

Kunnskapsgrunnlag – Slam fra lakseoppdrett

Turid Synnøve Aas





Nofima er et næringsrettet forskningsinstitutt som driver forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 390 ansatte.

Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på fem ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra og Tromsø

Hovedkontor Tromsø:

Muninbakken 9–13
Postboks 6122 Langnes
NO-9291 Tromsø

Ås:

Osloveien 1
Postboks 210
NO-1433 ÅS

Stavanger:

Måltidets hus, Richard Johnsgate 4
Postboks 8034
NO-4068 Stavanger

Bergen:

Kjerreidviken 16
Postboks 1425 Oasen
NO-5844 Bergen

Sunnalsøra:

Sjølsengvegen 22
NO-6600 Sunndalsøra

Alta:

Kunnskapsparken, Markedsgata 3
NO-9510 Alta

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 77 62 90 00

E-post: post@nofima.no

Internett: www.nofima.no

Foretaksnr.:

NO 989 278 835 MVA



Creative commons gjelder når ikke annet er oppgitt

Rapport

Tittel: Kunnskapsgrunnlag – Slam fra lakseoppdrett	ISBN 978-82-8296-686-3 (pdf) ISSN 1890-579X
Title: Knowledge base – Sludge from salmon	Rapportnr.: 23/2021
Forfatter(e)/Prosjektleder: Turid Synnøve Aas	Tilgjengelighet: Åpen
Avdeling: Ernæring og fôrteknologi	Dato: 11 juni 2021
Oppdragsgiver: Nærings- og fiskeridepartementet (NFD)	Ant. sider og vedlegg: 14
Stikkord: Slam, landanlegg, ressursutnyttelse, fôrspill	Oppdragsgivers ref.: -
Prosjektnr.: 10866	
<p>Sammendrag/anbefalinger:</p> <p>Slam fra lakseoppdrett består av fôrrester og gjødsel (faeces) som fanges opp med filtersystem og eventuelt tørkes før det transporteres bort. Gjødsel går lett i oppløsning og er vanskelig å samle opp, og slam inneholder derfor generelt en betydelig andel fôr. Fôr og gjødsel har ulik sammensetning, og sammensetningen av slammet er derfor avhengig av mengde fôr i slammet. Mengden fôr i slammet har derfor betydning for bruken av slam.</p> <p>Slam brukes blant annet som jordforbedringsmiddel og til biogassproduksjon. Det er noen utfordringer knyttet til bruken av slam, det er også energikrevende å samle opp, tørke og transportere slammet.</p> <p>Målinger har vist at oppsamlingen av slam har moderat effektivitet. Dette skyldes trolig at særlig faeces lett går i oppløsning og er vanskelig å samle opp. Fôrpelletts lar seg lettere filtrere ut. Det er potensiale for å redusere mengden fôr som går til spille i slammet. Dette vil bedre ressursutnyttelsen, men vil kreve utvikling av teknologi.</p>	
<p>English summary/recommendation:</p> <p>Sludge from salmon farming consists of uneaten feed and faeces. Faeces are brittle particles which easily disrupts and are difficult to collect with mechanical filters. Thus, sludge commonly contains large amounts of feed. Feed and faeces have different chemical composition, and the properties of sludge therefore depends on amount of feed in the sludge.</p> <p>Aquaculture sludge is e.g. used as agriculture fertilizer and for biogas production. There are some challenges related to this use.</p> <p>There is potential for developing technology for reduced amount of feed in the sludge. Reducing the feed spill will improve the resource utilization in salmon farming.</p>	

Forord

I forbindelse med NFDs tilskuddsbrev til Nofima for 2021 ble det anmodet om at Nofima utarbeider et kunnskapsgrunnlag om kartlegging av innhold i slam, f.eks. tungmetaller, organisk materiale, fosfor, medisinrester. Et godt kunnskapsgrunnlag anses nødvendig for å få fiskeslam omfattet av EU'S regelverk og utvide bruksområdene. Kan f.eks. slam brukes som substrat for insektproduksjon? Hvor mye slam genereres fra dagens produksjon (settefiskanlegg på land) og ulike scenario for fremtiden med produksjon av større smolt på land, lukkede anlegg i sjø med mulighet for slik oppsamling og ikke minst de planlagte store matfiskanleggene på land, er områder som ble ønsket belyst.

Denne rapporten er et svar på NFDs forespørsel.

Innhold

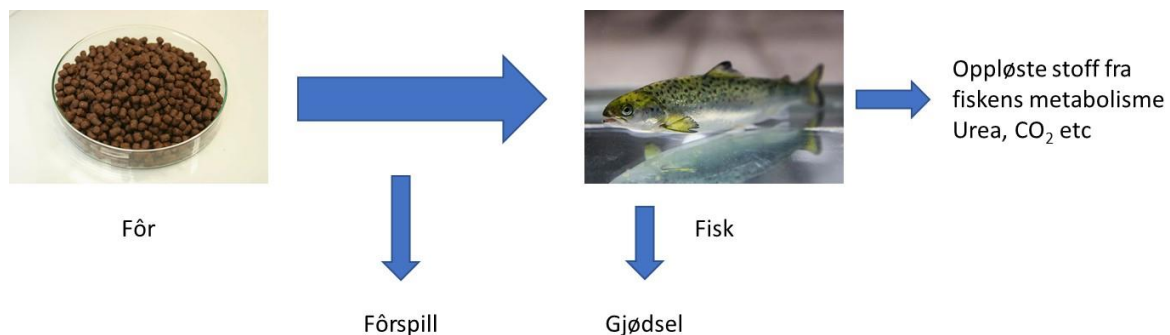
1	Slam fra lakseoppdrett	1
1.1	Oppsamling av slam.....	1
1.2	Effektivitet av filter for oppsamling av slam.....	2
1.3	Kjemisk sammensetning av slam.....	3
1.3.1	Fosfor.....	4
1.3.2	Sink	4
1.3.3	Kadmium og andre tungmetall.....	5
1.3.4	Salt.....	5
1.3.5	Karbohydrat.....	5
1.3.6	Medisinrester og plantevernmidler.....	6
1.3.7	Fôr: faeces ratio i slam	6
1.4	Mengde slam	7
1.5	Bruk av slam	8
1.5.1	Jordforbedringsmiddel	8
1.5.2	Produksjon av biogass	9
1.5.3	Energikilde i sementproduksjon.....	9
1.5.4	Aquaponics	10
1.5.5	Integrert havbruk og dyrking av makroalger i sjø	10
1.5.6	Dyrking av insektlarver, børstemark og liknende fra slam	10
1.6	Energibruk i slamhåndtering	11
1.7	Regelverk	11
1.8	Konsentrasjoner versus mengde.....	12
1.9	Utnyttelse av fôrressurser	12
2	Referanser	13

1 Slam fra lakseoppdrett

Slam fra lakseoppdrett består av uspist fôr og fiskens gjødsel (faeces) som er samlet opp med ulike filtersystem, og avvannet og/eller tørket for å redusere vanninnholdet. Slammet tilsvarer det som i landbruk omtales som gjødsel. Men til forskjell fra husdyrgjødsel inneholder fiskeslam vanligvis en betydelig mengde fôr, fordi man ikke har samme kontroll på uspist fôr i vann som man har på land, og fordi laksens gjødsel lett går i oppløsning før den når filtersystemene.

I all dyreproduksjon er fôr en forutsetning for produksjon. Laks trenger fôr med høyt innhold av protein, fett og energi. Laksefôr er produsert fra råvarer med høyt næringsinnhold og som kommer fra et globalt marked. Det er ønskelig at mest mulig av fôret skal bli spist og fordøyd og bli til laks (Figur 1), med tanke på både økonomi og ressursutnyttelse. Men noe fôr vil ikke bli spist. Laks har høyest vekst og mest effektiv fôrutnyttelse når fôrinntaket er høyt, og det er derfor vanlig å fôre med en viss overføring for å få maksimalt fôropptak. En andel av fôret er ufordøyelig og kommer ut av fisken i form av faeces. Fôrspill og faeces samles opp til slam i landanlegg.

En andel av fôrets energi og næringsstoff omsettes i fiskens metabolisme, og reststoffer fra metabolismen skilles ut via nyrer, gjeller og skinn. Dette er oppløste forbindelser som ikke kan samles med mekaniske filtre, og er derfor ikke relevant i forbindelse med slam.



Figur 1 Enkel skisse av flyten av næringsstoff og energi fra fôr i lakseoppdrett. Fôrspill og gjødsel er delvis i form av partikler som kan samles opp som slam, og delvis som oppløste stoff eller finpartikulært materiale som ikke kan fanges på mekaniske filtre. De oppløste stoffene fra fiskens metabolisme kan ikke samles som slam.

1.1 Oppsamling av slam

I dag blir det ikke samlet opp slam fra merder i sjø og det er ikke utviklet teknologi for dette. I semilukkede anlegg er systemer for oppsamling av slam under utvikling. Per i dag er det i landanlegg det hovedsakelig samles slam, og nye anlegg har krav om slik rensing.

Det finnes flere ulike typer filtersystem, og flere leverandører av disse. Det er vanlig at det oppsamlede slammet går gjennom flere trinn med filtrering, avvanning og eventuelt tørking, og oppdretteren vil modifisere og tilpasse filtersystemet for optimal bruk. De ulike anlegg har derfor ulike system, og systemene endres over tid. Slam produseres altså ikke på en ensartet måte, og mengde, vanninnhold og sammensetning av slam vil variere for de de ulike anlegg, og endres over tid.

På store landanlegg er det vanlig at utløpsvann fra hvert kar går via rørsystem til ett felles filtersystem på anlegget, der partikler av fôr og faeces filtreres fra. Etter dette første trinnet kan slammet for eksempel ha et tørrstoffinnhold på 5–20 %. Dette slammet avvannes med flere trinn av filtrering/sentrifugering, og kan deretter tørkes til ønskelig tørrstoffinnhold, for eksempel > 85 % tørrstoff. Slammet vil da være i form av tørt pulver.

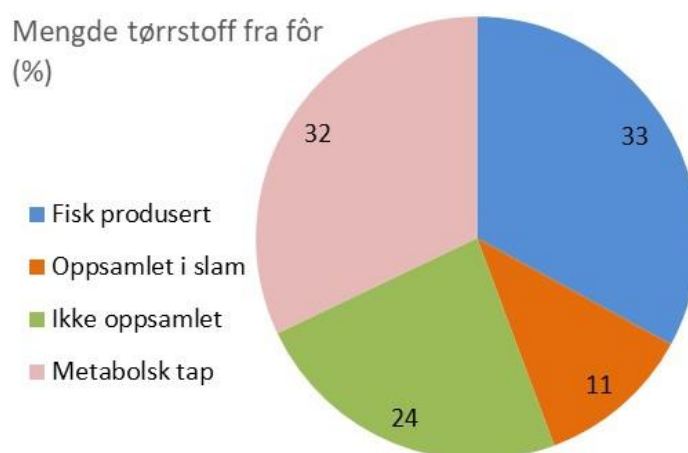
Tørking er en energikrevende prosess. Men tørt pulver er stabilt, lett å håndtere, og det blir redusert mengde å transportere bort. Alternativt kan slammet transporteres bort med et stort innhold av vann, men da vil man bruke energi på å transportere store mengder vann. Vått slam er også svært ustabil og må stabiliseres med høy pH før det kan transporteres.

1.2 Effektivitet av filter for oppsamling av slam

Leverandører av filtersystem oppgir en prosent effektivitet for sine filter, og dette angir hvor stor andel av partikler som samles på filteret. En leverandør kan for eksempel oppgi en filtereffektivitet på 70–90 %. Målingene gjøres ofte ved at man måler konsentrasjoner av stoff/partikler før og etter filter.

Ved et nytt anlegg, med nytt 'state of the art' filtersystem, ble filtereffektiviteten målt ved massebalanse. Dette ble gjort over en periode på tre måneder, der data for mengde fôr brukt, mengde fisk produsert og mengde slam produsert ble oppgitt av oppdretter, og fôr, fisk og slam analysert kjemisk. Mengden slam som ble samlet lå rundt 30–40 % av den stoffmengden fra fôrspill og faeces som ble beregnet at var tilstede (Aas & Åsgård, 2019). Den prosentvise fordelingen av tørrstoff fra fôr er vist i Figur 2. Tilsvarende beregning for energi, nitrogen, fett og mineraler viste samsvarende resultat. Som figuren viser, ble rundt en tredjedel av det beregnede materialet (tørrstoff) fra fôrspill og faeces samlet opp som slam.

Effektiviteten av filtersystemet som ble målt i dette forsøket var svært avvikende fra filtereffektiviteten oppgitt av filterleverandør. Det antas at tapet av stoff i stor grad skyldes små partikler og oppløste stoff som ikke lar seg samle opp med de mekaniske filtersystemene.



Figur 2 Måling av flyten av næringsstoff (tørrstoff) fra fôr i et landanlegg. Av mengden tørrstoff i fôr ble 33 % til fisk og det metabolske tapet utgjorde 32 %. Av de 35 % som ble estimert til å utgjøre tørrstoff i fôrspill og faeces, ble 11 % samlet opp som slam og 24 % ble ikke samlet opp (Aas & Åsgård, 2019).

Oppløste forbindelser kan ikke samles på mekaniske filter. Partikler under en viss størrelse går også gjennom filtrene. Det er ukjent hvor stor andel slike oppløste og finpartikulære stoff utgjør, og det er trolig svært varierende og vil henge sammen med fôrets tekniske egenskaper og fastheten til faeces.

Den tekniske kvaliteten til fôr varierer. Et godt fôr skal være smakelig og fordøyelig for laksen, og det skal fungere i de logistiske systemene for transport, lagring og utfôring. Fôr som knuser lett eller går fort i oppløsning i vann vil gi mye partikler i vannet (Aas *et al.*, 2011). Generelt har fôr høy stabilitet og fôrspill blir antakeligvis samlet relativt effektivt opp i de fleste tilfeller. Mengden oppløst stoff og finpartikulært materiale fra fôr er derfor trolig begrenset, men varierende.

Faeces fra laks er pellet-liknende partikler, men med svært skjør struktur, og går lett i oppløsning. Stabiliteten til faeces kan påvirkes av fôringrediensene. Vegetabilske proteinkilder som soyaprotein-konsentrat kan gi diare hos laksen, og dette er dårlig egnet for å samle opp som slam. Det finnes bindere som kan tilsettes fôr som brukes i landanlegg for å binde faeces til fastere partikler som fanges bedre på filtrene (Brinker, 2007, Brinker & Friedrich, 2012). Slike bindere kan redusere fordøyeligheten av andre næringsstoff (Storebakken, 1985).

I store landanlegg transporteres fôrspill og faeces gjennom et rørsystem fra utløpet til det enkelte kar og til filtersystemet. Dette medfører røff behandling av partiklene, og faeces går trolig i stor grad i oppløsning under denne transporten. Dette antas å være en viktig årsak til den moderate effektiviteten av filtersystemene som ble funnet i forsøket beskrevet over (Figur 2).

Det finnes system for oppsamling av slam ved direkte utløp av hvert kar, der utløpsvannet ledes inn i en sylindere og skaper en virvel slik at partiklene separeres ut med sentrifugalkraften. Slike system krever plass ved hvert kar og brukes ved mindre anlegg.

Materiale fra fôr og faeces som ikke samles opp, slippes ut med avløpsvannet. I resirkuleringsanlegg (RAS) blir vann ledet tilbake til systemet. Noe materiale omsettes av biofilteret, og slik kan noe nitrogen avgis til luften, men denne mengden antas å være liten. Materiale fra fôr og faeces som ikke samles i slam kan antas å, i all hovedsak, slippes ut gjennom avløpsvann. I RAS vil moderat filtereffektivitet gjøre at partikler og oppløste stoff ledes tilbake i systemet og belaster biofilter og påvirker vannkvaliteten. Dette kan ha stor betydning for fiskens vekst, helse og velferd, og for økonomien. Det har også vært noen tilfeller av massedød som tilskrives opphopning av H₂S i RAS. Det kan hende at slike tilfeller kunne vært unngått med bedre filtereffektivitet.

1.3 Kjemisk sammensetning av slam

Laksefôr har høyt innhold av fett og protein, som generelt er godt fordøyelig. Det vil si at det meste tas opp av fisken, og lite kommer ut i faeces. Fôret inneholder også noe karbohydrat og mineraler, og disse har lav fordøyelighet og ender derfor i større grad opp i faeces. Følgelig har fôr og faeces svært ulik sammensetning. Mens fôr har høyt innhold av fett og protein, har faeces høyt innhold av karbohydrat og mineraler.

Det foreligger lite data på sammensetning av faeces fra laks fôret med kommersielle fôr. I Tabell 1 er det vist et eksempel på sammensetning av fôr og faeces som ble analysert i et forsøk. Forsøket ble gjort med laks på 1,3 kg og fôrene var produsert spesifikt til forsøket, men var av kommersiell type. Verdiene er gitt på tørrstoffbasis. Innholdet av energi og fett er høyere i fôr til så stor fisk enn det som

brukes til liten fisk i landanlegg. Karbohydrat ble ikke analysert. Men som tabellen viser, er fett og protein (og dermed energi) i høy grad fordøyd og tatt opp av fisken, mens konsentrasjonen av mineraler er høyere i faeces enn i fôr.

Tabell 1 Eksempel på kjemisk sammensetning av fôr og faeces. Verdiene er gitt i **tørrestoff** for direkte sammenligning. Data er hentet fra et forsøk der det ble brukt forsøksfôr av kommersiell type (Aas et al., 2020).

	Fôr	Faeces
Energi, MJ/kg	25,2	14,3
Fett, %	29,7	4,9
Råprotein (Nx6.25), %	41,5	15,5
Aske, %	5,6	23,7
Fosfor, mg/kg	9 779	20 216
Sink, mg/kg	186	408
Natrium, mg/kg	4 345	16 443
Jern, mg/kg	150	489
Kalsium, mg/kg	9 918	40 308
Magnesium, mg/kg	1 607	25 309
Kobber, mg/kg	6	11
Mangan, mg/kg	33	94

1.3.1 Fosfor

Fosfor er nødvendig for alle levende organismer, og finnes både i gjødsel til planter og i fôr til dyr. Fosfor er en begrenset ressurs som bør utnyttes på best mulig måte. I laksefôr er det viktig å ha tilstrekkelig mengde fosfor for å sikre at laksens behov er dekket. Fosfor er et mineral som i noen tilfeller ligger i underkant av det fisken trenger. Fordøyeligheten av fosfor er varierende for ulike fôringredienser, men varierer også ved ulike miljøbetingelser (for eksempel temperatur). Fordøyeligheten av fosfor kan ligge i området 30–60 %, det vil si at 40–70 % er ufordøyelig. En del av fiskemelet som brukes i laksefôr er produsert fra avskjær (Aas et al., 2019). Dette er god ressursutnyttelse, fiskemel har høy næringsverdi for fisken og det produseres relativt lokalt. Men avskjær inneholder en høy andel bein, og fordøyeligheten av mineraler fra bein er begrenset. Når det brukes fiskemel fra avskjær i fôr, blir dermed fordøyeligheten av fosfor redusert og det tapes mer i faeces. Det er mulig å øke fordøyeligheten av mineraler fra bein/avskjær (Albrektsen et al., 2018), men denne prosessen er kostbar. Det skal nevnes at fosfor som slippes ut fra et anlegg blir omsatt av organismer i sjøen og går slik inn i ny produksjon, såfremt det ikke sedimenterer.

1.3.2 Sink

Sink er også et nødvendig næringsstoff for laksen, og har som fosfor begrenset og varierende fordøyelighet. I likhet med fosfor kan også sinknivået i fôr være noe lavt for å dekke laksens behov. Men på grunn av den lave fordøyeligheten finnes en stor andel av fôrets sink igjen i faeces, og konsentrasjonen av sink er en begrensning for bruk av slam som gjødsel i landbruket.

1.3.3 Kadmium og andre tungmetall

Kadmium er et tungmetall og uønsket i fôr, og kommer hovedsakelig fra fiskemelet. Kadmium fra laksefôr antas å ha svært lav fordøyelighet, og tilnærmet alt fisken har spist finnes igjen i faeces. Sammen med sink er kadmium en begrensning for bruk av slam som gjødsel. Merk at om *mengden* kadmium i spist fôr er den samme som i produsert faeces, er *konsentrasjonen* øket i faeces.

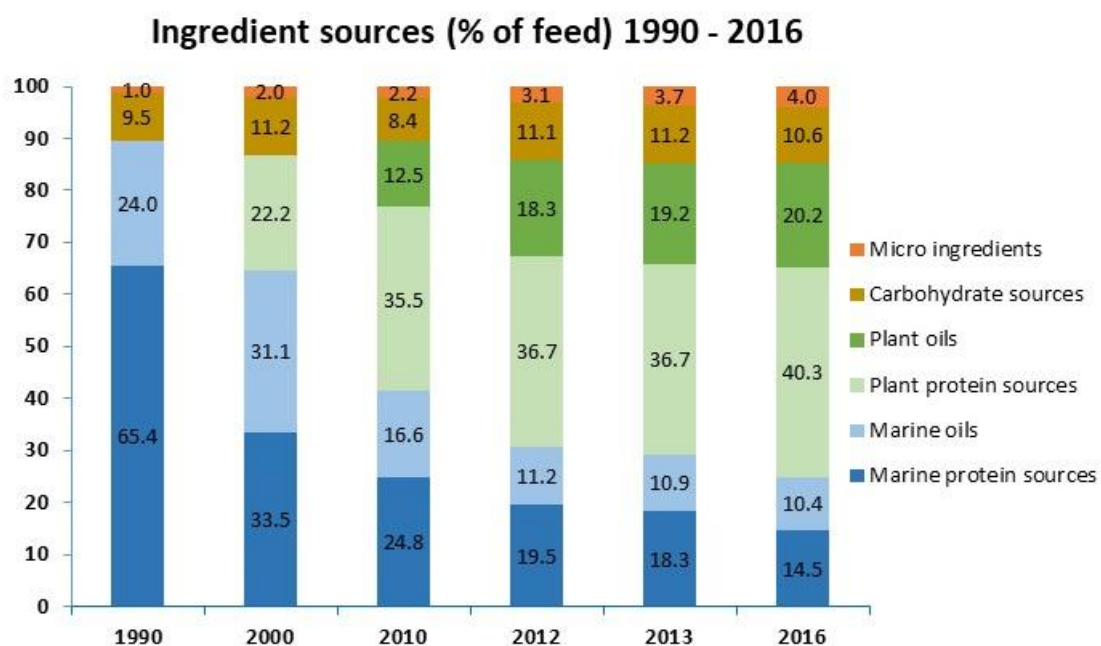
Det kan også finnes andre tungmetall i fôr, og hvor mye som finnes igjen i slammet vil henge sammen med mengde i fôr og fordøyelighet. Det kan for eksempel forekomme kvikksølv. Metyl-kvikksølv har god fordøyelighet og tas opp av fisken, og det blir dermed mindre i faeces. Men med tanke på mattrygghet er det en fordel at uønskede stoffer kommer ut i faeces og slammet, heller enn at det tas opp og akkumuleres i fisken.

1.3.4 Salt

I sjøvann og brakkevann inneholder slammet salt og dette har betydning for bruken av slammet. Mengden salt vil avhenge av filter- og tørkeprosessen. Dersom slammet avvannes, vil saltvannet i stor grad renne av. Dersom slammet tørkes fra høyt vanninnhold, vil saltkonsentrasjonen bli høy.

1.3.5 Karbohydrat

Laks har begrenset evne til å utnytte karbohydrat. Stivelse har gode bindeegenskaper og laksefôr tilsettes stivelsesrike ingredienser, ofte hvete, for å oppnå god teknisk pelletkvalitet. I 2016 inneholdt norsk laksefôr i snitt 8,9 % hvete (Aas *et al.*, 2019). Vegetabilske proteinkilder inneholder også en viss mengde karbohydrat og dagens laksefôr med høyt innhold av vegetabilske proteinkilder har derfor høyere innhold av karbohydrat enn fôr basert på marine råvarer. Det er vist at laks ikke utnytter karbohydrat over rundt 8–9 % av fôret. Ut over dette nivået vil karbohydrat komme ut igjen som faeces. Økende mengde vegetabilske proteinråvarer i fôret vil dermed gi økende mengde faeces. I 2016 utgjorde vegetabilske proteinkilder 40,3 % av ingrediensene i norsk laksefôr (Figur 3).



Figur 3 Råvarebruk i kommersielt laksefôr i Norge 1990–2016 (Aas *et al.*, 2019).

1.3.6 Medisinrester og plantevernmidler

Det finnes lite dokumentasjon på mengde medisinrester og plantevernmidler som finnes i slam fra oppdrett. For å kartlegge dette kreves ikke bare analyser av de enkelte forbindelser og deres nedbrytningsprodukt i slam, men det må også dokumenteres hvordan de ulike forbindelser omsettes i fisken.

I de tilfellene det benyttes medisin til laks, er det ønskelig at all medisin tas opp av fisken. Ulike medikament omsettes ulikt i fisken, og nedbrytningsprodukt kan for eksempel skilles ut via nyrer og frigjøres i vannløselig form. Dersom medisinrester eller deres nedbrytningsprodukt er bundet i faecespartikler, vil dette kunne samles og finnes igjen i slam. Men i de tilfeller det er bruk medisinfôr, er det rimelig å anta at det meste av medisinrester som finnes i slammet foreligger i uspist, oppsamlet fôr. Mengden fôrspill vil da være avgjørende for hvor mye medisinrester slammet inneholder.

Det kan finnes rester av plantevernmidler i planteråvarene som brukes i laksefôr. Det er funnet rester av sju ulike typer plantevernmidler i norsk laksefôr, og det er vist at noen av disse tas opp i fisken (Berntssen *et al.*, 2021). Mengde i fôr, fordøyelighet, og hvordan fisken omsetter de ulike plantevernmidlene vil være avgjørende for hvor mye som finnes i slammet. Det finnes svært begrenset informasjon tilgjengelig om rester av plantevernmidler i slam.

For alle uønskede stoffer vil mengde og hvilken form det foreligger på i slam henge sammen med mengden som finnes i fôr, hvordan den aktuelle forbindelse omsettes i fisken, og hvor mye fôrspill slammet inneholder.

1.3.7 Fôr: faeces ratio i slam

Ettersom sammensetning av fôr og faeces er svært ulik (Tabell 1) er den kjemiske sammensetningen av slam avhengig av mengden fôrpellets i slammet (Aas *et al.*, 2016, Ytrestøyl *et al.*, 2016). Mengden fôrspill som ender opp som slam kan til en viss grad kontrolleres med fôringrutiner, men ettersom høy fôrutnyttelse forutsetter høyt fôrinntak, føres det ut noe mer enn fisken spiser, slik at all fisk skal ha tilstrekkelig tilgang til fôrpartikler. I motsetning til fôring av landdyr der fôret kan bli liggende til det er spist, vil fôring i vann innebære at fôr som ikke er spist innen kort tid følger vannstrømmen ut av karet og går tapt. Per i dag samles ikke fôrspill opp til gjenbruk som fôr, men ender som slam eller tapes gjennom utslipp.

Slammets kjemiske sammensetning avhenger også av mengden faeces som blir samlet opp, i forhold til mengden fôr i slammet. Dette vil avhenge av mengden faeces som fisken produserer, som igjen avhenger av mengden fôr spist, og andelen ufordøyelig materiale i fôret. Tidligere var laksefôr basert på marine råvarer med høy fordøyelighet, og kommersielle fôr hadde en total fordøyelighet på rundt 75 % (Hillestad *et al.*, 1999). Det finnes begrenset dokumentasjon på fordøyelighet av kommersielle fôr, men forsøksfôr av kommersiell type ble målt til under 65 % total fordøyelighet hos laks på 1,3 kg (Oehme *et al.*, 2014). I sistnevnte fôr var altså 35 % av fôret ufordøyelig materiale som ble til faeces. Vegetabiliske proteinkilder som brukes i stor grad i fôr i dag (Aas *et al.*, 2019, Ytrestøyl *et al.*, 2015) inneholder også karbohydrat, som laks utnytter dårlig. Økende mengde planteprotein i fôr vil dermed øke mengden faeces som produseres. Fôr til de tidlige stadier av fisken som holdes i landanlegg er antakeligvis produsert fra råvarer med høyere fordøyelighet enn det som kan brukes til stor fisk i sjø, og den ufordøyelige mengden (faeces) vil da være lavere i landanlegg enn i sjøfasen. Mengde faeces (ufordøyelig materiale) fra landanlegg kan antakeligvis ligge i området 25–30 % av fôret.

I det ovennevnte forsøket (Figur 2) ble fôr og slam analysert (Aas & Åsgård, 2019). Det ble ikke samlet og analysert gjødsel i forsøket. Energiinnholdet i fôret var 21,9 MJ/kg og i slammet 18,2 (Tabell 2). På tørrstoffbasis var de tilsvarende verdiene henholdsvis 23,5 og 20,4 MJ/kg. Energiinnholdet i faeces er ofte i området 14–15 MJ/kg tørrstoff. Det målte energiinnholdet i slam (20,4 MJ/kg) lå altså nærmere energiinnholdet i fôr enn det man kan anta for faeces. Dette tyder på at slammet inneholdt over 50 % fôr.

Tabell 2 Eksempel på kjemisk sammensetning av fôr og tørket slam fra et kommersielt landanlegg. Tallene er gitt i 'våtvekt' (Aas & Åsgård, 2019).

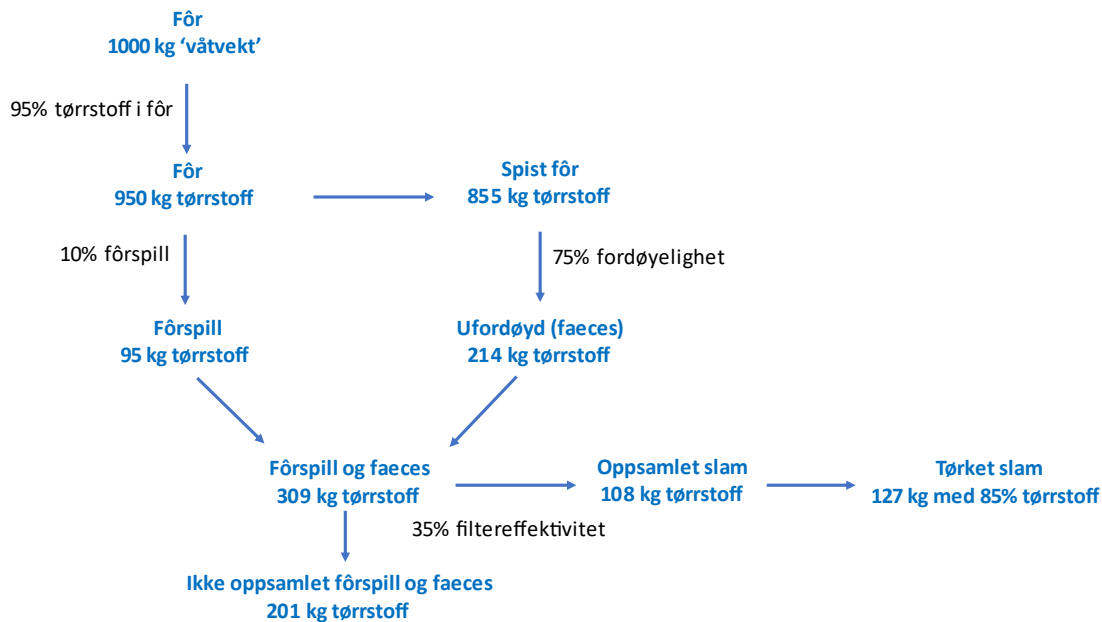
	Fôr	Tørket slam
Tørrstoff, %	93,5	89,1
Energi, MJ/kg	21,9	18,2
Fett, %	21,0	13,4
Råprotein (Nx6.25), %	48,8	35,3
Fosfor, mg/kg	16 400	25 900
Sink, mg/kg	175	433
Natrium, mg/kg	7 130	1 200
Kadmium, mg/kg	0,3	1,0
Aluminium, mg/kg	48	540
Molybden, mg/kg	0,60	0,79
Jern, mg/kg	207	883
Kalium, mg/kg	9 850	675
Kalsium, mg/kg	19 600	59 100
Magnesium, mg/kg	2 210	2 100
Kobber, mg/kg	7,84	14,2
Mangan, mg/kg	30	128

Verdiene i Tabell 2 viser *konsentrasjon* av ulike komponenter i slammet. Regelverk for bruk av slam fokuserer på konsentrasjoner. Innholdet av kadmium og sink er i en del tilfeller over tillatt konsentrasjon for bruk av slam som gjødsel på landbruksareal. Men dersom et landanlegg unngår fôrspill og bruker fôr med høy fordøyelighet (som gir redusert mengde faeces), vil *konsentrasjon* (men ikke *mengde*) av for eksempel kadmium og sink bli høye. For en oppdretter vil det slik regelverket er i dag være fordelaktig å ha fôrspill i slammet. Fôr inneholder også mye energi, som øker verdien av slammet til produksjon av biogass. Men for å bedre ressursutnyttelsen bør alt fôr ideelt sett spises av fisken, og ikke ende som slam.

1.4 Mengde slam

Hvor mye slam som produseres ved de ulike anlegg varierer og avhenger av flere faktorer, som filter-system, pelletkvalitet, faeces-stabilitet og fôringsregime. Anleggets størrelse og produksjonsvolum er selvsagt avgjørende for den totale mengden slam som produseres. I landanlegget der det ble gjort målinger av flyten av næringsstoff fra fôr, ble det brukt rundt 3000–4000 kg fôr per dag, og det ble daglig samlet opp rundt 350–500 kg tørket slam med 89 % tørrstoff (Aas & Åsgård, 2019). I Figur 4 er det vist et eksempel på beregning av mengde slam produsert i et landanlegg, per tonn fôr. I dette eksempelet produseres det 309 kg fôrspill og faeces (tørrstoff) per tonn fôr, og av dette samles 108 kg opp (tørrstoff). Dersom de 108 kg tørrstoff slam foreligger i form av tørket slam med 85 % tørrstoff,

det vil si et tillegg på 15% vann, vil dette tilsvare 127 kg oppsamlet, tørket slam med 85 % tørrstoff samlet per tonn fôr brukt. I eksempelet vist vil mengde oppsamlet slam utgjøre 11 % av mengde utfôret fôr gitt på tørrstoffbasis, eller 13 % gitt som 'våtvekt'. Forutsetningene som er brukt i Figur 4 er i overensstemmelse med data målt i anlegget nevnt over (Aas & Åsgård, 2019).



Figur 4 Estimat av mengde produsert og oppsamlet slam i et landanlegg, per tonn fôr utfôret. I tabellen er det brukt én verdi for effektivitet av oppsamling av total mengde materiale (faeces og fôrspill).

Et enkelt overslag over total mengde fôrspill og faeces som produseres (det meste ikke oppsamlet) i norsk akvakultur kan gjøres med utgangspunkt i 1,6 millioner tonn fôrmidler (Aas *et al.*, 2019) per år. Om 25 % er ufordøyelig materiale, utgjør dette 400 000 tonn. Legger man til noe fôrspill, blir det rundt 500 000 tonn fôrspill og faeces per år. Beregninger for blant annet mengde energi og fosfor i slam er vist av Aas & Åsgård (2017).

1.5 Bruk av slam

Slam fra oppdrettsanlegg inneholder energi og verdifulle næringsstoffer fra fôret, og denne bistrømmen kan benyttes til annen produksjon.

1.5.1 Jordforbedringsmiddel

Slam inneholder nitrogen, fosfor og andre næringsstoffer som er egnet som jordforbedringsmiddel i landbruket og på andre dyrkede areal. Det er vist at slammet er egnet som jordforbedringsmiddel, men med noen begrensninger, og kan for eksempel blandes med kugjødse for å oppnå bedret resultat.

Blant utfordringene med å bruke slam fra akvakultur i landbruk, er transport og geografiske avstander. Videre er transport energikrevende. For å minimere mengden vann som transporteres, og for å unngå ustabil, vått slam, blir slammet ofte tørket før transport. Tørking er også energikrevende. For å ta unna

store mengder kreves betydelige spredeareal. Landbruksareal gjødsles et begrenset antall dager i året, og fiskeslam kan gi luktproblem.

Slam fra oppdrett er rikt på fosfor, og store deler av jorda på kysten langs Vestlandet og Nord-Norge, der oppdrett foregår, er overgjødslet med fosfor. Bruk av planteråvarer i fôr gir en netto strøm av fosfor fra jordbruk i ulike deler av verden til slam fra oppdrett. Ideelt sett skulle slam vært tilbakeført til de aktuelle jordbruksarealene.

Det antas å være liten risiko for smitte til mennesker dersom slam spres på jordbruksareal. Men det kan være en viss fare for spredning av fiskesykdommer til villfisk dersom slammet ikke er hygienisert (Mattilsynet, 2017).

For bruk som gjødsel på jordbruksareal, kan konsentrasjon av kadmium og sink i noen tilfeller være over grenseverdiene i gjødselvareforskriften. Det er lavere krav (høyere grenseverdier) for bruk som gjødsel i for eksempel parkområder. Mineralkonsentrasjonen er betydelig høyere i faeces enn i fôrspill (Tabell 1), og dersom det er lite fôrspill i slammet vil det derfor være vanskeligere å bruke slammet i etterkant. Satt på spissen kan man si at fôrspill er fordelaktig for å tynne ut konsentrasjon av problematiske stoff. Men bruk av laksefôr til gjødsling av jordareal er ikke god ressursutnyttelse.

1.5.2 Produksjon av biogass

Energien fra slam fra akvakultur kan brukes til å produsere biogass. Dette kan gjøres etter transport til sentrale avfallsanlegg. Biogass anses som en miljøvennlig energikilde, og bidrar ikke til øket karbonmengde slik som fossile energikilder gjør.

I biogass-anlegg må substratet ha relativt høyt vanninnhold, og da er det en avveining hvor mye slammet bør tørkes før transport, versus transport av større volum vann.

Produksjon av biogass fjerner ikke massen av slammet. Etter at biogassen er produsert foreligger en råtnerest. Denne kan for eksempel brukes som jordforbedringmiddel, og vil ha tilsvarende begrensninger som bruk av slam direkte, men kan være blandet med andre avfallsprodukt og for eksempel kadmium kan slik være tynnet ut.

Det er også utviklet mindre biogassanlegg til bruk på det enkelte landanlegg. Biogassen kan bidra til anleggets energibehov. Drift av et biogassanlegg krever personale og kompetanse. Råtneresten etter produksjon av biogass må transporteres bort og avhendes.

Fôr har høyere energiinnhold en faeces (Tabell 1), og potensialet et slam har for produksjon av biogass avhenger av mengden fôrspill i slammet. Men å bruke laksefôr til produksjon av biogass er dårlig ressursutnyttelse. Dersom man i framtiden klarer å unngå fôrspill i landbaserte anlegg, vil slammet ha redusert energiinnhold. Variasjon i innhold av fôr i slam som leveres til biogassanlegg kan også gi utfordringer med tanke på selve prosessen i biogass-produksjonen.

1.5.3 Energikilde i sementproduksjon

Ved produksjon av sement benyttes særdeles høy varme (> 2000 °C). Energibehovet til dette kan ikke dekkes med elektrisitet, og det benyttes i stedet forbrenning av ulike restråstoff. Forbrenning av slam i sementproduksjon kan i utgangspunktet være en mulig måte å bruke slammet, da de aktuelle

forbrenningsanleggene kan ta unna store mengder materiale av ulike typer. En begrensning for bruk av slam til dette er at det finnes to sementproduksjonsanlegg i Norge, ett i Breivik og ett i Kjøpsvik. Bruk av slam ved sementproduksjon vil derfor innebære transport av slam over lange avstander. Videre trenger sementanleggene store mengder for å tilpasse forbrenningen til hver type avfall, og det har vist seg vanskelig å få store nok volum slam ved hver leveranse. En kan også stille spørsmålsteget ved om det er god ressursbruk å bruke verdifulle næringsstoffer til forbrenning.

1.5.4 Aquaponics

Næringsstoff oppløst i vann kan brukes til å dyrke planter som tar opp næringsstoffene direkte fra vannet, for eksempel salat og basilikum. I Norge må slik produksjon foregå innendørs, og dette vil kreve store areal med drivhus. Det er heller ikke optimale lys- og temperaturforhold for dette i Norge, og dyrking med aquaponics vil kreve betydelig energi. Markedet for de aktuelle vekstene må kunne ta unna et betydelig volum for at dyrking med aquaponics skal utnytte den tilgjengelige mengden næringsstoffer fra landanlegg.

1.5.5 Integriert havbruk og dyrking av makroalger i sjø

Næringsstoffer som frigjøres fra oppdrettsanlegg kan brukes til å dyrke andre organismer som kan høstes (integriert havbruk eller 'integrated multitrophic aquaculture', IMTA). Det er mulig å dyrke blåskjell ved en viss distanse rundt oppdrettsanlegg, og makroalger (tare) utenfor det igjen. Blåskjell har begrenset markedsverdi, og kan også gi utfordringer i nærheten av oppdrettsanlegg. I Norge høster for eksempel Ocean Forest både tare og blåskjell, og har testet blåskjellmel i fôr. Tang og tare har tradisjonelt blitt brukt som jordforbedringsmiddel langs kysten, og også som fôr til husdyr. De ulike arter av tare har ulik sammensetning, og dette varierer også med høstetidspunkt. Men generelt har tare høyt innhold av strukturelle karbohydrat, høyt innhold av mineraler, og lavt innhold av protein og fett. Innholdet av jod kan være særdeles høyt, innholdet av kadmium kan være høyt, og innholdet av salt er høyt. Det høye innholdet av jod, tungmetaller og salt begrenser bruken av tare direkte til dyrefôr og mat til mennesker. Tare er uegnet som fôringrediens til laks. Men tare inneholder interessante komponenter som fukoidan, som antas å ha helsefremmende effekt hos mennesker og dyr. Fukoidan selges blant annet som kosttilskudd.

1.5.6 Dyrking av insektlarver, børstemark og liknende fra slam

Slam fra lakseoppdrett inneholder energi og næringsstoffer som kan brukes til ny produksjon av planter og dyr. Per i dag tillater ikke regelverket å føre dyr med avføring og urin, men det finnes laverestående dyr som kan vokse på ulike typer avfall, og noen kan potensielt dyrkes fra slam. Larver av black soldier fly har vist seg å være ernæringsmessig egnet for bruk i laksefôr (Belghit *et al.*, 2019, Fisher *et al.*, 2020). I et nylig avsluttet forsøk utført av Nofima, ga børstemark svært lovende resultat. Arbeidet er ikke ferdig ennå, men foreløpige data viser at i forhold til fôr med fiskemel gikk fôrintaket noe ned med opptil 15 % børstemark i fôret, veksten var også noe redusert (ikke signifikant), mens fôrutnyttelsen var mer effektiv med børstemark i fôret (ikke publiserte data). Ved å dyrke disse organismene kan man omdanne avfall som slam til proteinrike råvarer. Det er også mulig at slike organismer kan omsette ufordøyelig fosfor, og gjøre det om til fordøyelig fosfor som bygges inn i organismen. Men det må også undersøkes i hvilken grad uønskede stoffer som tungmetall, medisinerester og plantevernmidler vil finnes igjen i slike organismer dyrket på slam. Hvis børstemark

dyrket på slam brukes i laksefôr, vil slammet inneholde rester av børstemark, og det må vurderes hvorvidt en slik syklus er akseptabel.

Skal mel av insektlarver og børstemark bli relevante som kommersielle fôrmidler til laksefôr, må det utvikles metoder og prosesser som kan produsere store kvanta til en konkurransedyktig pris. Per i dag er produksjonen svært dyr. I noen sammenhenger nevnes insektmel som en erstatte av soya, men dette vil kreve betydelige volum. I norsk laksefôr brukes det årlig 310 000 tonn soyaproteinkonsentrat (Aas *et al.*, 2019). Dersom dette skal erstattes med protein fra larver, kan man som et forenklet regnestykke anta at larvene har samme proteininnhold som soyaproteinkonsentrat på tørrstoffbasis, og at de inneholder 70 % vann før tørking. For å erstatte 310 000 tonn soyaproteinkonsentrat vil det da kreves over 1 million tonn larver i våtvekt, og det nærmer seg det totale volum av norsk lakseproduksjon (1,25 mill tonn; Aas *et al.*, 2019). Det er derfor kanskje ikke realistisk å kunne erstatte soya med insektmel. Produksjon av proteinrike råvarer fra slam og annet avfall ved å dyrke insekter bør kanskje heller anses som en god ressursbruk, og ikke forventes å utgjøre en betydelig andel av lakseføret.

1.6 Energibruk i slamhåndtering

Per i dag samles slam fra landanlegg, der man har teknologi for oppsamling av slam. Om man antar at laksen er i landanlegg til den er 200 g og slaktes ved 5 kg, utgjør biomassen i landanlegg 4 % av den totale biomassen. Energibruk fra filtersystem og tørking og transport av slam er betydelig. Hvis man antar at målingene som er vist over (Figur 2) er representative for norske landanlegg, brukes store mengder energi på å samle opp 30–40 % av utslippene fra 4 % av norsk lakseoppdrett. Da er utslipp fra laksens metabolisme ikke inkludert i regnestykket. I ovennevnte landanlegg (Figur 2) ville 1/3 reduksjon av produksjonsvolum og ingen rensesystem på anlegget, ført til samme mengde utslipp. Det er behov for kunnskap om helheten av produksjonssystemet ved fastsetting av regelverk og utvikling av teknologi. Det mangler for eksempel grundige undersøkelser av hvilken betydning energibruken ved slamhåndtering har.

1.7 Regelverk

De ulike landanlegg har ulike pålegg, men generelt har nye anlegg renskrav. Teknologi og praksis for oppsamling av slam fra landbasert oppdrett har i stor grad blitt overført fra kommunale rensanlegg. I et kommunalt rensanlegg kommer urent vann inn i rensanlegget, renses, og går ut igjen fra anlegget med en gitt renhet. Måling av renhet før og etter filter gir et godt bilde på rens effektivitet.

I et landanlegg tas det inn vann med en viss mengde stoff og partikler, man har en produksjon, og slipper ut vann med en viss mengde stoff og partikler. Renskrav basert på konsentrasjoner i vann har en del begrensninger. Konsentrasjonsforskjell før og etter ett spesifikt filter (i et system av flere filter) er ikke et egnet mål på utslipp. Konsentrasjon av de fleste komponenter er svært lav i landanlegg, og nøyaktigheten av målingene kan være begrenset (stor måleusikkerhet ved lav konsentrasjon). Videre forekommer det pellet av fôr eller faeces, og dette gjør prøvetaking med representative prøver vanskelig/umulig. Konsentrasjoner sier heller ikke noe om totale utslipp, eller hvor stort utslippet er i forhold til volum produsert laks. Konsentrasjon av stoff kan også reduseres ved å øke vanngjennomstrømmingen.

Aas & Åsgård (2019) beregnet flyten av næringsstoff fra fôr i et anlegg ved å beregne massebalansen. Utslipp/tap av energi og de enkelte næringsstoffer ble beregnet som mengde i fôr minus mengde i fisk produsert, minus mengde oppsamlet i slam. Ved å beregne tap på denne måten, kan mengden utslipp relateres til mengde laks produsert. Fisken utnytter fôret mest effektivt ved høyt fôrinntak og høy vekst. I perioder med sykdomsutbrudd eller redusert fôrinntak av annen årsak, vil mengden tap/utslipp i forhold til volum produsert laks, bli høyere.

1.8 Konsentrasjoner versus mengde

Regelverk for bruk av slammet er i stor grad basert på konsentrasjoner. Konsentrasjon av kadmium og sink over grenseverdier kan være problematisk for bruk av slammet. Ettersom fordøyeligheten av disse er lav, oppkonsentreres de i faeces (Tabell 1). For å ha et problemfritt slam er det hensiktsmessig med høyt innhold av fôr i slammet. Men laksefôr har høyt næringsinnhold og er produsert fra høyverdige råvarer, og det er ikke god ressursbruk å ha høyt innhold av fôr i slam. Om en oppdretter klarte å føre med null fôrspill og brukte fôr med ekstra fordøyelig protein og fett, ville mengde slam blitt redusert og slammet ville vært uten fôrspill. Dette ville resultert i høy konsentrasjon av kadmium og sink i slammet. Redusert mengde fôrspill i slammet vil altså øke *konsentrasjonen*, men ikke *mengden*, av kadmium i slammet. Regelverket oppfordrer ikke til redusert fôrspill, oppdrettere forholder seg til regelverket, og teknologiutviklingen forholder seg til hva oppdrettere etterspør.

Det bør være et mål at alt fôr skal gå til fisken. Dette krever utvikling av teknologi og fôringsregimer som ikke gir fôrspill. Nofima har utviklet en enhet som antas å kunne videreutvikles til bruk i kommersiell skala, der fôrspill og faeces samles opp effektivt og separeres slik at fôret kan resirkuleres til karet. Effektiv oppsamling av partikler kan potensielt ha stor betydning for vannkvaliteten i RAS. I skrivende stund har Nofima en prosjektsøknad til vurdering hos NFR. I prosjektet det søkes om vil det utvikles et system med fôr, faeceskonsistens og teknologi med mål om null fôrspill og optimal utnyttelse av ingrediensene. Det er potensial for å bedre ressursbruken i landbasert oppdrett ved å utvikle teknologi og regelverk som fremmer økt utnyttelsen av fôret (Aas & Moren, 2021b, Aas & Moren, 2021a).

1.9 Utnyttelse av fôrressurser

For å oppnå maksimal utnyttelse av fôrressursene er det nødvendig at alt fôr brukes til fisken, og ikke ender som slam. Et slam bestående av bare faeces vil ha andre egenskaper enn dagens slam, og dette vil ha konsekvenser for bruken av slammet.

Jfr Figur 1 er det viktig at mest mulig av fôret spises av fisken (minimalt fôrspill), og utnyttes best mulig til vekst. Dette oppnås ved høyt fôrinntak og høy vekst. Det metabolske tapet kan i noen grad påvirkes av fôret, og begrenses ved å bruke godt balanserte fôr. Fôrspillet kan reduseres ved å utvikle teknologi og fôringsrutiner. Mengden faeces kan reduseres ved å bruke høyt fordøyelige råvarer i fôret. Dette har derimot en kostnad, og inkluderer vurdering av bruk av råvarer til laksefôr versus annen bruk, og nytten av å redusere mengden faeces som produseres må veies opp mot kostnaden. Tap av stoff (fra fôr) vist i Figur 1 kan for faeces til en viss grad påvirkes med valg av fôringredienser, men vil hovedsakelig kunne reduseres ved å redusere mengden fôrspill. Dette vil få betydning for bruk av slammet.

2 Referanser

- Aas, T.S. & Moren, M. (2021a) Mangelfull ressursutnyttelse i landanlegg for lakseoppdrett. <https://nofima.no/mening/mangelfull-ressursutnyttelse-i-landanlegg-for-lakseoppdrett/>.
- Aas, T.S. & Moren, M. (2021b) Verdt å vite om slam fra fiskeoppdrett. <https://nofima.no/verdt-a-vite/verdt-a-vite-om-slam-fra-fiskeoppdrett/>.
- Aas, T.S., Oehme, M., He, G., Sørensen, M., Lygren, I. & Åsgård, T. (2011) Analysis of pellet degradation of extruded high energy fish feeds with different physical qualities in a pneumatic feeding system. *Aquacultural Engineering*, 44, 25-34.
- Aas, T.S., Sixten, H.J., Hillestad, M., Ytrestøyl, T., Sveier, H. & Åsgård, T. (2020) Feed intake, nutrient digestibility and nutrient retention in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed diets with different physical pellet quality. *Journal of Fisheries*, 8, 768-776.
- Aas, T.S., Ytrestøyl, T. & Berge, G.M. (2016) Tørrstoffinnhold i slam fra landbasert produksjon av Atlantisk laks.
- Aas, T.S., Ytrestøyl, T. & Åsgård, T. (2019) Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway: An update for 2016. *Aquaculture Reports*, 15, 100216.
- Aas, T.S. & Åsgård, T. (2017) Estimert innhold av næringsstoff og energi i fôrspill og faeces fra norsk lakseoppdrett. pp. 8. 18/2017, N.R.,
- Aas, T.S. & Åsgård, T. (2019) Stoff-flyt av næringsstoff og energi fra fôr i et landbasert settefiskanlegg. pp. 20. In Norwegian.
- Albrektsen, S., Lock, E.J., Bæverfjord, G., Pedersen, M., Krasnov, A., Takle, H., Veiseth-Kent, E., Ørnstrud, R., Waagbø, R. & Ytteborg, E. (2018) Utilization of H₂SO₄-hydrolysed phosphorus from herring bone by-products in feed for Atlantic salmon (*Salmo salar*) 0+ postsmolt. *Aquaculture Nutrition*, 24, 348-365.
- Belghit, I., Liland, N.S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., Waagbø, R., Krogdahl, Å. & Lock, E.-J. (2019) Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 503, 609-619.
- Berntssen, M.H.G., Rosenlund, G., Garlito, B., Amlund, H., Sissener, N.H., Bernhard, A. & Sanden, M. (2021) Sensitivity of Atlantic salmon to the pesticide pirimiphos-methyl, present in plant-based feeds. *Aquaculture*, 531, 735825.
- Brinker, A. (2007) Guar gum in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: The influence of quality and dose on stabilisation of faecal solids. *Aquaculture*, 267, 315-327.
- Brinker, A. & Friedrich, C. (2012) Fish meal replacement by plant protein substitution and guar gum addition in trout feed. Part II: Effects on faeces stability and rheology. *Biorheology*, 49, 27-48.
- Fisher, H.J., Collins, S.A., Hanson, C., Mason, B., Colombo, S.M. & Anderson, D.M. (2020) Black soldier fly larvae meal as a protein source in low fish meal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 521, 734978.
- Hillestad, M., Åsgård, T. & Berge, G.M. (1999) Determination of digestibility of commercial salmon feeds. *Aquaculture*, 179, 81-94.
- Mattilsynet (2017) Hvilke regelverk gjelder for bruk av fiskeslam som gjødsel? https://www.mattilsynet.no/planter_og_dyrking/gjodsel_jord_og_dyrkingsmedier/hvilke_regelverk_gjelder_for_bruk_av_fiskeslam_som_gjodsel.5965.
- Oehme, M., Aas, T.S., Olsen, H.J., Sørensen, M., Hillestad, M., Li, Y. & Åsgård, T. (2014) Effects of dietary moisture content of extruded diets on physical feed quality and nutritional response in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Nutrition*, 20, 451-465.

- Storebakken, T. (1985) Binders in fish feeds: I. Effect of alginate and guar gum on growth, digestibility, feed intake and passage through the gastrointestinal tract of rainbow trout. *Aquaculture*, 47, 11-26.
- Ytrestøyl, T., Aas, T.S., Nerdal, K.S. & Berge, G.M. (2016) Karakterisering av slam fra tre kommersielle settefiskanlegg gjennom ett produksjonsår. Hovednæringsstoff, mineraler og tungmetaller.
- Ytrestøyl, T., Aas, T.S. & Åsgård, T. (2015) Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture*, 448, 365-374.

