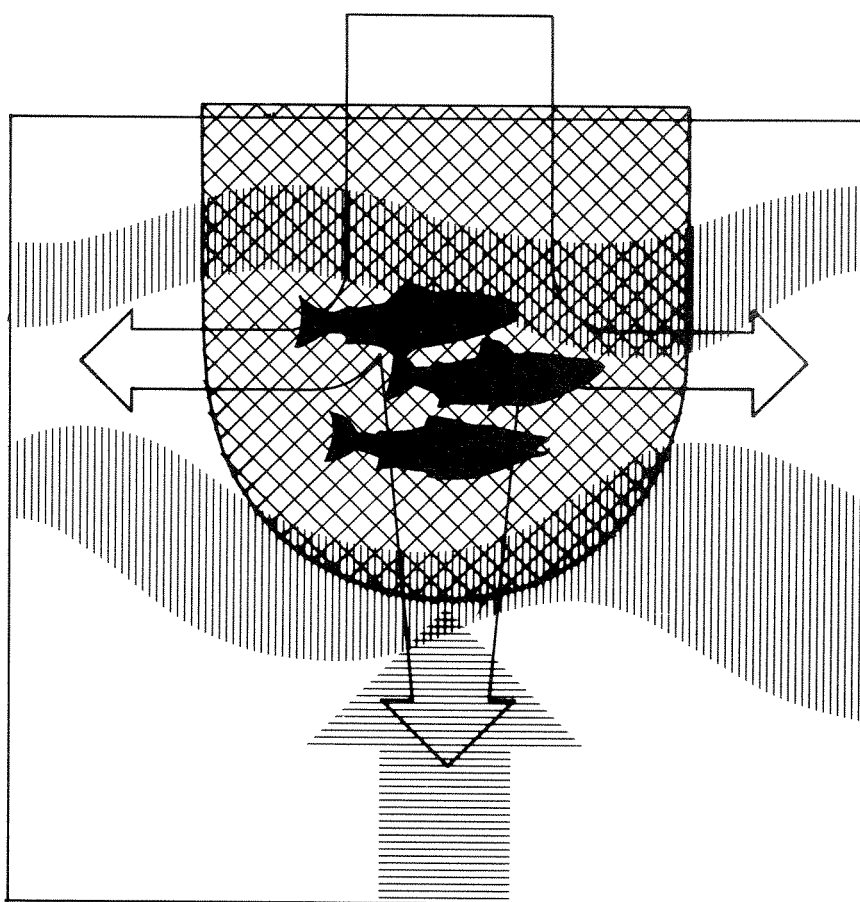


E-87729

O-86004

Om utskillelse av
fosfor og nitrogen
fra fiskeoppdrettsanlegg



NIVA – RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor

Postboks 33, Blindern
0313 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80
Telefax (02) 39 41 29

Sørlandsavdelingen

Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033
Telefax (041) 42 709

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen

Brevikven 5
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 95 17 00
Telefax (05) 25 78 90

Prosjektnr.:
O-86004
E-87729

Undernummer:

Løpenummer:

2262

Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel:

Om utskillelse av nitrogen og fosfor fra
fiskeoppdrettsanlegg.

Dato:

15.3.89.

Prosjektnummer:

O-86004

E-87729

Forfatter (e):

Jarle Molvær
Anders Stigebrandt

Faggruppe:

Marinøkologisk

Geografisk område:

Antall sider (inkl. bilag):

27

Oppdragsgiver:

Statens forurensningstilsyn
NIVA

Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):

Ekstrakt:

Undersøkelser i et oppdrettsanlegg for laks viser at fosfor og nitrogen belastet vannmasser i hovedsak som fosfat og ammonium. Sammenligning av målte verdier og modellberegninger viser godt samsvar både mht. forholdstall og konsentrasjonsøkning. Modellen synes dermed å fungere tilfredsstillende.

4 emneord, norske:

1. Akvakultur
2. Forurensning
3. Næringssalter
4. Modell

4 emneord, engelske:

1. Aquaculture
2. Pollution
3. Nutrients
4. Model

Prosjektleder:

Jarle Molvær

For administrasjonen:

Tor Bokn

ISBN - 82-577-1560-3

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

O-86004
E-87729

OM UTSKILLELSE AV NITROGEN OG FOSFOR FRA FISKEOPPDRETTSANLEGG

Oslo, 15.3. 1989

Prosjektleder: Jarle Molvær, NIVA
Medarbeidere : Anders Stigebrandt,
Gøteborg
John Arthur Berge, NIVA
Vilhelm Bjerknes, NIVA

menytest:rap

FORORD

Foreliggende rapport er utarbeidet etter oppdrag fra Statens forurensningstilsyn, SFT. Rapporten oppsummerer resultatene fra fase 2 av prosjektet "Utvikling av modell for miljøbelastningen fra fiskeoppdrettsanlegg". Hovedformålet var å teste den modellen som ble utviklet under prosjektets fase 1, samt studere utskillelse av fosfor og nitrogen fra marine matfiskanlegg.

Ved NIVA har prosjektet vært kjørt sammen med et internt forskningsprosjekt "E-87729 Miljøbelastning fra fiskeoppdrettsanlegg".

Prosjektet har latt seg gjennomføre takket være velvillig samarbeid fra MOWI Atlantic Salmon A/S i Bergen. En spesiell takk rettes til Harald Kvalheim og Anne Marte Årsether.

Professor Anders Stigebrandt, Gøteborg, har hatt ansvaret for selve testingen. John Arthur Berge, Vilhelm Bjerknes og Jarle Molvær, NIVA, har hatt ansvar for datainnsamling og litteraturgjennomgåelse. Sistnevnte har vært prosjektleder.

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	2
1. SAMMENDRAG	4
2. INNLEDNING	5
3. MÅLEPROGRAMMET	5
4. RESULTAT OG DISKUSJON	9
4.1. Strømforhold og hydrografi	9
4.2 Nitrogen, fosfor og oksygen	11
5. JEVNFORING MED MODELLBEREGNINGER	19
6. KONKLUSJON	22
7. LITTERATURLISTE	23
DATAVEDLEGG	24

1. SAMMENDRAG

Det er utført en undersøkelse av utskillelse av fosfor og nitrogen fra et oppdrettsanlegg for laks. Anlegget lå i et sund mellom to øyer, og vannutskiftningen, som ble regulert vha. pumper og strømsettere, ble dermed relativt godt kjent. Gjennom å måle på konsentrasjonene i inngående og utgående vann ble utskillelsen fra fisken studert. Resultatene er anvendt i test av en modell for miljøbelastning fra oppdrettsanlegg. Modellen ble presentert i prosjektfase 1.

Målingene viser at fosfor og nitrogen tilføres omgivelsene i hovedsak som fosfat og ammonium, og stemmer bra med forutsetningene i modellen.

Modellen er testet på to måter: ved sammenligning av forholdstall mellom nitrogen og fosfor, og ved sammenligning av målte og beregnede konsentrasjoner.

Forholdstall beregnet på grunnlag av modellresultater stemmer godt med tilsvarende forholdstall beregnet av målte verdier.

Sammenligning av modellens døgnmiddelverdier med målinger tatt en gang pr. døgn er vanskelig pga. tidsvariasjoner i vannmassene, og svært varierende forfaktor i måleperioden.

Dertil gir en viss usikkerhet i oppgitt gjennomstrømming, innhold av nitrogen og fosfor i foret og fettinnhold i fisken en usikkerhet i beregnede konsentrasjoner - og mengder.

Disse forhold tatt i betraktning, vil vi med det foreliggende datamateriale likevel konkludere at modellen synes å beregne gjennomsnittlig utskilling av fosfor og nitrogen fra et oppdrettsanlegg for laks på en tilfredsstillende måte.

2. INNLEDNING

Inntil for få år siden regnet man med at laksefisk hovedsakelig avgir fosfor via faste ekskrementer. Fosforet skulle dermed raskt havne på bunnen hvorfra en viss langsom lekkasje ville skje.

I Stigebrandt (1986) ble det foreslått at fosforet i hovedsak vil foreligge som løst fosfor i likhet med nitrogen.

For nærmere å studere utskillelse av fosfor og nitrogen fra fiskeoppdrettsanlegg, har det blitt gjennomført et måleprogram i A/S MOWI Atlantic Salmons anlegg i Veløykjølpo på Sotra. Dette anlegget besto av et avstengt sund der vann pumpes gjennom (fig. 1). God gjennomstrømming sikret av syv strømsettere ved søndre sperring, og av fire pumper plassert i fra ca. 2 m til 7 m dyp. Effekten ble oppgitt til ca. 0.8 m³/s pr. strømsetter, og 2.7 m³/s pr. pumpe. Fra MOWI blir det opplyst at man normalt regnet med en vannutskiftning på 13-15 m³/s, avhengig av hvor mange pumper og strømsettere som til enhver tid var i drift.

Ved middelvannstand er arealet av havoverflaten innenfor avgrensningen 35.500 m² og volumet ca 194.100 m³. Største dyp er 11 m.

3. MÅLEPROGRAMMET

Vannprøver ble innsamlet ved 10 anledninger i perioden 23. november 1987 til 12. februar 1988. Tonnasjen i anlegget avtok i dette tidsrommet fra 722 tonn til 350 tonn pga. slakting (Vedlegg 1).

I dette tidsrommet ble fisken foret fra ca. kl. 8-9 til ca. kl. 11, og deretter en periode etter ca. kl. 15. Formengden varierte i hovedsak i takt med tonnasjen, fra 6000 kg/døgn i begynnelsen av måleperioden til 2500 kg/døgn mot slutten, fig. 2. Vi merker oss at fisken ble gitt relativt lite for under den andre og den tredje prøveserien.

I november og desember var gjennomsnittlig forfaktor henholdsvis 1.56 og 1.78. Tilsvarende forfaktorer i januar og februar 1988 var henholdsvis 5.9 og 2.9

Fiskeforets sammensetning har betydning for utslippet fra fisken samt for fiskens appetitt og oksygenforbruk. I løpet av observasjonsperioden fikk fisken (middelvekt 2.5 kg) for av typen Edel nr. 10 med følgende sammensetning: protein 44.5%, fett 22.5%, karbohydrater 14.0%

aske 9% og resten vann. I følge standard sammensetning vil da nitrogeninnholdet være ca. 71 gN/kg for, og fosforinnholdet ca. 10 gP/kg for. Fra MOWI er det blitt opplyst at fiskens fettinnhold var i intervallet 12-18%, og protein-innholdet var 20%.

Prøvetakingslokalitetene var st. V1 (inngående vann), st. V3 (utgående vann) samt st. V4 (nedstrøms foringsbrygga), se fig. 1. På st. V1 og V3 ble prøvene tatt i 1 m dyp, mens prøvene ble tatt i 1 m dyp og 1 m over bunnen (10 m dyp) på st. V4.

Prøvene ble innsamlet av MOWIs personale etter forutgående opplæring av NIVA. Til vanlig ble prøvene innsamlet i tidsrommet kl.12-13, dvs. 2-3 timer etter at formiddagens foring var avsluttet.

Totalnitrogen (TN), ammonium (NH_4), nitritt+nitrat (NO_2+NO_3), totalfosfor (TP) og fosfatfosfor (PO_4P) ble analysert på NIVAs laboratorium i Oslo i samsvar med Norsk Standard. Oksygen (O_2) ble dels analysert av MOWI i samsvar med Norsk Standard, og dels målt med sonde. Saltholdighet og temperatur ble målt med salinoterm.

En selvregistrerende strømmåler (Sensordata SD-2000) ble satt ut i ca. 1.5 m dyp mellom st. V4 og utløpet (fig. 1). Måleren registrerte strømretning, strømhastighet og temperatur med 24. minutters intervall i tidsrommet 23. november til 27. desember 1987.

Vi har også kunnet benytte en del målinger fra NIVAs undersøkelser i Veløykjølpo og Flogøykjølpo (nå nedlagt) i 1984-85 (Braaten et al., 1984, Skei, 1985), og andre målinger av temperatur, saltholdighet og oksygen stilt til rådighet av MOWI.

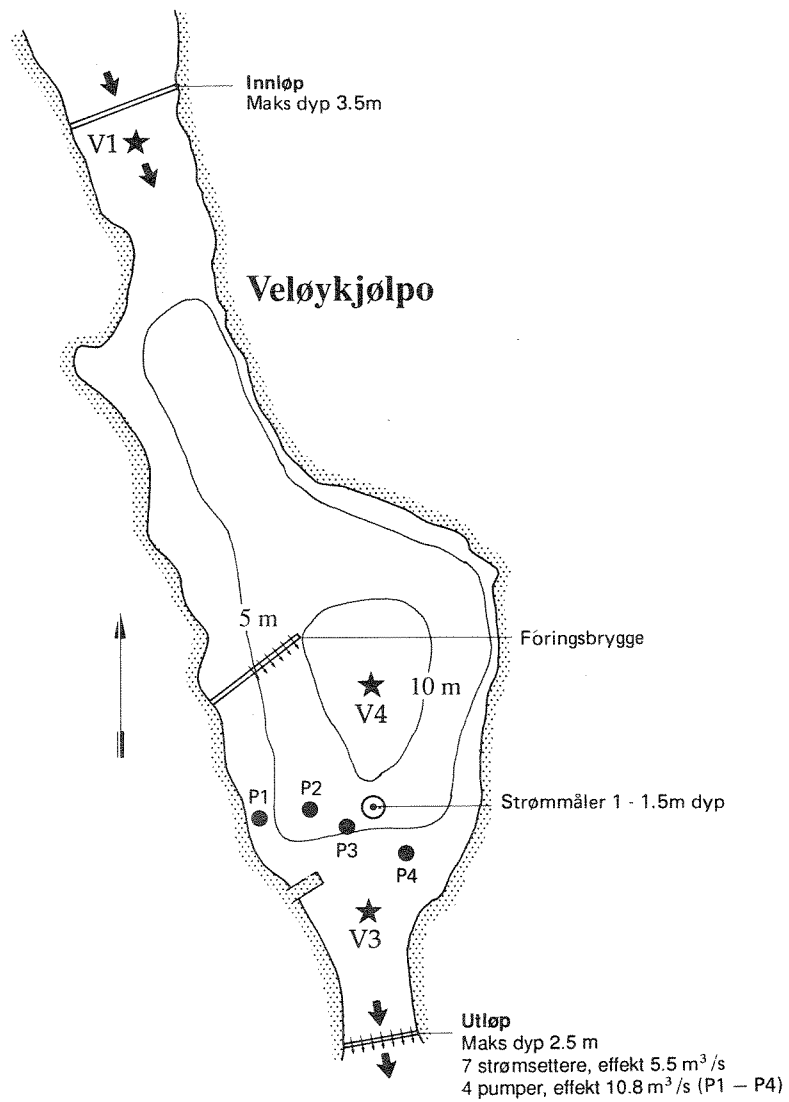


Fig. 1. Skisse over Veløy-anlegget. Stasjoner for prøvetaking samt strømmåling er inntegnet.

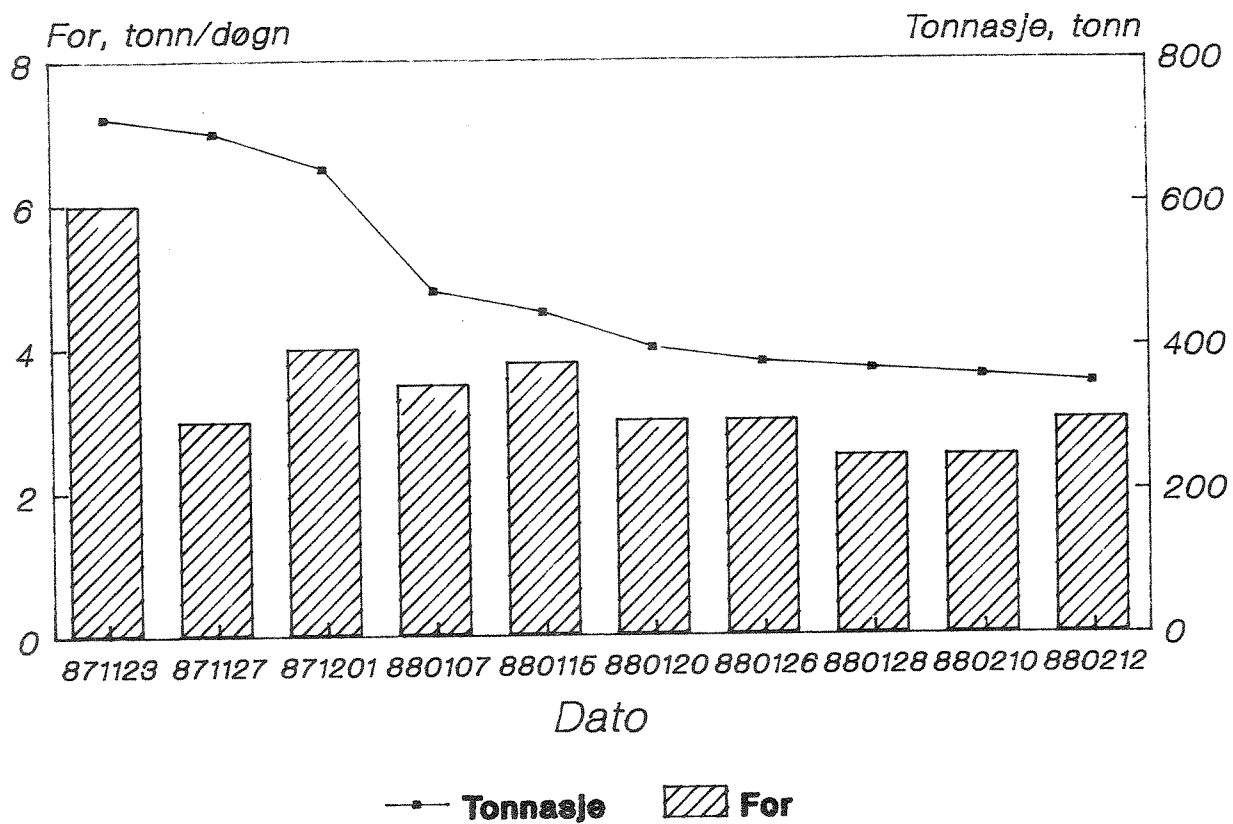


Fig. 2. Tonnasje og forforbruk på tidspunkt for prøveinnsamling.

4. RESULTATER OG DISKUSJON

4.1. Strømforhold og hydrografi.

Fig. 3a-c gir en statistisk oppsummering av strømmålingene. Som ventet strømmet vannet hele tiden fra nord til sør. Aritmetisk middel av hastigheten var 11.5 cm/s.

En hydrodynamisk interessant observasjon er at strømmen viste en tydelig variasjon med det halvdaglige tidevannet og at strømstyrken var inverst korrelert med vannstanden. Grunnen er at med konstant gjennomstrømningsvolum pr.tidsenhet vil strømhastigheten variere inverst med det vertikale gjennomstrømningsarealet i åpningene. Minst areal (lavvann) gir dermed høyest strømhastighet. Typisk hastighet ved lavvann var 12-14 cm/s, og 9-11 cm/s ved høyvann.

Effekten av strømsettere og pumper gir grunnlag for å anslå vannmassenes oppholdstid i bassenget. Ved sperringen i sør var midlere vanddyb ca. 2 m. De syv strømsetterne gav normalt en effekt på ca. 5.5 m³/s. Vanligvis var to pumper i drift i 2-3 m dyp. Dermed kan vi grovt regne med en vannutskiftning av ca. 11 m³/s i de øverste 3 m av bassenget. Midlere vannvolum i 0-3 m dyp er ca. 95.000 m³, som dermed gir en gjennomsnittlig oppholdstid på 9500 sekund eller ca. 2.4 timer. Vannvolumet dypere enn 3 m er ca. 100.000 m³, og med bruk av 1-2 pumper antyder det en oppholdstid på 5-10 timer.

For bassenget under ett (ca. 195.000 m³) var midlere oppholdstid ca. 4 timer.

I måleperioden avtok temperaturen i 1 m dyp fra 8.4^oC til 5.2^oC. Dette var en uvanlig høy temperatur for årstiden. Saltholdigheten varierte i intervallet 25-29^o/oo. Siden alt vann i bassenget strømmet inn over den ca. 3 m dype sperringen i nord, og oppholdstiden var betydelig mindre enn ett døgn, var det ingen lagdeling av betydning i bassenget. I 1985 var til eksempel forskjell i saltholdighet mellom 1 m dyp og bunn bare 0.1-0.3^o/oo.

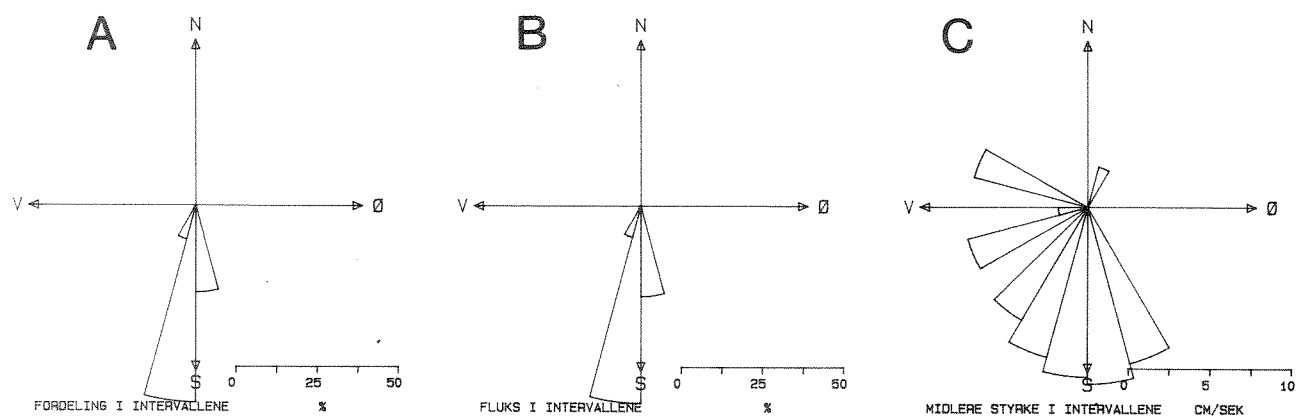


Fig. 3. Resultat fra strømmålingene.
 a: Fordeling i strømretning.
 b: Fordeling i transport (fluksen).
 c: Midlere strømhastighet i de forskjellige sektorer.

4.2. Nitrogen, fosfor og oksygen.

Innledningsvis påpekes at planteplanktonproduksjon i området på denne tiden av året var liten. Vi kan derfor se bort fra opptak av næringsalter i planteplankton.

Resultatet av analysene på inn- og utgående vann (1 m dyp) gis i fig. 4-5, og i Datavedlegg, tabell 2. Som man skulle vente viser konsentrasjonene i inngående vann relativt små variasjoner, med unntak for totalfosfor-verdiene fra 10.2.88 og 12.2.88. Det er ikke mulig å se noen grunn til at disse to verdiene skal ligge så høyt, ca. 10 mg/m³ over de foregående, og uten noen tilsvarende økning for fosfat. Ikke er det nærliggende utslipp utenfor innløpet, og ikke er det noen som tyder på at det har inntruffet en upwelling av næringsrikt dypvann omkring Veløy. I det siste tilfellet skulle man også ventet en betydelig økning i fosfatkonsentrasjonen.

Overflatevann med konsentrasjoner på 35-40 mgP/m³, omtales vanligvis som markert forurensningspåvirket. Etter vårt skjønn er disse totalfosfor-verdiene svært tvilsomme, og vi velger å se bort fra dem i den videre dataanalysen.

Middelverdier av målingene fra 1 m dyp og 10 m på st. V4 (litt sør for foringsbrygga) er vist nedenfor. Også mht. næringsalter og oksygen kan vannmassene betraktes som homogene. De etterfølgende beregningene blir dermed basert på målingene i 1 m dyp.

Dyp m	TOTP mg/m ³	PO4P mg/m ³	TOTN mg/m ³	NO3N mg/m ³	NH4N mg/m ³	O2 mg/l
1 m	44	36	371	107	85	8.8
10 m	42	32	371	107	88	8.5

Vi har beregnet hvor mye konsentrasjonen av nitrogen (N) og fosfor (P) økte mens vannet strømmet gjennom anlegget, og hvor store mengder dette totalt utgjorde pr. døgn. Endring av konsentrasjonene (DTN=endring av konsentrasjonen av totalnitrogen etc.) i vannet fra innløp til utløp gis i Datavedlegg, tabell 3, både som målte verdier og beregnet ved bruk av modellen for miljøbelastning. For begge metoder gir vi også (i parentes) det totale utslippet av N og P pr. døgn.

Gjennomsnittlig økning i konsentrasjonen av totalfosfor (DTP) var 15.8 mg/m³, mens fosfatkonsentrasjonen i gjennomsnitt økte med 14.5 mg/m³. Dette viser at fosforet som forble i vannmassene i alt vesentlig forelå som fosfat, (fig. 4). Den partikulære fraksjonen var i hovedsak sedimentert.

Mht. nitrogen var gjennomsnittlig DTN lik 87.2 mg/m³, mens tilsvarende ammoniumøkning var 57.5 mg/m³, (fig. 5). DNH4 utgjorde i gjennomsnitt ca. 66% av DTN. I denne sammenheng er resultatene fra 27.11. og 1.12.87 spesielt interessant, fordi fisken da ble gitt relativt lite for. Man skulle da vente en viss nedgang i DTN, og en relativt større andel av ammonium. Dette stemmer klart for 27.11., og tilsynelatende også for 1.12., (fig. 5-6). Nedgangen i DNH4 fra 27.11 til 1.12. passer med resultater av Kaushik (1980), som fant at ammoniakkutskillelsen fra regnbueørret som sultet stabiliserte seg på et lavere nivå etter ca. en uke.

Resultatene samsvarer bra med Persson (1987) som fant at ca. 85% av fosforet som tilføres et oppdrettsanlegg gjennom foret tapes til omgivelsene som fekalier og forspill, og minst 60% av dette løses opp i vannet. For nitrogen fant Persson henholdsvis 70% og minst 80%, i hovedsak som ammonium. Håkanson et al. (1988) oppgir at ca. 70% av fosforet utskilles gjennom faeces, og ca. 80% av nitrogenet utskilles gjennom gjellene som ammoniakk.

Ved regresjonsanalyse vil vi søke etter enkle sammenhenger mellom forforbruk og tonnasje på den ene siden, og økning i konsentrasjonen av næringsalter på den annen side. En slik analyse vil ikke være fullstendig fordi forforbruk og tonnasje langt på vei varierer i takt ($r=0.70$) pga. slakting, og fordi begge i denne sammenheng også varierer med temperaturen. De vesentligste resultatene for fosfor:

$$DP04P = 0.6 + 0.004 * \text{FORFORBRUK} \quad (r=0.95, r^2=0.91, \text{ jfr. fig. 7})$$

$$DP04P = 2.77 + 0.024 * \text{TONNASJE} \quad (r=0.81, r^2=0.65)$$

$$DTP = -3.9 + 0.00546 * \text{FORFORBRUK} \quad (r=0.86, r^2=0.74)$$

$$DTP = 3.5 + 0.024 * \text{TONNASJE} \quad (r=0.50, r^2=0.25)$$

Forforbruket gav altså større forklaringsprosent (som r^2) enn tonnasjen.

For nitrogen:

$$DNH4 = 32.6 + 0.005 * \text{FORFORBRUK} \quad (r=0.41, r^2=0.17)$$

$$DNH4 = 29.5 + 0.058 * \text{TONNASJE} \quad (r=0.66, r^2=0.44)$$

$$\text{DTN} = 49.6 + 0.011 \cdot \text{FORFORBRUK} \quad (r=0.79, r^2=0.62)$$

$$\text{DTN} = 52.5 + 0.07 \cdot \text{TONNASJE} \quad (r=0.74, r^2=0.55)$$

Årsaken til den generelt litt svake sammenhengen mellom forforbruk, tonnasje og nitrogenøkning er ikke klar. En grunn kan være at nitrogenutskillelsen fra fisken, og dermed konsentrasjonen i vannmassene vil variere mye med tidspunktet i forhold til foringen. Brett og Zala (1975) fant at nitrogenekskresjonen nådde sitt maksimum først ca. 3 timer etter foringen. Kaushik (1980) viste i hovedsak det samme for regnbueørret som fikk to måltider pr. dag. I dette tilfellet ble prøvene tatt 3-4 timer etter at foringen begynte, og 1-2 timer etter at den var avsluttet. Det virker rimelig at nitrogenutskillelsen på det tidspunktet var høy og under endring, jfr. fig. 8c. På dette tidspunktet var det derfor vanskelig å få representative enkeltprøver.

Variierende forforbruk (forfaktor i intervallet ca. 1.6-6) er en annen kompliserende faktor.

Vi har også tilføyet måleresultat fra tidligere NIVA-undersøkelser (jfr. Datavedlegg ,tabell 2). Eldre måledata som der markeres med F kommer fra Flogøy-anlegget.

I fig. 9 har vi plottet samtlige DNH4 mot DTOTP. Som det fremgår av figuren er det en forholdsvis god korrelasjon mellom endringene i ammonium- og totalfosforkonsentrasjonene. Helningen på linjen er omtrent 1/6 (0.17), som betyr at nitrogenproduksjonen er 6 ganger større enn tilfellet er for fosfor.

I fig. 10 har vi plottet alle tilgjengelige DNH4 vs. DO2, inkludert eldre data fra Veløy og Flogøy. Vi ser at forholdstallet mellom nitrogenutskillelse og oksygenforbruk er omtrent 0.04, samt at oksygenforbruket går mot null når ammoniakkutskillelsen går mot null.

En del av oksygenforbruket, samt økningen av ammonium og fosfat, kan tenkes å stamme fra prosesser i sedimentene. Målinger under fiskeoppdrettsanlegg (bl.a. Veløykjølpo) viser at tykke sedimentlag (~ 10 cm organisk materiale vannfritt) kan absorbere oksygen av størrelsesorden $10 \text{ mmolO}_2/\text{m}^2/\text{t}$, og lekke ammonium med $2 \text{ mmolN}/\text{m}^2/\text{t}$ (Pia Kupka-Hansen, pers. medd.). Anvendt på Veløykjølpo, der vi antar at ca. 15.000 m^2 var dekket av organisk materiale, gir dette er oksygenforbruk på 4-5 kg/time og en ammoniumlekkasje på ca. 0.4 kg/time. Med en gjennomstrømning av ca. $13 \text{ m}^3/\text{s}$ skulle sedimentene gi en reduksjon av 0.1 ml O₂/l og øke ammoniumkonsentrasjonen med ca. 8 mg N/m³. Med et N:P-forhold på ca. 7:1, skulle sedimentene bidra med

ca. 1.1 mg P/m³.

Siden oksygenforbruket i Veløykjølpo var typisk 30-40 kg/time som døgnmiddel, og ammoniumutskillelsen 4 kg/time, kan vi konstatere at bidraget fra sedimentprosessene på konsentrasjonene i overflatevannet var mindre enn 10% av bidraget fra fisken.

I tillegg til nitrogenekskresjonen, studerte Brett og Zala (1975) daglige variasjoner av oksygenforbruket hos sockeye salmon (middelvekt 29 g, temperatur 15^oC). Oksygenforbruket varierte i løpet av døgnet med en faktor 2, med minimum noen timer før dagslyset og maksimum under foringen (kl. 8-9). Nitrogenekskresjonen og oksygenforbruket var altså ikke helt i fase.

Forholdstallet mellom nitrogenekskresjonen og oksygenforbruket varierte kraftig i løpet av døgnet. I Brett og Zalas forsøk varierte det i intervallet 0.02-0.10. Den relativt store spredningen som vi observerte (fig. 10) kan formodentlig for en stor del forklares ved at N-ekskresjon lå etter oksygenforbruket i tid.

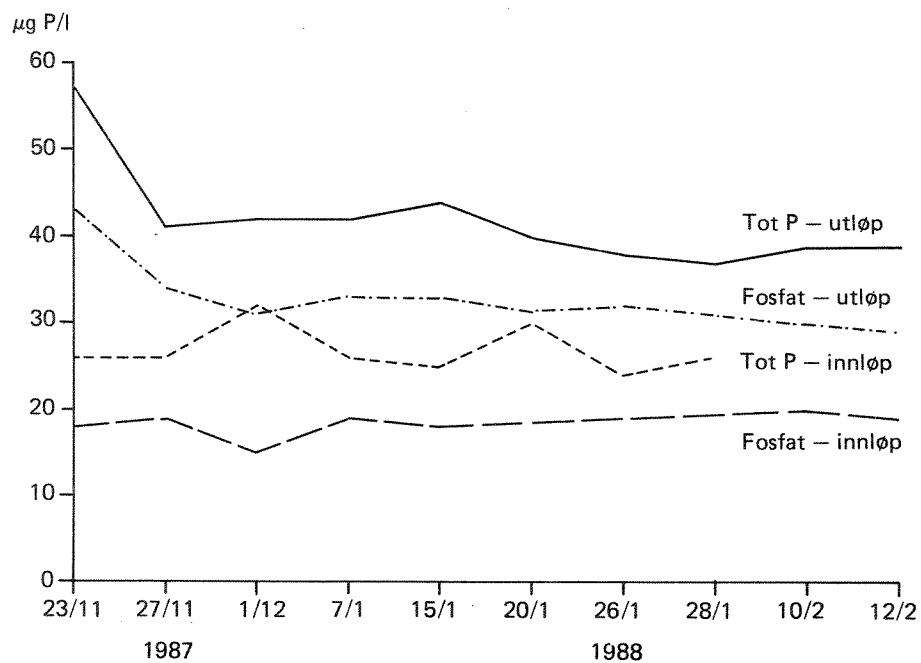


Fig. 4. Målinger av fosfor i inn- og utstrømmende vann.

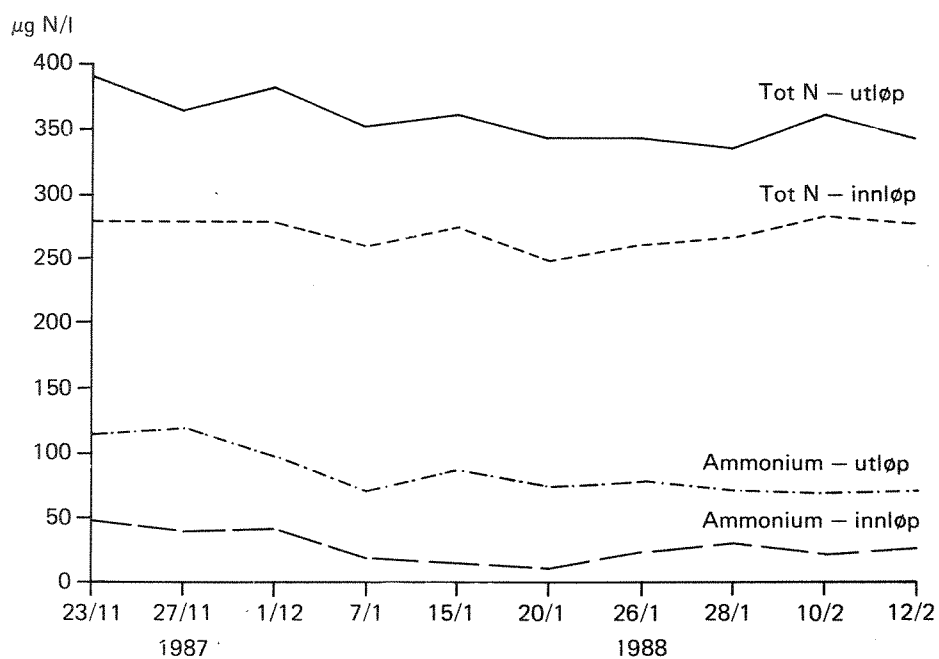


Fig. 5. Målinger av nitrogen i inn- og utstrømmende vann.

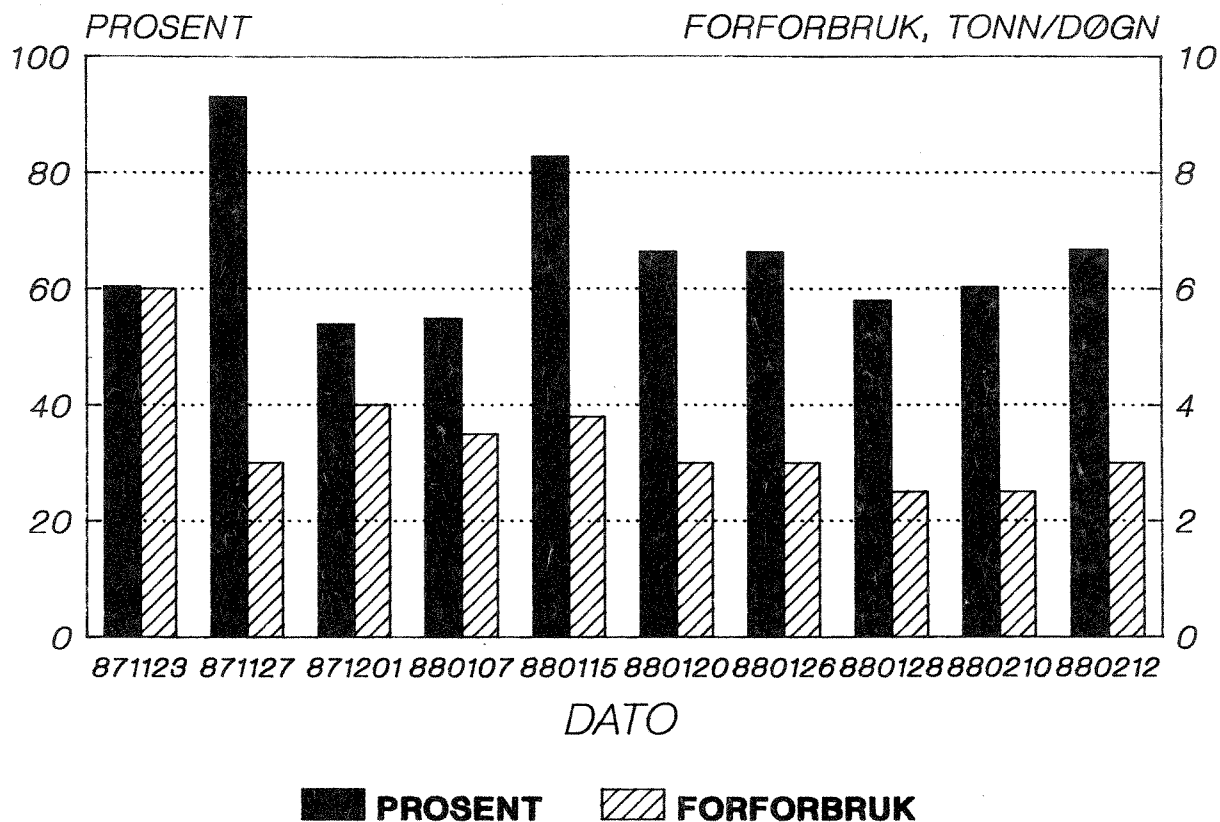


Fig. 6. Prosentvis økning i konsentrasjon av ammonium (DNH4/DTN) og forforbruk.

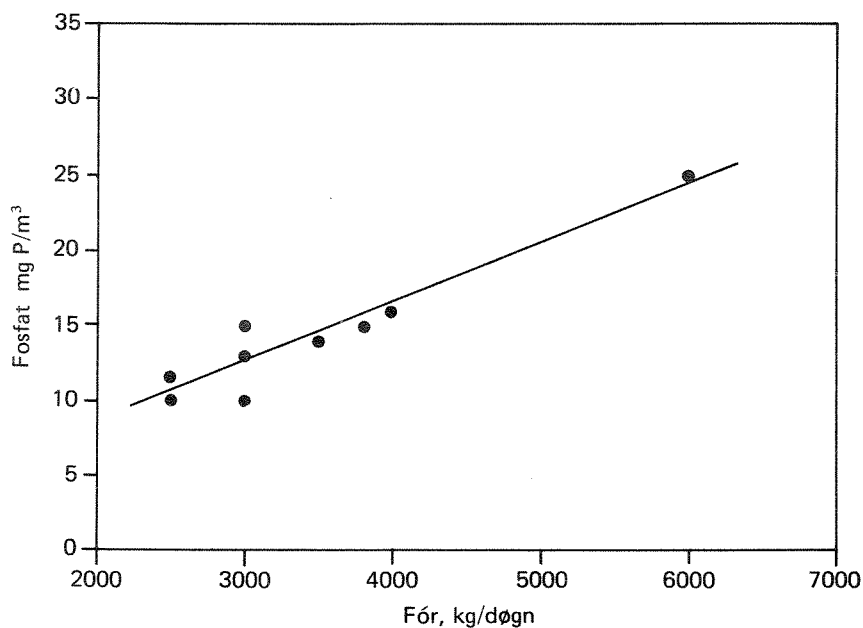


Fig. 7. Økning i fosfatkonsentrasjon (DP04P) mot forforbruk. Regresjonslinje er inntegnet.

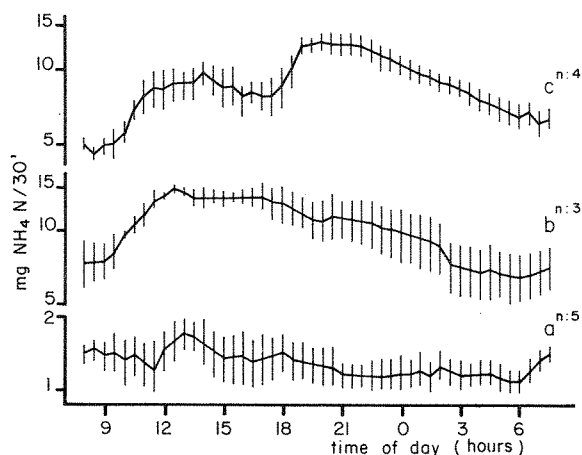


Fig. 8. Utskillelse av ammoniakk fra regnbueørret (fra Kaushik, 1980).
 a: sultende fisk.
 b: et måltid pr. dag (kl. 09).
 c: to måltider pr. dag (kl. 09 og kl. 16).

Døgnmiddelverdien av forholdstallet mellom nitrogenekskresjon og oksygenforbruk i Brett og Zalas forsøk var omtrent 0.06. Dette er en høyere verdi enn hva vi fikk. Dessverre angir ikke Brett og Zala hvilket for fisken fikk i deres forsøk. Har de anvendt et for der en større del av energiinnholdet kommer fra protein, kan det forklare deres høyere forholdstall mellom nitrogenekskresjon og oksygenforbruk. En annen årsak kan som nevnt være at tidspunktene for prøvetaking og varierende foring har gitt oss noe sprikende N-verdier.

Den spredning som vi observerte i N:P-forholdstallet kan ha en likedan forklaring, dvs. at "produksjonen" av nitrogen og fosfor i anlegget har noe forskjellig tidsvariasjon.

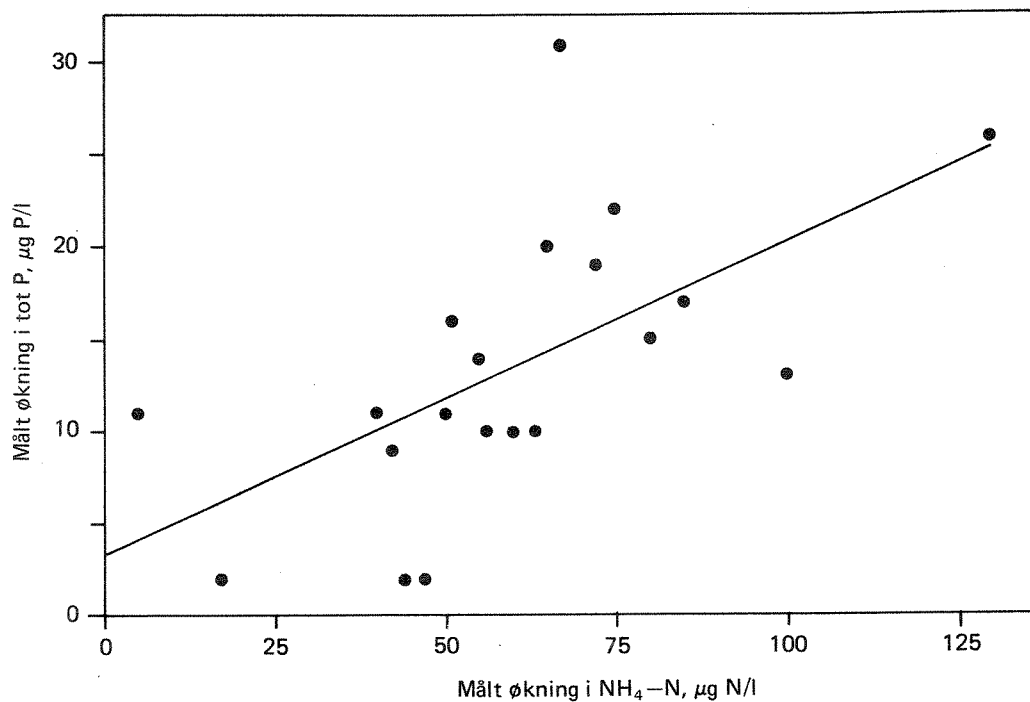


Fig. 9. Økning i ammoniumkonsentrasjon (DNH4N) mot økning i konsentrasjon av totalfosfor.

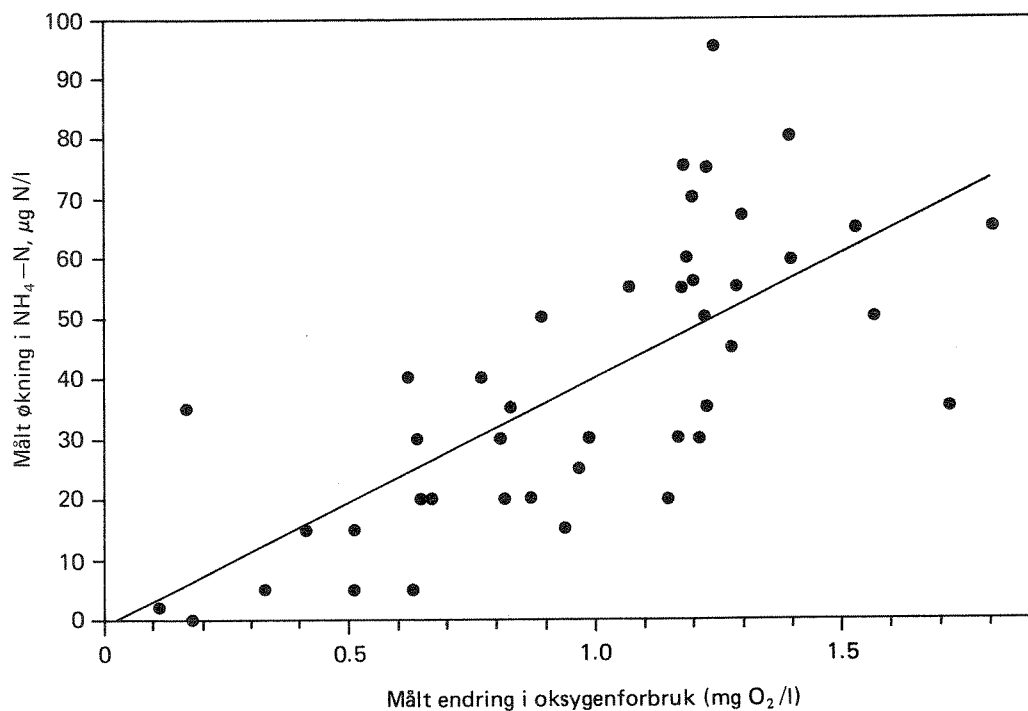


Fig. 10. Økning i ammoniumkonsentrasjon (DNH4N) mot nedgang i oksygenkonsentrasjon (DO2).

5. JEVNFØRING MED MODELLBEREGNINGER

Modellen FISKEMENY (Stigebrandt 1986) har blitt kjørt med de foreliggende opplysninger om vannutskiftning, fisketetthet, vanntemperatur, saltholdighet mv. som forelå for hver enkelt måleserie (jfr. tabell 1, 2 og 3 i Vedlegg). Etter opplysninger fra MOWI er fiskens proteininnhold satt til 20%. Fettprosenten har ligget i intervallet 12-18%, og i modellkjøringene er brukt 15%. Foret innholdt 7.12% nitrogen og 1.2% fosfor.

Det er sannsynlig at en betydelig del av utskilt fosfor og nitrogen forekommer i løst organisk form (nitrogen i hovedsak som ammonium og urea, jfr. Brett og Zala 1975, Kaushik, 1980, og Persson 1987). Målingene at fosfor og nitrogen i anlegget bekreftet at stoffene i hovedsak ble tilført vannmassene som fosfat og ammonium. Modellens forutsetning om at fosfor hovedsakelig foreligger i løst form og sammen med ammonium bør derfor være holdbar.

I kap. 4.2 fant vi at det beregnede forholdstallet mellom utskilt fosfor og nitrogen var ca 0.16, som stemte bra med 0.17 som vi fikk på grunnlag av målinger (fig. 9).

Forholdstallet mellom nitrogenlekkasje (ammonium) og oksygenforbruk er av modellen beregnet til 0.046. Observasjonene gir ca 0.041 (fig. 10). Altså er det også her god overensstemmelse.

Enkeltmålinger og beregnede døgnmiddelverdier for totalnitrogen, korrigerert for bidraget fra sedimentene (8 mg/m³, jfr. s. 13), er vist i fig. 11a. Målingene i november viste god overensstemmelse. For de andre tidspunktene var døgnmiddelverdiene klart lavere enn målingene. For totalfosfor (fig. 11b) er bildet mer uryddig, men hovedtrekkene er det samme.

Jevnføres middelverdiene av de målte og beregnede konsentrasjonene av totalfosfor og totalnitrogen, er resultatene som følger:

Parameter	Målt	Korr. for sedimentbidrag	Beregnet
Totalfosfor (mg/m ³)	15.8	14.8	10.8 ± 1.5
Totalnitrogen (mg/m ³)	87.2	79.2	77.4 ± 10

Usikkerheten i de beregnede middelverdiene angir variasjonene når fiskens fettinnhold settes til hhv. 12% og 18%

Det er ikke uventet at både enkeltverdier og middelverdier av målte data avviker fra modellens døgnmiddelverdiene. Vi ser to hovedgrunner til det. For det første kan de målte enkeltverdiene ikke ventes å være representative for et helt døgn. Både nitrogenutskillelse og oksygenforbruk varierer over døgnet (jfr. fig. 8). I dette tilfelle ble prøvene vanligvis tatt 1-2 timer etter et langt tidsom med foring, sannsynligvis på tidspunkt da ammoniakutskillelsen endret seg raskt med tiden.

Det er derfor ikke urimelig at næringssaltkonsentrasjonene på det tidspunktet var høyere enn døgnmidlet. Målinger gjort med f.eks. 1 times mellomrom over ett eller flere døgn ville ha vært nødvendig for å bekrefte eller avkrefte denne forklaringen.

En vesentlig grunn til at de beregnede verdiene for januar-februar systematisk var lavere enn måleverdiene, er overføring i dette tidsrommet. Mens gjennomsnittlig forfaktor for november og desember var henholdsvis 1.52 og 1.72, var som nevnt tilsvarende forfaktorer i januar og februar så høye som 5.9 og 2.9. Det meste av forspillet sank nok raskt til bunns, men det er sannsynlig at bl.a. finfraksjonen i foret kan ha bidratt til økte konsentrasjoner i vannmassene.

En annen usikkerhet er knyttet til hvorvidt volumtransporten gjennom anlegget er korrekt. Hvis volumtransporten var lavere enn oppgitt, gir modellen høyere konsentrasjoner.

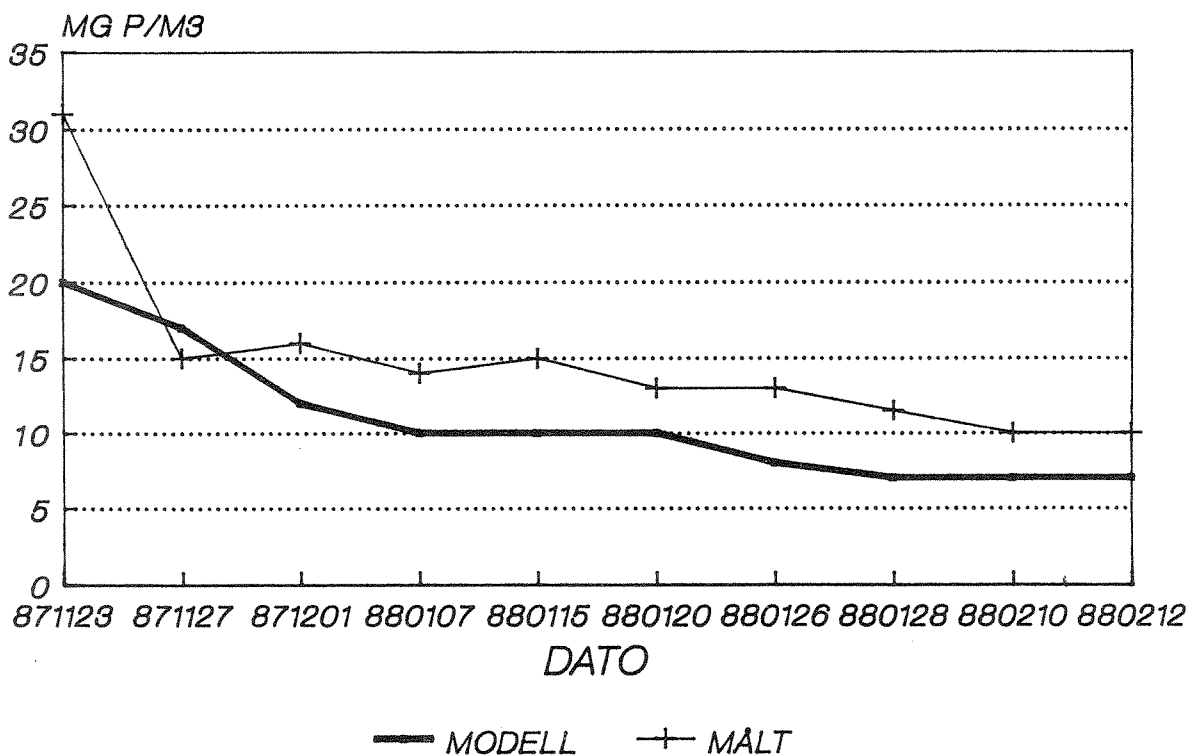
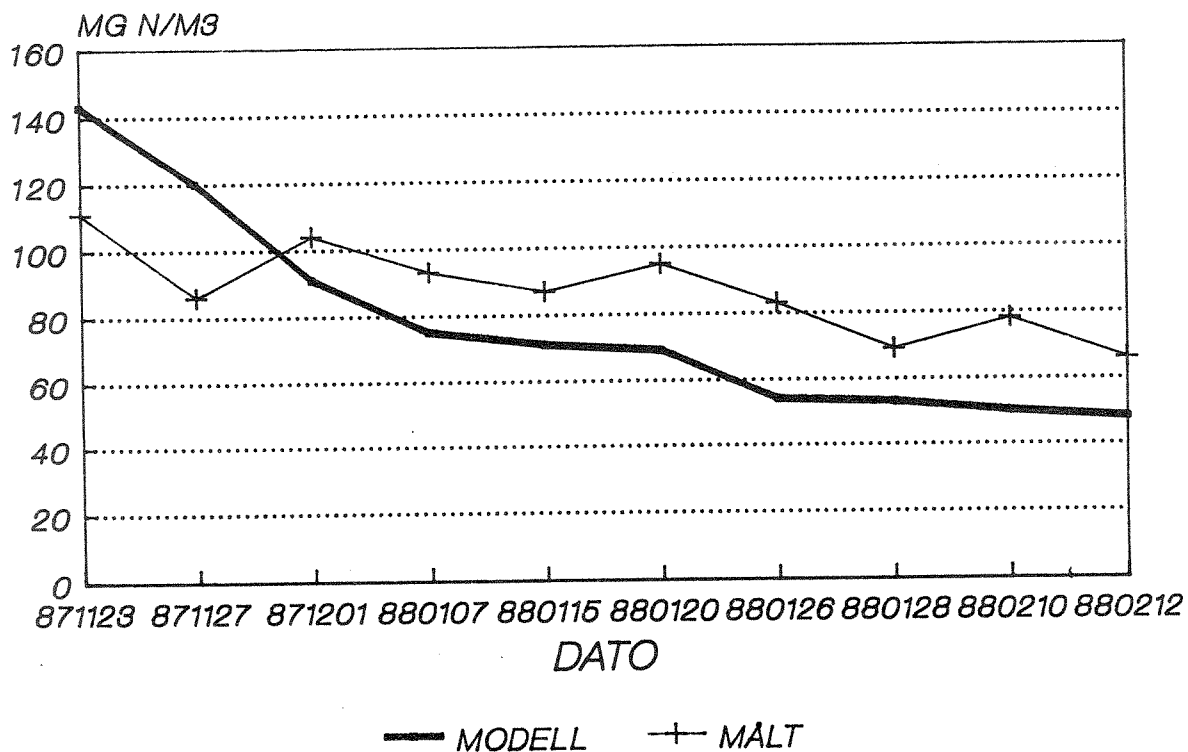


Fig. 11. Jevnføring mellom målte og beregnede konsentrasjonsøkninger.

A: Totalnitrogen.

B: Totalfosfor.

6. KONKLUSJON

Med det foreliggende datamaterialet har riktigheten av modellen FISKMENY blitt testet på to måter: ved relative forhold mellom konsentrasjonene av fosfor og nitrogen, og ved sammenligning av målte og beregnede verdier.

Hva forholdstall angår samsvarer modellberegningene godt med de observerte forholdstall i Veløy-anlegget. I gjennomsnitt kommer fosfor og nitrogen ut i samme forhold som modellen beregner, hvilket styrker hypotesen om at fosfor hovedsakelig går ut i løst form og ikke bunden til ekskrement.

Også det beregnede forholdstallet mellom oksygenforbruk og ammoniumlekkasje stemmer med den målte verdien.

På dette punkt beskriver modellen virkeligheten så langt vi har kunnet teste.

Sammenligning av målte og beregnede konsentrasjoner er vanskelig å trekke sikre konklusjoner av. Det synes sannsynlig at avvik mellom målte og beregnede konsentrasjoner i hovedsak skyldes overføring i forhold til modellens forutsetninger, og tidsvariasjoner mht. konsentrasjoner i vannmassene.

Disse forholdene tatt i betraktning, blir konklusjonen dermed at modellen synes å fungere tilfredsstillende. Inntil videre anbefaler vi derfor at man bruker modellen som den er.

N:P-forholdstallet (vekt) av utslippet fra oppdrettsanlegget er ca 6, som er nær det man generelt regner er optimalt for marint plankton (s.k. Redfield-forholdet 7.2:1). Planteplankton vil derfor kunne utnytte det meste av både fosfor og nitrogen som utskilles fra anlegget.

Tidvis forbrukte fisken i Veløy-anlegget mindre oksygen og produserte mindre fosfor og nitrogen enn modellen beregner. Dette gjelder de tre prøvetakingene i november - desember 1987. Også fiskens næringsomsetning var under disse tilfellene lavere enn den burde være i følge modellen. Dette kan være ettervirkninger fra at fisken i anlegget stoppet å spise i september-oktober.

Med tanke på de store naturlige variasjonene mht. oksygenforbruk og utskillelse av næringsalter i løpet av døgnet kan man imidlertid ikke trekke noen definitiv konklusjon mht. næringsomsetningen.

7. LITTERATURLISTE

- Braaten, B., Molvær, J., Næs, K., Poppe, T. og Skei, J., 1985:
Undersøkelser i A/S MOWIs fiskeoppdrettsanlegg på Sotra.
Dokumentasjonsrapport. NIVA-rapport 0-84098. 66s.
- Brett, J.R og Zala, C.A., 1975: Daily pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) under controlled conditions. *J.Fish. Board Can.*, 32, 2479-2486.
- Håkanson, L., Ervik, A., Makinen, T., og Møller, B., 1988:
Basic concepts concerning assessments of environmental effects of marine fish farms. Nordic Council of Ministers, 1988:90. Copenhagen.
- Kaushik, S.J., 1980: Influence of nutritional status on the daily patterns of nitrogen excretion in the carp (*Cyprinus carpio* L.) and the rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Reprod. Nutr. Develop.*, 20(6), 1751-1765.
- Persson, G., 1987: Sambandet mellom føda, produktion och førorening vid odling av stor regnbåge (*Salmon gairdneri*). Naturvårdsverket rapport 3382. 1987:10.
- Skei, J., 1985: Undersøkelser i A/S MOWIs fiskeoppdrettsanlegg på Sotra. Oppfølgingsundersøkelser 1984-85. NIVA-rapport 0-8409806. 26s.
- Stigebrandt, A., 1986: Modellberekningar av en fiskodlings miljøbelastning. NIVA-rapport 0-86004. 28.s

DATAVEDLEGG

Tabell 1. Tonnasje og forforbruk

Tabell 2. Måleresultater på innstrømmende vann (st. V1) og utstrømmende vann (st. V3).

Tabell 3. Målt og modellberegnet konsentrasjonsforskjell mellom innstrømmende og utstrømmende vann ($\mu\text{g/l}$). I parentes: utslipp pr. døgn. F: eldre data fra Flogøykjølpo.

Tabell 1. Tonnasje og forforbruk.

Dato	Tonnasje tonn	Forforbruk kg/døgn
871123	722	6000
871127	700	3000
871201	650	4000
880107	480	3500
880115	450	3800
880120	400	3000
880126	380	3000
880128	370	2500
880210	360	2500
880212	350	3000

Tabell 2 Måleresultater på inngående vann (st. V1) og utgående vann (st. V3).

Dato	Innstrømmende vann					Utstrømmende vann							
	Temp C	Salt o/oo	Q m ³ /s	TN µg/l	NH4N µg/l	TP µg/l	P04P µg/l	O2 mg/l	TN µg/l	NH4N µg/l	TP µg/l	P04P µg/l	O2 mg/l
871123	8.4	27.0	11.0	279	48	26	18	8.60	390	115	57	43	7.30
871127	8.1	27.0	13.5	279	39	26	19	9.10	365	119	41	34	7.70
871201	6.5	25.0	16.0	279	41	32	15	10.60	383	98	42	31	9.40
880107	6.9	27.0	13.5	260	19	26	19		353	70	42	33	
880115	7.0	28.0	13.5	275	15	25	18		362	87	44	33	
880120	6.6	28.0	12.0	249	11	30	18.5		344	74	40	31.5	
880126	5.8	29.0	13.5	261	24	24	19		344	79	38	32	
880128	5.9	27.0	13.5	267	31	26	19.5		336	71	37	31	
880210	5.4	28.0	13.5	284	22	37	20		362	69	39	30	
880212	5.2	28.0	13.5	278	27	37	19		344	71	39	29	

Tabell 3. Målt og modellberegnet konsentrasjonsforskjell ($\mu\text{g/l}$) mellom utstrømmende og innstrømmende vann. I parentes: Totale utslipp (kg/døgn). F: data fra Flogøykjølpo.

Dato	MÅLT							BEREGNET		
	DTN	DNH4N	DTP	DP04P	D02	DTN	DTP	D02		
871123	111	(109.3) 67 (66.0)	31 (30.5)	25 (24.6)	1.30	143	20	2.71		
871127	86	(95.9) 80 (89.2)	15 (16.7)	15 (16.7)	1.40	120	17	2.28		
871201	104	(129.4) 56 (69.7)	10 (12.4)	16 (19.9)	1.20	91	12	1.73		
880107	93	(103.7) 51 (56.9)	16 (17.8)	14 (15.6)		75	10	1.42		
880115	87	(97.0) 72 (80.3)	19 (21.2)	15 (16.7)		71	10	1.34		
880120	95	(86.2) 63 (57.1)	10 (9.1)	13 (11.8)		69	10	1.32		
880126	83	(92.5) 55 (61.3)	14 (16.7)	13 (14.5)		54	8	1.03		
880128	69	(76.9) 40 (44.6)	11 (12.3)	11.5 (12.8)		53	7	1.01		
880210	78	(87.0) 47 (52.4)	2 (2.2)	10 (11.2)		50	7	0.95		
880212	66	(73.6) 44 (49.1)	2 (2.2)	10 (11.2)		48	7	0.90		
840613	74	17	2		0.87					
840704	65	5	11		0.63					
840808		50	11		1.57					
840905	100	60	10		1.40					
841008	160	130	26							
840613 F	9	85	17							
840704 F	15	42	9		1.04					
840808 F		100	13		2.24					
840905 F	200	65	20		1.41					
841008 F	90	75	22							