

ROGALANDSFORSKNING - RF

Postboks 2503, Ullandhaug
4004 Stavanger
Besøksadresse;
Professor Olav Hanssens vei 15
Telefon: 04 87 50 00
Telefaks: 04 87 52 00



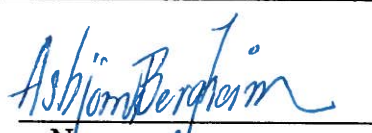
Rapport nr.: 181/92	Tittel: Redusert fosforinnhold i tørrfôr til laksefisk. Del 1. Litteraturred.	Dato: 21.09.92
Prosjekt nr.: 54.2555		Prosjektleder: A. Bergheim
Antall sider og bilag: 18 sider.		Kvalitetssikrer: S.Sanni
ISBN: 82-7220-420-7	Forfatter(e): Asbjørn Bergheim	Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt: Testing av fiskefôr med redusert fosforbelastning (Del 1).
Oppdragsgiver(e): Felleskjøpet ved Norsk Bioakva a.s.

Sammendrag:

Ulike sider ved fosfor-stoffskiftet hos laksefisk i forhold til fôrets innhold og tilgjengelighet av fosfor er beskrevet på basis av relevant litteratur. De fleste kommersielt produserte tørrfôrblendinger inneholder 1,5 - 2 ganger fiskens behov for tilgjengelig fosfor. Dette medfører at fosforutslippene fra fiskeoppdrettsanlegg er unødig høye.


Emneord: Fiskefôr	Fosforinnhold	Fosforutslipp
----------------------	---------------	---------------



Navn
Prosjektleder



Navn
Kvalitetssikrer



Navn
For RF-Akva/Bioteknologi

**REDUSERT FOSFORINNHOLD I TØRRFÔR
TIL LAKSEFISK.**

DEL1. LITTERATURDEL

INNHold

SAMMENDRAG	1
LITTERATUROVERSIKT.....	2
1. Fosfor i fisk	2
1.1. Innhold, metabolisme	2
1.2. Behov-mangelsymptomer.....	2
2. Fosfor i fôr.....	3
2.1. Aktuelle kilder.....	3
2.2. Biotilgjengelighet	4
2.3. Fôrblandinger	4
3. Fosfor i utslipp	5
3.1. Belastningsnivå	5
3.2. Ulike fraksjoner.....	8
4. Tiltak for reduserte fosforutslipp.....	11
4.1. Fôr kvalitet	11
4.2. Fôrspill.....	13
4.3. Rensing	14
REFERANSER	17

FORORD

Rapporten omtaler litteraturdelen av et prosjekt med hovedformål å utvikle fôr til laksefisk med redusert fosforinnhold. Felleskjøpet ved sin forsøksstasjon Norsk Bioakva a.s. er både oppdragsgiver og faglig prosjektmedarbeider, og har engasjert Rogalandsforskning for å gjennomføre deler av prosjektet.

Norsk Bioakva a.s. er representert ved forskningsleder E. Wathne og forsker H. Sveier.

Ved Rogalandsforskning er forsker A. Bergheim prosjektleder og har skrevet denne rapporten.

Rogalandsforskningens totale prosjektandel utgjør kr. 40.000,-.

Asbjørn Bergheim

Prosjektleder

SAMMENDRAG

På bakgrunn av relevant litteratur beskriver rapporten ulike sider ved fosfor-stoffskiftet hos laksefisk i forhold til fôrets innhold og tilgjengelighet av fosfor. Kommersielt produsert tørrfôr inneholder normalt 1,5 - 2 ganger fiskens behov for tilgjengelig fosfor. Normalnivået i moderne tørrfôr er 11 - 15 g totalfosfor (TP) pr. kg dominert av uorganisk fosfor, mens laksefisk krever 6 - 7 g uorganisk fosfor pr. kg fôr. Den viktigste fosforkilden i fôrblandinger til laksefisk er normalt fiskemel som har en fordøyelighet (laks) på 50 - 80 %. Fisk mangler evnen til å fordøye fytin-fosfor, organisk bundet fosfor i plantemateriale.

Det høye fosforinnholdet i fiskefôr medfører at avfallet fra oppdrettsanlegg - fôrpartikler, fekalier og oppløste stoffer - belaster miljøet med unødvendig mye fosfor. Ved studier foretatt i landbaserte anlegg er det målt at gjennomsnittlig 60 % av alt tilført fosfor blir ført ut av anleggene til resipienten. Belastningene tilsvarer 7 - 8 g TP/kg tilført fôr. Ved en høyere fôrfaktor, over 1,3 kg fôr/kg tilvekst, vil fosfor-belastningen bli enda høyere.

Effektene i resipienten er ikke bare avhengig av det totale fosforutslippet, men er også i stor grad avhengig av i hvilken form fosfor foreligger. I tørrfôr og fekalier utgjør den lettløselige fosforfraksjonen, som er direkte tilgjengelig for alger og planter i resipienten, ca. 1/3 del av totalfosfor. Dette er også et forhold som må tas hensyn til ved utvikling av fiskefôr med bedre miljømessige egenskaper. Normalt regnes fosfor å være den begrensende næringsfaktor for plantevekst i ferskvann.

I løpet av de siste årene er det utviklet fôrtyper til regnbueørret i ferskvann med redusert totalfosfor (< 10 g TP/kg). De prinsipielle metodene har vært å erstatte en del av fiskemelet med andre proteinkilder (f.eks. soyamel) og/eller å øke fôrets innhold av fett og dermed energi. Produksjonstester med denne typen fôr har vist at fosforbelastningene kan reduseres til ca. 50 % sammenlignet med ved bruk av vanlig kommersielt fôr.

Med effektive metoder for avløpsrensing, dvs. mekanisk partikkelfjerning, vil 50 - 70 % av totalfosforet rutinemessig kunne holdes tilbake. Med andre ord vil bruk av et velutviklet "miljøfôr" kombinert med kontrollert fôrtildeling og rensing/oppsamling av fôrspill og fekalier kunne redusere fosforutslippet fra oppdrettsanlegg til omlag en 1/3 del av dagens nivå.

LITTERATUROVERSIKT

1. Fosfor i fisk

1.1. Innhold, metabolisme

Etter kalsium er fosfor er det kvantitativt viktigste mineral hos beinfisk. Omlag 86 - 88 % av kroppens totale fosformengde er inkorporert i beinvevet der det forekommer som kalsiumfosfat og hydroksoapatitt (Lall, 1991). Den resterende mengden finnes intracellulært (f. eks. i nucleinsyrene) og i kroppsvesker som fosfo-proteiner og -lipider, og som uorganiske fosfationer (2- og 3- verdige).

Undersøkelser av ulike fiskearter, deriblant laksefisk (Lall, 1991), viser et relativt konstant fosforinnholdet på 0,4 - 0,5% av rund fiskevekt. Persson (1988) refererer et tilsvarende fosforinnhold på 0,36 - 0,47 vekt-% hos regnbueørret mellom 100 - 4650 g størrelse. Hos regnbueørret er det funnet en klar positiv sammenheng mellom fosforinnhold (vekt-%) og fiskens tørrstoffinnhold som igjen øker med fiskens størrelse og alder (Persson, 1986). Fosforinnholdet i ryggbeinet var ca. 10 ganger høyere enn innholdet i hel fisk.

Opptak av fosfor fra det omgivende vann spiller, i motsetning til for kalsium, en ubetydelig rolle for det totale fosforopptaket hos fisk (Lall, 1989a). Fosforinnholdet i både salt- og ferskvann er normalt under 0,02 mg/l og alt fosfor må derfor tilføres gjennom føret. Derfor regnes fosforreguleringen hos akvatiske organismer å være relativt kritisk og krever effektive mekanismer til å absorbere, lagre og mobilisere fosfor. Det vesentlige fosfortapet fra fisk, ca. 90%, skjer over nyrene selv om fosforkonsentrasjonen i urin er meget lav.

1.2. Behov-mangelsymptomer

Det er mulig å anslå det nødvendige fosforbehovet for en fiskeart på basis av fosforinnholdet i fisken dersom det foreligger tilstrekkelige kunnskaper om de aktuelle fosforkildenes biotilgjengelighet og det samtidig tas hensyn til fiskens uungåelige fosfortap i urin. Basert på denne beregningsmåten fant Wiesmann et al. (1988) at fosforbehovet hos regnbueørret tilført hovedsakelig gjennom aske i fiskemel var maksimalt 7 g pr. kg fôrtørrstoff. For regnbueørret, atlantisk laks og stillehavslaks (chum salmon) er oppgitt et behov for uorganisk fosfor på hhv. 0,7, 0,6 og 0,6 vekt-% pr. kg fôr (våtvekt) (Ketola, 1975; Lall, 1989a). Det er ikke funnet noen endring i fosforbehovet hos atlantisk laks fra ferskvannsfasen (presmolt) til sjøfasen (postsmolt) (Lall & Bishop, 1977).

Mangel på tilført tilgjengelig fosfor i forhold til nødvendig behov hos regnbueørret og atlantisk laks er rapportert å medføre redusert vekst, nedsatt fôrutnyttelse og dårlig skjelettutvikling med svak mineralisering (Lall, 1989b). Tilstrekkelig fosfortilførsel gjennom fôret er mao. avgjørende for å oppnå et godt produksjonsresultat.

2. Fosfor i fôr

2.1. Aktuelle kilder

Det er høyest konsentrasjoner av fosfor i fôrmidler av animalsk opprinnelse. Blant de dominerende fosforkildene i kommersielt fiskefôr er fiskemel med 1,8 - 2,6% P (sild, lodde, hyse; Lall, 1989b) og kjøtt- og beinmel med 3,5 - 5,5% P. I disse fôrmidlene er det fosfor fra beinsubstans som dominerer. Dette er uorganisk fosfor bundet til kalsium (apatittforbindelser). Bernatsky (1991) opplyser at fosfor i fiskemel hovedsakelig forekommer som hydroksyapatitt, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Mel av animalsk opprinnelse inneholder også en organisk fosforfraksjon komplekst bundet til lipider, proteiner og karbohydrater.

Planter lagrer fosfor i frøene som fytater; salter av fytinsyre. Lall (1991) refererer en undersøkelse over fosforforbindelsene i soyamel som hadde fordelingen 75 % fytinsyrer, 12 % fosfatider og 4 % uorganiske fosfor.

Ved bruk av en anerkjent metode for fosforfraksjonering (Hieltjes & Lijklema, 1980) studerte Petterson & Barten (1989) fosforinnholdet i "fiskemel", soyamel og hvetemel. I "fiskemel" var ca. 35 % lettløselig, uorganisk P (labilt P), ca. 40 % Ca-bunde P, 3-4 % Fe-, Al-bundet P og 15-25 % organisk P. I soyamel utgjorde fytinsyre P 2/3 deler (67 %), mens ca. 30 % var på lettløselig, uorganisk form (labilt P). Fosforet i hvetemel var faktisk dominert av lettløselig, uorganisk P (63 %), mens den resterende fraksjonen besto vesentlig av fytinsyre P.

Innholdet av total fosfor og fytinsyre i vegetabiliske fôrmidler er framstilt i Tabell 1. Typiske fôringredienser fra fiskeindustrien inneholder 17 - 23 g total P pr. kg fôr. Aktuelle planteprodukter, som soyamel og hvete, inneholder 8 - 16 g total P pr. kg.

2.2. Biotilgjengelighet

Som det framgår av Tabell 1 varierer biotilgjengeligheten til fosfor i ulike fôrmidler sterkt. Hos laks synes fordøyeligheten for fosfor i fiskemel å være 50 - 80 %. I vegetabiliske fôrmidler er tilgjengeligheten av fosfor begrenset da fytinsyre P må anses som praktisk talt ufordøyelig (fisk mangler fytat-spaltende enzymer). Fordøyeligheten av plantefosfor er derfor begrenset til ikke-fytinsyre delen. De uorganiske fosforforbindelsene har gjennomgående høy tilgjengelighet hos laksefisk, men tilgjengeligheten avtar med avtakende løselighet i vann. For Ca-P-forbindelsene avtar løselighet og fordøyelighet med økende dissosiasjonsgrad : H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} .

2.3. Fôrblandinger

Det foreligger lite eksakte analyseverdier over fosforinnholdet i fôrblandinger til laks. Økende miljøbevissthet har imidlertid medført at også fosfor i laksefôr er kommet mer i fokus de siste årene og ikke lenger kun tillegges ernæringsmessig betydning. I fôr til regnbueørret er fosfor blitt tillagt stor vekt i en årrekke, spesielt i land der

produksjonen har betydelig påvirkning på ferskvannsförekomstene (f.eks. Finland, Sverige, Danmark).

Persson (1988) refererer fosforinnholdet i forskjellige kommersielle tørrfôrtyper oppgitt av produsent (% av totalvekt) : EWOS fôr 0,9 - 1,3 % TP, Tess (Skretting A/S) 1,2 - 1,3 % TP, Ecolife (Dansk Ørretfoder A/S) 0,9 - 1,0 % TP. Analyser av de samme fôrtypene (Lab. för Miljökontroll, Uppsala, Persson, 1986) viste godt samsvar med oppgitt fosforinnhold fra produsent. Imidlertid ble det registrert betydelig variasjon i fosformengde innen samme fôrtype, ca. 10%. Pettersson (1986) fant fra 10,2 - 15,5 g TP pr. kg *tørrstoff* (tilsv. 9,2 - 14,0 g TP pr. kg totalvekt) i 11 vanlig forekommende tørrfôrtyper.

I dagens kommersielle fôrtyper fra Felleskjøpet er det kalkulerede innhold 11,5 - 12,0 g TP/kg totalvekt (G. I. Auklend, pers. medd.). Det foreligger mao. lite resultater av direkte fosforanalyser av fôrblandinger.

Med utgangspunkt i oppgitt fosforbehov, hhv. 6 og 7 g pr. kg fôr (0,6-0,7 %) til laks og regnbueørret, er innholdet av fosfor i vanlige kommersielle fôrtyper unødig høyt, gjerne 1,5 - 2 ganger behovet for tilgjengelig fosfor (ikke-fytin P).

3. Fosfor i utslipp

3.1. Belastningsnivå

Utslippsdataene i Tabell 2 refererer seg til målte eller beregnede verdier fra landanlegg der fisken er tilført vanlig kommersielt fôr som har dominert markedet de siste 5 - 7 årene. Dette er fôr som normalt inneholder 10 - 14 g TP/kg. Det framgår at utslippsbelastningene uttrykt som *g TP pr. kg tilført fôr* varierte mye både innen og mellom ulike undersøkelser. Forhold som momentan appetitt ved måling (døgnregistreringer), grad av representativ prøvetaking av avløpet etc. gjør at store variasjoner er forventet. Den midlere utslippsbelastning fra laks presentert i Tabell 2 er ca. 7 g TP/ kg tilført fôr eller ca. 60 % av tilført fosfor. Fôret til yngel-settefisk av regnbueørret holdt høyere

Tabell 1. Totalt fosforinnhold og innhold av fytinsyre (vegetabiliske kilder) i noen aktuelle fôrmidler til laksefisk.
 Biotilgjengelighet er "apparent" fordøyelighet eller resorpsjon.
 Lall (1991) refererer også sammenstilte data etter andre forfattere.

Fôrmiddel	Innhold, g/kg våtvekt		Biotilgjengelighet,%		Referanse
	Total P	Fytinsyre	Atl. laks	Regnbueørret	
Animalske/marine :					
Blodmel	35		81	-	Lall (1991)
Beinmel	55		-	-	" "
Sildemel	23		52	-	Lall (1989b, 1991)
Loddemel	18		53	-	" "
Mel av kolje,hyse "Fiskemel"	26		79	60 - 72	" "
(Svensk produkt)	17,4-20,5a		-	-	Pettersson & Barten (1989)
Vegetabiliske :					
Soyabønnemel	7,8	10 -14,7	36b	-	Alsted (1991), Lall (1991)
Soyaprotein	15,7a	16 - 22	-	-	" "
Hvete, middelkval.	-	11,3	32	-	Lall (1991)
Mais	-	8,9	-	-	" "
Fytinsyre			0	0	Ketola & Westers (1990)
Uorganisk fosfor :					
Natrium fosfat			95	98	Lall (1991)
Kalium fosfat			94	98	" "
Kalsium fosfat, CaH4(PO4)* H2O			90	94	Lall (1991)
CaHPO4			72	71	" "
Ca10(OH)2(PO4)6			56	64	" "

a : % av tørrstoff

b : "soybean meal, with hulls"

Tabell 2. Fosforbelastning i utslipp fra basseng med laksefisk tilført kommersielt fôr med fosforinnhold på 10 - 15 g TP/kg totalvekt.

Fiskebestand	Fôrtype	FF, kg fôr/kg tilv.	Total fosfor			Referanse
			Fôr, g TP/kg	Utslipp, g TP/kg fôr	Utslipp/Fôr, %	
Laks :						
Voksen, 2 kg	Tess* Edel	1,1	ca. 13	0 - 11	0 - 85	Fivelstad et al. (1990)
Voksen, 4 kg	Biofôr	1,3	ca. 11	8,2 - 14	75 - > 100	" "
Voksen, 1 -2 kg	FK Vekst Ultra	1,2	10,5	3,9 (1,3 - 12,6)	13 - > 100	Bergheim (1991b)
Voksen, 0,5 - 2 kg	Tess Elite	1,5	11	7,9 (4,1 - 12,2)	37 - >100	Bergheim (1991a)
Parr, 30 - 70 g	Tess Edel	0,8 - 2,5	13	6,3 (5,1 - 8,1)	40 - 60	" "
Regnbueørret :						
5 - 10 g	"Svensk fôr"	0,94	14	9,7	69	Ketola (1982)
20 - 300 g	"Comm. diets"	1,0 - 1,1	13,8 - 15,6	10,1 - 10,7	ca. 70	Wiesmann et al. (1988)
Røye, 50 - 70 g	Tess Elite Pluss	1,1	12	4,2 - 7,1	35 -59	Fivelstad et al. (1990)
Allé		0,8 - 2,5	10,5 - 15,6	7,6 (0 - 14)	60 (0 - >100)	

*: Fosforinnhold i Tess fôr er etter Persson (1988)

fosforinnhold (14 - 15,6 g TP/kg) og det midlere utslippsnivået lå på hele 10 g TP/kg fôr eller 64 - 72 % av tilført mengde i fôr. Mäkinen et al. (1988) beregnet at ca. 76 % av tilført fosfor ble ført ut av bassengene ved et settefiskanlegg (80 % laks, 20 % regnbueørret) ved FF 1,6 og bruk av fôr med 12,7 - 15,6 g TP/kg fôr. Prosentandelen av det tilførte fosforet som går tapt til resipienten er sterkt avhengig av fôrfaktoren (FF); Bergheim (1991a) fant f. eks. at det daglig fosforutslipp økte 3,5 ganger når FF økte fra 1,0 til 2,0. Fosforbelastningen uttrykt som *g TP/kg produsert fisk* inkluderer også FF i beregningen og er egentlig et mer relevant uttrykk enn belastning i forhold til tilført fôrmengde.

Veiledende fosforbelastning ved bruk av kommersielt tørrfôr med standard fosforinnhold (10 - 14 g TP/kg) kan oppgis til 6 - 8 g TP/kg tilført fôr ved FF 0,9 - 1,3 og tilsvarende høyere ved stigende FF/andel fôrspill. For hvert tonn produsert laks (FF 1,2) utgjør belastningen 8 - 10 kg TP.

Fra norsk oppdrettsnæring i 1990 ble det estimert en totalbelastning på 2600 tonn TP ved en total produksjon på 199.300 tonn, hovedsakelig laks (Eikebrokk et al. 1991). Den midlere beregnede belastning var altså 13 kg TP/tonn produsert fisk (FF 1,35), eller vesentlig høyere enn funnet i undersøkelser (Tabell 2). Beregningen var forøvrig også basert på en fordøyelighet av fosfor på 50 % (spist fôr).

3.2. Ulike fraksjoner

Fosforbelastningen fra oppdrettsanlegg utgjør summen av ufordøyd fosfor (fekalier), fosfor i uspist fôr og fosfor fra ekskresjonen. Fosfor anrikes i fekalier; Pettersson (1988) målte i middel hhv. 12,8 og 22,5 g TP/kg tørrstoff i fôr og fekalier hos regnbueørret (Tabell 3). Fosforfraksjonering viste at innholdet av lettløselig fosfor utgjorde ca. 1/3 del av total P både i fôr og fekalier. Denne lettløselige (labile) fosforfraksjonen kan anses å være direkte tilgjengelig for alger og planter i resipienten. Den prosentvise andel av Ca-bundet P øker gjennom fordøyelsesprosessen, fra 13 % (1/8 del) i fôr til 32 % (1/3 del) i fekalier. Dette er vesentlig mht. resipienteffekten da Ca-bundet P ikke anses som tilgjengelig for alger/planter (Persson, 1988).

Tabell 3. Fosforinnhold og -fraksjoner i hhv. kommersielt tørrfôr og fekalier fra regnbueørret (Pettersson, 1988).

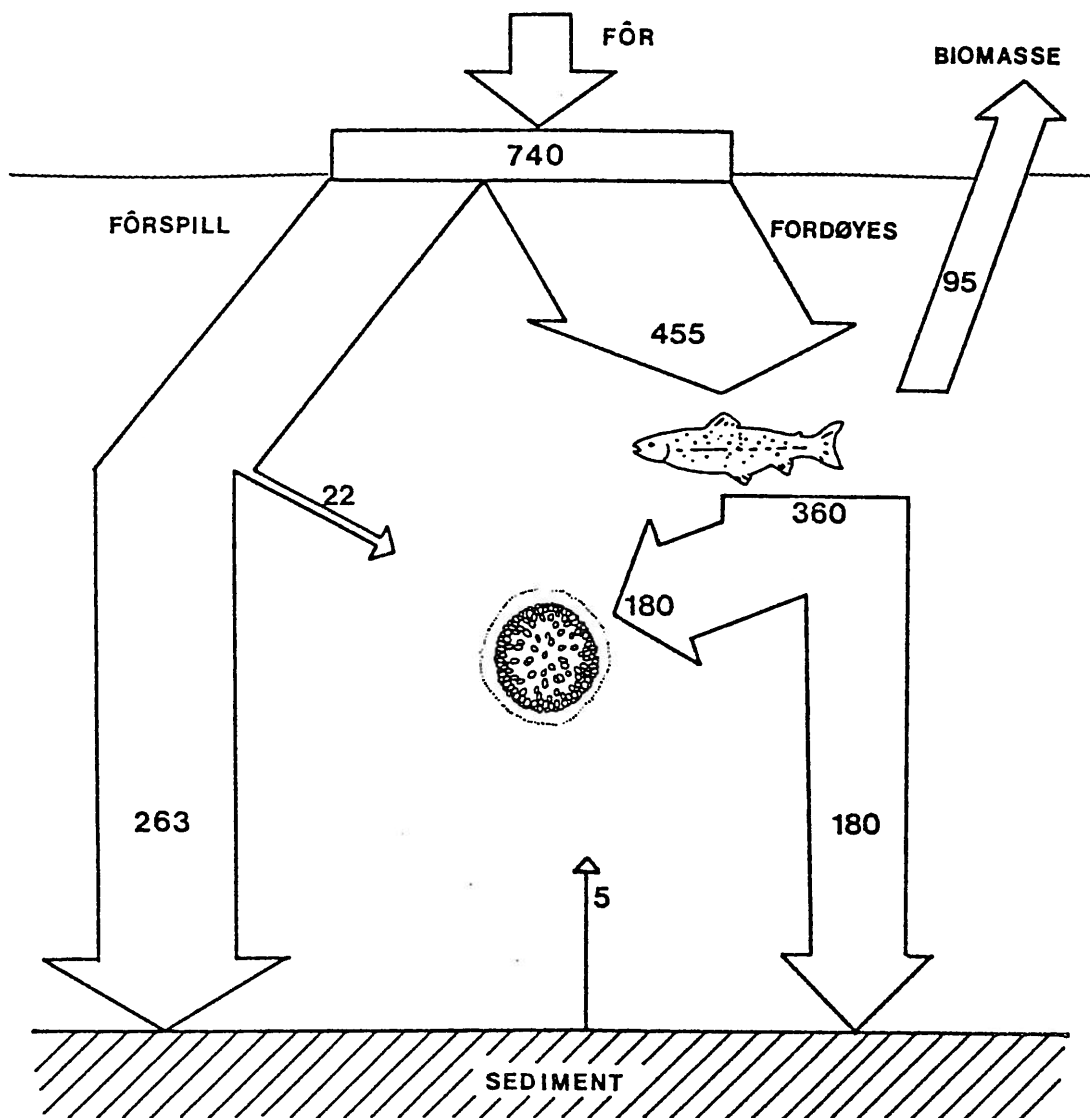
<u>Fraksjon</u>	<u>Fôr</u>	<u>Fekalier</u>
Total P, g/kg tørrstoff	12,8	22,5
Lettløselig P, % av TP	32 (26 - 36)	33 (16 - 51)
Ca-bundet P, " "	13 (8 - 17)	32 (9 - 42)
Organisk P, " "	53 (46 - 60)	33 (15 - 49)

I både fôr og fekalier var dessuten 1 - 4 % av total P bundet som jern-, aluminium-P.

I utslipp fra basseng med stor laks var i gjennomsnitt 46 % av TP i oppløst form (SRP, syre reaktivt P), men den prosentvise fraksjonen av oppløst P avtok med økende totalkonsentrasjon (Bergheim, 1991b). Tilsvarende ble registrert som døgnmiddel ved et settefiskanlegg (FF ca. 2,0, 1978) der den oppløste fraksjonen utgjorde 50 % av utslippets TP (Bergheim et a. 1984).

På bakgrunn av limnologiske undersøkelser og forutsetninger om fôrspill, fosforfordøyelighet og fosforinnhold i fôr og fisk beregnet Skogheim & Bremnes (1984) fosforomsetningen ved et flyteanlegg med laks og regnbueørret i Viksvatnet, Nord-Trøndelag (Figur 1). Av den tilførte totalmengden fosfor ble ca. 13 % akkumulert av fisken og altså hele ca. 87 % belastet miljøet. Den omfattende miljøbelastningen hadde sin bakgrunn i ca. 40 % fôrspill og høy fôrfaktor (FF 2,5), lav bioakkumulering av spist fosfor (ca. 20 %) og unødig høyt fosforinnhold i fôret (ca. 14 g TP/kg totalvekt). Undersøkelsen illustrerer vanlige forhold ved ferskvannsanlegg for 10 - 15 år siden og var et viktig bidrag til miljømyndighetens meget restriktive holdning til bruk av ferskvannsresipienter; spesielt overfor merdoppdrett i innsjøer.

Persson (1988) refererer flere tilsvarende undersøkelser med merdoppdrett av regnbueørret i svenske innsjøer som alle viste 81 - 89 % tap til omgivelsene av totalt tilført fosfor. I en oversikt oppgir Braaten (1992) på basis av flere forfattere at 30 - 37 % av spist fosfor blir inkorporert i fisken. Den utskilte fosforfraksjonen (fekalier, ekskresjon) besto av ca. 2/3 deler partikulært P og ca. 1/3 del oppløst P. Fôrspillet utgjorde 3 - 20 %.



FIGUR 1. Fosforomsetning ved et merdanlegg i Viksvatnet, Nord-Trøndelag i 1982. (Skogheim & Bremnes, 1984).

Midlere fôrfaktor 2,5 kg fôr/kg tilvekst

13,8 g TP/kg fôr.

Enhet : kg P

4. Tiltak for reduserte fosforutslipp

4.1. Fôrkvalitet

Det er flere prinsipielle metoder for å redusere fôrets miljøbelastende potensial mht. fosfor :

- A) redusere det totale fosforinnholdet i fôret
- B) erstatte eksisterende fosforkilder med bedre biotilgjengelige fosforkilder
- C) redusere den for planter lettilgjengelige fosforfraksjonen
- D) øke fôrets energiinnhold og fordøyelighet

Siden 1970-årene har det vært en vesentlig forbedring i fôrkvaliteten som også har bidratt sterkt til reduserte miljøbelastninger. I Finland ble fosforinnholdet i kommersielt fôr redusert fra 1,9 % i 1979 til 1,0 % i 1986 (Henriksson, 1989). Det ferskvannsbaserte oppdrettet i Danmark har naturlig nok blitt sterkt miljøfokuset de siste årene. I følge Jensen (1991) er miljømyndighetenes krav/målsetning at den midlere fôrfaktor (FF) skal reduseres fra 1,2 til 1,0, mens fosforinnholdet i fôr skal reduseres fra 1,1 til under 1,0 % i løpet av perioden 1989 - 1992.

Flere undersøkelser er utført med laksefisk der sammenhengen mellom fosforinnhold/fosforkilder i fôr, fôrutnyttelse og fosforutslipp er studert (Ketola, 1982; Ketola, 1985; Ketola & Westers, 1990; Pfeffer & Beckmann-Toussaint, 1991). I Ketola`s studier er ulike typer forsøksfôr med soyamel, blodmel og eventuelt kasein som dominerende proteinkilder sammenlignet mot fiskemelbasert kommersielt fôr ("høy-energi-fôr"). Fosforinnholdet i forsøksfôret ble justert med tilsetning av di-kalsium-fosfat (DKP) eller defluorisert mineralsk fosfat (DFP). Til tross for det reduserte total P innholdet i forsøksfôret (ca. 10 g TP/kg) medførte en svakere fôrutnyttelse (FF komm. fôr > 0,9, forsøksfôr 1,0 - 1,5) at fosforutslippet pr. kg produsert fisk var på samme nivå eller høyere enn ved bruk av kommersielt fôr. Belastningsnivåene var hhv. 5,7 - 11,3 og 6,0 g

TP/kg prod. fisk for forsøksfôr og kommersielt fôr (EWOS T-40). Et forhold er imidlertid av vesentlig betydning : forsøksfôret med lavest belastning (5,7 g TP/kg) var tilsatt fosfor som DFP som har høy biologisk tilgjengelighet for fisk, men som er svært lite løselig i vann. Mao. var en større del av fosforutslippet utilgjengelig for plantene i resipienten enn ved bruk av de andre fôrtypene.

Til regnbueørret har forsøk (Pfeffer & Beckmann-Toussaint, 1991) vist at en stor del av proteinet i fiskemel kan erstattes av behandlet soyamel. 50% fiskemel/50% soyamel (trykkokte soyabønner) reduserte fôrutnyttelsen minimalt, mens fordelingen 20% fiskemel/80% soyamel økte FF (tørrstoffbasert) fra 0,95-0,98 til 1,08. Samtidig avtok fôrets total P-innhold fra 11,6 til 7,8 g/kg tørrstoff (fra 100 til 20 % fiskemel). Fosforutslippet ble ikke målt, men enkel masseberegning tyder på klart redusert belastning i takt med økt soyainnhold (30 - 60 %). Med kun soya som proteinkilde avtok fôrutnyttelsen sterkt (1,3 - 1.5 tørrfôr FF) og en medvirkende årsak var trolig manglende innhold av biotilgjengelig fosfor (5,1 - 5,2 g TP/kg tørrstoff dominert av fytinsyre P).

Ved økende innhold av soyakonsentrat (Danpro-A) fra 0 til 56 % av fôrets totale proteininnhold, og en tilsvarende reduksjon i sildemel (LT kvalitet), ble det ikke registrert statistisk sikker endring i tilveksthastighet eller fôrutnyttelse hos laksunger (Ravndal & Thodesen, 1991). Fosforinnholdet i fôrtypene ble ikke analysert.

I følge Alsted (1988) er det ikke industrielt aktuelt å redusere fosforinnholdet i fiskemel. Av økonomiske årsaker er det derfor kun mulig å erstatte fosforholdig fiskemel med fiskemel med relativt lavt fosforinnhold.

Betydelige reduksjoner i utslippene av både nitrogen og fosfor er oppnådd ved å øke fôrets fett- og energiinnhold kombinert med bevisst bruk av råstoffer med høy fordøyelighet (Alsted, 1988; Alsted, 1991; Johnsen & Wandsvik, 1991, Kiærskou, 1991). EWOS har utviklet et såkalt MILJØFÔR med 21,5 % fett (22,6 kJ GE/g) og fosforkilder med en høy "apparent" fordøyelighet på 61,4 % (Kiærskou, op. cit.). Sammenlignet med kommersielt "vanlig" fôr (15,2 % fett, 13,4 g TP/kg med fosfor-fordøyelighet 21,2 %) reduserer bruk av MILJØFÔR fosforbelastningen med 55 % (nitrogen med 45 %). Ved en ytterligere økning i fettinnholdet fra 22 til 30 % i laksefôr oppgir

Johnsen & Wandsvik (op. cit.) at fosforbelastningen reduseres i takt med den reduserte FF på ca. 20 %.

Cho et al. (1991) utviklet et såkalt HND-fôr ("High-nutrition-diet") til laksefisk der protein- og fosforkildene var fiskemel (35 %), blodmel (9 %) og soyabønneemel (14 %). Fôret inneholdt max. 8 g TP/kg fôr med en "apparent" fordøyelighet på 61 %. Ved en forventet FF under 1,2 var estimert fosforbelastning pr. kg prod. fisk : 3 g partikkelbundet P + 1,5 g oppløst P = 4,5 g TP.

Bruk av ulike typer fiskemel, kaseinmel og soyamel som proteinkilde (60 - 70 % av protein fra fiskemel) til regnbueørret viste sterkt varierende utslipp av *oppløst P* (Alsted, 1991). Sammenlignet med kommersielt fôr med 10,1 g TP/kg fôr var fosforutslippene fra fôr tilsatt "Helmel 24/3", "presskakemel" ,kasein- og soyamel redusert til 10 - 30 % (mg oppløst P/kg tilvekst/dag). Forfatteren påpeker betydningen av å kunne påvirke forholdet mellom partikulært og oppløst P i utslippet ved valg av protein- og fosforkilde : i landbaserte anlegg med mulighet for å fjerne partikler ved mekanisk rensing er det ønskelig med en høy fraksjon av partikkelbundet P i utslippet. I merdanlegg, derimot, kan det være gunstig med en høyere fraksjon av oppløst P som raskt transporteres bort fra anlegget i stedet for å bindes i sedimentene under merdene.

4.2. Fôrspill

Som omtalt tidligere er ca. 1/3 del av total P både i fôr og fekalier i oppløst form, lettligjengelig for planter i resipienten. Organisk bundet P i spillfôr vil i stor grad sedimentere under merdene eller ved utslippsstedet og gradvis frigjøres til vannmassene. Med økende grad av spillfôr øker fosforbelastningen dramatisk (jevnf. Bergheim 1991a, Kap. 4.1). Eikebrokk et al. (1991) beregnet at ca. 35 % av den totale fosforbelastningen i Norge i 1990 skyldtes direkte fôrspill (FF 1,35).

De fleste oppdrettere fôrer fisken med utgangspunkt i anbefalte fôrtabeller løpende justert utfra testing av fiskens varierende appetittnivå. Et naturlig spørsmål er da om dårlig fôrutnyttelse/høyt fôrspill ved enkelte anlegg kan skyldes at fôrtildelingen skjer i utakt med fiskens naturlige spiserytmer. Det er bl. a. vist at voksen laks i sommermånedene har høyest aktivitet og fôropptak tidlig om morgenen

og på kveldstid, og lavest om ettermiddagen (Kadri et al. 1991). For laksesmolt gjennom første sommer i sjømerder er det også funnet et typisk døgnvarierende mønster for fôropptak med høyest appetitt midt på dagen (Rawlings et al. 1991).

I løpet av de to siste årene er det publisert undersøkelser over varierende fôringsfrekvenser og påvirkning av veksthastighet og fôrutnyttelse hos stor laks (Fernø et al. 1991; Forsberg, 1992). Studier under kontrollerte betingelser viser at det er mulig å oppnå god tilvekst hos stor laks ved en FF på 1,0 - 1,2.

4.3. Rensing

Avløpsvann fra oppdrettsanlegg er karakterisert ved store vannmengder og tilsvarende lave konsentrasjoner av avfallsprodukter fra fôr og fisk. Selv ved sterkt redusert vannforbruk og høy grad av oksygenovermetning av inntaksvannet (0,1 - 0,2 l/kg fisk/min, 200 % oksygenmetning), er karakteristiske konsentrasjonsøkninger gjennom fiskebasseng 1 - 10 mg suspendert tørrstoff(STS)/l og 20 - 200 µg TP/l (Bergheim, 1991b). Typiske konsentrasjonsnivå i ubehandlet kommunalt avløpsvann er til sammenligning 4 - 15 mg TP/l eller 50 - 750 ganger nivået i relativt høykonsentrert avløp fra oppdrettsanlegg.

De svært høye vannmengdene tilknyttet oppdrettsnæringa aktualiserer rensemetoder med stor hydraulisk kapasitet og lave rensekostnader i forhold til vannmengden. Liltved (1987) mener at partikkelfjerning er det eneste vannbehandlingstiltak som i dag kan anbefales i oppdrettsnæringa. Den klassiske metoden, sedimentering i basseng/dammer, har vist seg lite effektiv ved rutinemessig avløpsbehandling i oppdrettsanlegg (Hennessy, 1991; Heerfordt & Rand, 1992). Fosfor i sedimenterte partikler vil i stor grad frigjøres til vann i løpet av 1 - 2 døgns henstand (Pettersson, 1986). Det er mao. avgjørende at fraskilte partikler med tilknyttet fosfor fjernes fra vannfasen så hurtig som mulig. Aktuelle metoder som har vist gode potensielle renssegenskaper for denne typen avløp er bruk av virvelseparator (Lygren et al. 1983; Mäkinen, 1982) og bruk av forskjellige typer mikrosiler (Ohren, 1987; Mäkinen et al. 1988; Liltved, 1988; Bergheim, 1991b). Disse systemene har variabel renseseffekt, men et generelt fellestrekk er at renseseffekten øker ved

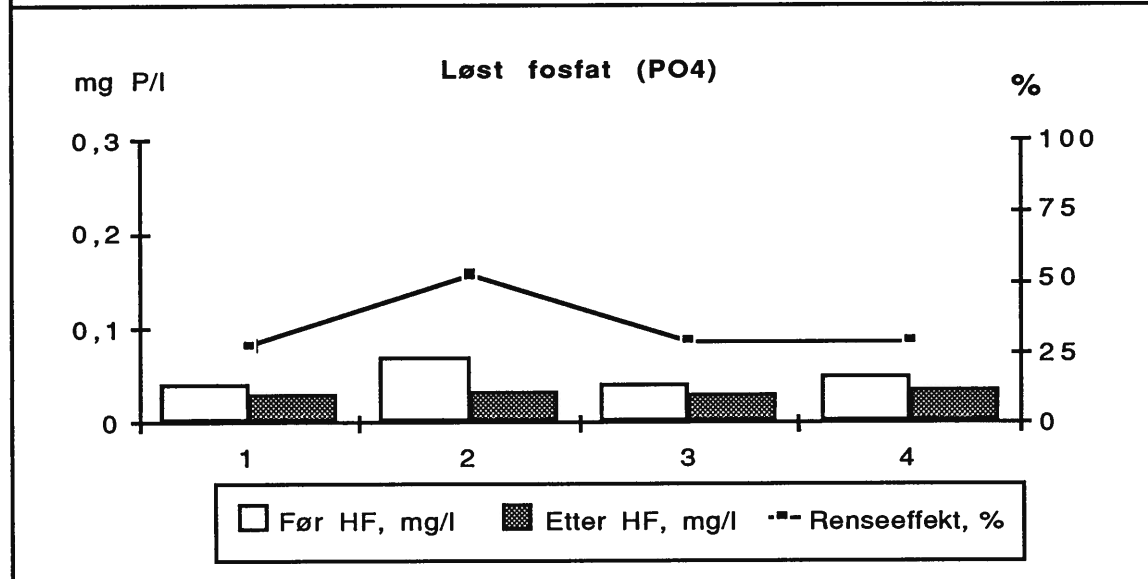
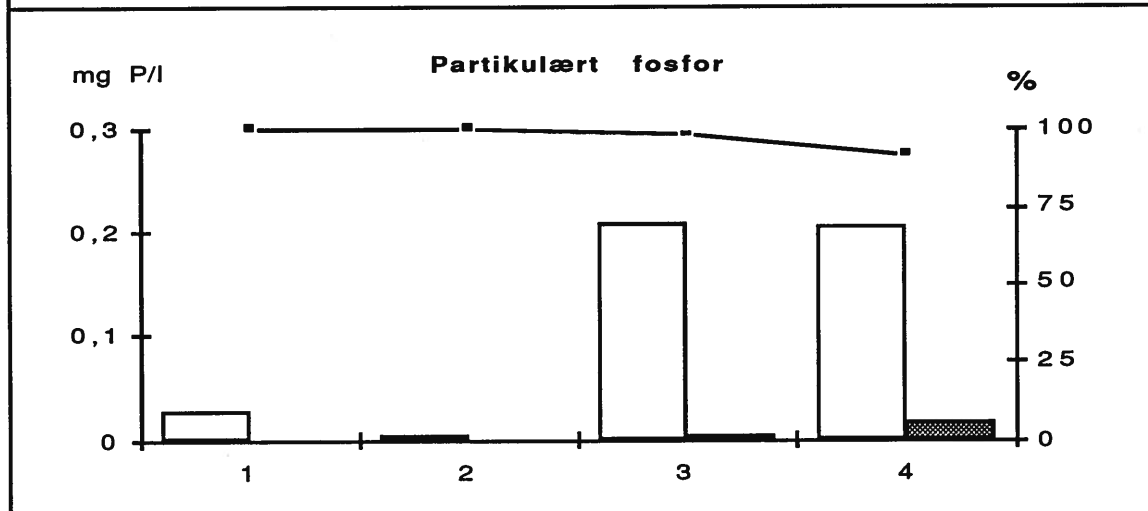
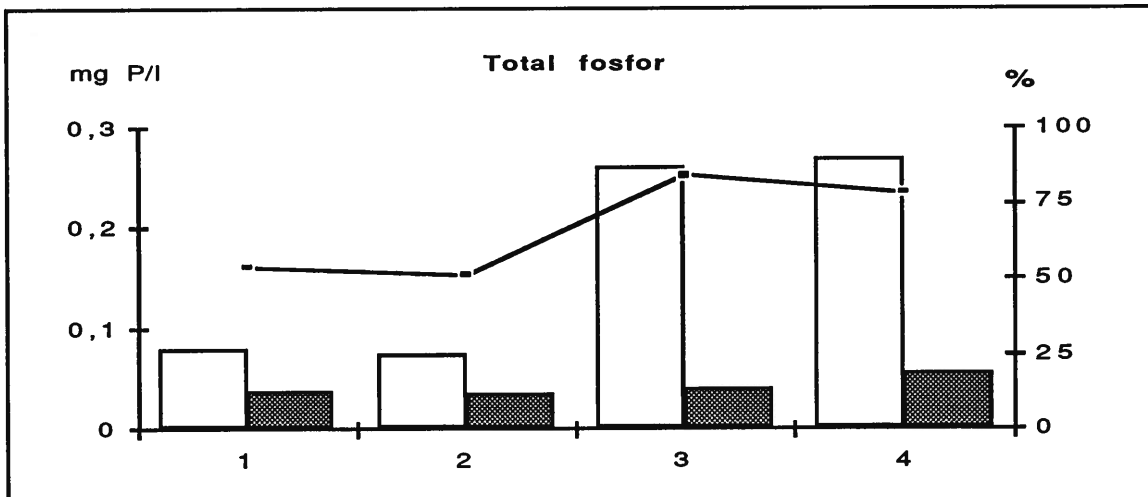
stigende partikkelkonsentrasjoner i avløpsvannet, f. eks. i forbindelse med rengjøring av fiskebasseng.

Med utgangspunkt i de ovenfornevnte undersøkelsene er en rutinemessig fjerning av 30 - 60 % av TP ved bruk av mikrosiler med 60 - 80 μm lysåpning et realistisk nivå. De høye rensnivåene funnet ved rutinemessig rengjøring av fiskekar flere ganger ukentlig (Ohren, 1987) er egentlig lite aktuelle da kravet til effektiv selvrensing av karene reduserer behovet for rengjøring i moderne anlegg.

Et studie over avløpsrensing ved bruk av UNIK hjulfilter illustrerer frasing av de ulike fosforkomponentene (Figur 2). Mens partikulært P ($> 1\mu\text{m}$) nærmest ble fullstendig fjernet ($> 92\%$) varierte renseseffekten til totalfraksjonen, TP, mellom 51 og 84 %. Ved periodevis økt partikkelbelastning (Serie 3,4 : fekalier, fôrspill) vil også den prosentvise renseseffekten øke. Det ble også registrert en viss renseseffekt for løst fosfat (28 - 52 %) som kan forklares ved adsorpsjon av fosfationer til partikler ved vannets passasje gjennom silene.

Ved vanlige mekaniske rensemetoder - siling, filtrering og sedimentering - vil den relative andelen partikkelbundet P og partiklenes størrelsesfordeling være avgjørende for renseseffekten. Påvirkning av fôrkvaliteten som bidrar til en økt andel partikkelbundet P, f. eks. ved å benytte alternative protein- og fosforkilder (jevnf. Alsted, 1991), vil bidra til forbedret renseseffekt.

En trinns mekanisk behandling av avløpet med utprøvde metoder bør rutinemessig kunne fjerne/holde tilbake ca. 50 % av det totale fosforutslippet. Samtlige refererte studier over renseseffekter er basert på bruk av kommersielt fôr. Med utgangspunkt i Alsted's (1991) omtalte undersøkelse med bruk av ulike animalske og vegetabiliske protein- og fosforkilder foreligger det betydelige muligheter til høyere renseseffekter.



**FIGUR 2. Renseeffekter for tre fosforfraksjoner med UNIK
hjulfilter (HF).**

**Avløp fra basseng med stor laks (nettobelastning), Norsk
Bioakva 12.9. 1991.**

**Lysåpning hjulfilter 150 µm (Sil I) og 60 µm (Sil II).
4 etterfølgende måleserier.**

REFERANSER

- Alsted, N.S. 1988. Reduced discharge of nitrogen and phosphorus from fish farming by change in diet composition. Paper at Aquaculture Engineering Technologies for the Future, Symp. at Inst. for Aquaculture, Stirling, Scotland, June 1988. IChem SYMPOSIUM SERIES No. 111, p. 263 - 272. EFCE Publ. No. 66. ISBN 0 85295 226 0.
- Alsted, N.S. 1991. Studies on the reduction of discharges from fish farms by modification of the diet. In : Nutritional Strategies and Aquaculture Waste (Eds. C.B. Cowey & C.Y. Cho), p. 77 - 89. Proc. 1st Int. Symp. Nutr. Strategies Mng. Aquac. Waste, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, June 1990. 275 p.
- Bernatsky, I. 1991. Phosphorus a mixed blessing for fish and the environment.... Northern Aquaculture, : 17-18.
- Bergheim, A. 1991a. Avløpsbelastninger fra landbaserte smolt- og matfiskanlegg i Ryfylke. Rapport fra Rogalandforskning, RF 48/91.28 s. + vedlegg.
- Bergheim, A. 1991b. Stoffbelastning og renseeffekt - avløpsvann fra landbaserte matfiskanlegg. Rapport fra Rogalandforskning, RF 209/91.39 s. + vedlegg.
- Braaten, B. 1992. Forurensning fra nordisk akvakultur. Mengder, effekter og tiltak. En statusrapport på oppdrag fra Nordisk Vattengruppe/Nordisk Ministerråd. NIVA, Oslo, 3. mars 1992. 104 s.
- Cho, C.Y., Hynes, J.D., Wood, K.R. & H.K. Yoshida. 1991. Quantitation of fish culture wastes by biological (nutritional) and chemical (limnological) methods; the development of high nutrient dense (HND) diets. In : Nutritional Strategies and Aquaculture Waste (Eds. C.B. Cowey & C.Y. Cho), p. 37 - 50. Proc. 1st Int. Symp. Nutr. Strategies Mng. Aquac. Waste, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, June 1990. 275 p.
- Eikebrokk, B., Fløgstad, H., Bergheim, A. and T. Åsgård. 1991. Prospects and perspectives for the development of green production technologies in Northern seas aquaculture. In : (Eds. Debois & Braaten) Proceedings of The 1st Environment Northern Seas Conference and Exhibition (ENS), Seminar on Agriculture and Aquaculture, Volume 6, p. 85 - 100. Stavanger, Norway, August 1991. 213 pp.
- Fernø, A., Juell, J.E., Fosseidengen, J.E., Bjordal, Å. & I. Huse 1991. Laks i merd - fôringsregimets betydning. Norsk Fiskeoppdrett, 16(2) :28-29.
- Fivelstad, S., Thomassen, J.M., Smith, M.J., Kjartansson, H. & A.-B. Sandø. 1990. metabolite production rates from Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Artic Char (*Salvelinus alpinus* L.) reared in single-pass land-based brackish water and sea-water systems. Aquacultural Engineering, 9 : 1 - 21.
- Forsberg, O.I. 1992. Produksjonsoptimalisering i landbaserte anlegg : Effekt av to fôrtildelingsregimer på vekst, fôrfaktor og oksygenforbruk til atlantisk laks (*S.salar* L.). Rapport fra Rogalandforskning (In press).
- Hennessy, M. 1991. The efficiency of two aquaculture effluent treatment systems in use in Scotland.- Paper for AQUACULTURE EUROPE'91 : International Aquaculture Conference and Trade Exhibition, Dublin, Ireland, 10 - 12 June 1991.

- Henriksson, S-H. 1989. Fiskodlingens miljøeffekter och metoder för att minska dem. En litteraturöversikt av erfarenheter i Finland 1975-1989. *Monistettu Julkaisuja*, No. 97/1989. 56 s.
- Heerfordt, L. & P. Rand. 1992. Udledning fra ferskvandsdambrug. rensningseffekt af mikrosigte, bundfældningsanlæg og biofilter. Rapport fra DIFTA 24. mars 1992. Hørsholm, Danmark. 20 s. + vedlegg.
- Hieltjes, A.H.M. & L. Lijklema. 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. *J. Environ. Qual.*, 9 : 405 - 407.
- Jensen, J.B. 1991. Environmental regulation of fresh water fish farms in Denmark. In : *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste* (Eds. C.B. Cowey & C.Y. Cho), p. 251 - 262. Proc. 1st Int. Symp. Nutr. Strategies Mng. Aquac. Waste, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, June 1990. 275 p.
- Johnsen, F. & A. Wandsvik. 1991. The impact of high energy diets on pollution control in the fish farming industry. In : *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste* (Eds. C.B. Cowey & C.Y. Cho), p. 51 - 63. Proc. 1st Int. Symp. Nutr. Strategies Mng. Aquac. Waste, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, June 1990. 275 p.
- Kadri, S., Metcalfe, N.B., Huntingford, F.A. & J.E. Thorpe. 1991. Daily feeding rhythms in Atlantic salmon in sea cages. *Aquaculture* 92: 219 - 224
- Ketola, H.G. 1975. Requirement of Atlantic salmon for dietary phosphorus. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 104 (3) : 548 - 551.
- Ketola, H.G. 1982. Effects of phosphorus in trout diets on water pollution. *Salmonid*, 6 : 12 - 15.
- Ketola, H. G. & H. Westers. 1991. Studies on diet and phosphorus discharges in hatchery effluents. Poster at 1st Int. Symp. Nutr. Strategies Mng. Aquac. Waste, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, June 1990.
- Kiærskou, J. 1991. Production and economics of "Low pollution diets" for thye aquaculture industry. In : *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste* (Eds. C.B. Cowey & C.Y. Cho), p. 65 - 76. Proc. 1st Int. Symp. Nutr. Strategies Mng. Aquac. Waste, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, June 1990. 275 p.
- Lall, S. P. 1989a. Essential minerals for finfish. Calcium and phosphorus. In : *Fish Nutritions* (Ed. J.E. Halver), pp. 229 - 235. Academic Press, Inc.
- Lall, S. P. 1989b. The role of mineral supplementation in fish feed formulation. In : *Special Symposium. Aquaculture and the Canadian feed industry* (Ed. C. Y. Cho), p.34 - 43. Toronto, Ontario, Canada, April 1989.
- Lall, S. P. 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. In : *Nutritional Strategies and Aquaculture Waste* (Eds. C.B. Cowey & C.Y. Cho), p. 21 - 36. Proc. 1st Int. Symp. Nutr. Strategies Mng. Aquac. Waste, Univ. of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, June 1990. 275 p.
- Lall, S. P. & F. J. Bishop. 1977. Studies on mineral and protein utilization by Atlantic salmon (*Salmo salar*) grown in sea water. *Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.*, 688 : 1 - 16.
- Liltvedt, H. 1987. Vannrensing i settefiskanlegg. *Norsk Fiskeoppdrett*, 12 (3) : 47.
- Liltved, H. 1988. Utprøving av Unik Hjulfilter for rensing av vann i settefiskanlegg. NIVA VA-rapport 6/88, 31 s.

- Lygren, E., Leffertstra, H., Bull-Berg, A., Bergheim, A. and O.K. Skogheim. 1983. Guidelines on pollution problems from fish-farming activities. Report on suspended solids Norwegian contribution. EIFAC Working Party on Fish Farm Effluents. 28 pp.
- Mäkinen, T. 1982. Om särdrag i fiskodlingens belastning på vattendrag med avseende på förminskning av belastning. Notat fra Laukaa Fish Culture Station, Finland. 25 s + vedlegg.
- Mäkinen, T., Lindgren, S. & P. Eskelinen. 1988. Sieving as an effluent method for aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 7 : 367 - 377.
- Ohren, J. A. 1987. Rensing av avløpsvann fra settefiskanlegg med Algas Microfilter. NIVA VA rapport 20/87. 39 s.
- Persson, G. 1986. Kassodling av regnbåge; Närsaltemissioner och miljö vid tre odlingslägen längs Smålandskusten. Statens Naturvårdsverk, Stockholm, Rapport 3215. 42 s.
- Persson, G. 1988. Relationships between feed, productivity and pollution in the farming of large rainbow trout (*Salmo gairdneri*). National Swedish Environmental Protection Board, Environmental Quality Laboratory, Report No. 3534. ISBN 91-620-3382-4. 48 p.
- Petterson, K. 1986. Betydelsen av fiskfoders fosforsammansättning för fosforläckage till vatten från foderspill och fekalier. Uppsala Universitet, Limnologiska institutionen, Sluttrapport LIU 1986 B: 18. 9 s. + tabs. & figs.
- Petterson, K. & I. Barten. 1989. Fosforens fraktionsfördelning och rörlighet i fiskfoderkomponenter. Uppsala Universitet, Limnologiska institutionen, Sluttrapport LIU 1989 B: 2. 12 s.
- Pfeffer, E. & J. Beckmann-Toussaint. 1991. Hydrothermally treated soy beans as source of dietary protein for rainbow trout. *Arch. Anim. Nutr.*, 41 (2) : 223 - 228.
- Ravndal, J. & J. Thodesen. 1991. Soyakonsentrat som proteinkilde i tørrfôr til laksefisk. Arbeidsoppgave ved NLH, Akvaforsk. Rapport FK-04/91, Norsk Bioakva A/S, Dirdal. 21 s.
- Rawlings, C.E., Talbot, C., Thorpe, J.E. & N.B. Bromage. 1991. Feeding rhythms of Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.) in sea cages in summer. Short comm. and abstracts of contributions at the Int. Conf. AQUACULTURE EUROPE '91. EAS Special Publication, No. 14 : 271 - 272.
- Skogheim, O.K. & T. Bremnes. 1984. Akvatiske miljøeffekter ved fiskeoppdrett i Viksvatn, Nord-Trøndelag. Rapport fra Fiskeforskningen, 3/84. ISSN 0332-7329. 56 s.
- Wiesmann, D., Scheid, H. & E. Pfeffer. 1988. Water pollution with phosphorus of dietary origin by intensively fed rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture*, 69 : 263 - 270.