

# Stoff-flyt av næringsstoff og energi fra fôr i et landbasert settefiskanlegg

Turid Synnøve Aas og Torbjørn Åsgård





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

Nofima har om lag 370 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 Johnsenegate 4  
Postboks 8034  
NO-4068 Stavanger

**Bergen:**

Kjerreidviken 16  
Postboks 1425 Oasen  
NO-5844 Bergen

**Sunndalsøra:**

Sjølsengvegen 22  
NO-6600 Sunndalsøra

**Alta:**

Kunnskapsparken, Markedsgata 3  
NO-9510 Alta

**Felles kontaktinformasjon:**

Tlf: 02140  
E-post: [post@nofima.no](mailto:post@nofima.no)  
Internett: [www.nofima.no](http://www.nofima.no)

**Foretaksnr.:**

**NO 989 278 835 MVA**



Creative commons gjelder når ikke annet er oppgitt

# Rapport

|   |  |
|---|--|
| <i>Tittel:</i><br><b>Stoff-flyt av næringsstoff og energi fra fôr i et landbasert settefiskanlegg</b>   | ISBN 978-82-8296-582-8 (pdf)<br>ISSN 1890-579X       |
| <i>Title:</i><br>Flow of nutrients and energy from feed in a land-based smolt farm  | <i>Rapportnr.:</i><br>5/2019                         |
| <i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i><br>Turid Synnøve Aas og Torbjørn Åsgård  | <i>Tilgjengelighet:</i><br><b>Åpen</b>               |
| <i>Avdeling:</i><br>Ernæring og forteknologi  | <i>Dato:</i><br>19.februar 2019                      |
| <i>Oppdragsgiver:</i><br>Møre og Romsdal fylkeskommune  | <i>Ant. sider og vedlegg:</i><br>20                  |
| <i>Stikkord:</i><br>Stoff-flyt, Massebalanse, Slam, RAS   | <i>Oppdragsgivers ref.:</i><br>Tilsagn nr. 2016-0171 |
| <i>Prosjektnr.:</i><br>11813  |  |
| <i>Sammendrag/anbefalinger:</i>   |  |
| <p>Stoff-flyten av næringsstoff og energi fra fôr ble målt over en periode på 88 dager et settefiskanlegg med resirkuleringsteknologi. Forsøket gikk over en periode fra innsett av fisk til en større leveranse, og inkluderer dermed variasjon in biomassen i anlegget.</p> <p>I forsøksperioden ble det brukt 303 tonn fôr. Ved starten av forsøket var det 232 tonn fisk i anlegget, og ved avslutning var biomassen 417 tonn. Underveis i forsøket ble det tatt ut 156 tonn fisk i form av en leveranse og en liten mengde død fisk. Det ble altså produsert netto 341 tonn fisk i perioden. I forsøksperioden ble det produsert 18 tonn tørket slam med 89 % tørrstoffinnhold. Slamanlegget var imidlertid ikke i drift hele forsøksperioden, og basert på mengde slam produsert i en periode på 1 måned med full drift på slamanlegget, ble det beregnet hvor mye slam som med normal drift ville blitt produsert ved den mengden fôr som ble føret ut i løpet av forsøket. Det ble beregnet at det kunne blitt produsert 31 tonn tørket slam i løpet av forsøksperioden, og denne estimerte verdien er brukt i beregningene.</p> <p>Fôr, fisk og slam ble analysert kjemisk, og mengde tap av stoff ble beregnet som differansen mellom stoff/energi tilført fra fôr og stoff/energi funnet i fisk og oppsamlet slam.</p> <p>Forventet mengde fôrspill og faeces ble beregnet ut fra tidligere dokumentasjon for laks av denne størrelsen, og den oppsamlede mengde tørrstoff som ble fanget opp som slam, utgjorde 32 % av den beregnede mengden tørrstoff i fôrspill pluss faeces. Det var godt samsvar mellom beregningene for tørrstoff, fett, nitrogen, energi, fosfor og sink.</p> <p>Det er ikke kjent hvor stor andel av fôrspill og faeces som utgjøres av oppløste forbindelser som ikke kan fanges på mekanisk filter. Beregningene måler derfor ikke effektiviteten av dette spesifikke separasjonssystemet, men viser heller en oversikt over massebalansen inkludert totalt stofftap i et settefiskanlegg. Rensesystemet i dette anlegget er også dimensjonert i henhold til anleggets konsesjonskrav, og effektiviteten i renseanlegget avhenger følgelig av forutsetningene som er lagt til grunn ved dimensjonering. Forsøket ble utført i 2017, og det gjort endringer i anlegget etter dette.</p> <p>Prosjektet er finansiert av Møre og Romsdal fylkeskommune (Marint miljøsikrings- og verdiskapingsfond).</p> |  |
| <i>English summary/recommendation:</i>  |  |
| <p>The flow of nutrients and energy from feed in a land-based smolt farm with recirculation technology (RAS) was measured in an 88 days trial.</p> <p>During the trial, 303 tonnes of feed were used, 341 tonnes of fish were produced, and the sludge production was estimated to 31 tonnes of dry sludge with 89 % dry matter.</p> <p>Feed, fish and sludge was analyzed chemically, and the total loss of dry matter, fat, nitrogen, phosphorus and zinc was calculated by difference. An unknown part of the losses is dissolved compounds, which cannot be collected by mechanical filter systems.</p>   |  |

# Innhold

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Bakgrunn .....</b>                                 | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Materiale og metoder .....</b>                     | <b>2</b>  |
| 2.1      | Beskrivelse av anlegget .....                         | 2         |
| 2.2      | Forsøksperiode, innsamling av prøver .....            | 4         |
| 2.3      | Kjemisk analyse .....                                 | 4         |
| <b>3</b> | <b>Resultater .....</b>                               | <b>5</b>  |
| 3.1      | Beregning av flyt av stoff og energi i anlegget ..... | 11        |
| 3.2      | Begning av totalt tap av stoff fra anlegget .....     | 12        |
| 3.3      | Effekt av oppsamling av slam .....                    | 15        |
| <b>4</b> | <b>Diskusjon .....</b>                                | <b>18</b> |
| <b>5</b> | <b>Referanser .....</b>                               | <b>20</b> |

# 1 Bakgrunn

Det foreligger ingen dokumentasjon på den totale flyt av næringsstoff fra fôr i settefiskanlegg. Men slik kunnskap er nødvendig for å kunne gjøre gode prioriteringer rundt hvordan ressurser (teknologiutvikling, investeringer, energibruk, arbeidskraft) i settefiskanlegg bør brukes for å minimalisere utslipp på en mest mulig effektiv måte. Hovedveiene for stoff-flyten er fôr inn i systemet, og fisk og slam som tas ut av systemet. Per i dag samles partikler med ulike separasjonsteknikker og transporteres bort som slam, noe som er arbeidskrevende, kostnadskrevende og energikrevende. En ukjent mengde partikler og oppløste stoff går til avløp, og noen metabolitter er i gassform og går derfor over i lufta.

Mange landbaserte anlegg for lakseproduksjon (settefiskanlegg) i Norge har i dag rensekrav som omfatter krav til reduksjon av konsentrasjon av materiale før og etter rensesystem. Følgelig fokuserer oppdrettere og kontrollmyndigheter på å redusere denne konsentrasjonen. Mange anlegg har i tillegg krav til totalutslipp, men uten gode retningslinjer for hvordan dette skal dokumenteres.

Det finnes data som indikerer at en stor mengde av oppsamlet slam fra settefiskanlegg er fôrspill, og at kun en begrenset mengde gjødsel samles opp med dagens separasjonsteknikker (Aas *et al.*, 2016). Dermed kan det være mer effektivt med tanke på å redusere utslipp og kostnad å videreutvikle fôr, fôringssystem og fôringsrutiner enn å fokusere på reduksjon i partikkelkonsentrasjonen. Skal utslipp av gjødsel reduseres, kan det kreve endringer i gjødselkonsistens (som kan påvirkes med fôret) og tekniske løsninger som er tilpasset dette.

I dette prosjektet er målet å dokumentere flyt av næringsstoff fra fôr i et settefiskanlegg med hovedsakelig resirkulering (RAS). Anlegget er relativt nytt med den best tilgjengelige teknologi på byggetidspunktet og antas å være representativt for norske moderne settefiskanlegg.

## 2 Materiale og metoder

I det følgende er alt materiale fra fôr som ikke er tatt opp av fisken (fôrspill og faeces) omtalt som slam. Videre er det beregnet en forventet (teoretisk) mengde slam bestående av fôrspill og faeces. En ukjent mengde av dette vil imidlertid være oppløste forbindelser som ikke kan fanges med mekanisk filter. Resultatene er derfor ikke et mål på filtersystemenes effektivitet.

### 2.1 Beskrivelse av anlegget

Settefiskanlegget består av fem avdelinger med laks i ulike livsstadier:

- Klekkeri – resirkuleringsanlegg
- Startfôringsavdeling – gjennomstrømmingsanlegg
- Påveksthall 1, 2 og 3 – resirkuleringsanlegg

Klekkeriet utgjør mindre enn 0.5 % av biomassen i anlegget. Biomassen i startfôringsanlegget utgjør rundt 2 % av den totale biomassen.

Slam samles opp felles for startfôringsavdelingen og de tre påveksthallene. Det antas at sammensetning og mengde slam i liten grad påvirkes av startfôringsenheten.

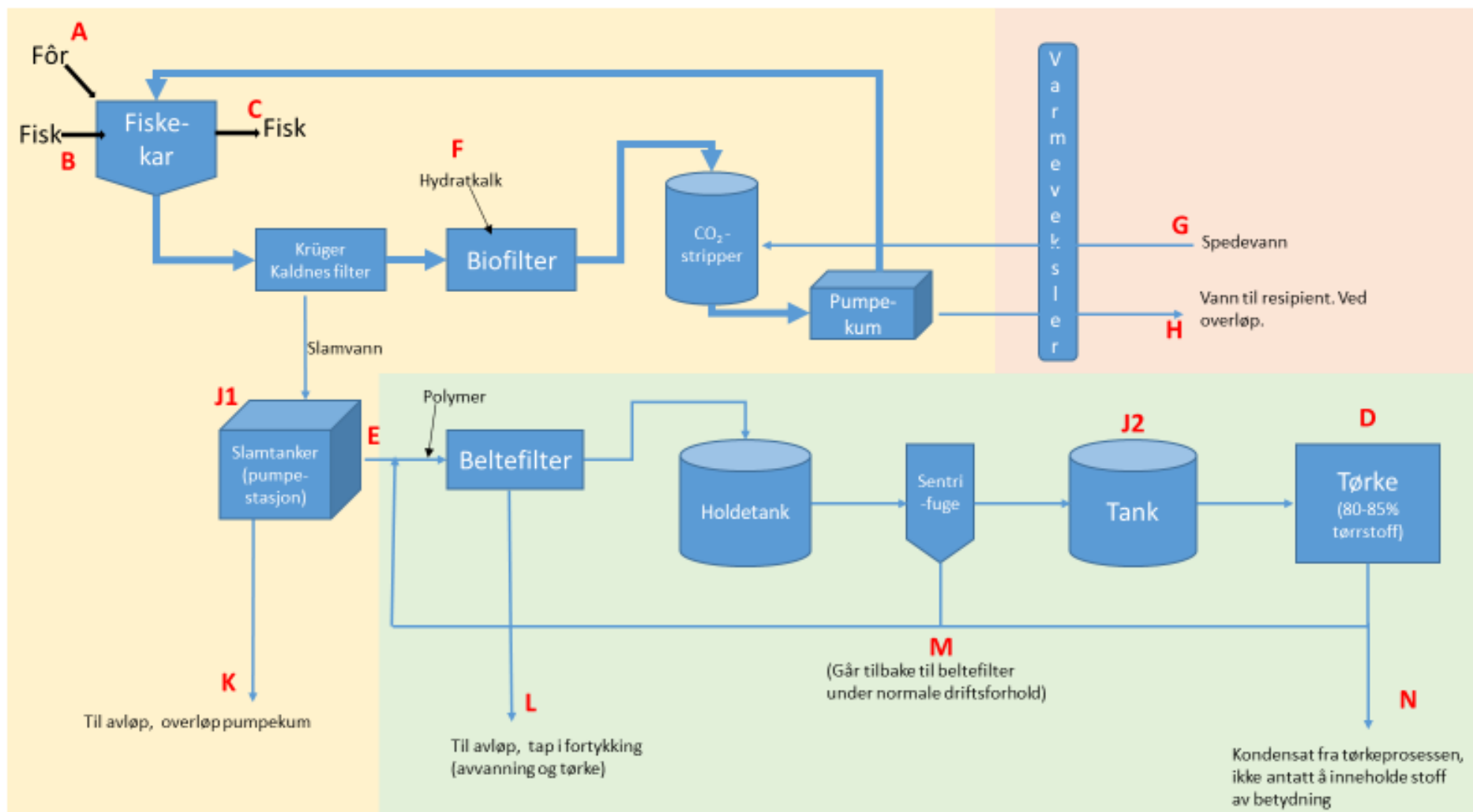
Påveksthallenes oppbygging er skjematisk skissert i Figur 1.

Hovedveiene for flyt av næringsstoff er A) Fôr inn i anlegget og B) Fisk inn i anlegget (mengde fisk ved oppstart av forsøket). Stoffmengde inn i anlegget fra punktene G) Spedevann, F) Hydratkalk og Polymer ved punkt E) er antatt å utgjøre minimalt av den totale stoff-flyten. Stoffene det fokuseres på er tørrstoff, nitrogen, fett, fosfor og sink i tillegg til energi i fôr, fisk, slam og uidentifiserte tap.

Hovedmengden av stoff ut av anlegget er C) Fisk levert fra anlegget og økningen i biomasse av fisk i forsøksperioden, og D) Tørket slam. Avløp fra hvert kar går til trommelfilter for filtrering der det rensede vannet går til biofilter og deretter til CO<sub>2</sub>-lufter via en holdetank der det tilsettes spedevann før det føres tilbake til karene igjen. Slamvannet fra beltefilteret går til slamtanker (pumpestasjon, merket J1 på Figur 1) og deretter til nytt beltefilter. Slamvann fra dette filteret går til avløp, mens slammet går til holdetanker og videre til sentrifuge og deretter via en ny tank før det ledes til tørken der det tørkes til 80-85 % tørrstoff. Vann fra sentrifugen går tilbake til beltefilter.

Det er et ukjent tap av stoff fra anlegget til avløp fra K) Overløp på slamtanker og L) rejektivann fra beltefilter. Væske fra M) Sentrifuge går under normale forhold tilbake til beltefilter men kan også føres direkte til avløp, og fra H) Pumpekum til resipient ved overløp. Overløp fra pumpekum H) vil gi et neglisjerbart tap av partikulært materiale da dette er rensert vann som føres tilbake til fiskekar. Det er ikke antatt tap av stoff fra N) Kondensat fra tørkeprosessen (40-50 °C).

En del av slammet inneholder sjøvann, og ved tørking av slam fra sjøvann tilføres en del salt til det tørkede produktet. Dette er ikke tatt hensyn til i beregningene.



Figur 1 Skisse av anlegget.

## 2.2 Forsøksperiode, innsamling av prøver

Forsøksperioden startet etter innsett av ny fisk i slutten av mai, og innsamlede data starter ved starten av uke 23, altså 5. juni 2017. Fisk til analyse av helkroppssammensetning ved start ble samlet inn 8. juni. Underveis i forsøket var det en leveranse av fisk 6.-7. juli (uke 27) med uttak av fisk til helkroppsanalyse. Forsøket ble avsluttet i forbindelse med en større leveranse av fisk 1. september 2017 (uke 35, også med uttak av fisk til helkroppsanalyse), totalt 88 dager (Tabell 1).

Det ble samlet inn data for fôrforbruk, biomasse ved start, biomasse levert og biomasse ved slutt, og mengde produsert slam. Fisk, fôr, slam og vannprøver ble oppbevart ved -20°C frem til kjemisk analyse.

For kjemisk analyse av fisk ble det tatt 5 fisk per kar ved oppstart, leveranse og avslutning.

Vannprøver fra punkt G (spedevann fersk og salt) og L (spylevann fra beltefilter) ble samlet inn og analysert. For å få tilstrekkelig materiale ble prøvene analysert som samleprøver.

Fra hver sekk av tørket slam produsert i perioden ble det tatt prøve, og 20 g fra hver sekk ble slått sammen til én samleprøve som ble analysert.

Ammonium, nitritt- og nitrat-N ble målt daglig i vannprøver fra før vannet går til biofilter, og analyseresultatene er mottatt fra anleggets logg.

Data for mengde biomasse og fôrforbruk ble hentet ut fra anleggets logg.

## 2.3 Kjemisk analyse

Prøver av hel fisk ble homogenisert og frysetørket før kjemisk analyse. Frysetørket materiale av hel fisk samt prøver av fôr og tørket slam ble analysert for tørrstoff (ved 105 °C til konstant vekt), energi (Parr 1271 Bombekalorimeter), fett (SOXTEC hydrolyse og ekstraksjonssystem), nitrogen (Kjeltec Auto System, Tecator, Höganäs, Sverige), aske (fem timer ved 550 °C) og mineraler (ved induktive koblet plasma massespektroskopi, ICP-MS, hos Eurofins, Moss, Norge).

På grunn av svært lave stoffkonsentrasjon ble vannprøver og vått slam forsøkt analysert ved at prøven ble filtrert på filterpapir og tørket, deretter ble energiinnholdet i filterpapir med prøve målt. Energiinnholdet i filterpapir uten prøve ble trukket fra. Metoden fungerte ikke tilfredsstillende da variasjonen mellom replikater ble stor og presisjonen i målingene ble lav.



### 3 Resultater

Biomasse i hvert kar samt total biomasse i anlegget for hver uke er vist i Tabell 1. Den totale biomassen i anlegget var 232 tonn ved oppstart av forsøket i starten av uke 23 og økte til 304 tonn ved leveranse i uke 26. Biomassen ble da redusert til 185 tonn, og økte til 417 tonn ved avslutning i uke 417. Fiskene flyttes mellom avdelinger og kar og biomassen i det enkelte kar endres følgelig ved flytting. Tomme kar har biomasse 0.

Det ble tatt ut totalt 156 tonn fisk fra anlegget i forsøksperioden (leveranse og dødfisk). Netto produksjon av fisk var 341 tonn.

Tilsvarende data for fôrforbruket gjennom forsøket er vist i Tabell 2, og det ble brukt totalt 303 tonn fôr i perioden. Dette gir en oppnådd økonomisk fôrfaktor på 0,89.

Biomasse og fôrforbruk gjennom forsøket er også vist i Figur 2. Reduksjonen i biomasse fra uke 26 til uke 27 reflekterer leveranse av fisk.

Mengden oppsamlet tørket slam som ble produsert fra 1. juni (noe før oppstart av forsøket) og til avslutning av forsøket er gitt i Tabell 3. I løpet av forsøksperioden (5. juni – 1. september) ble det samlet opp 18.495 kg slam. Men deler av juli og august var ikke slamanlegget i drift. Det er derfor brukt data for juni, da det ble samlet opp slam hver dag, for å beskrive situasjonen når anlegget fungerer normalt.

I juni ble det totalt fôret ut 88.251 kg fôr og samlet opp 10.516 kg tørket slam, det vil si at mengden slam utgjorde 11,9 % av mengden fôr. Forholdet mellom mengde fôr og slam antas å være konstant over tid, og ble derfor brukt til å estimere mengden slam produsert gjennom forsøksperioden. Total mengde slam ble dermed beregnet som 11,9 % av 302.711 kg fôr, altså 36.071 kg slam i løpet av forsøksperioden. Det er denne estimerte mengden slam som er brukt i beregningene videre.

Tabell 1 Oppgitt biomasse (kg) per kar ved slutten av hver uke i forsøket. Forsøket startet i uke 23 (slutten av uke 22) og ble avsluttet dag 4 i uke 35.

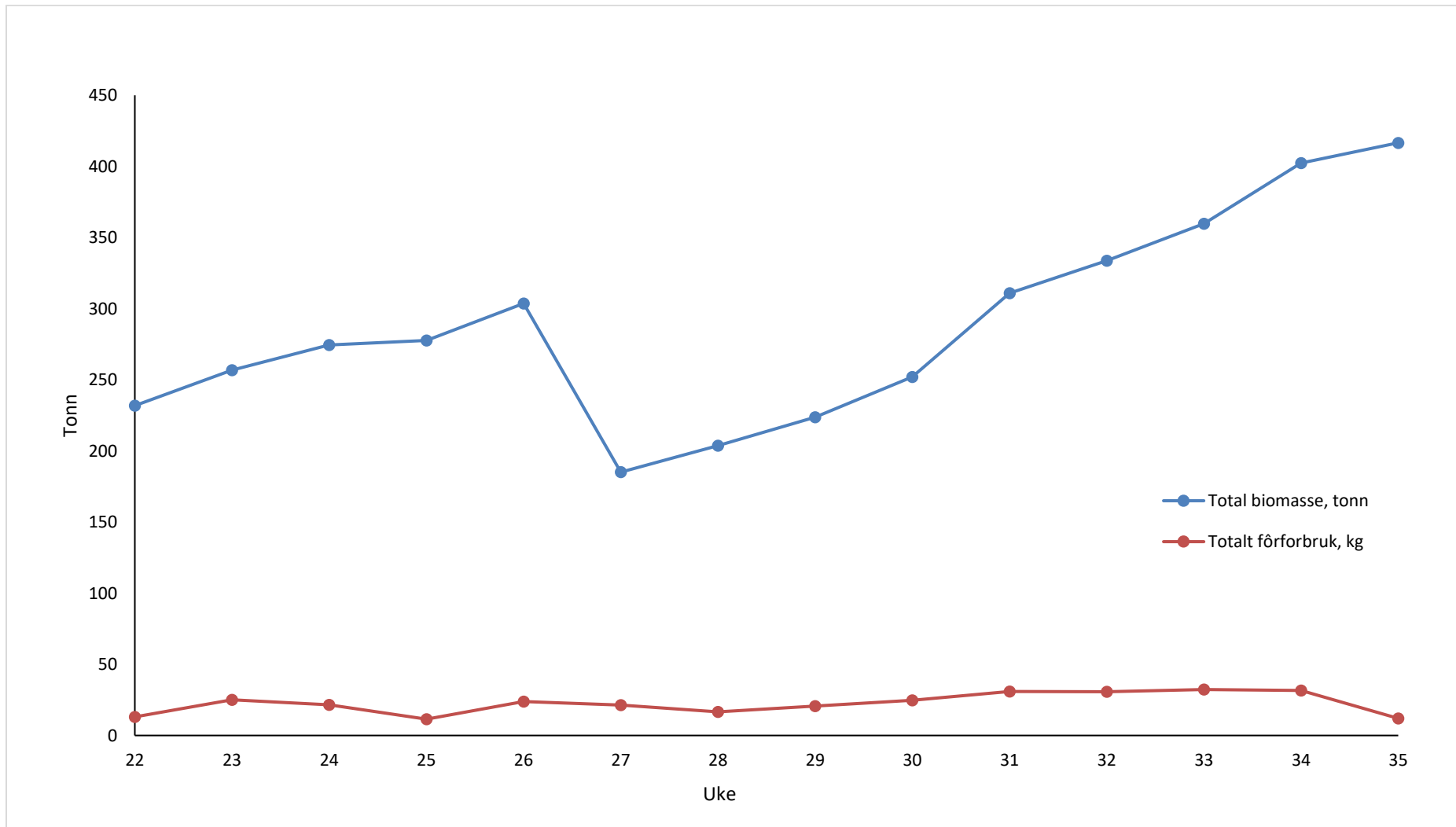
| Kar                         |       | Uke       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                             |       | 22        | 23        | 24        | 25        | 26        | 27        | 28        | 29        | 30        | 31        | 32        | 33        | 34        | 35        |
| BV2 - 001                   | 01    | 384       | 532       | 741       | 843       | 1051      | 1284      | 0         | 64        | 103       | 144       | 216       | 396       | 343       | 426       |
| BV2 - 002                   | 02    | 378       | 534       | 739       | 857       | 1057      | 1334      | 0         | 64        | 103       | 144       | 216       | 330       | 333       | 422       |
| BV2 - 003                   | 03    | 417       | 560       | 736       | 895       | 1079      | 1350      | 0         | 64        | 103       | 144       | 216       | 333       | 343       | 443       |
| BV2 - 004                   | 04    | 399       | 551       | 770       | 874       | 1137      | 1294      | 1618      | 64        | 103       | 144       | 216       | 315       | 339       | 447       |
| BV2 - 005                   | 05    | 428       | 572       | 782       | 868       | 1095      | 1380      | 1706      | 64        | 103       | 144       | 216       | 350       | 336       | 428       |
| BV2 - 006                   | 06    | 440       | 598       | 798       | 925       | 1156      | 1351      | 1677      | 64        | 103       | 144       | 216       | 363       | 341       | 421       |
| BV2 - 007                   | 07    | 3339      | 4067      | 5993      | 5769      | 8666      | 10218     | 1571      | 1933      | 2427      | 2373      | 2788      | 3413      | 5168      | 6223      |
| BV2 - 008                   | 08    | 3360      | 4088      | 5920      | 7048      | 8572      | 9765      | 1439      | 1801      | 2294      | 2377      | 2777      | 3411      | 5262      | 6323      |
| BV2 - 009                   | 09    | 3342      | 4076      | 5722      | 6835      | 8510      | 9334      | 1537      | 1898      | 2397      | 2671      | 3118      | 3828      | 5682      | 6941      |
| BV2 - 010                   | 10    | 3340      | 4063      | 5399      | 6302      | 7887      | 9055      | 0         | 1811      | 2224      | 2071      | 2508      | 3158      | 5275      | 6392      |
| BV2 - 011                   | 11    | 3321      | 4047      | 6122      | 7155      | 8986      | 9344      | 0         | 1904      | 2400      | 2463      | 2874      | 3525      | 5790      | 6541      |
| BV2 - 012                   | 12    | 3241      | 3969      | 6298      | 7386      | 8720      | 10505     | 0         | 1941      | 2440      | 2623      | 3030      | 3709      | 5845      | 6723      |
| BV2 - 013                   | 13    | 0         | 0         | 15704     | 27771     | 28833     | 30593     | 17404     | 19114     | 21961     | 25688     | 1071      | 5536      | 6990      | 7942      |
| BV2 - 014                   | 14    | 0         | 0         | 25383     | 24982     | 26111     | 28328     | 16519     | 17735     | 20661     | 24993     | 13751     | 18704     | 19733     | 20789     |
| BV2 - 015                   | 15    | 20 992    | 23548     | 25414     | 0         | 0         | 0         | 13281     | 14462     | 18083     | 21919     | 24855     | 16658     | 17603     | 18835     |
| BV2 - 016                   | 16    | 24 467    | 27297     | 13534     | 13849     | 14598     | 16515     | 18645     | 20058     | 22347     | 26085     | 10408     | 19693     | 21695     | 23101     |
| BV2 - 017                   | 17    | 26 857    | 29134     | 7142      | 17562     | 18487     | 20593     | 0         | 0         | 0         | 0         | 18253     | 20186     | 23220     | 25227     |
| BV2 - 018                   | 18    | 27 884    | 29523     | 18244     | 19225     | 20355     | 22564     | 0         | 0         | 0         | 0         | 28744     | 16618     | 17144     | 18395     |
| BV2 - 019                   | 19    | 18124     | 19831     | 21246     | 21098     | 22496     | 0         | 18969     | 21106     | 23361     | 33246     | 36910     | 40297     | 41004     | 39432     |
| BV2 - 020                   | 20    | 18112     | 19774     | 21376     | 21279     | 22498     | 0         | 23313     | 25308     | 27430     | 32930     | 36421     | 39785     | 45247     | 45221     |
| BV2 - 021                   | 21    | 20645     | 22311     | 23608     | 23396     | 24543     | 0         | 19345     | 21405     | 23574     | 31250     | 34883     | 38276     | 43316     | 43284     |
| BV2 - 022                   | 22    | 18645     | 20303     | 22031     | 22071     | 23667     | 0         | 23959     | 26083     | 28342     | 34645     | 38240     | 42077     | 44897     | 44864     |
| BV2 - 023                   | 23    | 18649     | 20542     | 22370     | 22415     | 24157     | 0         | 21041     | 23309     | 25707     | 31133     | 34640     | 38115     | 43978     | 43948     |
| BV2 - 024                   | 24    | 14864     | 16504     | 18111     | 18023     | 19674     | 0         | 21450     | 23511     | 25715     | 33661     | 37148     | 40655     | 42068     | 43486     |
| BV2 - KL01*                 | KL01* | 297       | 297       | 296       | 296       | 295       | 295       | 295       | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 338       | 338       |
| <b>Uke</b>                  |       | <b>22</b> | <b>23</b> | <b>24</b> | <b>25</b> | <b>26</b> | <b>27</b> | <b>28</b> | <b>29</b> | <b>30</b> | <b>31</b> | <b>32</b> | <b>33</b> | <b>34</b> | <b>35</b> |
| <b>Total biomasse, tonn</b> |       | 232       | 257       | 274       | 278       | 304       | 185       | 204       | 224       | 252       | 311       | 334       | 360       | 402       | 417       |
| <b>Total biomasse, kg</b>   |       | 231926    | 256721    | 274478    | 277724    | 303633    | 185103    | 203770    | 223762    | 251979    | 310993    | 333718    | 359732    | 402292    | 416595    |

\*KL01 - Klekkeri

Tabell 2 Fôrforbruk (kg) per kar per uke i forsøket. Forsøket ble avsluttet dag 4 i uke 35.

| Kar                            |      | Uke       |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |            |
|--------------------------------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
|                                |      | 23        | 24        | 25        | 26        | 27        | 28        | 29        | 30        | 31        | 32        | 33        | 34        | 35        |            |
| BV2 - 001                      | 01   | 162       | 225       | 220       | 260       | 307       | 277       | 15        | 39        | 55        | 73        | 93        | 119       | 80        |            |
| BV2 - 002                      | 02   | 162       | 225       | 220       | 260       | 307       | 277       | 15        | 39        | 55        | 73        | 93        | 119       | 80        |            |
| BV2 - 003                      | 03   | 162       | 225       | 220       | 260       | 307       | 277       | 15        | 39        | 55        | 73        | 93        | 118       | 76        |            |
| BV2 - 004                      | 04   | 162       | 225       | 220       | 260       | 307       | 327       | 15        | 39        | 55        | 73        | 93        | 117       | 74        |            |
| BV2 - 005                      | 05   | 162       | 225       | 220       | 260       | 307       | 327       | 15        | 39        | 55        | 73        | 93        | 119       | 78        |            |
| BV2 - 006                      | 06   | 162       | 225       | 220       | 260       | 307       | 327       | 15        | 39        | 55        | 73        | 93        | 119       | 79        |            |
| BV2 - 007                      | 07   | 732       | 1060      | 1284      | 1215      | 1185      | 838       | 365       | 499       | 250       | 466       | 690       | 900       | 542       |            |
| BV2 - 008                      | 08   | 732       | 1058      | 1284      | 1205      | 1132      | 805       | 365       | 501       | 213       | 473       | 739       | 935       | 560       |            |
| BV2 - 009                      | 09   | 738       | 1062      | 1234      | 1174      | 1106      | 493       | 365       | 501       | 183       | 480       | 770       | 984       | 595       |            |
| BV2 - 010                      | 10   | 731       | 1053      | 1277      | 1245      | 1142      | 522       | 320       | 480       | 213       | 464       | 682       | 935       | 563       |            |
| BV2 - 011                      | 11   | 731       | 1030      | 1277      | 1223      | 1091      | 388       | 320       | 501       | 183       | 466       | 711       | 935       | 563       |            |
| BV2 - 012                      | 12   | 732       | 1053      | 1313      | 1293      | 1186      | 424       | 320       | 501       | 183       | 466       | 732       | 999       | 603       |            |
| BV2 - 013                      | 13   | 0         | 450       | 100       | 1016      | 1782      | 565       | 1720      | 2170      | 2100      | 40        | 746       | 1480      | 964       |            |
| BV2 - 014                      | 14   | 0         | 350       | 50        | 980       | 2247      | 375       | 1224      | 1862      | 2649      | 1707      | 679       | 1083      | 1078      |            |
| BV2 - 015                      | 15   | 2571      | 1881      | 0         | 0         | 0         | 385       | 1188      | 1815      | 3047      | 2950      | 719       | 1052      | 1269      |            |
| BV2 - 016                      | 16   | 2850      | 394       | 250       | 744       | 1928      | 605       | 1428      | 2095      | 2710      | 269       | 1190      | 2054      | 1433      |            |
| BV2 - 017                      | 17   | 2317      | 130       | 350       | 949       | 2116      | 385       | 0         | 0         | 0         | 538       | 1956      | 3058      | 2016      |            |
| BV2 - 018                      | 18   | 1667      | 345       | 1030      | 1158      | 2225      | 430       | 0         | 0         | 0         | 457       | 974       | 640       | 1304      |            |
| BV2 - 019                      | 19   | 1716      | 1529      | 107       | 1653      | 50        | 1680      | 2174      | 2270      | 3223      | 3678      | 3422      | 984       | 0         |            |
| BV2 - 020                      | 20   | 1674      | 1809      | 54        | 1538      | 515       | 1355      | 2035      | 2135      | 3079      | 3523      | 3381      | 3092      | 0         |            |
| BV2 - 021                      | 21   | 1682      | 1537      | 107       | 1438      | 100       | 1460      | 2103      | 2200      | 3131      | 3644      | 3422      | 3149      | 0         |            |
| BV2 - 022                      | 22   | 1667      | 1768      | 161       | 1778      | 930       | 1340      | 2175      | 2275      | 3102      | 3616      | 3906      | 3824      | 0         |            |
| BV2 - 023                      | 23   | 1902      | 1939      | 161       | 1952      | 150       | 1620      | 2315      | 2415      | 3230      | 3523      | 3496      | 3174      | 0         |            |
| BV2 - 024                      | 24   | 1654      | 1726      | 107       | 1772      | 616       | 1130      | 2105      | 2225      | 3149      | 3512      | 3529      | 1584      | 0         |            |
| BV2 - KL01*                    | KL01 | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |            |
| <b>Uke</b>                     |      | <b>23</b> | <b>24</b> | <b>25</b> | <b>26</b> | <b>27</b> | <b>28</b> | <b>29</b> | <b>30</b> | <b>31</b> | <b>32</b> | <b>33</b> | <b>34</b> | <b>35</b> | <b>Sum</b> |
| <b>Totalt fôrforbruk, tonn</b> |      | 25        | 22        | 11        | 24        | 21        | 17        | 21        | 25        | 31        | 31        | 32        | 32        | 12        | 303        |
| <b>Totalt fôrforbruk, kg</b>   |      | 25069     | 21520     | 11468     | 23895     | 21345     | 16612     | 20613     | 24680     | 30974     | 30706     | 32300     | 31572     | 11957     | 302711     |

\*KL01 - Klekkeri



Figur 2 Biomasse og fôrforbruk (tonn) per uke i forsøket. Vekst og fôrforbruk er lave i siste uke fordi forsøket ble avsluttet dag 4 siste uke.

Tabell 3 Oppgitt produksjon av tørket slam, forventet å ha over 80 % tørrstoff.

| Juni       |         | Juli       |         | August     |         | September  |         |
|------------|---------|------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| Dato       | Kg slam | Dato       | Kg slam | Dato       | Kg slam | Dato       | Kg slam |
| 01.06.2017 | 788     | 05.07.2017 | 674     | 15.08.2017 | 646     | 01.09.2017 | 773     |
| 03.06.2017 | 886     | 09.07.2017 | 756     | 18.08.2017 | 785     | 03.09.2017 | 751     |
| 05.06.2017 | 805     | 12.07.2017 | 801     | 20.08.2017 | 787     |            |         |
| 07.06.2017 | 838     |            |         | 22.08.2017 | 695     |            |         |
| 11.06.2017 | 778     |            |         | 23.08.2017 | 718     |            |         |
| 14.06.2017 | 745     |            |         | 25.08.2017 | 756     |            |         |
| 15.06.2017 | 779     |            |         | 27.08.2017 | 685     |            |         |
| 17.06.2017 | 745     |            |         | 28.08.2017 | 795     |            |         |
| 19.06.2017 | 664     |            |         | 30.08.2017 | 782     |            |         |
| 21.06.2017 | 743     |            |         |            |         |            |         |
| 23.06.2017 | 714     |            |         |            |         |            |         |
| 27.06.2017 | 740     |            |         |            |         |            |         |
| 29.06.2017 | 490     |            |         |            |         |            |         |
| 30.06.2017 | 801     |            |         |            |         |            |         |

Tabell 4 Gjennomsnitt, minimum- og maksimumsverdi (mg/L) av daglig målte N-forbindelser i vannet i RAS 1, RAS 2 og RAS 3.

|                 | RAS 1                        |                                 |                                 | RAS 2                        |                                 |                                 | RAS 3                        |                                 |                                 |
|-----------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N |
| <b>Snitt</b>    | 0,580                        | 0,210                           | 17,2                            | 0,377                        | 0,167                           | 13,0                            | 0,893                        | 0,204                           | 15,9                            |
| <b>Minimum</b>  | 0,014                        | 0,012                           | 3,5                             | 0,024                        | 0,014                           | 1,7                             | 0,042                        | 0,042                           | 1,7                             |
| <b>Maksimum</b> | 0,987                        | 0,399                           | 29,9                            | 1,942                        | 0,557                           | 129                             | 2,32                         | 0,809                           | 57                              |

Ammonium, nitritt- og nitrat-N ble målt daglig. Gjennomsnittsverdier, minimum- og maksimumsverdier er vist i Tabell 4.

Tabell 5 viser konsentrasjon av de analyserte næringsstoff og energi i fisk i anlegget ved start av forsøket (punkt B i Figur 1), fisk tatt ut (leveranse og dødfisk, punkt C i Figur 1), fisk ved slutten av forsøket (også punkt C i Figur 1), fôr inn i anlegget (punkt A i Figur 1) og tørt slam produsert i perioden (punkt D i Figur 1). Den totale mengden fisk, fôr og slam som er vist i Tabell 5 er også beskrevet i forbindelse med Tabell 1, Tabell 2 og Tabell 3.

Den totale mengden av tørrstoff, aske, fett, nitrogen, energi og utvalgte mineraler i fisk ved start, fisk tatt ut, fisk ved slutten av forsøket, fôr og tørket slam er beregnet i Tabell 6. Konsentrasjonene av sink i tørket slam (433 mg/kg, Tabell 5) er over tillatt grense for spredning på jordbruksareal (400 mg/kg).

Tabell 5 Total mengde av fisk fra start, tatt ut under forsøket, fisk ved avslutning, fôr og tørket slam, og kjemisk analyse, gitt i våtvekt ('as is').

|                       |   | Total mengde, kg | Tørrstoff, % | Aske, % | Fett, % | N, % | Energi, MJ/kg | Cd, mg/kg | Al, mg/kg | Mo, mg/kg | P, mg/kg | Fe, mg/kg | K, mg/kg | Ca, mg/kg | Cu, mg/kg | Mg, mg/kg | Mn, mg/kg | Na, mg/kg | Zn, mg/kg |
|-----------------------|---|------------------|--------------|---------|---------|------|---------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Fisk start</b>     | B | 231 926          | 29,7         | 2,2     | 10,4    | 2,67 | 7,98          | 0,010     | -         | -         | 4 265    | 18,5      | 3 394    | 4 565     | -         | 277       | 1.73      | 754       | 35        |
| <b>Fisk ut</b>        | C | 156 317          | 27,7         | 2,4     | 8,4     | 2,74 | 7,32          | 0,008     | -         | -         | 4 024    | 9,4       | 3 461    | 4 052     | -         | 270       | 1.37      | 768       | 35        |
| <b>Fisk ved slutt</b> | C | 416 595          | 28,5         | 2,2     | 9,4     | 2,70 | 7,65          | 0,007     | -         | -         | 4 421    | 10,3      | 3 438    | 4 854     | -         | 298       | 1.86      | 835       | 36        |
| <b>Fôr</b>            | A | 302 711          | 93,5         | 9,8     | 21,0    | 7,82 | 21,94         | 0,34      | 48        | 0,6       | 16 400   | 207       | 9 850    | 19 600    | 7,84      | 2 210     | 30.2      | 7 130     | 175       |
| <b>Tørt slam</b>      | D | 36 071 *         | 89,1         | 17,1    | 13,4    | 5,64 | 18,15         | 1         | 540       | 0,79      | 25 900   | 883       | 675      | 59 100    | 14,2      | 2 100     | 128       | 1 200     | 433       |

A, B, C, D – henviser til Figur 1.

\* Estimert mengde slam som ville blitt produsert dersom det hadde blitt samlet opp gjennom hele forsøket. Estimert ut fra forholdet mellom fôrforbruk og mengde oppsamlet slam i juni, da slam ble samlet opp.

Tabell 6 Total mengde av noen av de analyserte komponentene i fisk fra start, fisk tatt ut under forsøket, fisk ved avslutning, fôr og tørket slam.

|                       |   | Tørrstoff, kg | Aske, kg | Fett, kg | N, kg  | Energi, GJ | P, kg | Na, kg | Zn, kg |
|-----------------------|---|---------------|----------|----------|--------|------------|-------|--------|--------|
| <b>Fisk start</b>     | B | 64 946        | 4 893    | 22 781   | 5 837  | 1 747      | 933   | 165    | 7,6    |
| <b>Fisk ut</b>        | C | 43 372        | 3 796    | 13 067   | 4 282  | 1 145      | 629   | 120    | 5,4    |
| <b>Fisk ved slutt</b> | C | 118 784       | 9 088    | 39 108   | 11 242 | 3 187      | 1 842 | 348    | 14,9   |
| <b>Fôr</b>            | A | 295 392       | 30 822   | 66 230   | 24 683 | 6 930      | 5 180 | 2 252  | 55,3   |
| <b>Tørt slam*</b>     | D | 32 139        | 6 176    | 4 816    | 2 034  | 655        | 934   | 43     | 15,6   |

A, B, C, D – henviser til Figur 1.

\* Estimert mengde slam som ville blitt produsert dersom det hadde blitt samlet opp gjennom hele forsøket. Estimert ut fra forholdet mellom fôrforbruk og mengde oppsamlet slam i juni, da slam ble samlet opp.

Energiinnhold i vannprøver av spedevann (fersk og salt, punkt G i Figur 1) og spylevann fra beltefilter (punkt L i Figur 1) ble målt som et mål på innhold av organisk materiale i prøvene. Vannprøvene ble filtrert, tørket, og energiinnholdet målt (Tabell 7). Det ble gjort noe arbeid for å utvikle metoden for å måle energiinnhold i vannprøver, men reproduserbarheten var ikke tilfredsstillende, og beregninger basert på disse målingene vil få for stor feilmargin. Resultatene viser likevel et betydelig innhold av energi (og dermed organisk materiale) i spylevann fra beltefilter. Dette vannet går til avløp og representerer et tap av stoff i anlegget.

Tabell 7 Energiinnhold i vannprøver fra spedevann og tre prøver av spylevann fra beltefilter.

|                       |   | Energiinnhold, MJ/L |
|-----------------------|---|---------------------|
| Råvann fersk          | G | 0.7                 |
| Råvann salt           | G | 1.9                 |
| Spylevann beltefilter | L | 5.9                 |
| Spylevann beltefilter | L | 8.6                 |
| Spylevann beltefilter | L | 8.9                 |

G, L – henviser til i Figur 1.

### 3.1 Beregning av flyt av stoff og energi i anlegget

Av fôret som fôres inn i anlegget er målet at mest mulig skal bli til fisk (tilvekst).

Ideell situasjon for flyt av næringsstoff og energi:

Utfôret fôr → Tilvekst

Fullstendig utnyttelse av fôr til tilvekst er ikke mulig i en biologisk produksjon der det alltid vil være et tap. Men målet må være å redusere tapet til et minimum.

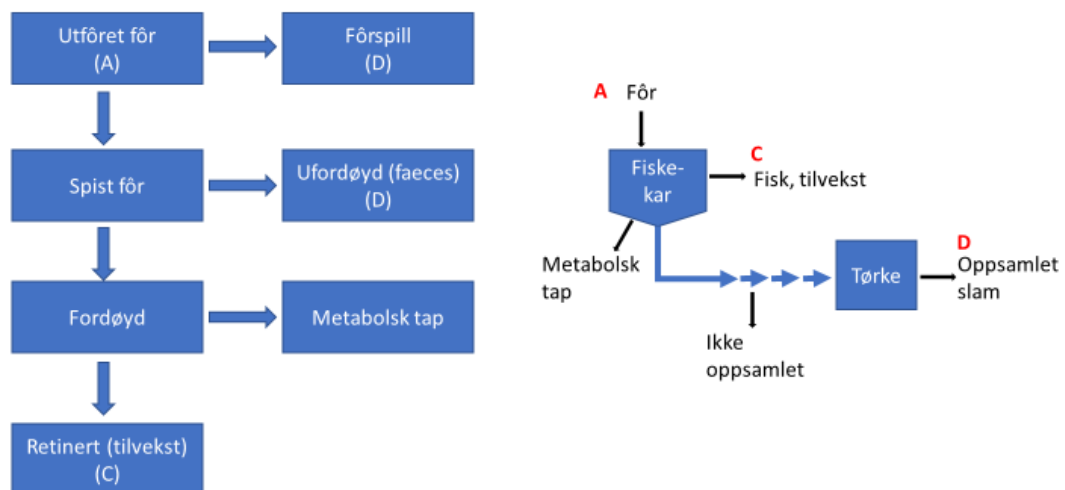
Reell situasjon for flyt av stoff:

Utfôret fôr → Tilvekst

↳ Tap (Fôrspill, faeces, metabolitter)

En del av fôret blir ikke spist (fôrspill), og en del av det spiste blir ikke fordøyd (faeces). Fôr og faeces fanges i separasjonssystemet og tørkes til tørket slam. En ukjent mengde av dette vil være oppløst stoff og finpartikulært materiale som ikke kan fanges i separasjonssystemene.

I tillegg er det et metabolsk tap som skyldes fiskens omsetning av energi, protein og andre forbindelser. Dette utskilles som oppløste komponenter som for eksempel karbondioksid, vann og urinstoff/NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (enkle nitrogenforbindelser). Det er forventet at noe over 50 % av det fordøyede nitrogenet tapes i fiskens metabolisme. Beregningene i det følgende er basert på effektiviteten som ble oppnådd med tilsvarende fôr og fisk i kontrollerte forsøksbetingelser (Aas *et al.*, 2006).



Figur 3 Til venstre vises oversikt over flyten av stoff fra fôr til produsert fisk. Produsert fisk omfatter tilvekst av fisken i anlegget og fisk som er tatt ut (leveranse og død fisk). Til høyre vises en forenklet skisse av de viktigste veiene for flyt av stoff i anlegget. A, C, D henviser til i Figur 1. Punkt C i denne figuren, tilvekst, tilsvarer C minus B (produsert fisk minus fisk ved start) i Figur 1.

### 3.2 Begning av totalt tap av stoff fra anlegget

Det totale tapet av stoff fra anlegget, det vil si materiale fra fôr som ikke ble tatt ut som tilvekst (fisk) eller som slam, kan beregnes som mengde materiale i fôr minus mengde i tilvekst og slam. Dette er beregnet både som totalt stofftap i perioden og per tonn fisk produsert (Tabell 8). Stofftapet inkluderer både partikulært materiale og oppløste stoff. I Figur 4 er tilsvarende data gitt som prosent.

Av de 283 tonn med tørrstoff som ble fôret ut i forsøket var tapet 158 tonn totalt. Gitt per tonn fisk produsert, var det totale tapet (metabolsk tap og ikke oppsamlet materiale) av tørrstoff 462 kg, tap av fett 90 kg, tap av nitrogen 36 kg, tap av energi 10 GJ, tap av fosfor 7 kg og tap av sink 0.07 kg (Tabell 8).

I Figur 4 er mengde materiale som gikk til tilvekst vist med blått, oppsamlet slam med rødt og tap med grønt. Av det totale tørrstoffet fra fôr gikk 33 % til vekst, 11 % ble fanget opp som slam og 56 % ble tapt. Tilsvarende estimat er vist for fett, nitrogen, energi, fosfor og sink (Tabell 8 og Figur 4). For alle komponentene utgjør det oppsamlede slammet en moderat mengde av det totale tapet.

For tørrstoff, fett, nitrogen og energi foreligger en del av det totale stofftapet på en form som ikke er relevant for oppsamling på mekanisk filter og miljøbelastning (CO<sub>2</sub> og vann).

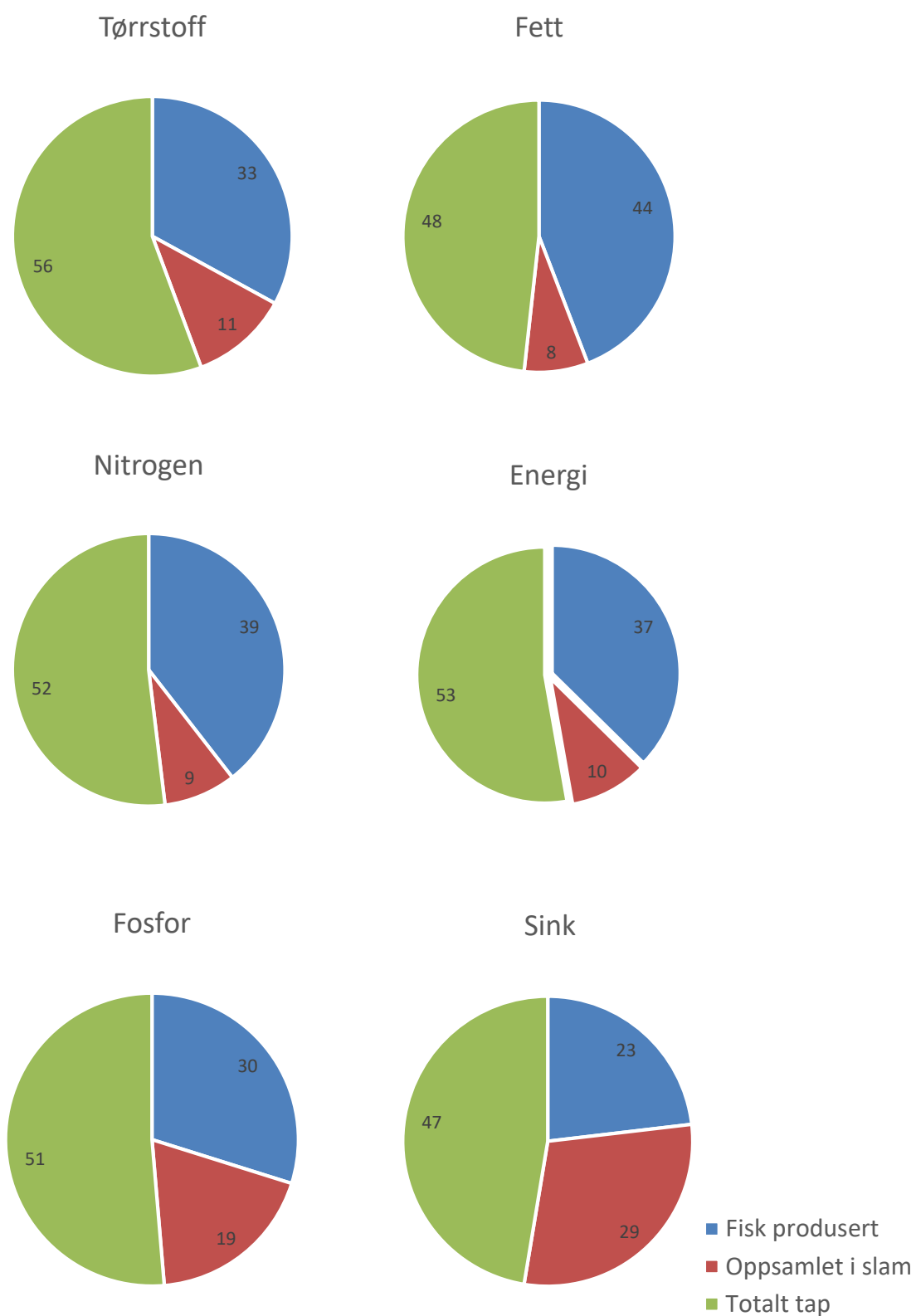


Tabell 8 Total mengde utfôret, i fisk, i slam og i tap av tørrstoff, fett, nitrogen, energi, fosfor og sink fra fôr i forsøksperioden og per tonn fisk produsert i et settefiskanlegg. Tapet er beregnet som totalt materiale eller energi fra fôr minus mengde fisk produsert og mengde slam oppsamlet. Se også Figur 4 for prosentvis fordeling.

|                                 | Total mengde,<br>'as is' | Tørrstoff,<br>kg | Fett,<br>kg | Nitrogen,<br>kg | Energi,<br>GJ | Fosfor,<br>kg | Sink,<br>kg |
|---------------------------------|--------------------------|------------------|-------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|
| <i>Totalt i perioden:</i>       |                          |                  |             |                 |               |               |             |
| Mengde utfôret:                 | 302 711                  | 283 116          | 63478       | 23 657          | 6 642         | 4 964         | 53          |
| Mengde i fisk produsert:        | 340 986                  | 93 335           | 28035       | 9 339           | 2 481         | 1 482         | 12          |
| Mengde i oppsamlet slam:        | 36 071 *                 | 32 139           | 4816        | 2 034           | 655           | 934           | 16          |
| Totalt tap av stoff **:         |                          | 157 642          | 30627       | 12 283          | 3 506         | 2 549         | 25          |
| <i>Per tonn produsert fisk:</i> |                          |                  |             |                 |               |               |             |
| Mengde utfôret:                 | 888                      | 830              | 186         | 69              | 19            | 15            | 0.16        |
| Mengde i fisk:                  | 1000                     | 274              | 82          | 27              | 7             | 4             | 0.04        |
| Mengde i oppsamlet slam:        | 106                      | 94               | 14          | 6               | 2             | 3             | 0.05        |
| Totalt i tap av stoff **:       |                          | 462              | 90          | 36              | 10            | 7             | 0.07        |

\* Estimert mengde slam som ville blitt produsert dersom det hadde blitt samlet opp gjennom hele forsøket. Estimert ut fra forholdet mellom fôrforbruk og mengde oppsamlet slam i juni, da slam ble samlet opp.

\*\*Metabolsk tap og materiale fra fôrspill og faeces som ikke er samlet opp



Figur 4 Fordeling (%) av tørrstoff, fett, nitrogen, energi, fosfor og sink fra fôr i produsert fisk, oppsamlet slam, og totalt tap i et settefiskanlegg. Det totale tap inneholder metabolsk tap og ikke oppsamlet materiale.

### 3.3 Effekt av oppsamling av slam

Det totale tapet av stoff og energi fra anlegget vist i avsnitt 3.2 er beregnet ut fra fôrforbruk, tilvekst og estimert oppsamlet slam i forsøksperioden, samt kjemisk analyse av fôr, fisk og slam. For å få data om effekten av å separere ut slam må det måles eller beregnes hvor stor del av tapet som er teoretisk mulig å samle. Det er vanlig å måle konsentrasjon av stoff og partikler i gitte punkt i systemet, og anta at resterende stoff er tatt opp av fisken. I det følgende er det i stedet estimert hvor mye stoff og energi fra fôret som er tatt opp av fisken, og resten er antatt å være tap.

Flyten av stoff og energi i anlegget (Tabell 9) ble beregnet ut fra følgende data og estimat:

1. Utfôret fôr i perioden ble hentet ut fra anleggets produksjonsdata, og total mengde av hver komponent beregnet fra kjemisk analyse av fôret.
2. Tilvekst er beregnet som biomasse ved slutt minus biomasse ved start og biomasse tatt ut under forsøket (leveranse og død fisk).
3. Mengde spist fôr ble beregnet ut fra antatt fôrfaktor 0.72 (tørrstoffbasis) for laks på denne størrelsen (Aas *et al.*, 2006) multiplisert med mengde fiske produsert (tilvekst).
4. Mengde fôrspill er lik mengde utfôret minus mengde spist fôr.
5. Mengde fordøyd fôr er estimert ut fra antatt fordøyelighet av de ulike komponenter basert på verdier fra litteratur.
6. Mengde ufordøyd i fôr (faeces) er lik mengde spist minus mengde fordøyd.
7. Metabolsk tap er lik mengde fordøyd materiale minus mengde i tilvekst.
8. Forventet mengde slam er lik mengde fôrspill pluss mengde ufordøyd materiale (faeces).
9. Slamsystemet var ikke i drift i deler av forsøksperioden. Det ble samlet opp slam hver dag i juni, derfor ble slamproduksjon i forhold til utfôret mengde brukt til å estimere total slamproduksjon. I juni utgjorde mengde slam 11.8 % av mengde fôr, og slamproduksjon for hele forsøksperioden ble beregnet som 11.9 % av totalt utfôret mengde.
10. Ikke oppsamlet slam er lik forventet mengde slam minus oppsamlet mengde slam.

Merk at 'forventet mengde slam' inneholder både partikulært materiale og oppløste forbindelser som ikke kan samles opp på mekaniske filter. Mengden oppløst stoff er ikke kjent, og det er dermed ikke kjent hvor stor del av den forventede mengde slam som er mulig å fange opp som slam.

Beregnet flyt av stoff og energi i anlegget er vist i Tabell 9. Tørrstoff representerer den totale stoffmengden fra fôr. Basert på data fra forsøket og antakelsene om fôrfaktor på 0,72 (Aas *et al.*, 2006) og 75 % fordøyelighet (Oehme *et al.*, 2014, Hillestad *et al.*, 1999) ble den forventede mengde tørrstoff i slam beregnet til 98 tonn i forsøksperioden, mens det ble samlet opp 32 tonn, altså 32 %. Tilsvarende ble det samlet opp 36 % av forventet mengde nitrogen. For fett og energi var oppsamlingen mer effektiv (43 % av forventet mengde for begge). Fôret inneholder høyt nivå av fett og energi med høy fordøyelighet og det er dermed lite av dette i faeces. Fôrpellets av god kvalitet kan fanges opp effektivt

på filter og fett og energi kan dermed samles effektivt opp. For fosfor og sink ble henholdsvis 29 og 42 % av forventet mengde samlet opp.

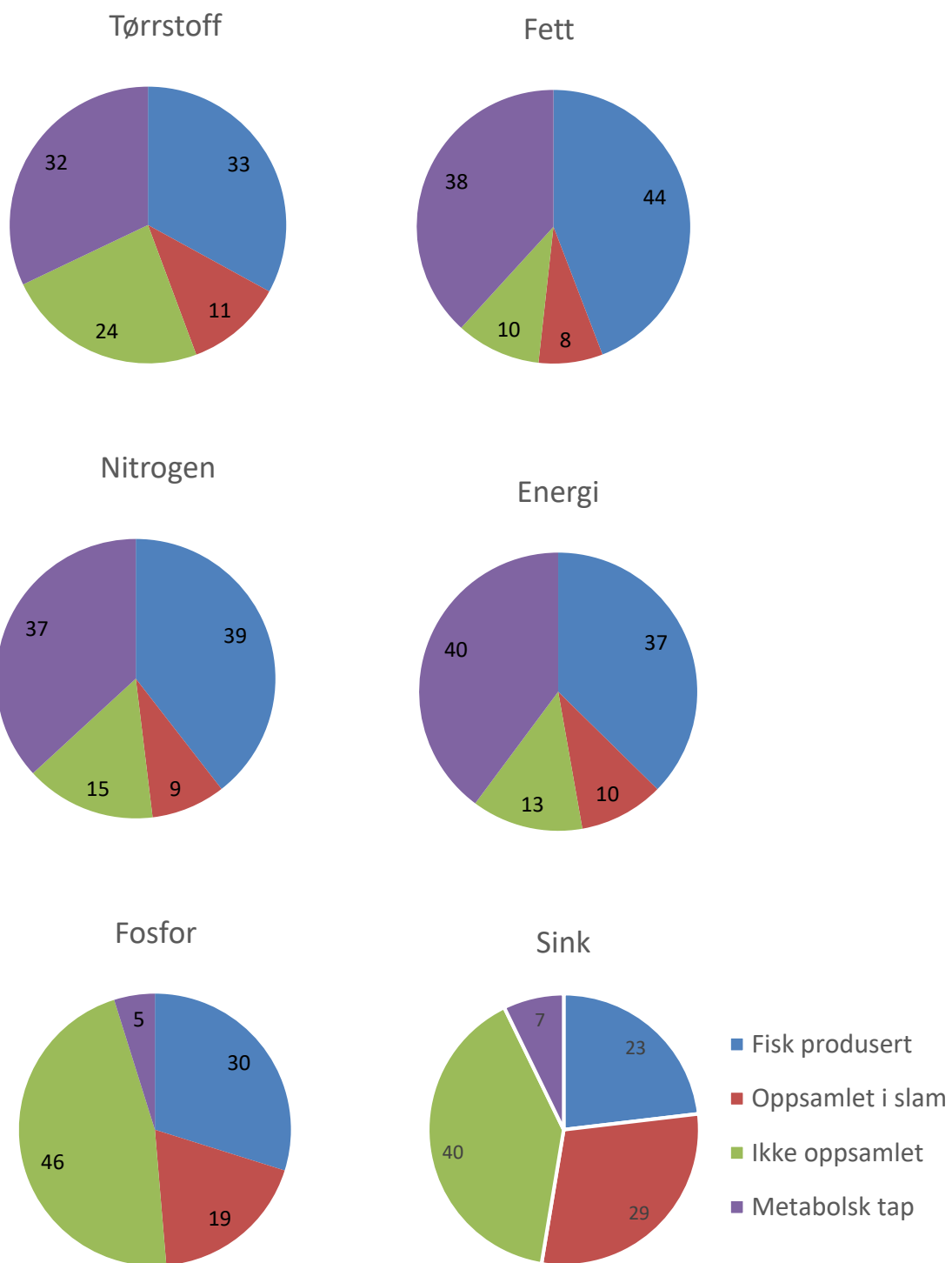
Figur 5 viser fordeling av stoff og energi fra fôr i tilvekst, oppsamlet slam, metabolsk tap og ikke oppsamlet slam. Figuren viser tilsvarende data som Figur 4, bortsett fra at tap av stoff er delt i metabolsk tap og ikke oppsamlet stoff. Det metabolske tapet (lilla) kan bare påvirkes i moderat grad og kan i denne sammenheng sees på som et obligatorisk tap. De røde feltene viser oppsamlet slam i forhold til ikke oppsamlet slam som er merket grønt. Oppsamlet slam (røde felt) kan også sammenlignes med totalt tap av stoff (ikke oppsamlet slam merket grønt og metabolsk tap merket lilla). De røde feltene viser altså effekten av rensing i forhold til det totale tapet av stoff (grønne pluss lilla felt, Figur 5). Av det utfôrete tørrstoff gikk 33 % til tilvekst, metabolsk tap utgjorde 32 %, mens tap til fôrspill og faeces utgjorde de resterende 35 % (11 % oppsamlet og 24 % ikke oppsamlet).

Mengde fôrspill er vanskelig å måle og det finnes lite dokumentasjon på dette i litteraturen. Basert på beregningene i Tabell 9 var mengden fôrspill 13 % av totalt utfôret mengde fôr.

Tabell 9 Estimert flyt av tørrstoff, fett, nitrogen, energi, fosfor i sink fra fôr i et settefiskanlegg.

|     |                                      | Total<br>mengde,<br>våtvekt | Tørrstoff | Fett  | Nitrogen | Energi | Fosfor | Sink |
|-----|--------------------------------------|-----------------------------|-----------|-------|----------|--------|--------|------|
| 1.  | Totalt utfôret, kg eller GJ          | 302 711                     | 283 116   | 63478 | 23 657   | 6 642  | 4 964  | 53   |
| 2.  | Tilvekst, kg eller GJ                | 340 986                     | 93 335    | 28035 | 9 339    | 2 481  | 1 482  | 12   |
| 3.  | Mengde spist, kg eller GJ            | 262 502                     | 245 510   | 55046 | 20 515   | 5 759  | 4 305  | 46   |
| 4.  | Mengde i fôrspill, kg eller GJ       | 40 209                      | 37 606    | 8432  | 3 142    | 882    | 659    | 7    |
|     | Antatt fordøyelighet, %              |                             | 75        | 95    | 88       | 89     | 40     | 35   |
| 5.  | Mengde fordøyd, kg eller GJ          |                             | 184 133   | 52294 | 18 053   | 5 126  | 1 722  | 16   |
| 6.  | Mengde ufordøyd, kg eller GJ         |                             | 61 378    | 2752  | 2 462    | 634    | 2 583  | 30   |
| 7.  | Metabolsk tap, kg eller GJ           |                             | 90 798    | 24259 | 8 714    | 2 645  | 240    | 4    |
| 8.  | Forventet mengde i slam, kg eller GJ |                             | 98 984    | 11184 | 5 604    | 1 516  | 3 242  | 37   |
| 9.  | Oppsamlet slam, kg eller GJ          | 36 071*                     | 32 139    | 4816  | 2 034    | 655    | 934    | 16   |
| 10. | Ikke oppsamlet, kg eller GJ          |                             | 66 844    | 6368  | 3 570    | 861    | 2 308  | 21   |
|     | Oppsamlet slam, % av forventet       |                             | 32        | 43    | 36       | 43     | 29     | 42   |

\* Estimert mengde slam som ville blitt produsert dersom det hadde blitt samlet opp gjennom hele forsøket. Estimert ut fra forholdet mellom fôrforbruk og mengde oppsamlet slam i juni, da slam ble samlet opp.



Figur 5 Fordeling (%) av tørrstoff, fett, nitrogen, energi, fosfor og sink fra fôr i produsert fisk, oppsamlet slam, ikke oppsamlet slam og metabolsk tap. Det totale tap av stoff og energi er lik summen av metabolsk tap og ikke oppsamlet materiale.

## 4 Diskusjon

Forsøket representerer en normal driftssituasjon i et per dags dato moderne settefiskanlegg med hovedsakelig resirkulering for produksjon av laksesmolt. Data ble samlet inn over en periode fra innsett av fisk og til en større leveranse, og inkluderer dermed varierende biomasse i anlegget.

Data i forsøket ble samlet inn som felldata og har følgelig ikke samme presisjon som man oppnår i kontrollerte forsøk, og må brukes deretter. Videre var det ikke oppsamling av slam gjennom hele forsøket, og total mengde slam som kunne bli produsert ble estimert. Resultatene gir likevel god informasjon om størrelsesordener i stoff-flyten i anlegget.

I forsøket er det ikke dokumentasjon for alle kilder til tap av stoff fra anlegget. Det er noen punkt med overløp av vann, og fisk har også et tap av metabolsk nitrogen der noe teoretisk kan dampe av vannet i gassform, men mest sannsynlig forlater det anlegget i vannløselig form. Videre vil biofilteret også bidra til omsetning av stoff. Korrekt beregning av tap av stoff fra disse kildene ville kreve et større arbeid enn dette prosjektet tillater. Det antas også at disse veiene for tap er av begrenset størrelse, og i dette forsøket er det fokusert på hovedveiene for flyt av stoff i anlegget. Videre vil ikke mineraler omsettes til flyktige forbindelser, og flyt av mineralene (fosfor og sink) er derfor gode indikatorer på flyten av stoff i anlegget. Flyten av fosfor og sink var i overensstemmelse med flyten av de øvrige målte komponenter.

Spylevann fra beltefilter ble analysert men analysemetoden ble ikke funnet tilfredsstillende. For å beregne tap herfra måtte man i tillegg til bedre analysedata hatt tilstrekkelig mengde representative prøver og nøyaktige tall for volum ut fra dette punktet.

Flyten av tørrstoff fra fôr, som er den totale mengden stoff-flyt fra fôret, viste at 32 % av den beregnede mengde fôrspill og faeces ble samlet på separasjonssystemene og tørket til tørt slam. Dette samsvarer godt med beregningene for de andre komponentene i fôret. De ulike fôrkomponenter har ulik fordøyelighet og ulike omsetning i fisken med ulikt metabolsk tap, og derfor er det forventet noe ulike verdier for effektiviteten i oppsamlingen til slam. Resultatene indikerer dermed at 68% av den forventede mengde fôrspill og faeces ikke blir fanget opp som slam.

Fôret inneholdt 23,5 MJ/kg energi og det tørkede slammet 20.4 MJ/kg på tørrstoffbasis (hhv 21,94 og 18.15 MJ/kg 'våtvekt'). Erfaringsmessig inneholder ren faeces fra laks rundt 14-16 MJ/kg på tørrstoffbasis, og energiinnholdet tyder på at slammet kan ha inneholdt rundt 50 % fôr og 50 % faeces. Dette tyder på at en betydelig del av faeces ikke blir samlet opp som slam.

En viss mengde (ukjent) av materiale som ikke er fanget opp er finpartikulært eller oppløst materiale som ikke kan fanges med separasjonssystemene. Noe av dette vil bli omsatt av biofilteret. En viktig kilde til det finpartikulære materialet kan være knusing av faeces-partikler gjennom rørsystemet før filter. Fôrkviteter som fremkaller lett knusbar faeces hos fisken vil gi ekstra tap av stoff, mens fôr som gir fast faeces-konsistens vil være fordelaktig med tanke på oppsamling på filter. I likhet med tidligere undersøkelser (Aas *et al.*, 2016) indikerte resultatene at slam inneholder mye fôrpellets, mens faeces i større grad oppløses og ikke fanges opp som slam.

Ettersom slam ikke ble tørket under deler av forsøket (store deler av juli og august) ble slamproduksjonen i juni lagt til grunn for estimat av total slamproduksjon i forsøket. I juni utgjorde mengde oppsamlet tørket slam (89,1 % tørrstoff) 11,9 % av mengde utfôret fôr (93,1 % tørrstoff).

Beregnet på tørrstoffbasis utgjorde mengden slam 11,4 % av mengden fôr. Total fordøyelighet av tørrstoff i laksefôr ligger ofte rundt 75 % eller lavere (Hillestad *et al.*, 1999, Oehme *et al.*, 2014). Ufordøyd materiale utgjør dermed 25 % eller mer av det spiste fôret. Mengden slam som samles opp i forhold til mengden utfôret fôr gir en indikasjon på effektiviteten av oppsamling av ufordøyd materiale.

Estimatene i Tabell 8 viser at estimert mengde fôrspill var større enn den totale mengden oppsamlet slam, og reduksjon i fôrspill kan ha betydelig effekt på utslipp. Fôr/fôringredienser med høy fordøyelighet som reduserer mengden faeces, som våre data indikerer at i stor grad slippes ut, kan også redusere utslipp. Videre kan fôr som gir faeces av fast konsistens ha betydning for mengden faeces som fanges opp i slam.

## 5 Referanser

- Aas, T.S., Grisdale-Helland, B., Terjesen, B.F. & Helland, S.J. (2006) Increased growth and nutrient utilisation in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing a bacterial protein meal. *Aquaculture*, 259, 365-376.
- Aas, T.S., Ytrestøyl, T. & Berge, G.M. (2016) Tørrstoffinnhold i slam fra landbasert produksjon av Atlantisk laks. Nofima rapport 32/2016.
- Hillestad, M., Åsgard, T. & Berge, G.M. (1999) Determination of digestibility of commercial salmon feeds. *Aquaculture*, 179, 81-94.
- 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*). *Aquacult. Nutr.*, doi: 10.1111/anu.12099.



