvirke fiskens smoltifisering, immunologi, tarmfysiologi og motstand mot infeksjonssykdommer. Dette er forhold som kan knyttes til endringer i fisken celledmembraner og syntese av signalstoffer (eikosanoider).



Størst fokus og bekymring har det likevel vært på hvorledes ulike fettkilder påvirker fiskens kvalitet. Fettsyresammensetningen av fiskens filet blir tydelig påvirket av innslaget av n-6 plantefettsyrer i fôret (f. eks. Waagbø m.fl., 1993a). Bruk av ulike oljekilder kan også påvirke lukt og smak, men sensoriske evalueringer gir imidlertid ikke entydige svar på om fiskens kvalitet endres. Det er antydning endringer i fiskens tekniske kvalitet (holdbarhet, farge, egnethet for prosessering) som følge av endringer i fettkilde i fôret og fettsyresammensetning i produktet. Utnyttelsen av astaxanthin kan for eks. bli redusert ved bruk av planteoljer sammenlignet med bruk av n-3 rike fiskeoljer.

Fra en medisinsk synsvinkel betraktes forhøyete inntak av 18:2 n-6 fra vegetabiliske kilder som en viktig faktor for utvikling av livsstilssykdommer som hjertekar-lidelser, betennelsestilstander, kreft og nevrologiske lidelser. En stadig økende vitenskapelig bevismengde viser positive effekter av fiskeoljer (EPA og DHA) på disse tilstandene. Det bør derfor være et mål at fisk i oppdrett opprettholder en gunstige fettsyresammensetning med hensyn på "fiskefettsyrene" EPA og DHA,.

Man kan benytte ulike strategier for å erstatte fiskeoljer med plantefett i fiskefôr, dog i den grad det er mulig i forhold til å bevare fiskens helse, fysiologi og en akseptabel produktkvalitet. Man bør velge ut de mest egnede fettkildene som gir minst (n-6)-, mettede- og langkjedete monoumettede fettsyrer, og samtidig mest 18:3 n-3 og 18:1 n-9 fettsyrer. Gjennom fôringsstrategier kan man benytte innblanding av planteoljer i vekstfasen og deretter øke andelen n-3 fettsyrer frem mot slakting (matfiskfôr). Gjennom vekstsesongen bør man velge oljer, fôrsammensetning og fôringsregimer som sparer de marine n-3 fettsyrene, og øker forbrenning av energigivende fettsyrer. Det må avklares om man under spesielle betingelser også kan øke fiskens kapasitet til elongering og desaturering av 18:3 n-3 fra plantefett til EPA og DHA.

Man har oppnådd endret fettsyresammensetning av planteoljer gjennom genmodifisering av planten. Det gjenstår å se om det er mulig å få land- eller vannplanter til å øke innholdet av n-3 fettsyrer og redusere innholdet av n-6 fettsyrer i henhold til hva som er gunstig for fisken.

## **Karbohydrater som følger med vegetabiliske proteinkilder**

Karbohydrater i planteråvarer finnes som stivelse, sukrose,  $\alpha$ -galaktosider (oligosakkarider av raffinosefamilien) og fiber (Hemre, 2001). Fiber og  $\alpha$ -galaktosider er ufordøyelige, og reduserer derfor fôrutnyttelsen. Viskøse og løselige fibre kan dessuten redusere fordøyelse og absorpsjon av andre næringsstoffer. Høyt fiberinnhold er følgelig ugunstig i fiskefôr. Karbohydratråvarer, hovedsakelig mais og hvete, brukes som bindemiddel og for å gi en teknisk egnet struktur ved ekstrudering av fôr, slik at fett kan trenge inn i pelletten.

Laksefisk og andre karnivore kaldtvannssarter har liten evne til fordøyelse av rå stivelse. Fordøyeligheten av stivelse bedres betraktelig ved forklistring (varmebehandling). Mer enn 15% fordøyelig stivelse i fôret kan imidlertid medføre abnorm deponering av glykogen i leveren og redusert leverfunksjon hos regnbueørret (Hilton og Dixon, 1982; Dixon og Hilton, 1985).

Norske fiskefôr inneholder i dag omkring 10-12% lett fordøyelig stivelse (tabell 1). Det er viktig at man ved valg av vegetabiliske proteinkilder også tar hensyn til kvaliteten av

karbohydratene som følger med. Man må forsøke å beholde de tekniske egenskapene til fôrproduksjonen og ikke få redusert fôrutnyttelse gjennom forhøyet fiberinnhold.

## **Aktuell vegetabilsk råvareproduksjon i Norge**

Belgvekstene erter og åkerbønner (også kalt bønnevikke, hestebønne og fababønne) dyrkes i temperert klima, deriblant i EU og Norge. Innholdet av råprotein er 20-25 % i erter og 25-30 % i bondebønner. Erteproteinkonsentrat er en god proteinkilde for laksefôr om fôret tilsettes metionin (Carter og Hauler, 2000). Tørre erter og bondebønner inneholder henholdsvis  $\approx 45$  og  $\approx 40\%$  stivelse, og er derfor mest interessante som kombinerte stivelses- og proteinkilder i fôr til laksefisk. Frøskallene er særlig fiberrike (Maaroufi m.fl., 2000) og disse bør følgelig fjernes. Stivelsen er kompleks, og er knyttet til fiberfraksjonen. Rå stivelse fra erter og bondebønner er derfor tungt fordøyelig for fisk (Gouveia m.fl., 1993; Pfeffer m.fl., 1995; Gouveia og Davies, 1998). Fordøyeligheten av stivelsen forbedres dramatisk ved forklistring, som for eks. ved ekstrudering.

For belgvekster er det stor variasjon mellom ulike sorter og modningsgrader i innhold av næringsstoffer og stoffer som forstyrrer fordøyelsen. Erter og bondebønner inneholder trypsinhemmere og enkle ufordøyelige sukkerarter, men i betydelig mindre mengder enn f.eks. soya (Back-Knudsen, 1997; Pisulewska og Pisulewski, 2000). Som soya kan de inneholde allergifremkallende proteiner, som kan fremkalle tarmbetennelse hos laksefisk. Dette bør undersøkes for alle belgvekster før de tas i bruk fôr til fisk.

Både tilgjengelighet, næringsinnhold og muligheter for å fjerne uønskete stoffer med enkle grep gjør at erter og bondebønner har et potensial som høykvalitets råvarer i fôr til laksefisk.

Vanlige norske sorter av havre har en svært fiberrik skallfraksjon som utgjør 25-35 % av frøvekten. Skallet lar seg imidlertid lett fjerne, og det finnes skallfrie sorter. Sammenliknet med mais- og hveteprotein har protein fra havre høy kvalitet som proteinkilde til fiskefôr (tabell 9). Dette skyldes at lagerproteinet i havre i hovedsak består av saltløselige globuliner med høyt innhold av lysin og metionin, mens lagerproteinet i andre kornsorter består hovedsakelig av alkoholløselige prolaminer som inneholder lite av disse aminosyrene (Drapner, 1973; Peterson, 1976). Foredling mot høyere proteininnhold i havre medfører derfor liten forringelse av proteinkvaliteten, mens dette er et stort problem med andre kornsorter. De største problemene med havre som råvare til fiskefôr er dårlig teknisk stivelseskvalitet, lavt innhold av protein ( $\approx 17\%$ ) og olje ( $\approx 7\%$ ), og relativt mye linolsyre i oljen ( $\approx 40\%$ ; tabell 8 og 12), og høyt innhold av viskøse mixed-linked (1-3)(1-4)- $\beta$ -D-glukaner ( $\approx 4\%$ ; Bach-Knudsen, 1997). Det finnes havresorter med opptil 24 % protein (Robbins m.fl., 1971) eller 12 % olje (Brown og Craddock, 1972) i avskallede korn.

Stivelsen bør modifiseres for å forbedre de tekniske egenskapene ved ekstrudering. Det kan være et visst potensial for å forbedre de tekniske egenskapene til karbohydratene og redusere glukane gjennom foredling, eventuelt isolere og konsentrere protein- og oljefraksjonene fra havre. Fettsyresammensetningen i havreoljen kan muligens forbedres ved foredling for høyere innhold av oljesyre og lavere innhold av linolsyre.

## 6.4 Biprodukter fra landdyr

Biprodukter fra varmblodige dyr representerer i utgangspunktet en betraktelig råstoffkilde. Men historisk sett har biprodukter fra landdyr ikke vært benyttet i noen særlig utstrekning til fiskefôr i Norge. I dagens situasjon hvor fare for førbåren overføring av sykdommer mellom husdyr er satt på den internasjonale dagsorden, blir bruken av biprodukter fra landdyr til fôr for våre arter i oppdrett lite aktuell. Vi har ingen kunnskap i dag som tilsier muligheter for overføring av smittsomme sykdommer til fisk ved bruk av biprodukter fra landlevende dyr. Markedet og forskrifter setter i dag en barriere mot bruk av biprodukter fra varmblodige dyr.

Medlemmene i Fiskefôrproducentenes forening i Norge har siden 1997 fulgt et selvpålagt forbud mot bruk av slakteavfall i fiskefôr. Begrunnelsene for dette er basert på et føre-var-prinsipp med tanke på smitteoverføring og markedets frykt for spredning av smittestoffer som kugalskap til oppdrettsfisk. På linje med EU kommisjonen har Norge fra 2001 innført midlertidig forbud mot bruk av animalske biprodukter i fôr til husdyr og fisk. Som et effektivt forebyggende tiltak mot smittespredning kan man forvente at dette tiltaket vil utvikles mot et videre forbud mot visse typer biprodukter. Parallelt har Norge vedtatt en forskrift av 16.5.2001 om *forbud mot bruk av visse animalske avfallsprodukter i fôr til produksjonsdyr*. Forskriften differensierer mellom avfall/biprodukter fra dyr som er slaktet for humant konsum og fra dyr som dør eller blir avlivet på produksjonsstedet. Dette harmonerer med fremtidig klassifisering av marine biprodukter.

På bakgrunn av dette vil eventuell framtidig bruk av animalske biprodukter kan være i raffinerte former som sannsynligvis ikke vil være økonomisk konkurransedyktige sett opp imot de alternativer man vil få for havbruk. Man bør av den grunn ikke regne med animalske råvarer som aktuelle for oppdrett i framtiden.

## 6.5 Industrielt produserte eller forandrete fôrmidler

### Encelleprotein

I flere tiår har det vært produsert sopp- eller bakterieprotein for bruk i dyrefôr. Voksemediet har vært forskjellig og erfaringene med produktene har variert, men flere typer vist seg å ha et potensial som proteinkilde. Produksjonen for de fleste typer har imidlertid vist seg å være ulønnsom og produksjonen har opphørt. De største betenkeligheter knyttet til encelleprotein har vært hvilke fysiologiske effekter nukleinsyrefraksjonen i produktene kan ha.

Bakterieprotein (BioProtein) produseres ved fermentering hvor naturgass (metan) løses i vann, og den kvantitativt viktigste bakterien i prosessen er en alminnelig forekommende aerob jord- og vannbakterie av typen *Methylococcus*. Produksjonen foregår på et anlegg på Tjeldbergodden, foreløpig i en linje med kapasitet på 10 000 tonn i året. Organismene som benyttes i prosessen er ikke genmodifisert, og bare gass, vann, plantenæring og energi tilføres. Bakterieprotein bør derfor være et velegnet fôrmiddel for framstilling av "ren" mat. BioProtein har fått EU-godkjenning for bruk i fôr til laksefisk.

BioProtein har en kjemisk sammensetning som ligner fiskemel, med høyt innhold av protein (70 %), fettinnhold på omlag 10% og 10 % karbohydrater. Kjemisk sammensetning er konstant, slik at produktet er en forutsigbar komponent i fôrblandinger. Aminesyreprofilen er likner den i fiskemel, med noe mindre lysin og mer tryptofan (Skrede m. fl., 1998). BioProtein har blitt benyttet i fôringsforsøk med laks. Proteinfordøyelighet var noe lavere enn hva som er tilfelle for LT fiskemel (Storebakken m. fl., 1998). I motsetning til vegetabiliske proteinfôrmidler, inneholder ikke BioProtein antinæringsstoffer som forstyrrer opptak av næringsstoffer fra tarmen. BioProtein påvirker dermed heller ikke passasjehastighet gjennom tarmen i sammenligning med fiskemel, og i motsetning til for eksempel soyamel (Storebakken m. fl., 1999). Histopatologiske forandringer har ikke blitt oppdaget i laks som har fått fôr med BioProtein. BioProtein har vist seg å gi vekst tilsvarende LT fiskemel ved innblanding opp til 25% i fôret. Ved moderat innblanding (ca. 12,5%) har BioProtein stimulert fôropptak, og dermed gitt bedre vekst enn fôr med bare LT-fiskemel. Hypotesen er at dette kan tilskrives nukleinsyrefraksjonen. BioProtein i fôret har ikke ført til merkbare endringer i organoleptisk kvalitet hos laks. BioProtein bidrar positivt til fôrets tekniske egenskaper ved fôrframstilling, selv ved så lave innblandingsnivåer som 2,5 – 5 % (Storebakken m. fl., 2001). Denne typen encelleprotein eller andre nye produkter vil derfor kunne bidra betydelig til proteinforsyningen i fiskefôr i årene framover.

## **Genmodifiserte (GMO) råvarer**

I følge prognosene kan man forvente et økende innslag av vegetabiliske råvarer i fôr til marine organismer i oppdrett. Globalt er en stor andel av de tilgjengelige vegetabiliske fôrvarer i dag fra genmodifiserte (GMO) planter, anslagsvis 50 % av produsert soya. Omlag 40 GMO nærings- og fôrmidler er godkjent i ulike OECD land. Egenskapene som er blitt endret ved genmodifisering av planter er først og fremst knyttet til økt produksjon, bedre dyrkingsbetingelser, modningsprosesser, holdbarhet og økt motstand mot sykdom og ugressmidler. Av de produktene som foreligger er det få som er endret med tanke på næringsinnhold. Genteknologi åpner muligheter for å produsere 2. generasjons GMO produkter som vil være mer egnet enn dagens vegetabiliske råvarer, spesielt med tanke på forbedring av næringsverdi og fravær av uønskete egenskaper.

Fra vitenskapelig såvel som forbruker hold er det reist spørsmål om trygghet for fisk, miljø og menneskets helse ved bruk av GMO fôr og næringsmidler. Et utvalg nedsatt av Sosial- og helsedepartementet kom i oktober 2000 ut med en NOU om helsemessige konsekvenser ved bruk av GMO næringsmidler og næringsmiddelingsredienser (NOU 2000:29). Her defineres og behandles begrepet risiko i forbindelse med GMO og hva et føre-var prinsipp innebærer i denne sammenheng. Frykten for helseskade bygger blant annet på biologiske forsøk der man fant DNA sekvenser fra transgen Bt-mais i organer hos produksjonsdyr (Klotz & Einspanier, 2000). I Round-up Ready™ soyabønner (Monsanto, USA) som er verdens mest viktige GMO produkt er det fra produsenten sagt at man kan forvente 25 % økning i antinæringsstoffer. Andre biologiske forsøk på rotter indikerer at GMO produkter kan påføre endringer i organer (Ewan & Pusztai 1999).

Norge har innført merkekrav for bruk av godkjente GMO råvarer i fiskefôr (Forskrift om fôrvarer til fisk, Fiskeridepartementet 1999) og kontrollerer råvarer og fullfôr med hensyn på dette. Det er et generelt forbud mot produksjon, import og salg av næringsmidler og fôringredienser som inneholder gener for antibiotikaresistens. Man finner de samme merkekrav innen EU på næringsmidler.

Man kan i dag produsere fiskefôr som er fri for GMO råvarer, men man må forvente at utvelgelse av GMO frie fôrvarer over tid vil gi seg utslag i økte produksjonskostnader. Dette vil imidlertid avhenge av den globale utviklingen av GMO produksjon og aksept i markedet for bruk av disse råvarene. Per i dag er det en avventende, men restriktiv holdning til bruk av GMO råvarer i fiskefôr. Det er også antydning at produsentene av GMO råvarer i Amerika lett kan dreie mot normal GMO fri produksjon om markedet forlanger det.

Genmodifiserte ingredienser inkluderer oljer fra GMO planter, og en rekke oljer er tilgjengelige. Man må forvente at vegetabiliske oljer til en viss grad kan dreies mot en mer gunstig eller ønsket fettsyresammensetning ved hjelp av genmodifisering. Eksempler viser at man f.eks. kan øke oljesyreinnholdet til 70-80 % i solsikkeolje (Loders Crokian Inc.USA, Higgs & Dong, 2000). I forsøk med laks ble det ikke påvist endringer i proteinutnyttelse eller mitokondriell forbrenningskapasitet ved bruk av en modifisert solsikkeolje (Torstensen et al., 2001). Avhengig av oljens renhet vil det være mindre usikkerheter knyttet til risiko for fiskens og forbrukernes helse. Selv om oljer også i følge fiskefôrforskriften er underlagt merking er det i dag ingen metode for å bestemme og kontrollere bruk av GMO oljer.

Mikroorganismer er aktuelt som alternative råstoff i akvakultur (se eget avsnitt om encelleprotein). Her kan genmodifisering benyttes for å produsere fôringredienser og tilsetningsstoffer (vitaminer, pigmenter etc.) med spesielle ernæringsmessige egenskaper. Når det gjelder tilsetningsstoffer kan man tenke seg syntese av ulike aminosyrer for å komplettere vegetabiliske proteinkilder, enzymer for å bryte ned antinæringsstoffer som fytat, tilgjengelige vitaminer og smaksstoffer.

Problemstillinger knyttet opp mot bruk av GMO råvarer inkluderer både analytiske utfordringer, og mulige virkninger og risiki knyttet til fiskehelse, miljø og forbrukertrygghet. Kontroll av GMO i fôr og fôrvarer innbefatter kvalitative (hvilken type GM produkt) og kvantitativ analyse. Den kvantitative (eg. semi-kvantitative) analysen av GMO i fôringredienser blir i dag gjort ved DNA-ekstraksjon, PCR amplifisering ("polymerase chain reaction") ved bruk av spesifikke primere, etterfulgt av elektroforese.

Det er viktig å få avklart interaksjoner mellom fôrbåret DNA og mikroorganismer i tarmen og miljøet, og eventuell spor i produktet. Man kan tenke seg at den ønskete endring i genmaterialet inkluderer uønskete gensekvenser som kan gi negative effekter. GM fôrvarene godkjennes ofte etter sammenlikning med umodifiserte næringsmidler ("substantial equivalence"), men risiko knyttet til antinæringsstoffer, toksiner og eventuelle produkt av uønskete gensekvenser er lite studert. Det er derfor flere faktorer med en genmodifisering som kan gi uforutsigbare effekter. Gensekvensen kan uttrykke toksiske protein/allergener, endre uttrykket av andre gener, gi økt toksisitet eller uttrykk av stille gener, endre mikrobiell adferd og eventuelt overføres mellom organismer (bakterier, dyr, humant).

## **6.6 Etiske aspekter ved bruk av høyverdige marine ressurser som fôrmidler**

Det er stadig økende fokus på etiske aspekter ved havbruk (Hansen, 2001; Måge & Damsgård, 2001). I denne sammenheng innbefatter dette ressursbruk, forurensing og etisk produksjon. Fra ulikt hold fremmes det spørsmål om intensivt havbruk er bærekraftig, og om det er ressursvennlig å bruke en høyverdi proteinkilde som fisk representerer til produksjon av fisk til godt betalende markeder i den industrialiserte verden.

Produksjon av fisk representerer en langt gunstigere proteinproduksjon i forhold til annet husdyrhold. Videre benyttes industrifisk og biprodukter som råstoff, som ofte ikke er egnet for direkte humant konsum. Globalt sett utgjør en potensiell økt utnyttelsesgrad til humant konsum på 50 % av de om lag 100 mill tonn fisk som er tilgjengelig i verden, et relativt lite potensial til å dekke energi- (1,1 %) og proteinbehov (5,7 %) i verdens befolkning (Hansen, 2001). Det er likevel klart at det ligger et etisk press på å benytte alternative råstoff av lavere kvalitet til oppdrett, og øke andelen marine råvarer direkte til humant konsum.

## 7. FoU-utfordringer

Veksten i havbruksnæringen i nyere tid har medført en sterkt økende etterspørsel etter rimelig fôr av god kvalitet. I Norge drives hovedsakelig intensivt oppdrett av karnivore fiskeslag som laks og ørret, og disse har næringsbehov som i dag dekkes gjennom marine fôrressurser. Andelen av fangst i verdens fiskerier som går til produksjon av fiskemel og –olje har nådd et tak. I Norge går mengde mel og olje tilsvarende all landet industrifisk til fiskefôr. I år med lite marine ressurser på verdensmarkedet har det vist seg at det blir et underskudd på marint fett til bruk i fiskefôr. Dette var tilfelle i 1998 da værphenomenet El Niño i Sør-Amerika forårsaket drastisk reduksjon i det pelagiske fisket i Chile og Peru. Vi må være forberedt på liknende naturlige svingninger i ressurstilgangen, men også på politiske vedtak som kan fordreie ressurssituasjonen.

### Behov for fôrvarer

Nasjonalt er havbruksnæringen pekt ut som et av vekstområdene som skal bli en bærebjelke i norsk økonomi etter oljen. Produksjon av oppdrettslaks startet i Norge på begynnelsen av 1970-årene. I løpet av 1980-årene spredte den seg, hovedsakelig til Chile, Canada, Skottland, Irland og Færøyene. I 1980 var årsproduksjonen i verden mindre enn 10 tusen tonn. I 1998 var den nær 0,7 millioner tonn, nær en million tonn i 2000, og forventes å vokse til omtrent 2 millioner tonn i 2010 (International Salmon Producer's Association, 1998). Ut fra dagens tall for fôrutnyttelse utgjør dette et forventet fôrbehov på mer enn 2 millioner tonn i år 2010. Dette betyr at det blir viktig å forberede produksjon og marked på bruk av alternative fôrmidler, herunder marine ressurser høstet på lavere trofisk nivå i næringskjeden, marine biprodukter, vegetabiliske protein- og oljekilder, samt industrielt framstilte fôrvarer.

### Forbedring av dagens produksjon

Gjennom utviklingen av laksenæringen i Norge har vi fått demonstrert det forbedringspotensialet som ligger i avl, fôrutvikling, oppdrettsbetingelser og vaksiner for økt vekst, forbedret fôrutnyttelse og sykdomsresistens og redusert tidlig kjønnsmodning. Det ligger fortsatt et betydelig uutnyttet forbedringspotensial, som kan hentes ut gjennom tverrfaglig forskning, spesielt innen fôrutnyttelse. Forskningbehov kan oppsummeres slik:

- Vekst og fôrutnyttelse kan forbedres gjennom bedre eller optimalisert fôrsammensetning i forhold til årstid
- Det er behov for kunnskap om næringsbehov og faktorer som styrer eller påvirker fordøyelse, opptak og utnyttelse av næringsstoffer fra fôret
- Det er behov for mer dokumentasjon angående effekter av olje- og proteinkilder på fiskens helse, fysiologi og produktkvalitet
- Det er et potensial for å forbedre retensjon av protein og n-3 flerumettetede fettsyrer, på bekostning av energigivende mettede og monoumettede fettsyrer
- Eksisterende og alternative fôrproduksjonsteknologier kan benyttes til å oppnå reelle forbedringer mot mer miljøvennlige og effektive fôrprodukter
- Det er behov for økt fokus på fôrutnyttelse i avlsarbeidet

## **Matvaretrygghet og produktkvalitet**

Havbruk er blant Norges største eksportnæringer, hvor mer enn 90 % av laksen eksporteres. Det betyr at produktene må tilfredsstillende markedets ønsker og krav med tanke på trygghet, teknisk-, sensorisk- og næringsmiddelkjemisk kvalitet, samt pris og tilgjengelighet. Alle ressurser som skal benyttes i havbruk skal være trygge med hensyn på uønskete stoffer, herunder smittestoffer, miljøgifter og naturlig innhold av skadelige stoffer. Nasjonale og internasjonale regelverk setter grenser for høyeste innhold av uønskete stoffer, noe som vil ha stor betydning for bruk av marine råvarer som anses som høyverdige i dag, herunder fiskemel og – olje, marine biprodukter og alternative marine ressurser. I sin ytterste konsekvens kan dette innebære at betydelige mengder marine ressurser utelukkes som fôrvarer. Grunnlaget for fastsettelse og revisjon av grenseverdier er og blir basert på dokumenterte fakta og forskning.

Det forutsettes videre at sjømat fra havbruk også i fremtiden vil ha en helsefremmende sammensetning av særegne næringsstoff. Dette krever basiskunnskap om hvorledes næringsstoffer og uønskete stoffer i fôret påvirker produktets innhold og kvalitet. På dette grunnlaget vil det kunne velges egnede råvarer for framstilling av fôr. I hovedsak vil forskning omhandle sunne næringsstoffer som vi ønsker å øke i vårt kosthold, uønskete stoffer (fremmedstoffer, miljøgifter), samt mulighetene til å styre kvalitet og sammensetning ("product tailoring") i forhold til preferanser og krav i ulike marked. Dette vil innebære forskningsinnsats for å:

- beholde den særegne sammensetning av næringsstoffer
- hindre introduksjon av uønskete stoffer gjennom nye fôrårstoffer
- redusere miljøgifter som for eksempel dioksin og PCB, gjennom rensing av marine oljer fra belastede geografiske områder og fra biprodukter
- klarlegge styringsparametre for markedsdifferensiering som vil være avgjørende for introduksjon av nye fôrvarer

## **Utnyttelse av nasjonale og internasjonale marine ressurser til arter i oppdrett**

Det er viktig å ta i bruk det betraktelige potensialet av uutnyttede ressurser fra havet som alternative fôrressurser til oppdrett. For å kunne fange og benytte organismer som er lavere i næringskjeden (dyreplankton, bløtdyr) er det nødvendig å øke kunnskapen om hvilke arter og bestander som kan høstes og i hvilken grad disse kan beskattes i forhold til arter som naturlig beiter på disse. Det vil også stilles nye krav til fangstteknikk og kunnskap om selektivitet i fisket på blandete forekomster innenfor de lavere trofiske nivå. Det er også viktig å få avklart egnethet i forhold til fiskens helse og produktkvalitet.

Marine biprodukter utgjør et naturlig bidrag som fôrressurs. Disse blir i dag relativt godt utnyttet på nasjonalt plan, men utgjør et stort potensial mot produksjon av mel og olje globalt. Det vil være politiske mekanismer som vil bestemme bruken av marine biprodukter, hvor matvaretrygghet er en dominerende utfordring. Materialets natur tilsier at vedtatte øvre grenseverdier for uønskete stoffer lett kan overskrides. Det kan derfor bli aktuelt å måtte rense marine oljer for organiske miljøgifter. En inndeling av biprodukter i foreslåtte kategorier vil avgrense denne ressursen til å kun omfatte biprodukter fra fisk som går til humant konsum.

De viktigste momentene i utviklingen av et forvaltningssystem og en bærekraftig fangst og utnyttelse av marine ressurser vil være:



- Vurdering av nye ressurser med hensyn på egnethet som fôrråstoffer til akvakultur og gi vitenskapelige grunnlag for eventuelt å tilpasse fôrlovgevingen til bruk av alternative marine ressurser
- Utvikling av metoder for mengdemåling av dyreplanktonet, og kartlegge internasjonale ressurser (for eksempel krill i Antarktis) med henblikk på norsk fangst og utnyttelse
- Biologisk (fangst, adferd, gyting) og teknologisk forskning for å fremme utnyttelse av nye marine ressurser
- Utvikling av økologiske forvaltningsmodeller basert på studier av økologiske konsekvenser av høsting på lavere trofisk nivå
- Vurdering av økt utnyttelse og egnethet av biprodukter og utsortert bifangst til fiskemel og -olje, eller andre spesialprodukter (jfr. bioprospektering)
- Videreutvikling av alternativ produksjonsteknologi som kan produsere rimelige og gode fôr basert på biprodukter
- Kartlegging av fare for smittespredning og innhold av uønskete stoffer i marine biprodukter og utvikle prosesser for eventuelt å fjerne uønskete stoffer gjennom rensing (av for eksempel oljer)
- Vurdering av de etiske aspekter med tanke på bruk av høyverdige marine ressurser til oppdrett

## **Utnyttelse av vegetabiliske og industrielt produserte fôrvarer**

Vegetabiliske fôrmidler er forskjellig fra marine råvarer med hensyn på innhold av hovednæringsstoffer, og aminosyre- og fettsyresammensetning. Dessuten inneholder disse kildene en rekke antinæringsstoffer (fiber, fytat, proteasehemmere, lektiner o.a.) som både påvirker fiskens utnyttelse av fôret samt at disse kan påføre fisken skader. Utfordringene med hensyn på bruk av vegetabiliske fôrmidler blir derfor å opprettholde god vekst, godt fôrinntak og god fordøyelighet, og samtidig ivareta fiskens helse og produktkvalitet (fettsyreinnhold, farge og teknisk kvalitet). De samme forholdene gjelder industrielt framstilt bioprotein.

Mange forhold omkring fôrsammensetning og -utnyttelse trenger en avklaring før vi har kontroll med bruk av alternative protein- og fettkilder i fiskefôr, blant annet vurderinger av strategier for bruk av alternative fôrråstoffer gjennom komplettering av ubalanserte proteinkilder, samt forsvarlige regimer for innblanding av fettkilder i forhold til produksjonssyklus.

For enkelte vegetabiliske råvarer vil produksjonen inneholde en betydelig andel GMO produkter. Havbruksnæringen og markedet har generelt en skeptisk holdning til bruk av GMO i fiskefôr. Det er pekt på en rekke problemstillinger som bør følges opp med forskning fra fôr til produkt.

Forskningsinnsats vil innbefatte:

- Klargjøring av betydningen av nye fôrråstoffer på fiskens fysiologi, helse, velferd og matkvalitet
- Vurdering av egnethet og tilgjengelighet av nasjonale og internasjonalt tilgjengelige vegetabiliske ressurser
- Utvikling av kostnadseffektive teknologiske løsninger som eliminerer aktuelle antinæringsstoffer

- Evaluering av trygghet av prosesserte og isolerte næringsstoffer (protein, fett, karbohydrater eller mikronæringsstoffer) fra GMO råstoff, og deres eventuelle effekter på fordøyelse, fiskens metabolisme, fiskehelse og produktkvalitet
- Modifisering av planteoljer med tekniske tiltak (raffinering, genmodifisering) for å øke innholdet av n-3 fettsyrer og redusere innholdet av n-6 fettsyrer i henhold til hva som er gunstig for fisken
- Utvikling av fôringsstrategier med blanding av vegetabiliske og marine oljer for å bevare en ønsket produktkvalitet
- Vurdering av miljøbelastninger ved bruk av vegetabiliske proteinkilder

#### *Andre arter i oppdrett*

Vi står sannsynligvis overfor tilsvarende utvikling for torsk og kveite over de neste 20 år som vi hadde for laks tidlig på syttitallet. Oppdrett av torsk vil kreve magrere fôrvarer enn dagens laksefôr, mens kveite og røye vil konkurrere med laks om de samme ressursene på olje og protein. Det ligger betydelige utfordringer i:

- Produksjon av kostnadseffektive vekstfôr til magre fiskearter som torsk
- Vurdering av nye arter som avtakere for biprodukter fra f.eks. lakseoppdrett

For å dekke de framtidig behov for fôrressurser som er nevnt kreves det langsiktig forskningsinvestering med oppbygging av kunnskap innen de gitte felt. På den måten kan vi oppnå en robust, mer fleksibel og trygg havbruksnæring i vekst. Tabell 13 illustrerer potensialet i foreslåtte tiltak og alternative fôrressurser, og tiden det vil ta før vi kan regne med full effekt av alternativene. De ulike tiltakene utenom økt tilgang på marint råstoff, vil ikke direkte kunne akkumuleres, men en dobling av produksjonen burde være innen rekkevidde i løpet av 10 til 15 år.

**Tabell 13.** *Forsøk på å kvantifisere og tidfeste en ekspansjon i produksjon av norsk oppdrettsfisk med utgangspunkt i dagens produksjon og sammensetning av fôr. Referanse: den produksjon som kan oppnås uten å endre fôrsammensetning.*

	<b>Produksjon (%)</b>	<b>Tidsperspektiv i år</b>
Økt fangst av "nye" marine ressurser*)	ukjent, men stort	20-25
Forbedret utnyttelse av marine biprodukter	20	3-5
Bruk av vegetabiler	30	10-15
Bruk av encelleprotein	50	5-10
Forbedret avlsmateriale	15	12-15
Forbedret behovskjennskap	15	10-15
Forbedret oppdrettsteknologi	15	5-10
Fôrteknologisk oppgradering	15	3-10
Bruk av bioteknologi	ukjent, men stort	5-25

\*) krill, amfipoder, plankton, blekksprut o.a.

I de siste årene har forskningen innen oppdrettsnæringen blitt for usammenhengende. Dessuten har enkelte fagområder aldri fått komme skikkelig i gang. Dette skyldes delvis den generelle prioritering av "fancy" forskning og dreiningen mot mer brukerstyrt forskning. Innen oppdrettsforskningen har den optimistiske satsingen på "nye" arter vært en hemsko for fornuftig satsning på laksefisk. Det har resultert i at en del grunnleggende og langsiktig forskning som ikke raskt gir økonomiske fordeler for den enkelte bruker er tilsidesatt. Det som gagnar hele næringen og norsk oppdrettsnæring samlet må derfor prioriteres sterkere framover. For de nevnte forskningsfeltene må vi kunne legge en plan

og gjennomføringsstrategi som ligger rimelig fast de neste 15-20 årene. Det kan gi stabilitet innen forskningen og resultater som virkelig kan bety noe for den forventede veksten i næringen.

# Litteraturhenvisninger

- Akiyama, T., Unuma, T., Yamamoto, T., Marcouli, P. & Kishi, S. 1995. Combination use of malt protein flour and soybean meal as alternative protein sources of fish meal in fingerling rainbow trout diets. *Fisheries Sci.* 61, 828-832.
- Aksnes, A. 1995. Growth, feed efficiency and slaughter quality of salmon, *Salmo salar* L., given feeds with different rations of carbohydrate and protein. *Aquacult. Nutr.* 1, 241-248.
- Aksnes, A. & Mundheim, H. 1997. The impact of raw material freshness and processing temperature for fish meal on growth, feed efficiency and chemical composition of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture* 149, 87-106.
- Aksnes, A., Hjertnes, T. & Opstvedt, J. 1996. Effect of dietary protein level on growth and carcass composition in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture* 145, 225-233.
- Aksnes, A., Izquierdo, M.S., Robaina, L., Vergara, J.M. & Montero, D. 1997. Influence of fish meal quality and feed pellet on growth, feed efficiency and muscle composition in gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 153, 251-261.
- Aksnes DL & Blindheim J 1996. Circulation patterns in the North Atlantic and possible impact on population dynamics of *Calanus finmarchicus*. *Ophelia*, 44, 7-28.
- Andorsdottir, G., 1986. Protein quality, methionine supplementation and fat levels in starter diets for salmon fry. Hovedoppgave ved Universitetet i Oslo, 109 s.
- Anderson, R.L. & Wolf, W.R. 1995. Compositional changes in trypsin inhibitors, phytic acid, saponins and isoflavones related to soybean processing. *J. Nutr.* 125, 581S-588S.
- Anderson, J.S., Lall, S.P., Anderson, D.M. & Chandrasoma, J. 1992. Apparent and true availability of amino acids from common feed ingredients for Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in sea water. *Aquaculture* 108, 111-124.
- Anderson, J.S., Lall, S.P., Anderson, D.M. & McNiven, M.A. 1993. Evaluation of protein quality in fish meals by chemical and biological assays. *Aquaculture* 115, 305-325.
- Anderson, J.S., Lall, S.P., Anderson, D.M. & McNiven, M.A. 1995. Availability of amino acids from various fish meals fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 138, 291-301.
- Austreng, E., 1979. Fett og protein i fôr til laksefisk. VI. Fordøyelighet og fôrutnyttelse hos regnbueaure (*Salmo gairdneri*, Richardson) ved ulikt fettinnhold i fôret. *Meld. NLH*, 58(6), 12s.
- Austreng, E., Skrede, A. & Eldegard, Å. 1979. Effect of dietary fat source on the digestibility of fat and fatty acids in rainbow trout and mink. *Acta Agric. Scand.*, 29, 119-126.
- Bach-Knudsen, K.E., 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant material used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 67, 319-338.
- Baeverfjord, G. & Krogdahl, Å. 1996. Development and regression of soybean meal induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish. *J. Fish Dis.* 19, 375-387.
- Berge, G.E., Lied, E. & Sveier, H. 1997. Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*): the requirement and metabolism of arginine. *Comp. Biochem. Physiol.* 117A, 501-509.
- Berge, G.E., Sveier, H. & Lied, E., 1998. Nutrition of Atlantic salmon (*Salmo salar*); the requirement and metabolic effect of lysine. *Comp. Biochem. Physiol.* 120A, 477-485.
- Berge, G.M. & Storebakken, T. 1991. Effect of dietary fat level on weight gain, digestibility, and fillet composition of Atlantic halibut. *Aquaculture* 99, 331-338.
- Berge, G.M., Krogdahl, Å., Strømsnes, Ø., Grønseth, F.A., Myhre, P. & Austreng, E., 1991. Digestibility determination in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Fisk. Dir. Skr. Ser. Ernæring* 4, 117-125.
- Berge, G.M., Grisdale-Helland, B. & Helland, S.J. 1999. Soy protein concentrate in diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture* 178, 139-148.
- Bjørke H & Gjøsæter H. 1998. Who eats the larger *Gonatus fabricii* (Lichtenstein) in the Norwegian Sea. *ICES CMM*: 10.
- Brown, C.M. & Craddock, J.D. 1972. Oil content and groat weight of entries in the world oat collection. *Crop Sci.* 12, 514-515.
- Buddington, R.K., Krogdahl, Å. & Bakke-McKellep, A.M., 1997. The intestines of carnivorous fish: structure and functions and the relation with diet. *Acta Physiol. Scand.* 161, Suppl. 638, 67-80.
- Budavari, S., O'Neil, M.J., Smith, A. & Heckelman P.E. (Ed.) 1989. The Merck Index. An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals. Eleventh edition. Merck & Co., Inc., Rahway, NJ, USA, 1606 s + tabeller og vedlegg.

- Bureau, D.P., Harris, A.M. & Cho, C.Y. 1998. The effect of purified alcohol extracts from soy products on feed intake and growth of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*O. mykiss*). *Aquaculture* 161, 27-43.
- Burel, C., Boujard, T.; Kaushik, S.J.; Boeuf, G.; Van Der Geyten, S.; Mol, K.A.; Kuhn, E.R.; Quinsac, A.; Krouti, M.; Ribaillier, D 2000. Potential of plant-protein sources as fish meal substitutes in diets for turbot (*Psetta maxima*): growth, nutrient utilisation and thyroid status. *Aquaculture* 188, 363-382.
- Cain, K.D. & Garling, D.L. 1995. Pretreatment of soybean meal with phytase for salmonid diets to reduce phosphorus concentrations in hatchery effluents. *Prog. Fish-Cult.* 57, 114-119.
- Caldwell, R.A. 1992. Effect of calcium and phytic acid on the activation of trypsinogen and the stability of trypsin. *J. Agric. Food Chem.* 40, 43-47.
- Carter, C.G. & Hauler, R.C., 2000. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture* 185, 299-311.
- Cheeke, P.R. 1971. Nutritional and physiological implications of saponins: a review. *Can. J. Anim. Sci.* 51, 621-632.
- Dalpadado P, Ellertsen B, Melle W. & Skjoldal HR 1998. Summer distribution patterns and biomass estimates of macrozooplankton and micronecton in the Nordic Seas. *Sarsia*, 83: 103-116.
- Dalpadado P, Borkner N, Bogstad B. & Mehl S. Distribution of *Themisto* (Amphipoda) spp. in the Barents Sea and predator-prey interactions. Akseptert for publisering i *ICES J Mar Sci*.
- Davidek, J., Velisek, J. & Pokorny, J. 1990. Chemical Changes during Food Processing. Elsevier, Amsterdam, 448 s.
- Kongelige Norske Videnskabers Selskab (1999) "Norges muligheter for verdiskaping innen havbruk"
- Digre, H. 1997. Kvalitetsegenskaper hos torsk (*Gadus morhua*). Hovedoppgave ved AKVAFORSK og Norges landbrukshøgskole, 78 s.
- Dixon, D.G. & Hilton, J.W. 1985. Effects of available dietary carbohydrate and water temperature on the chronic toxicity of waterborne copper to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42, 1007-1013.
- Dos Santos, J., Burkow, I.C. & Jobling, M. 1993. Pattern of growth and lipid deposition in cod (*Gadus morhua* L.) fed natural prey and fishbased feeds. *Aquaculture* 110, 173-189.
- Drapner, S.R. 1973. Amino acid profiles of chemical and anatomical fractions of oat grains. *J. Sci. food Agric.* 24, 1241-1250.
- Dréau, D., Lálles, J.P., Philouze-Romé, V. Toullec, R. and Salmon, H., 1994. Local and systemic immune responses to soybean protein ingestion in early-weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 72, 2090-2098.
- Engelsen, R. 1998. Matfiskoppdrett av kveite. En økonomisk betraktning. Rapport til Norges forskningsråd, 74 s.
- Erdal, J.I., Evensen, Ø., Kaurstad, O.K., Lillehaug, A., Solbakken, R. & Thorud, K. 1991. Relationship between diet and immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) after feeding various levels of ascorbic acid and omega-3 fatty acids. *Aquaculture* 98, 363-379.
- Espe, M., Berge, G.E. & Lied, E. 2001. Protein og aminosyrer. I *Fiskeernæring* (Waagbø, Espe, Hamre & Lie, red.). s.38-56. Kystnæringen Forlag & bokklubb AS, Bergen.
- Ewan, S. & Pusztai, A. 1999 Effects of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine. *Lancet*, 354, 1353-1354.
- FAO 2001. "The state of world fisheries and aquaculture 2000"; www.fao.org
- FAO Statistical database; FAOSTAT (1990-1998).
- Finley, J.W. & Phillips, R.D. 1988. Protein Quality and Effects of Processing. Marcel Dekker, New York, NY, USA, 137 s.
- Fiskeridepartementet 1999. Forskrift om fôrvarer til fisk. Fiskeridepartementet, 18. mars 1999.
- Fiskeridirektoratet 1999. *Økonomiske analyser for fiskeoppdrett*, [www.fiskeridir.no/sider/statistikk/statistikk](http://www.fiskeridir.no/sider/statistikk/statistikk)
- Fiskeridirektoratet 1999. *Fiskeridirektoratets lønnsomhetsanalyse for matfiskanlegg* [www.fiskeridir.no/sider/statistikk/statistikk](http://www.fiskeridir.no/sider/statistikk/statistikk)
- Forster, I., Higgs, D.A., Dosanjh, B.S., Rowshandeli, M. & Parr, J. 1999. Potential for dietary phytase to improve the nutritive value of canola protein concentrate and decrease phosphorus output in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) held in 11 °C fresh water. *Aquaculture* 179, 109-125.
- Frøyland, L., Lie, Ø. & Berge, R. K. (2000). Mitochondrial and peroxisomal  $\beta$ -oxidation capacities in various tissues from Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Nutrition* 6, 85-89
- Gomes, E.F., Corraze, G. & Kaushik, S. 1993. Effects of dietary incorporation of a co-extruded plant protein (rapeseed and peas) on growth, nutrient utilisation and muscle fatty acid composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 113, 339-353.
- Gomes, E.F., Rema, P. & Kaushik, S.J. 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Digestibility and growth performance. *Aquaculture* 130, 177-186.

- Gouveia, A. & Davies, S.J., 1998. Inclusion of an extruded dehulled pea seed meal in diets for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 182, 183-193.
- Gouveia, A. & Davies, S.J. 2000. Preliminary nutritional evaluation of pea seed meal (*Pisum sativum*) for juvenile European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 166, 311-320.
- Gouveia, A., Oliva Teles, A., Gomes, E. & Rema, P. 1993. Effect of cooking/expansion of three legume seeds on growth and food utilization by rainbow trout. I: S.J. Kaushik, S.J., Luquet, P. (Redaktører), *Fish Nutrition in Practice. Les Colloques*, n° 61, INRA, Paris, Frankrike, s. 933-938.
- Grant, S.M., Brown, J.A. & Boyce, D.L. 1998. Enlarged fatty livers of small juvenile cod: a comparison of laboratory-cultured cod and wild juveniles. *J. Fish Biol.* 52, 1105-1114.
- Grisdale-Helland, B. & Helland, S.J. 1998. Macronutrient utilization by Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*): diet digestibility and growth of 1 kg fish. *Aquaculture* 166, 57-65.
- Grisdale-Helland, B. & Helland S.J. (2001) *Nutrient Requirements and Feeding of Aquaculture Fish*, Webster, C.D. and Lim, C. (Red), CAB International Publishers.
- Hammerstrand, G.E., Black, L.T., Glover, J.D., 1981. Trypsin inhibitors in soy products: Modification of the standard analytical procedure. *Cereal Chem.* 58, 42-45.
- Hamre, K. 2001. Fôrressurser. I *Fiskeernæring* (Waagbø, Espe, Hamre & Lie, red.). s.342-349. Kystnæringen Forlag & bokklubb AS, Bergen.
- Hansen, T. 2001. Verdens akvakulturproduksjon. Havbruksrapport 2001, *Fisken og havet*, Sænr. 3, s. 17-19.
- Hassel, A & Melle, W. 1999. Plankton som råstoffkilde for framstilling av fôrmidler til brukk innen fiskeoppdrett. Delprosjekt. I: Utredning av forekomster og tilgjengelighet av dyreplankton. *Interne notat 3. Havforskningsinstituttet*.
- Hardy, R.W. & Sullivan, C.V., 1983. Canola meal in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) production diets. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40, 281-286.
- Haugen, T. 1999. Growth, feed conversion efficiency and digestion in Atlantic halibut: shorttime effects of different levels of temperature and fat/protein ratio in feed. *Cand. Scient. avhandling*, Universitetet i Bergen.
- Helland, S.J. & Grisdale-Helland, B. 1998. Growth, feed utilization and body composition of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets differing in the ratio between the macronutrients. *Aquaculture* 166, 49-56.
- Helland, S.J., Grisdale-Helland, B., Berge, G.M. & Bekkevold, K.R. 2000. Replacement of fish meal with wheat gluten in diets for Atlantic halibut: Implications for lysine supplementation. *Proc. Ninth Int. Symp. on Nutrition and Feeding in Fish*, Miyazaki, Japan, s. 68.
- Hemre, G.I., Nortvedt, R., Sandnes, K. & Lie, Ø. 2000. Oppdrett av torsk: Hurtig vekst uten kjempelever. *Norsk Fiskeoppdrett* 16, 24-27.
- Hemre G.I. 1992. Studies on carbohydrate nutrition in cod (*Gadus morhua*). Dr. scient. Avhandling ved Universitetet i Bergen, Bergen.
- Hemre G.I. 2001. Karbohydrat i fiskeernæring. I *Fiskeernæring* (Red. R. Waagbø, M. Espe, K. Hamre & Ø. Lie). s 78-92. Kystnæringen Forlag & Bokklubb as, Bergen.
- Hemre G.I., Nortvedt R., Sandnes K. & Lie Ø. 2000 Oppdrett av torsk – Hurtig vekst uten kjempelever. *Norsk Fiskeoppdrett* 25 (16), 24-27.
- Hemre, G.-I., Lie, Ø., Lied, E. & Lambertsen, G. 1989. Starch as an energy source in feed for Cod (*Gadus morhua*): digestibility and retention. *Aquaculture* 80, 261-270.
- Hendriks, H.G.C.J.M., Ingh, T.S.G.A.M.v.d., Krogdahl, Å., Olli, J. & Koninkx, J.F.J.G., 1990. Binding of soybean agglutinin to small intestinal brush border membranes and brush border membrane enzyme activities in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 91, 163-170.
- Hertampf J.W. & Piedad-Pascual F., eds. 2000. *Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Higgs D.A. & Dong, F.M. 2000. Lipids and fatty acids. In *Encyclopedia of Aquaculture* (R.R. Stickney, ed.), pp. 476-496. John Wiley & Sons, Inc., NY.
- Hilton, J.W. & Dixon, D.G. 1982. Effect of increased liver glycogen and liver weight on liver function in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson: recovery from anaesthesia and plasma <sup>35</sup>sulphobromophthalein clearance. *J. Fish Dis.* 5, 185-195.
- Hilton, J.W. & Slinger, S.J. 1986. Digestibility and utilization of canola meal in practical-type diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43, 1149-1155.
- Hjertnes, T. & Opstvedt, J. 1989. Effects of dietary protein levels on growth in juvenile halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Proc. Third Int. Symp. on Feeding and Nutrition in Fish*, Toba, Japan, s. 189-193.
- Hjertnes, T., Gulbrandsen, K.E., Johnsen, F. & Opstvedt, J., 1993. Effect of dietary protein, carbohydrate and fat levels in dry feed for juvenile halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). I: Kaushik, S.J. and Luquet, P. (Red) *Fish Nutrition in Practice. INRA (Les Colloques, n° 61)*, Paris, pp. 493-496.

- Holst JC, Couperus B, Hammer C, Jacobsen JA, Jákupsstovu H, Krysov, A, Melle W, Mork KA, Tangen Ø, Vilhjálmsson H. & Smith, L. 2000. Report on surveys of the distribution, abundance and migrations of the Norwegian spring-spawning herring, other pelagic fish and the environment of the Norwegian Sea and adjacent waters in late winter, spring and summer of 2000. *ICES CM 2000/D:3 Ref. ACFM*.
- Holm J.Chr. 2001. Utviklingen av oppdrettsarter globalt. I *Fiskeernæring* (Red. R. Waagbø, M. Espe, K. Hamre & Ø. Lie). s 324-339. Kystnæringen Forlag & Bokklubb as, Bergen.
- Ingh, T.S.G.A.M.v.d., Krogdahl, Å., Olli, J.J., Hendriks, H.G.C.J.M. & Koninkx, J.G.J.F., 1991. Effects of soybean-containing diets on the proximal and distal intestine in Atlantic salmon (*Salmo salar*): a morphological study. *Aquaculture* 94, 297-305.
- Ingh, T.S.G.A.M.v.d., Olli, J.J. & Krogdahl, Å. 1996. Alcohol-soluble components in soybeans cause morphological changes in the distal intestine of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Fish Dis.* 19, 47-53.
- Jansen, P.A. & Austreng, E. 1995. Bruk av bindere i våtfôr til torsk. Rapport-1995-010, Finnmarksforskning, Alta, 14 s.
- Johnson, I.T., Gee, J.M., Price, K., Curl, C. & Fenwick, G.R. 1986. Influence of saponins on gut permeability and active nutrient transport *in vitro*. *J. Nutr.* 116, 2270-2277.
- Kakade, M.L., Simons, N., Liener, I.E. & Lambert, J.W. 1972. Biochemical and nutritional assessment of different varieties of soybeans. *J. Agric. Food Chem.* 20, 87-90.
- Ketola, G.H. & Harland, B.F. 1993. Influence of phosphorus in rainbow trout diets on phosphorus discharges in effluent water. *Trans. Am. Fish. Soc.* 122, 1120-1126.
- Klotz, A. & Einspanier, R. 2000 Detection of chloroplast- and Bt-maize-DNA in animals fed transgenic plants: methods and first results, *Joint Conference on GMO in the Food Chain*, Germany, Munich 17<sup>th</sup>-18<sup>th</sup>.
- Krogdahl, Å., Lea, T.B. & Olli, J.J. 1994. Soybean proteinase inhibitors affect intestinal trypsin activities and amino acid digestibilities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comp. Biochem. Physiol.* 107A, 215-219.
- Krogdahl, Å., Nordrum, S., Sørensen, M., Brudeseth, L. & Røsjø, C. 1999. Effects of diet composition on apparent nutrient absorption along the intestinal tract and of subsequent fasting on mucosal disaccharidase activities and plasma nutrient concentration in Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Aquacult. Nutr.* 5, 212-133.
- Lallès, J.P., Dréau, D., Huet, A. & Toullec, R. 1995a. Systemic and local gut-specific antibody responses in preruminant calves sensitive to soya. *Res. Vet. Sci.* 59, 56-60.
- Lallès, J.P., Toullec, R., Bouchez, P. & Roger, L. 1995b. Antigenicity and digestive utilization of four soya products by the preruminant calf. *Livest. Prod. Sci.* 41, 29-38.
- Lie, Ø., Lied, E. & Lambertsen, G. 1986. Liver retention of fat and fatty acids in cod (*Gadus morhua*) fed different oils. *Aquaculture* 59, 187-196.
- Lie, Ø., Lied, E. & Lambertsen, G. 1988. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*): fat versus protein content in the feed. *Aquaculture* 69, 333-341.
- Liener, I.E., 2000. Non-nutritive factors and bioactive compounds in soy. I: Drachley, J.K. (Red.), *Soy in Animal Nutrition*. Fed. Anim. Sci. Soc., Savoy, IL, USA, s. 13-45
- Ljøkjel, K., Harstad, O.M. & Skrede, A. 2000. Effect of heat treatment of soybean meal and fish meal on amino acid digestibility in mink and dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 84, 83-95.
- Lusas, E.W. & Riaz, M.N. 1995. Soy protein products: Processing and use. *J. Nutr.* 125, 573S-580S.
- Maage A. & Damsgård 2001. Miljø og etikk. I *Fiskeernæring* (Red. R. Waagbø, M. Espe, K. Hamre & Ø. Lie). s 260-267. Kystnæringen Forlag & Bokklubb as, Bergen.
- Maaroufi, C., Melcion, J.-P., Monredon, F., Giboulot, B., Guibert, D. & Guen, M.-P. 2000. Fractionation of pea flour with pilot scale sieving. I. Physical and chemical characteristics of pea seed fractions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 85, 61-78.
- Maenz, D.D., Irish, G.G. & Classen, H.L. 1999. Carbohydrate-binding and agglutinating lectins in raw and processed soybean meals. *Anim. Feed Sci. Technol.* 76, 335-343.
- Mambrini, M., Roem, A.J., Cravèdi, J.P., Lallès, J.P. & Kaushik, S.J. 1999. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate and of DL-methionine supplementation in high-energy, extruded diets on the growth and nutrient utilization of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. Anim. Sci.* 77, 2990-2999.
- McKenzie, D.J., Higgs, D.A., Dosanjh, B.S., Deacon, G. & Randall, D.J. 1998. Dietary fatty acid composition influences swimming performance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) in seawater. *Fish Physiol. Biochem.* 19, page 111-122
- Melle W, Mork KA, Holst JC. & Rey, F. 2000. The Norwegian Sea; Hydrography, plankton and herring feeding. Status report April 2000. *Working Document to ICES Northern Pelagic and Blue Whiting Working Group*.

- Milgate, J. & Roberts, D.C.K., 1995. The nutritional & biological significance of saponins. *Nutr. Res.* 15, 1223-1249.
- Mjelde, A. 2000. Plankton som råstoffkilde for framstilling av fôrmidler til bruk innen fiskeoppdrett - Forprosjekt. *Sluttrapport, SSF*.
- Mueller-Harvey, I. & McAllan, A.B. 1992. Tannins: their biochemistry and nutritional properties. I: Morrison, I.M. (Red.) *Advances in Plant Cell Biochemistry and Biotechnology*, JAI Press Ltd, Lonon, UK, s. 151-217.
- Muir, L.V., Sanders, K.D. & Bishop, W.P. 1996. Gastrointestinal disease. I: Ziegler, E.E., Filer, L.J (Reds), *Present Knowledge in Nutrition, Seventh Edition*. ILSI Press, Washington, DC, USA, s. 488-497.
- NRC (National Research Council) 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Washington, USA, 114s.
- Nielsen, H.K., Loliger, J. & Hurrell, R.F. 1985. Reactions of proteins with oxidizing lipids. 1. Analytical measurements of lipid oxidation and of amino acid losses in a whey protein-methyl linolenate model system. *Br. J. Nutr.* 53, 61-73.
- Nordrum, S., Åsgård, T., Shearer, K.D. & Arnesen, P. 1997. Availability of phosphorus in fish bone meal and inorganic salts to Atlantic salmon (*Salmo salar*) as determined by retention. *Aquaculture* 157, 51-61.
- NOU 2000 GMO-mat - Helsemessige konsekvenser ved bruk av genmodifiserte næringsmidler og næringsmiddelredienser. Sosial- og helsedepartementet 2. oktober 2000, Statens forvaltningstjeneste, Informasjonsforvaltning, 2000:29, 82 sider.
- Oakenfull, D. 1981. Saponins in food – a review. *Food Chem.* 6, 19-40.
- Opstvedt, J., Miller, R., Hardy, R.W. & Spinelli, J. 1984. Heat-induced changes in sulfhydryl groups and disulfide bonds in fish protein and their effect on protein and amino acid digestibility in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Agric. Food Chem.* 32, 929-935.
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R. & Torres, F. 1998. Fishing down marine food webs. *Science*, 279, 860-863.
- Peterson, D.M. 1976. Protein concentration, concentration of protein fractions, and amino acid balance in oats. *Crop Sci.* 16, 663-666.
- Pfeffer, E., Kinzinger, S. & Rodehutschord, M. 1995. Influence of the proportion of poultry slaughter by-products and of untreated or hydrothermally treated legume seeds in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), on apparent digestibilities of their energy and organic compounds. *Aquacult. Nutr.* 1, 111-117.
- Pisulewska, E. & Pisulewski, P.M. 2000. Trypsin inhibitor activity of legume seeds (peas, chickling vetch, lentils, and soya beans) as affected by the technique of harvest. *Anim. Feed Sci. Technol.* 86, 261-265.
- Pongmaneerat, J. & Watanabe, T. 1993. Utilization of soybean meal as protein source in diets for rainbow trout. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 1983-1990.
- Pongmaneerat, J., Watanabe, T., Takeuchi, T. & Satoh, S. 1993. Use of different protein meals as partial or total substitution for fish meal in carp diets. *Nippon Suisan Gakkaishi* 59, 1249-1257.
- Pull, S.P., Pueppke, S.G., Hymowitz, T. & Orf, J.H. 1978. Soybean lines lacking 120,000-Da seed lectin. *Science* 200, 1277-1279.
- Rao, B.S.N. & Prabhavathi, T. 1982. Tannin content of foods commonly consumed in India and its influence on ionisable iron. *J. Sci. Food Agric.* 33, 89-96.
- Refstie, S., Svihus, B., Shearer, K.D. & Storebakken, T. 1999. Non-starch polysaccharides in soybean meals and effects on the absorption of nutrients in farmed Atlantic salmon and broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.* 79, 331-345.
- Ruyter, B., Røsjø, C., Einen, O. & Thomassen, M.S. 2000a. Essential fatty acids in Atlantic salmon: time course of changes in fatty acid composition of liver, blood and carcass induced by a diet deficient in n-3 and n-6 fatty acids. *Aquacult. Nutr.* 6, 109-117.
- Ruyter, B., Røsjø, C., Einen, O. & Thomassen, M.S. 2000b. Essential fatty acids in Atlantic salmon: effect of increasing dietary doses of n-6 and n-3 fatty acids on growth, survival and fatty acid composition of liver, blood and carcass. *Aquacult. Nutr.* 6, 119-127.
- Robbins, G.S., Pomeranz, Y. & Briggles, L. 1971. Amino acid composition of oat groats. *J. Agric. Food Chem.* 19, 536-539.
- Rodehutschord, M., Mandel, S., Pack, M., Jacobs, S. & Pfeffer, E. 1995. Free amino acids can replace protein-bound amino acids in test diets for studies in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. Nutr.* 125, 956-963.
- Rollin, X., Hidalgo, Y., Valdez, M., Teller, E. & Vanbelle, M. 1994. Quantitative methionine requirement of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) juveniles. *Aquaculture* 124, 61.
- RUBIN, 2000. Biprodukter fra fiskerinæringen – fra utkast til inntekt. Stiftelsen RUBIN, Trondheim, 110s



- Rumsey, G.L., Siwicki, A.K., Anderson, D.P. & Bowser, P.R. 1994. Effect of soybean protein on serological response, non-specific defense mechanisms, growth, and protein utilization in rainbow trout. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 41, 323-339.
- Rustad, T., 1992. Muscle chemistry and quality of wild and farmed cod. I: Huss, H.H., Jacobsen, M., Liston, J. (red.) *Quality assurance in fish industry*, 19-27. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, Nederland.
- Sakshaug, E., Bjørge, A., Gulliksen, B., Loeng, H. & Mehlum, F. 1994. Structure, biomass distribution, and energetics of the pelagic ecosystem in the Barents Sea: A synopsis. *Polar Biol.* 14, 405-411.
- Salte, R., Thomassen, M.S. & Wold, K. 1988. Improvement of physical properties of erythrocyte membranes in farmed Atlantic salmon by feeding diets rich in n-3 fatty acids. 29<sup>th</sup> Int. Congr. of the Biochemistry of Lipids. Tokyo, Japan, 14.-22. september.
- Shearer, K.D., Åsgård, T., Andorsdóttir, G. & Aas, G.H. 1994. Whole body elemental and proximate composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during the life cycle. *J. Fish Biol.* 44, 785-797.
- Skrede, A., Krogdahl, Å. & Austreng, E. 1979. Digestibility of amino acids in raw fish flesh and mest-and-bone meal for chicken, fox, mink and rainbow trout. *Z. Tierphysiol., Tierernährg. u. Futtermittelkde.* 43, 92-101.
- Skrede, A., Berge, G.M., Storebakken, T., Herstad, O., Aarstad, K.G. & Sundstøl, F. 1998. Digestibility of bacterial protein grown on natural gas in mink, chicken, pig and Atlantic salmon. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 76, 103-116.
- Skrede, G., Sahlström, S., Storebakken, T., Sørensen, M., Shearer, K.D., Skrede, A., Holck, A. & Slinde, E. 2001. Lactic acid fermentation of wheat and barley modifies carbohydrate composition and increases fat digestibility and zinc availability in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Manuskrift for publisering i *Aquaculture*.
- Spinelli, J., Houle, C.R. & Wekell, J.C. 1983. The effect of phytates on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed purified diets containing varying quantities of calcium and magnesium. *Aquaculture* 30, 71-83.
- Storebakken, T., Shearer, K.D. & Roem, A.J. 1998a. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 161, 365-379.
- Storebakken, T., Kvien, I.S., Shearer, K.D., Grisdale-Helland, B., Helland, S.J. & Berge, G.M. 1998b. The apparent digestibility of diets containing fish meal, soybean meal or bacterial meal fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*): Evaluation of different faecal collection methods. *Aquaculture* 169, 195-210.
- Storebakken, T., Kvien, I., Shearer, K.D., Grisdale-Helland, B. & Helland, S.J. 1999. Estimation of gastrointestinal evacuation rate in Atlantic salmon (*Salmo salar*) using inert markers and collection of faeces by sieving: Evacuation of diets with fish meal, soybean meal or bacterial meal. *Aquaculture* 172, 291-299.
- Storebakken, T., Shearer, K.D., Baeverfjord, G., Nielsen, B.G., Asgard, T., Scott, T. & De Laporte, A. 2000. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. *Aquaculture*, 184, 1-2, 115-132.
- Storebakken, T., Berge, G.M., Helland, S.J. & Skrede, A. 2001. Bacterial protein produced on natural gas – a novel alternative to fish meal in salmon diets. *Abstr. Cultivation of Atlantic Salmon II*, Bergen, 6-10 May 2001.
- Tacon, A. & Forster, I. 2000. Se også O. Torrissen, *Havbruksrapporten 2001*, 12-14.
- Thangstad, O.P., Iversen, T.-H., Slupphaug, G. & Bones, A. 1990. Immunocytochemical localization of myrosinase in *Brassica napus* L. *Planta* 180, 245-248.
- Torstensen, B.E., Lie, Ø. & Frøyland, L. 2000. Lipid metabolism and tissue composition in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) – Effects of capelin oil, palm oil, and oleic acid-enriched sunflower oil as dietary lipid sources. *Lipids* 35, 653-664
- Vielma, J., Lall, S.P., Koskela, J., Schöner, F.J. & Mattila, P. 1998. Effects of dietary phytase and cholecalciferol on phosphorus bioavailability in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 163, 309-323.
- Vielma, J., Mäkinen, T., Ekholm, P. & Koskela, J. 2000. Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal availability of phosphorus load. *Aquaculture* 183, 349-362.
- Waagbø, R., Sandnes, K., Torrissen, O.J., Sandvin, A. & Lie, Ø. 1993. Chemical and sensory evaluation of fillets from Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed three levels of n-3 polyunsaturated fatty acids at two levels of vitamin E. *Food Chemistry* 46:361-366.
- Waagbø, R., Sandnes, K., Lie, Ø. & Nilsen, E.R. 1993. Health aspects of dietary lipids and vitamin E in Atlantic salmon (*Salmo salar*). I. Erythrocyte total lipid fatty acid composition, haematology and humoral immune response. *Fisk. Dir. Skr. Ser. Ernæring*, 6(1): 47-62.

- Waagbø, R., Sandnes, K., Jørgensen, J., Engstad, R. & Lie, Ø. (1993) Health aspects of dietary lipids and vitamin E in Atlantic salmon (*Salmo salar*). II. Spleen and erythrocyte phospholipid fatty acid composition, nonspecific immunity and disease resistance. *Fisk. Dir. Skr. Ser. Ernæring*, 6(1): 63-80.
- Watanabe, T., Pongmaneerat, J., Satoh, S. & Takeuchi, T. 1993. Replacement of fish meal by alternative protein sources in rainbow trout diets. *Nippon Suisan Gakkaishi* 59, 1573-1579.
- Young, V.L. & Püskülcü, H. 1976. Variation in fatty acid composition of oat groats from different cultivares. *Crop Sci.* 16, 881-883.