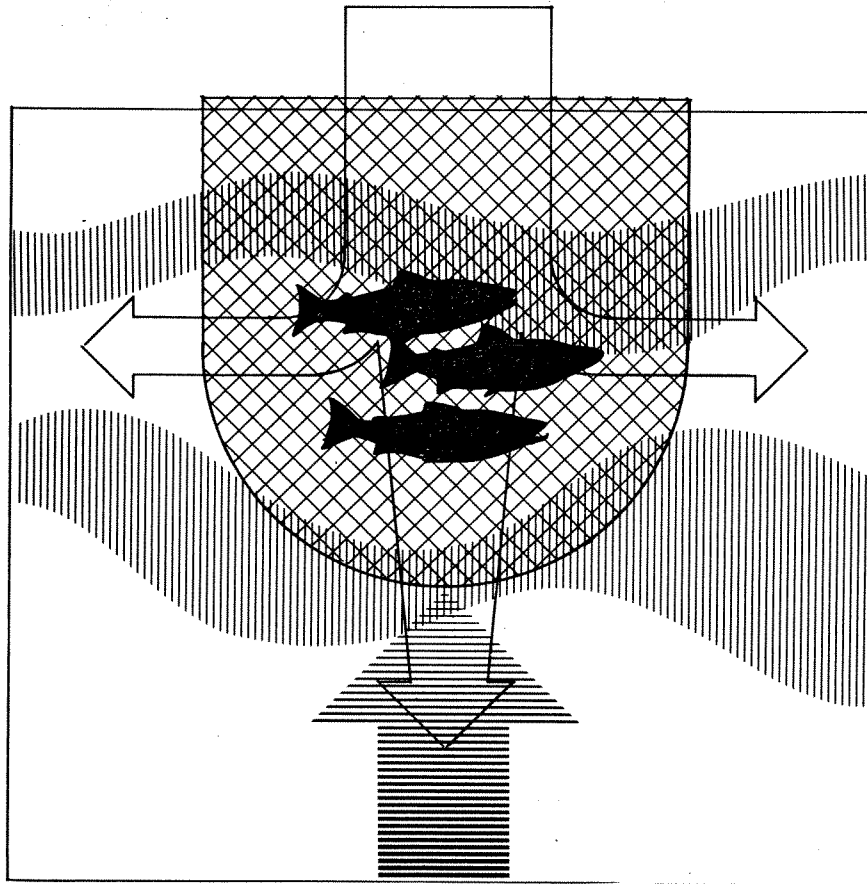


O-86004

Modellberäkningar av en fiskodlings miljöbelastning



Norsk institutt for vannforskning



NIVA

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor Sørlandsavdelingen Østlandsavdelingen Vestlandsavdelingen
Postboks 333 Grooseveien 36 Rute 866 Breiviken 2
0314 Oslo 3 4890 Grimstad 2312 Ottestad 5035 Bergen - Sandviken
Telefon (02)23 52 80 Telefon (041)43 033 Telefon (065)76 752 Telefon (05)25 53 20

Prosjektnr.:	0-86004
Undernummer:	
Løpenummer:	1823
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel:	Dato:
Modellberäkningar av en fiskodlings miljöbelastning	14. februar 1986
	Prosjektnummer:
	0-86004
Forfatter (e):	Faggruppe:
Anders Stigebrandt	Marin økologi
	Geografisk område:
	Generelt
	Antall sider (inkl. bilag):
	28

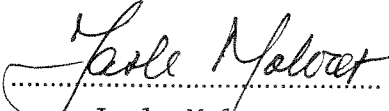
Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
Statens forurensningstilsyn (SFT), Oslo.	Kontrakt 2/86

Ekstrakt: Modellberäkningar av en kasseodlings miljöbelastning presenteras. Bland annat visas 1) fiskens oxygenförbrukning, 2) fiskens utsöndring av nitrogen (ammonium) och fosfor i löst form direkt till vattnet, 3) fiskens utsöndring av nitrogen och fosfor bundet i ekskrement, 4) flödena av nitrogen och fosfor bundet i eventuellt foderöverskott samt 5) flödet av 'latent oxygenförbrukning' (UOD) bunden i ekskrement och foderöverskott. Miljöbelastningens variation med temperatur, fiskvikt och fodersammansättning framgår av de presenterade diagrammen.


4 emneord, norske:
1. Fiskeoppdrett
2. Miljøbelastning
3. Modell
4. Fosfor
Nitrogen
Organisk stoff

4 emneord, engelske:
1.
2.
3.
4.

Prosjektleder:


Jarle Molvær

For administrasjonen:


Tor Bokn

ISBN 82-577-1025-3

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

0 - 86004

MODELLBERÄKNINGAR AV EN FISKODLINGS MILJÖBELASTNING.

Göteborg, 14,2,1986

Anders Stigebrandt

FÖRORD

Föreliggande rapport har utarbetats på uppdrag av Statens forurensningstillsyn (SFT-kontrakt 2/86). Rapporten innehåller resultat från en modell som beräknar miljöbelastningen från en fiskodling i sjön vid varierande fodertyper/mängder, fiskstorlek och temperatur.

En fullständig prövning av modellen återstår, men det anses att modellens nyttovärde redan nu är så stort att resultaten rapporteras.

Modellen har utvecklats av Anders Stigebrandt, Göteborg. Han har också skrivit denna rapport.

Vid NIVA har Kjell Maroni och Jarle Molvaer deltagit i arbetet, den sistnämnde har också varit projektledare.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

SAMMANFATTNING.....	SID.	1
1. FÖRUTSÄTTNINGAR.....		3
2. FODERÖVERSKOTT.....		4
3. FISKENS APTIT.....		6
4. FISKENS OXYGENFÖRBRUKNING.....		7
5. UTSÖNDRING AV NITROGEN OCH FOSFOR DIREKT TILL VATTNET....		9
6. INNEHÅLL AV NITROGEN OCH FOSFOR I EXKREMENT.....		12
7. INNEHÅLL AV NITROGEN OCH FOSFOR I FODERÖVERSKOTTET.....		13
8. SAMMANFATTNING AV NITROGEN OCH FOSFORFLÖDENA.....		14
9. INNEHÅLLET AV UOD I EXKREMENT OCH FODERÖVERSKOTT.....		15
10. KOMMENTARER.....		18
11. REFERENSER.....		20
APPENDIX.....		21

SAMMANFATTNING.

I denna rapport presenteras beräkningar av flöden av biologiskt aktivt material mellan en fiskodling och dess omgivning (värdsystemet). Materialflöden till naturliga system, såsom sjöar, älvar och fjordar, benämnes ofta belastning eller miljöbelastning.

För beräkningar av en fiskodlings effekter på värdsystemet, miljöeffekter, är kunskap om belastningen nödvändig men ej tillräcklig. För odlingens miljöeffekter spelar också värdsystemets egenskaper, såsom volym, areal och vattenomsättning, en avgörande roll. För beräkningar av miljöeffekter krävs således dels att belastningen är känd dels en modell för värdsystemet, se Fig. 1.

Denna rapport behandlar miljöbelastningen från fiskodlingar (laxfisk). Beräkningarna, som presenteras i grafisk form, har gjorts med hjälp av en modell för fiskens energi- och materialomsättning, dvs en modell som beskriver hur fisken omsätter intagen föda (en 'fiskmodell'). De presenterade belastningsberäkningarna bör vara av speciellt intresse för odlare och myndigheter. En systematisk prövning mot data från norska fiskodlingar har ännu ej genomförts. Det bör därför understrykas att resultaten tills vidare skall betraktas som preliminära, och således användas med försiktighet.

Ett exempel på utskrifter från datormodellen "FISKMENY", vilken beräknar dels miljöbelastningen och dels vissa miljöeffekter orsakade av en fiskodling, visas i ett Appendix till denna rapport.

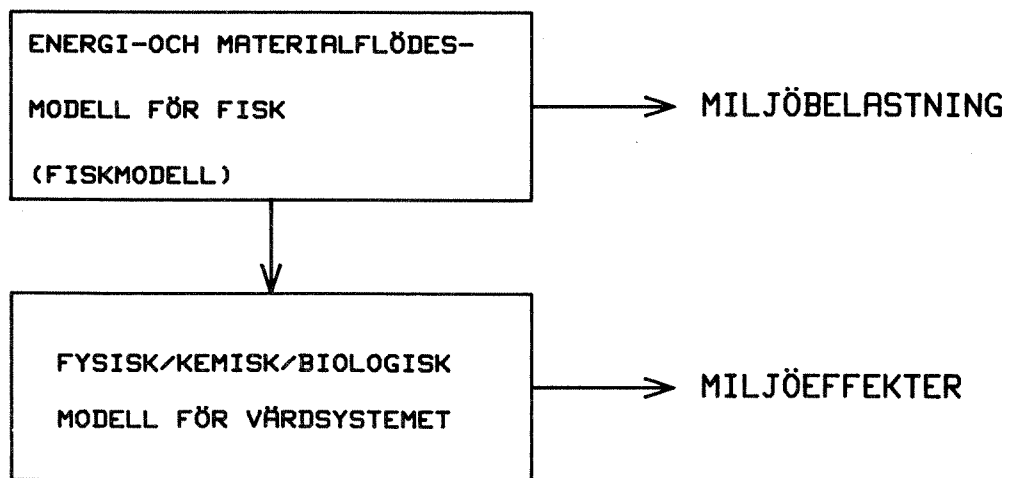


Fig. 1. Illustration av begreppen miljöbelastning och miljöeffekter. I denna rapport presenteras resultat från en fiskmodell, dvs. en modell som beräknar miljöbelastning. Om fiskmodellen kombi-
neras med en (fysisk/kemisk/biologisk) modell för värdsystemet kan miljöeffekter beräknas. Modellen 'FISKMENY' som presente-
ras i Appendix är exempel på en modell som också beräknar vissa miljöeffekter.

1. FÖRUTSÄTTNINGAR

I den för beräkningarna underliggande modellen beskrivs laxfiskens födointag (aptit), matsmältning, andning, tillväxt och exkretion som funktion av vattnets temperatur och fiskens vikt (massa). Vid modellutvecklingen har en generell fiskmodell (Webb, 1978) använts som utgångspunkt. Ett antal artspecifika konstanter (laxfisk) ingår i modellen. Dessa har bestämts från uppgifter i litteraturen. I modellen antas att fisken icke är stressad samt att den får sin aptit tillfredsställd. Genom framgång med olika former av avelsarbete kan man räkna med att 'fiskkonstanterna' kan komma att ändras något i framtiden.

En skiss av modellen visas i Figur 2. För en valfri fodersammansättning beräknar modellen bl.a. följande komponenter av miljöbelastningen: 1) fiskens oxygenförbrukning, 2) fiskens utsöndring av nitrogen (ammonium) och fosfor i löst form direkt till vattnet, 3) fiskens utsöndring av nitrogen och fosfor bundet i exkrement, 4) flödena av nitrogen och fosfor bundet i eventuellt foderöverskott, 5) flödet av 'latent oxygenförbrukning' (UOD) bunden i exkrement och foderöverskott. Vid beräkningarna som presenteras i denna rapport har antagits att laxfisken innehåller 18% protein och 12% fett. Protein- och fetthalterna i odlad norsk lax kan avvika från dessa 'standardvärden'. (I 'FISKMENY' kan protein- och fetthalter väljas fritt).

Fodrets sammansättning spelar en stor roll för fiskodlingens emission av speciellt fosfor och nitrogen. Fosfor och nitrogen är koncentrerat till proteinet i fodret. För de beräkningar som presenteras i denna rapport har antagits att nitrogen och fosfor utgör 14.7 resp. 2.3% av proteinets massa. För fodrets energiinnehåll spelar förutom proteinhalten även fetthalten en stor roll men också innehållet av karbohydrater är av betydelse. Karbohydraterna är ofta förbehandlade, vanligt i handelsfoder, så att fisken kan tillgodogöra sig cirka 60% av energiinnehållet i dessa. (I 'FISKMENY' kan fodersammansättningen väljas fritt).

I denna rapport arbetar vi med s.k. torrfoder vilket antas innehålla 10% vatten. För att räkna om från torrfoder till våtfoder (70% vatten) eller mjukfoder (45% vatten) multipliceras angivna foder mängder med 3 (våtfoder) resp. 1.6 (mjukfoder).

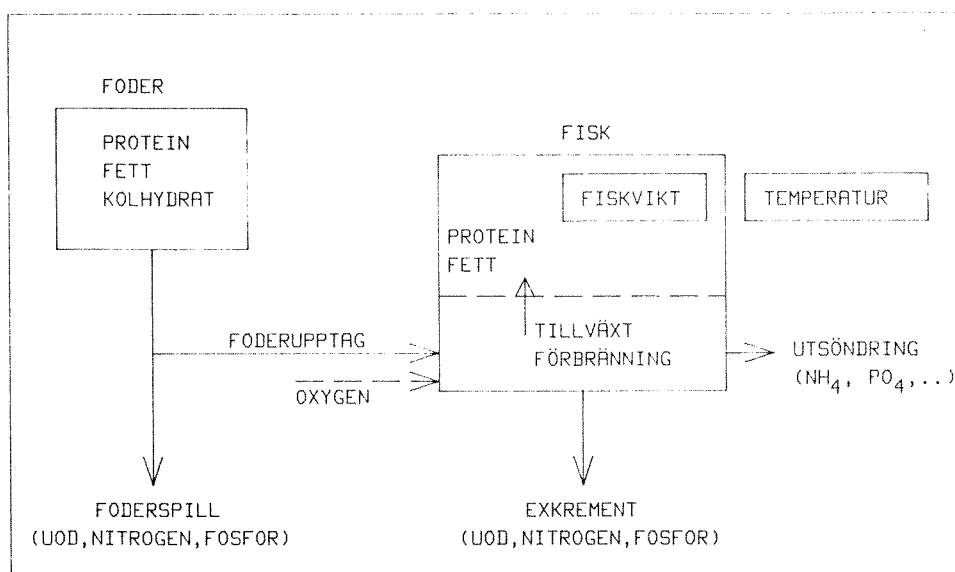


Fig.2 Skiss av 'fiskmodellen'. Foder spisas av fisken (foderupptag) eller sjunker till botten (foderspill). Fisken tillväxer varvid protein och fett upplagras i fisken. Vid förbränningen förbrukar fisken oxygen som tas från vattnet. Fisken utsöndrar ammonium (NH_4) och fosfat (PO_4) i löst form till vattnet. Exkrementen, liksom foderspill, sjunker till botten med sitt innehåll av UOD, nitrogen och fosfor. De skisserade processerna regleras av fiskvikten och temperaturen.

2. FODERÖVERSKOTT.

Genom sitt innehåll av nitrogen, fosfor och oxygenförbrukande material är foderöverskottet en viktig post i odlingens miljöbelastning. Foderöverskottet är skillnaden mellan den foder mängd som fisken verkligen spisar och den foder mängd som odlaren tillför. Man antar att den foder mängd fisken spisar kan beräknas från en teoretisk modell. Ett vanligt sätt att beräkna foderöverskottet är att gå via den s.k. foderkoefficienten (F_k). Denna definieras som kvoten mellan tillförd foder mängd och fiskens viktökning. Den teoretiska foderkoefficienten (tF_k) är kvoten mellan fiskens aptit och dess viktökning. Den teoretiska foderkoefficienten beräknas från en 'fiskmodell'.

Exempel.

Odlaren har per 1500 kg torrfoder erhållit 1000 kg fisk. Detta ger

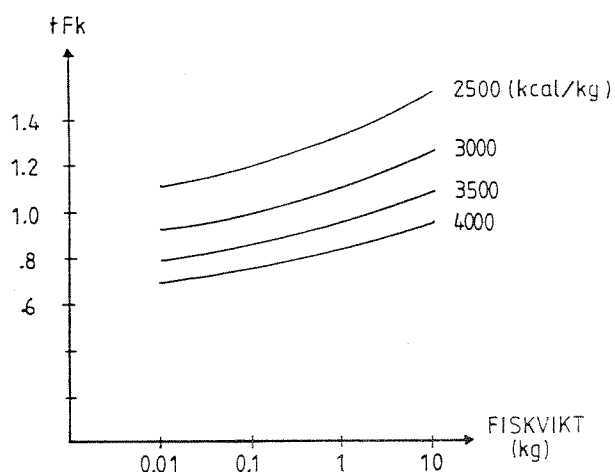
$$F_k = 1500/1000 = 1.5$$

Antag att den teoretiska foderkoefficienten för den aktuella fisken är lika med 1. Detta innebär att odlaren, i teorin, endast hade behövt använda 1000 kg torrfoder för att producera 1000 kg fisk. Alltså är foderöverskottet i detta exempel 500 kg per 1000 kg odlad fisk.

Foderöverskottets storlek kan alltså beräknas från följande formel

$$\text{Foderöversk.} = (F_k - tF_k) \times \text{fiskproduktionen}$$

Den teoretiska foderkoefficienten, beräknad från vår modell, presenteras i Fig. 3. Som synes är den teoretiska koefficienten inte konstant utan varierar både med fiskens vikt och med fodrets energiinnehåll. Danska experiment (Bregnballe och Jochumsen, 1985) bekräftar att foderkoefficienten sjunker med ökande energiinnehåll i fodret. Vi noterar också att stor fisk behöver äta mer än liten fisk för samma absoluta tillväxt. Maroni (1985) refererar värden av den teoretiska foderkoefficienten i intervallet 0.8-1.0 vilket är helt i överensstämmelse med våra modellresultat.

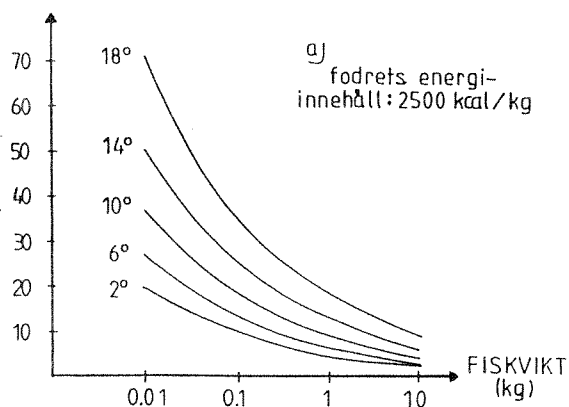


Figur 3. Teoretiska foderkoefficientens variation med fiskvikten för olika energiinnehåll i fodret. Norskt fiskfoder innehåller vanligtvis 3000-4000 kcal/kg. (1 kcal=4.18 kJ)

3. FISKENS APTIT.

För att en odlare skall kunna ge fisken rätt mängd foder måste han känna till fiskens aptit (foderbehov). Fisken är ett växelvarmt djur vars ämnesomsättning och aktivitet ökar med ökande temperatur. Vår modell beräknar hur fiskens aptit varierar med fiskvikt och temperatur, se Fig. 4. Modellen har körts med fodersammansättningar från flera tillverkare. En jämförelse mellan fabrikanternas utfodringsrekommendationer och modellens beräkningar av fiskens aptit visar generellt god överensstämmelse. Om man har ett perfekt utfodrings-system, så att inget foder går till spillo, bör fisken kunna utfodras efter diagrammen i Figur 4.

kg torrfoder/dag /1000 kg fisk



kg torrfoder/dag /1000 kg fisk

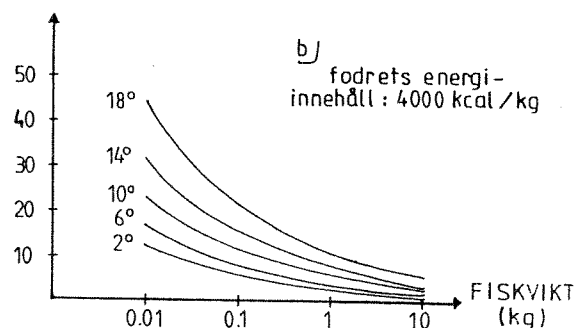


Fig.4 Variationen av fiskens aptit med kroppsvikt och temperatur för två olika energiinnehåll hos fodret.

Fig. 4 visar att, i förhållande till kroppsvikten, är aptiten hos en liten fisk mycket större än aptiten hos en stor fisk samt att aptiten växer snabbt med temperaturen. En jämförelse mellan figurerna 4a och 4b visar att foderåtgången (i kilo räknat) är betydligt lägre för det energirika fodret.

Genom att kombinera informationen i Fig. 3 och 4 kan fiskens tillväxttakt fås fram. För att göra det enklare för läsaren har vi ritat Fig. 5 som visar hur tillväxttakten varierar med fiskvikt och temperatur. Det förutsättes i modellen att fisken icke är könsmogen (inga könsprodukter produceras).

DAGLIG TILLVÄXT
(% av kroppsvikt)

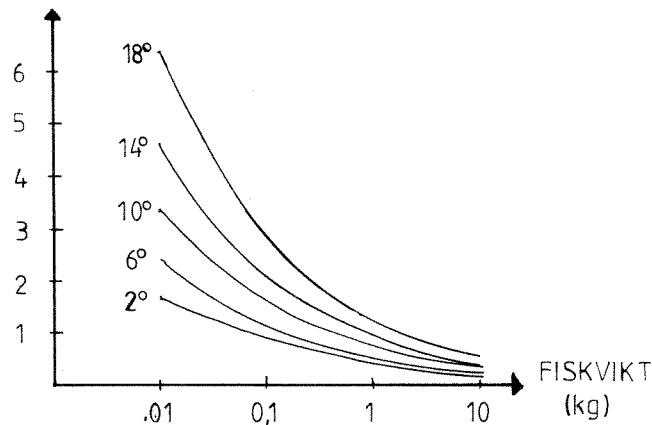


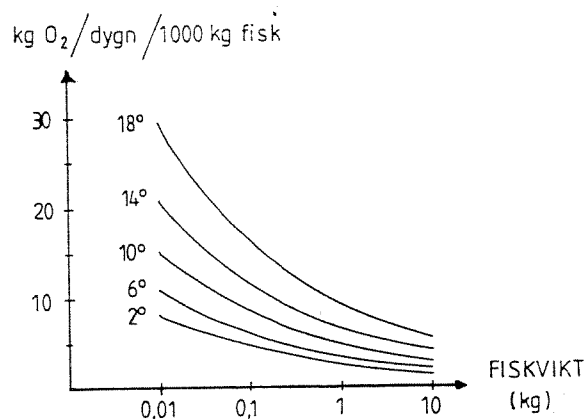
Fig. 5. Variationen av fiskens tillväxt med kroppsvikt och temperatur.

4. FISKENS OXYGENFÖRBRUKNING.

Fiskens aptit bestämmer matkonsumtionen. En del av födan assimileras inte utan lämnar fisken via ekskrementer. Det protein som inte behövs för tillväxt bryts ner. Härvid frigöres ammonium och fosfat som fisken gör sig av med, främst genom gälarna (exkretion). Vid förbränning av protein, fett och karbohydrater åtgår oxygen som fisken tar från vattnet genom andning. Vår modell beräknar både oxygenförbrukning och exkretion av nitrogen och fosfor vilka redovisas härnäst.

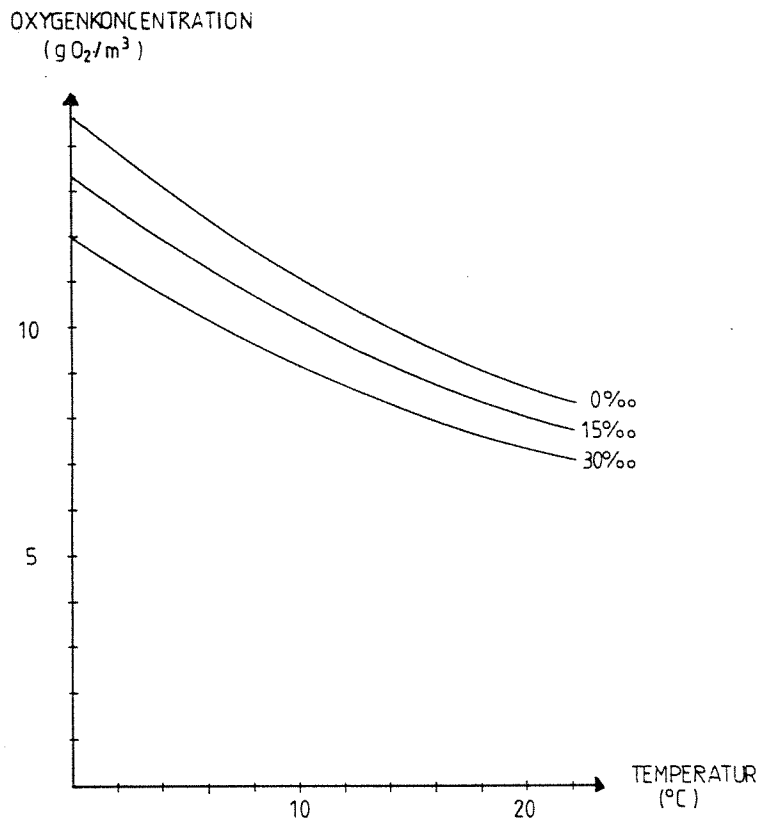
Figur 6 visar hur dygnsmedelvärdet av oxygenförbrukningen varierar med fiskens storlek (massa) för olika temperaturer för ett tämligen energifattigt foder ($OE \approx 3100$ kcal/kg). Beräkningarna gäller icke-stressad fisk vilken får sin aptit tillfredsställd, se Fig. 4. För fisk som befinner sig i kassar i starkt strömmande vatten (t.ex. i älvar) leder kroppsarbete till större oxygenförbrukning (och aptit) än den här redovisade. Observera att oxygenförbrukningen beror på fodersammansättningen och förbrukningen kan på grund av detta avvika med $\pm 20\%$ från den som visas i Fig. 6. Med hjälp av modellen kan ett foder som medför minimal oxygenförbrukning beräknas. Detta kan vara viktigt i perioder med kritiskt låga oxygenkoncentrationer i en odling.

Transporten av oxygen från luften genom havsytan lokalt i odlingen är, vid stora fiskkoncentrationer, helt otillräcklig för att ersätta de oxygenförluster som uppstår genom fiskens andning. Fisken är därför helt beroende av att friskt vatten, med tillräckligt hög oxygenkoncentration, ständigt tillföres. Tillförseln av oxygenrikt vatten sker genom strömmar i vattnet vilka kan vara naturliga (tidvattenströmmar, vinddrivna strömmar m.fl.) eller artificiellt drivna av s.k. strömsättare. Också vattenrörelser inducerade av fisken kan ha betydelse.



Figur 6. Variationen av dygnsbehovet av oxygen för andning, för 1000 kg fisk, med fiskvikt och temperaturer. Torrfodret i detta exempel innehåller 36.5% protein, 16.5% fett och 30% karbohydrater (fodertyp II, se Fig. 8).

Från Fig. 6 ser vi att oxygenkonsumtionen ökar snabbt med ökande temperatur. Samtidigt minskar vattnets förmåga att lösa oxygen med ökande temperatur, se Fig. 7. Sommaren är alltså den mest kritiska perioden vad oxygenkoncentrationen beträffar. I den mån vinddrivna strömmar är viktiga för odlingens oxygenförsörjning är återigen sommaren minst gynnsam eftersom det helt enkelt blåser mindre då. Informationen i Fig. 6 kan ligga till grund för beräkningar av den genomströmning som är nödvändig för att oxygenhalterna i en odling ej skall bli skadligt låga. Man bör därvid ta hänsyn till att oxygenkonsumtionen under kortare perioder, till exempel efter utfodring, väsentligt kan överstiga dygnsmedelvärdet, se Pedersen (1982).

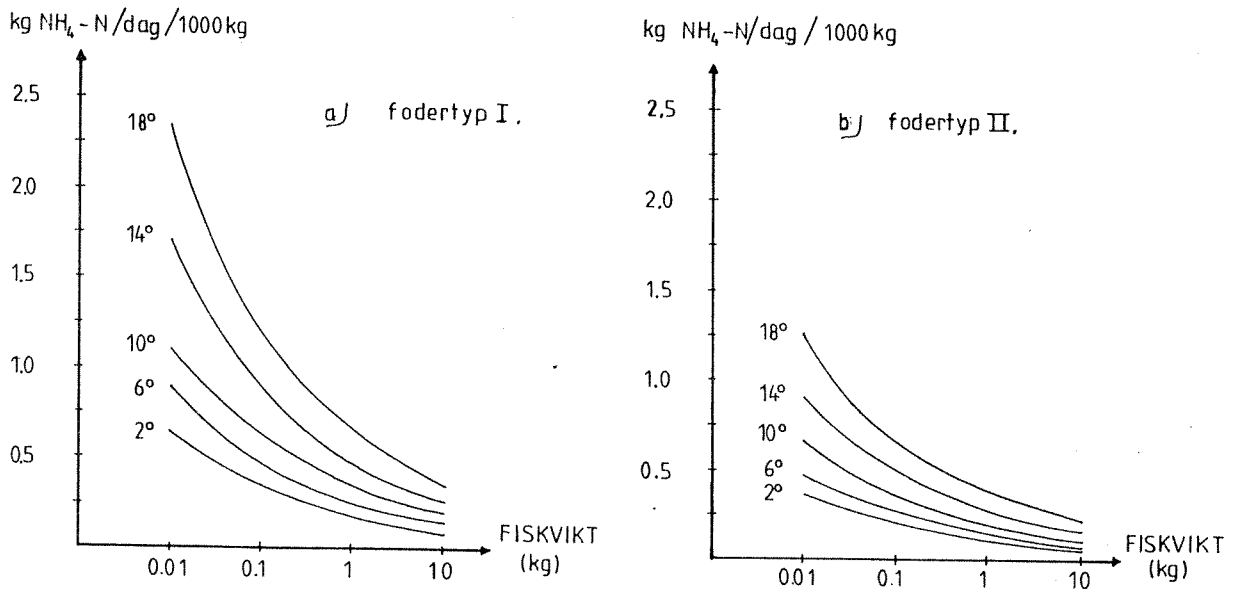


Figur 7. Variationen av oxygenets löslighet med temperaturen för några olika salthalter.

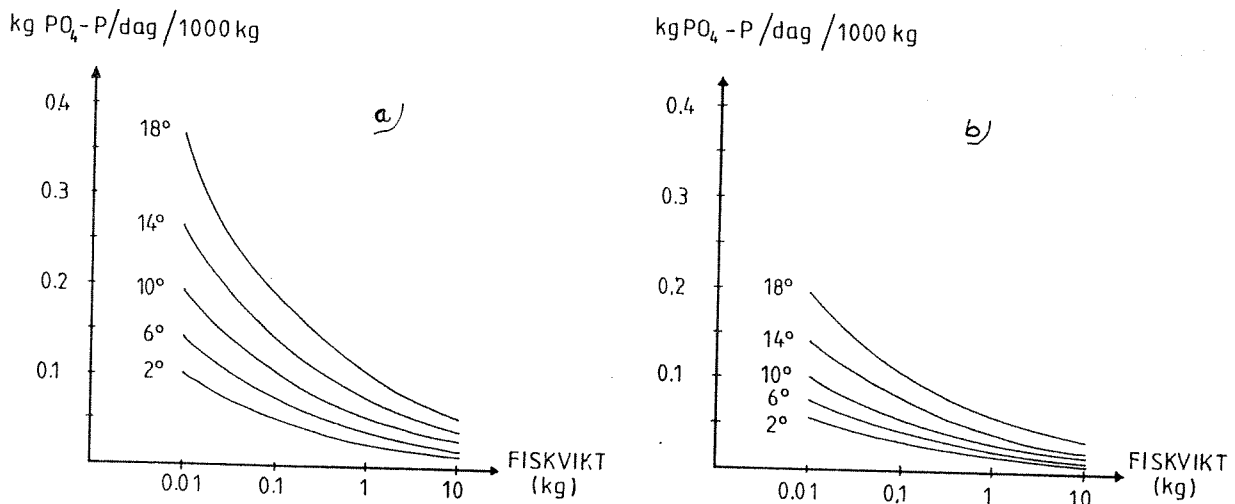
5. UTSÖNDRING AV NITROGEN OCH FOSFOR DIREKT TILL VATTNET.

Den del av det assimilerade proteinet som inte användes för tillväxt, överskottsprotein, bryts ner. Nitrogenet i överskottsprotein bildar härvid ammonium (ammoniak) vilket utsöndras, främst genom gälarna.

Fosfor i överskottsprotein utsöndras som fosfat. Figur 8a-b visar den dagliga utsöndringen från 1000 kg fisk av nitrogen och Figur 9a-b visar utsöndringen av fosfor. Det är värt att notera att liten fisk utsöndrar, per vikts- och tidsenhet, betydligt mer än stor fisk. Uppgifterna i Fig. 8 kan ligga till grund för beräkningar av den genomströmning som är nödvändig för att ammoniumhalterna skall hållas på acceptabla nivåer. Fig. 8 och 9 visar att utsöndringen av nitrogen och fosfor är starkt beroende av mängden överskottsprotein. Det framgår att i perioder med kritiskt höga ammoniumkoncentrationer bör foder med lägre proteinhalt användas.

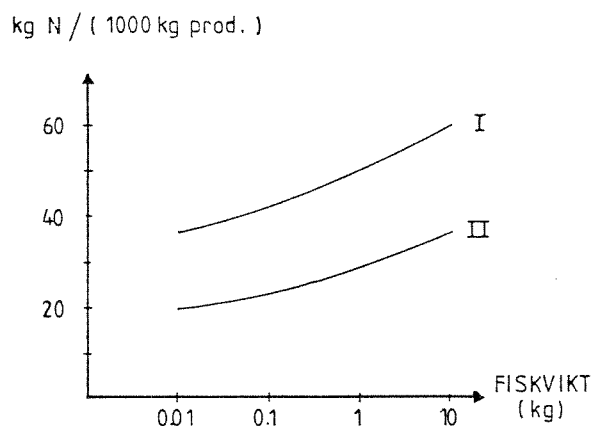


Figur 8. Dagliga utsöndringen av nitrogen (som ammonium) från 1000 kg fisk för varierande fiskvikt och temperatur. Fodret i a) innehåller 50% protein, 16% fett och 14% karbohydrat (fodertyp I) och i b) 36.5% protein, 16.5% fett och 30% karbohydrat (fodertyp II).

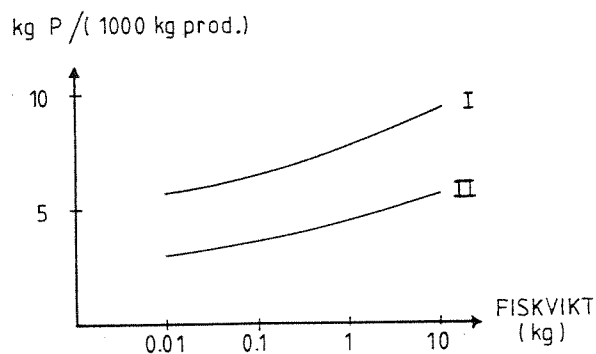


Figur 9. Dagliga utsöndringen av fosfor från 1000 kg fisk för varierande fiskvikt och temperatur. a) gäller för fodertyp I och b) för fodertyp II.

Om man istället beräknar utsöndringen av ammonium och fosfor per producerad enhet finner man att denna inte varierar med temperaturen utan endast med den individuella fiskvikten, se Fig. 10. Det är värt att notera att liten fisk utsöndrar mindre mängder av både nitrogen och fosfor än stor fisk för samma mängd producerad fisk.



Figur 10. Utsöndringen av nitrogen/1000 kg fiskproduktion för varierande fiskvikter. (I) gäller fodertyp I och (II) gäller fodertyp II.



Figur 11. Utsöndringen av fosfor/1000 kg fiskproduktion för varierande fiskvikter. (I) gäller fodertyp I och (II) gäller fodertyp II.

Utsöndrat ammonium kan tas upp av växtplankton för användning i primärproduktionen (varvid oxygen frigöres). I annat fall nitrifieras ammoniet (oxideras till nitrat) varvid oxygen förbrukas.

6. INNEHÅLL AV NITROGEN OCH FOSFOR I EXKREMENT.

Det är endast en liten del av det förtärda proteinet som inte assimileras. Nitrogen och fosfor i ej assimilerat protein går ut med ekskrementen. Fig. 12 och 13 visar hur nitrogen och fosfor i ekskrementen varierar med fiskvikt för en given fiskproduktion.

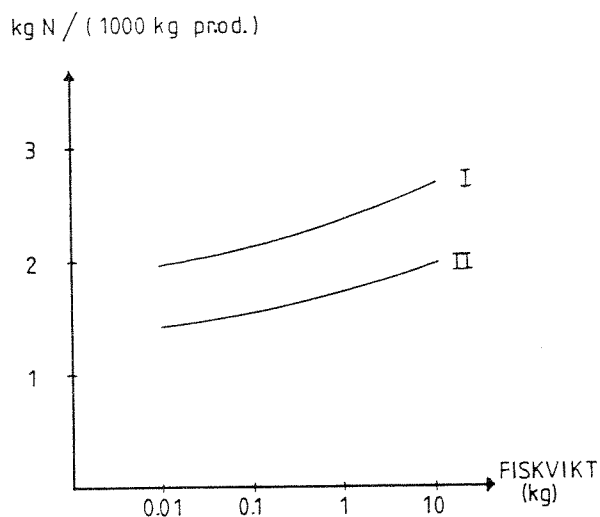


Fig. 12. Nitrogen bunden i ekskrementer per 1000 kg fiskproduktion för två fodertyper I och II, se text till Fig. 8.

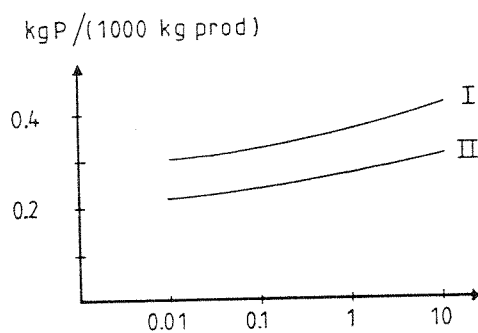


Fig. 13. Fosfor bunden i ekskrementer per 1000 kg fiskproduktion för två fodertyper I och II, se text till Fig. 8.

7. INNEHÅLL AV NITROGEN OCH FOSFOR I FODERÖVERSKOTTET.

Om fodret har en sjunkhastighet av 5-20 cm/s och vattendjupet under kassarna är 20 m dröjer det 100-400 sekunder innan fodret har lagt sig på botten. Laboratorieförsök (Svensson, 1984) tyder på att urlakningen av fosfor och nitrogen från överskottsfodret under så korta tidsrymder är försumbar. Överskottsfodrets nitrogen och fosfor bör därför, rimligen, sedimentera på botten. Tabell 1 visar mängderna av fosfor och nitrogen i 100 kilo foder av typ I resp. II (se text till Fig. 8). Dessa fosfor- och nitrogeninnehåll är typiska för norskt fiskfoder, se Maroni (1985).

Tabell 1. Innehållet av nitrogen, fosfor och UOD i 100 kg foder av typerna I och II (jfr. figurtext till Fig. 8).

	Fodertyp I	Fodertyp II
Nitrogen (kg)	7.35	5.37
Fosfor (kg)	1.15	0.84
UOD (kg O ₂)	180	166

Om teoretiska foderkoefficienten (tF_k), är lika med 1 (jämför Fig. 3) och foderkoefficienten (F_k) är 1.8 är foderöverskottet $(1.8-1) \cdot$ fiskprod. För en fiskproduktion av 1000 kg är alltså foderöverskottet 800 kg. För att få nitrogen- och fosformängderna i överskottsfodret multiplicerar vi siffrorna i Tabell 1 med 8 (tabellen gäller ju 100 kg foder). Denna överutfodring ger alltså upphov till en nitrogeneransport till botten av storleksordning 50 kg och en fosfortransport av storleksordning 8 kg per 1000 kg producerad fisk. Om vi jämför med Fig. 12 och 13 finner vi att detta är en storleksordning större än transportererna till botten genom exkrement. Alltså kommer foderöverskottet att vara den dominerande källan för sedimenterande nitrogen och fosfor även för fiskodlingar med mycket bra utfodringssystem.

8. SAMMANFATTNING AV NITROGEN OCH FOSFORFLÖDENA.

Vi kan nu sätta upp de olika posterna i nitrogen- och fosforbalanserna (budget). Fig. 14 visar hur nitrogenet i 1800 kg foder fördelar sig på olika poster då 1000 kg fisk producerats och då foder av typ I (Fig. 14a) eller av typ II (Fig. 14b) har använts. Fiskens proteininnehåll antas vara 18%. Vi antar att 14.7% av proteinet utgöres av nitrogen och 2.3% utgöres av fosfor. Detta ger att 2.65 resp. 0.41% av fiskens våtvikt utgöres av nitrogen resp. fosfor. Figur 14a,b visar att foderöverskottet i detta exempel är störst för småfisken. Detta är i överensstämmelse med Fig. 3 som ju visar att teoretiska foderkoefficienten är lägre för småfisken.

Fig. 15a,b visar hur fosfor i 1800 kg foder fördelar sig på de olika posterna (fosforbudget) för de två fodertyperna I och II. Fig. 14 och 15 visar tydligt att det proteinrika fodret ger upphov till en större miljöbelastning än det 'proteinfattiga' fodret. Att nitrogen och fos-

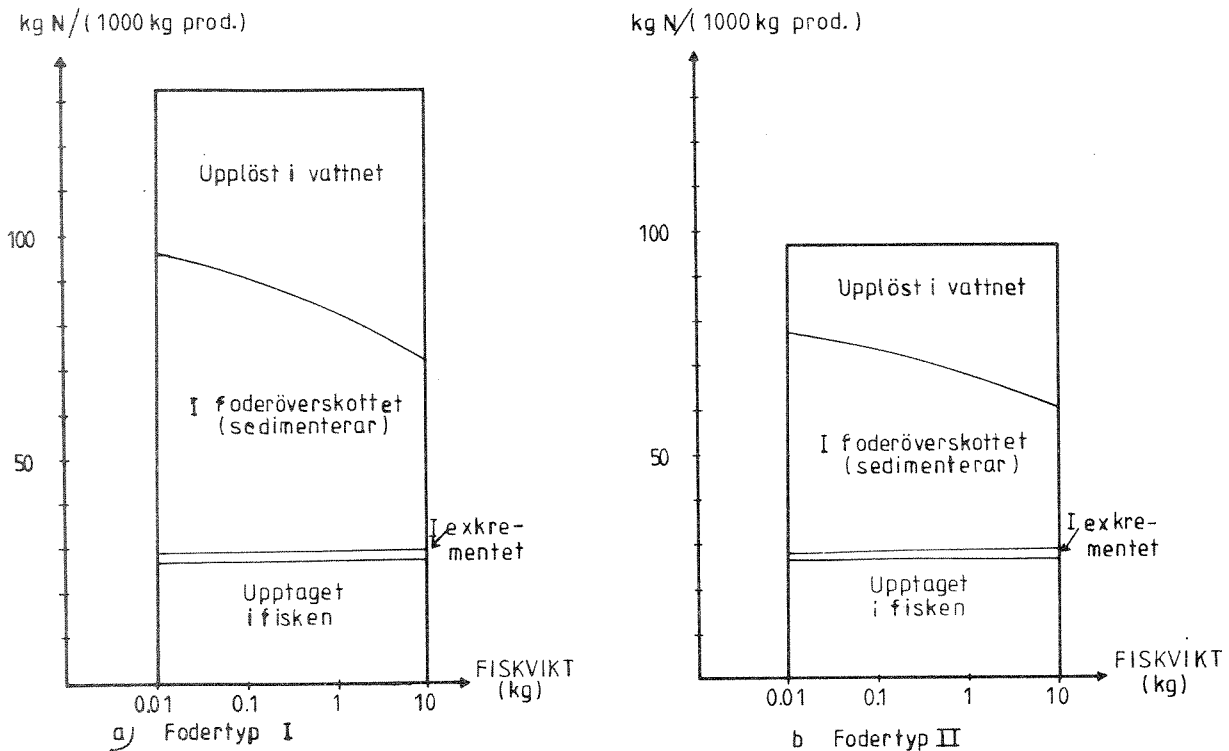


Fig. 14. Nitrogenbudget. Figuren visar hur det med fodret (1800 kg) tillförda nitrogenet fördelas på olika poster för produktion av 1000 kg fisk. a) gäller fodertyp I och b) fodertyp II.

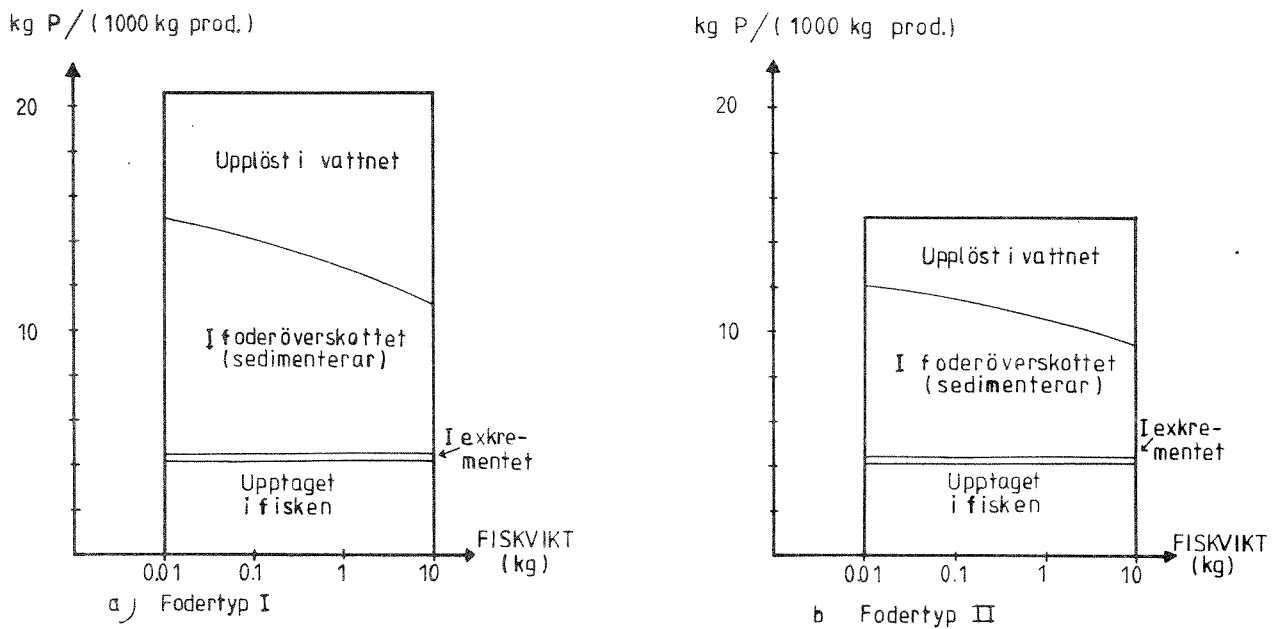


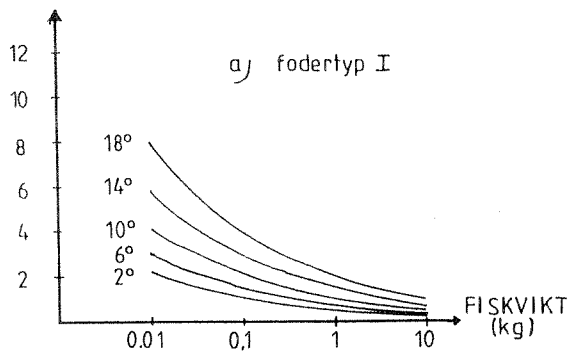
Fig. 15. Fosforbudget. Figuren visar hur den med fodret (1800 kg) tillförda fosfor fördelas på olika poster för produktion av 1000 kg fisk. a) gäller fodertyp I och b) fodertyp II.

förbundet till foderöverskottet för en given fiskvikt är större för det proteinrika fodret förklaras endast delvis av att detta foder innehåller mer nitrogen och fosfor. En kompletterande förklaring är att den teoretiska foderkoefficienten är något lägre för detta foder.

9. INNEHÅLLET AV UOD I EXKREMENT OCH FODERÖVERSKOTT.

Termen UOD (eng. ultimate oxygen demand) är ett mått på totala (framtidiga) oxygenförbrukningen då en viss mängd av ett visst organiskt material oxiderats. UOD-värdet för fiskfodret är alltså det latent oxygenbehovet för att fullständigt förbränna fodret. UOD-värdet i 100 kg foder av typerna I och II ges i Tabell 1. Fig. 16 nedan visar UOD-innehållet i exkrement, som producerats under 1 dygn av 1000 kg fisk, för varierande fiskvikt och vid några olika temperaturer. En jämförelse mellan Fig. 16a och 16b visar att den karbohydratrika fodertypen II ger något större UOD-belastning än fodertypen I.

Exkrement-UOD;
(kg O₂/dygn/1000 kg)



Exkrement-UOD
(kg O₂/dygn/1000 kg)

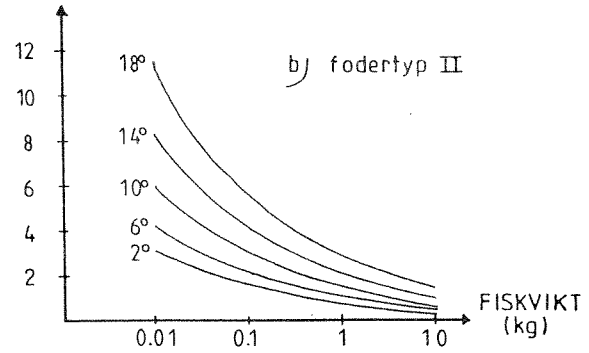
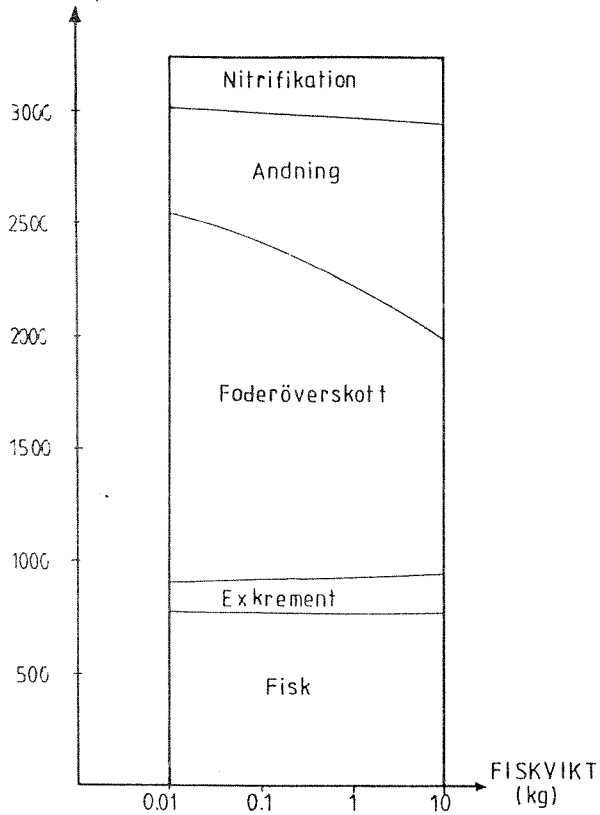


Fig. 16. Innehållet av UOD i exkrement, för varierande fiskvikt och temperatur. Exkrementerna produceras av 1000 kg fisk per dygn.

UOD; Fodertyp I
(kg O₂/ (1000 kg prod.))



UOD; Fodertyp II
(kg O₂/ (1000 kg prod.))

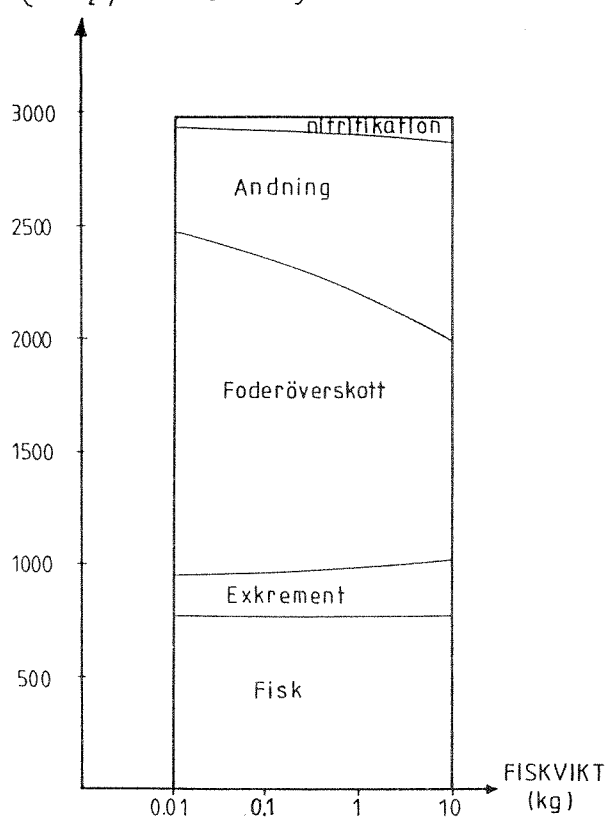


Fig. 17. UOD-budget för 1800 kg foder för varierande fiskvikt vid en fiskproduktion av 1000 kg för de två fodertyperna I (a) och II (b).

Fig. 17a och 17b visar UOD-budgeten för produktion av 1000 kg fisk med 1800 kg foder av typerna I resp. II (foderkoefficienten är alltså 1.8). Det finns tre ungefär lika stora poster, nämligen oxygenförbrukning genom fiskens andning, UOD i foderöverskottet samt UOD i fisk. Nitrifikation (oxidering av i vattnet löst ammonium till nitrat) samt UOD i exkrement är båda små poster. Nitrifikationen är under stora delar av året säkerligen mindre än vad som anges i figurerna eftersom mycket av ammoniet tas upp av växtplankton innan oxidering hinner äga rum. Vi konstaterar återigen att UOD-innehållet i exkrement är större för det karbohydratrika fodret (II) men skillnaden är naturligtvis liten jämfört med, exempelvis, UOD i överskotts-foder. Från dessa figurer är det uppenbart att redan en mycket måttlig överutfodring leder till att UOD-bidraget från foderöverskottet dominerar stort över bidraget från exkrement.

Observera att resultaten i Fig. 17 är oberoende av temperaturen så länge denna inte är så hög att fisken blir stressad av värmen. Av det totala oxygenbehovet för förbränning av fodret regleras en del genast, och lokalt i odlingen, genom fiskens andning. En smärre del regleras i eller straxt utanför odlingen vid oxidering av ammonium. Den del av oxygenbehovet som har flyttats över till fisken försvinner ur systemet (med undantag för eventuella slaktrester som kan återföras till värd-systemet). Oxygenbehovet för att bryta ner exkrement och foderöverskott som ansamlas på botten under odlingen kvarstår. Enell och Löf (1983) mätte oxygenförbrukningen i sedimenten under fiskkassar i insjöar. De fann att oxygenförbrukningen endast var några få procent av UOD-tillförseln. Detta visar att UOD i exkrement och foderöverskott inte är en relevant belastningsparameter för sedimentets omedelbara oxygenbehov. Stora oreglerade oxygen-skulder kan tydligen byggas upp under en fiskodling och kvarstå under lång tid efter det att en odling lagts ner. UOD-innehållet i exkrement och foderöverskott är snarast ett mått på den mycket långsiktiga belastningen.

Det bör påpekas att de närsalter (nitrogen, fosfor) som fisken utsöndrar direkt i vattnet kan medföra biologisk produktion i omgivningen under en stor del av året. Nedfallande material från denna (sekundära) produktion kan säkerligen ha stor betydelse för den omedelbara oxygenbelastningen av djupvattnet.

10. KOMMENTARER.

Det är viktigt att komma ihåg att en modell för ett system är en, mer eller mindre, förenklad beskrivning av systemet. För komplexa system är det en stor fördel om modellen kan formuleras som en uppsättning matematiska ekvationer eftersom man knappast i huvudet kan hålla reda på allt samtidigt. Existensen av en modell kan ofta påskynda utvecklingen av förståelsen av ett system eftersom modellen kan peka ut vad som är mer eller mindre betydelsefullt. En modells krav på ingångsdata är också betydelsefull vid genomförandet av experimentella undersökningar eftersom modellen kan 'tvinga fram' mätdata som annars kanske inte skulle ha insamlats. Genom att jämföra modellresultat med observationer tagna från väl kontrollerade system kan en modell vidareutvecklas och förbättras genom att koefficienter bestämmas med högre noggrannhet och/eller genom att modellen omformuleras och nya processer införes.

De modellresultat som presenterats i denna rapport har jämförts med data från litteraturen. Inga direkta orimligheter har kunnat fastställas. Tvärtom ser det mesta mycket rimligt ut. Ett stort problem med många uppgifter från litteraturen är emellertid att viktig information ofta saknas. För en detaljerad jämförelse med modellresultaten krävs att åtminstone fodersammansättning, fiskvikt, antal fisk, temperatur, salthalt, genomströmningshastighet samt halter av olika komponenter (oxygen, ammonium mm) i in- och utgående vatten presenteras.

Vid en fördjupad genomgång av litteraturen kan man med stor sannolikhet finna ännu inte utnyttjad information för vidare modelltest. För att uppnå största möjliga säkerhet vid användning av modellen bör ytterligare test mot data från litteraturen och från existerande norska fiskodlingar genomföras.

Belastningen är kanske inte så intressant i sig. Som påpekats i inledningen kan effekter av en given belastning bedömas först när belastningen kombineras med en modell för värdsystemet. Som redan nämnts har fiskmodellen kombinerats med en enkel miljömodell för beräkning av vissa miljöeffekter av en fiskodling, se Appendix där modellen 'FISK-MENY' presenteras. Genom att till miljömodellen ge data dels om odlingen (odlingsvolym, kassedjup, bredd mot strömmen, fiskstorlek och

antal) dels om miljön (ström, salthalt, temperatur, vindstyrka samt topografiska karakteristika såsom eventuell djuphålas tröskeldjup, areal och volym) kan beräkning av minimala oxygenhalter, maximala ammoniumhalter, oxygenförbrukning i djupvattnet på grund av direkt och indirekt belastning, mm göras.

Denna rapport beskriver endast fiskmodellens prediktion av den miljöbelastning som primärt orsakas av utfodringen av fisken. I den mån man kan beskriva hur fisken processar (assimilation - sönderdelning - exkretion) t.ex. antibiotika som ges med födan kan modellen kompletteras med en delmodell för antibiotika. Det vore naturligtvis mycket intressant för både myndigheter och odlare att kunna använda en och samma modell för beräkningar av alla typer av miljöbelastningar. En utvidgad belastningsmodell (innehållande också t.ex. antibiotika, virus och bakterier som emitteras från fisken) skulle kunna kombineras med en modell för punktutsläpp, t.ex. av den typ som beskrives i Stigebrandt (1983). Man skulle då skapa ett bra redskap för beräkningar av hur närliggande anläggningar kan påverka varandra.

12. REFERENSER.

- Bregnballe, F. och A. Jochumsen, 1985: Referat av rapport. Norsk Fiskeoppdrett nr 12.
- Enell, M. och J. Löf, 1983: Miljöeffekter av vattenbruk - Sedimentation och närsaltbelastning från fiskkasseodlingar. Vatten, 3, 364-375.
- Maroni, K., 1985: Forurensning fra fiskeoppdrett i relasjon til fortilførsel. NIVA-Notat O-85266. Oslo.
- Pedersen, A., 1982: Miljøpåvirkning fra fiskeoppdrett. NIVA-rapport FP-80802. Oslo.
- Stigebrandt, A., 1983: Om bestämning av ett kloakutsläpps influensområde. NIVA-rapport O-81006-II. Oslo.
- Svensson, H.J., 1984: Transport av fosfor och kväve från fiskfoder till sjövattnen vid olika pH och temperatur. 10-poängsarbete, limnologiska institutionen, Lund. (ISSN 0348-0798)
- Webb, P.W., 1978: Partitioning of energy into metabolism and growth. In Ecology of freshwater fish production (ed. S.D. Gerking). Blackwell.

APPENDIX

I detta appendix till rapporten 'Modellberäkningar av en fiskodlings miljöbelastning' presenteras utskrifter i form av tabeller från datorprogrammet 'FISKMENY'.

Programmet är tänkt att användas för

- 1) Beräkning av en fiskodlings miljöbelastning (som i denna rapport) samt beräkning av vissa miljöeffekter i värdsystemet.
- 2) Dimensionering av kasseodlingar. För en given lokalitet beräknas lägsta oxygenhalter och högsta ammoniumhalter inne i en fiskodling (fiskens miljö).
- 3) Hjälpmedel vid fiskodling. Beräkning av miljöförhållandena för fisken i odlingen, utfodringstabeller mm.

Nedan följer en kort beskrivning av de utskrivna tabellerna, se sid 5.

A1. MODELLENS KRAV PÅ INGÅNGSDATA.

För att kunna göra sina beräkningar måste modellen förses med vissa data vilka karakteriserar lokaliteten, fodret och fisken. Ingångsdata, vilka modelloperatören själv förser modellen med, är utskrivna i tabellerna 1-4. Övriga tabeller visar beräkningsresultat från modellen.

A1.1. Fysiska data för lokaliteten. (Tabell 1.)

Som poängterats i rapporten kan en 'fiskmodell' endast beräkna miljöbelastningen. För att kunna beräkna miljöeffekter på värdsystemet samt fiskens miljö i kassarna måste man ha tillgång till en del uppgifter om värdsystemet. I Tabell 1 visas de fysiska data för värdsystemet som nuvarande version av 'FISKMENY' använder. De sju första uppgifterna beskriver ström-, temperatur-, salthalts- och vindförhållanden. För att uppnå största möjliga säkerhet i beräkningarna bör om möjligt mätningar företagas på lokaliteten. De fyra sista uppgifterna kan bestämmas från sjökort.

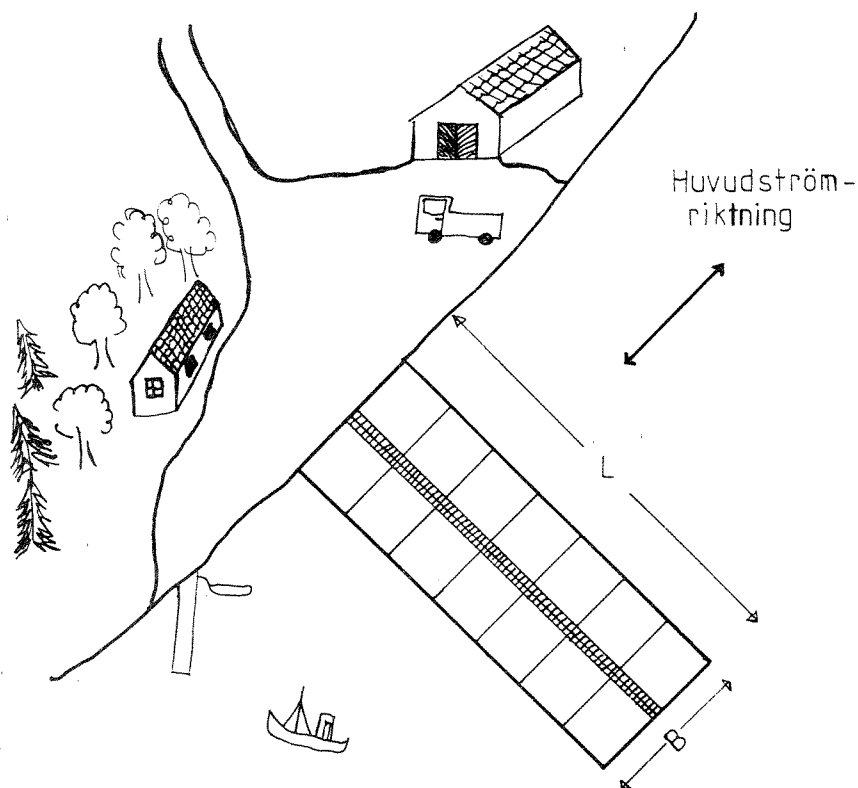


Fig. A1. Skiss av en fiskodling.

A1.2. Anläggningens dimensioner. (Tabell 2)

Med odlingsvolymen menas kassarnas sammanlagda volym. Längden av odlingen är längden av den sida, L , som visas mot huvudströmmens riktning, se Fig. A1. Reduktionsfaktorn för genomströmning beror bl.a. på graden av påväxt på kassarna.

A1.3. Fodersammansättning. (Tabell 3)

Behövs för den grundläggande fiskmodellen. I exemplet (Tabell 3a,b) har ett torrfoder använts. Om annat foder används behöver man inte räkna om till torrfoder utan anger helt enkelt respektive viktsprocent av protein, fett och karbohydrater för det aktuella fodret.

Modellen beräknar själv fodrets energiinnehåll (OE).

Innehållet av nitrogen och fosfor som anges i Tab. 3 är 'norsk standard'. Kan, liksom fodrets sjunkhastighet, ändras vid behov.

A1.4. Fisksammansättning. (Tabell 4)

Proteinhalten hos de flesta 'vilda' fiskar ligger i närheten av 18%. Fetthalten kan variera. För odlad fisk kan andra värden än de i Tabell 4 angivna förekomma varför möjlighet finnes att ändra värdena. I rapporten, se sid. 3, har vi satt fiskens fetthalt till 12 %. På förslag från NIVA har vi här satt fetthalten till 20%. Detta medför att beräkningsresultaten som redovisats i rapporten och de som redovisas i tabellerna 5-10 nedan skiljer sig något från varandra. Nitrogen- och fosforinnehållet i proteinet är 'norsk standard' men kan vid behov ändras.

A2. EFFEKTER PÅ FISKENS MILJÖ. (Tabell 5)

I Tabell 5 visas resultaten av tre olika beräkningar av lägsta oxygenkoncentrationer (oxygen min) och högsta ammoniumkoncentrationer (ammonium min) i kassarna. Först redovisas förväntade värden då medelströmmen sköter transporterna. Ingående vatten antages i detta fall vara mättat m.a.p. oxygen (jfr. Fig. 7 i rapporten) medan ammoniumkoncentrationen är satt till 0. Den andra beräkningen visar situationen då tidvattnet tillsammans med viss blandning sköter transporterna medan den tredje beräkningen gäller ett nära slutet område med huvudsakligen vinddrivna strömmar. I de båda senare exemplen är medelströmmen=0 och det sker recirkulering i värdsystemet varför inkommande vatten ej är helt opåverkat av odlingen.

Dessa beräkningar kan ligga till grund för dimensionering av en odling. Om man finner att oxygen- och ammoniumhalterna blir oacceptabla kan odlingen konfigureras om så att t.ex. sidan mot huvudströmriktningen (L i Fig. A1) ökas för effektivare genomströmning.

Dessa beräkningsresultat kan också användas direkt av en odlare, t.ex. för att studera effekten av utfodring med olika, alternativa fodertyper på fiskens miljö i odlingen.

A3. MILJÖBELASTNING.

Fiskodlingens miljöbelastning beräknas av modellen och redovisas i tabellerna 6-8.

A3.1. Emission av upplöst ammonium och fosfor från kassarna. (Tabell 6)

Från denna tabell kan man avläsa hur mycket nitrogen och fosfor som dagligen emitteras från odlingen i löst form, med uppgiven fisktäthet och fiskmedelvikt (jmf. kap. 5 sid. 9 i rapporten).

A3.2. Sedimenterande UOD nitrogen och fosfor. (Tabell 7)

Daglig sedimentation av bl.a. UOD, nitrogen och fosfor från foderöverskott och ekskrementer för olika grader av överutfodring och vid olika temperaturer (jämför kap. 6,7 och 9).

Under tabellen anges den beräknade storleken av sedimentytan direkt orsakad av foderöverskott och ekskrement.

En grov uppskattning av oxygenkonsumtionen i djupvattnet (under tröskeldjupet) visas också.

A3.3 Totala emissionen av nitrogen och fosfor för en viss produktion. (Tabell 8)

Totala emissionen (löst+fast) av nitrogen och fosfor per producerad enhet fisk. Emissionerna är uttryckta i kg per 1000 kg fiskproduktion, jmf. kap. 8.

OXYGENKONSUMTIONEN I DJUPVATTNET

A4. UTFODRING. (Tabell 9,10)

I dessa tabeller ges förslag till utfodring med det aktuella fodret (Tabell 3). Tabell 9 ger en översikt för några olika fiskvikter och temperaturer medan Tabell 10 ger foderbehovet för hela odlingen vid den aktuella medelvikten hos fisken och aktuellt temperaturintervall. I Tabell 10 ges också beräknad fiskvikt efter 30 dagar om temperaturen under denna tid håller sig någorlunda konstant.

"FISKMENY"

Detta program beräknar en fiskodlings miljöbelastning samt vissa miljöfaktorer i och kring en fiskodling. Programmet är utvecklat av

ANCYLUS
Nilssonsberg 19
S-41143 Göteborg
(Tel. (46) 031-827086)

Tabell 1 Fysiska data för lokaliteten

Medelström - långtids (sommar)	.1	m/sek	
Standardavvikelse (ström)	.1	m/sek	
Medelström - tidvatten	.1	m/sek	
Högsta Temperatur= 18	Grader	Celcius	(typiskt högsta sommartemperatur)
Typisk Salthalt= 30	o/oo		(vid höga vattentemperaturer)
Lägsta temperatur= 2	Grader	Celcius	(typiskt lägsta vintertemperatur)
Vindhastighet	4	meter/sekund	(typiskt sommarvärde)
Tröskeldjup (utanför odlingen)	10	meter	
Areal innanför ev. tröskel	1	kvadratkilometer	
Medeldjup innanför ev. tröskel	30	meter	
Medelvattendjup vid odlingen	15		

Tabell 2 Anläggningsdimensioner

Volym= 8000	Kubikmeter	(kassarnas sammanlagda volym)
Längd= 70	Meter	(vinkelrätt mot huvudströmriktningen)
Djup= 5	Meter	(kassarnas djup)
Fisktäthet= 20	kilo/kubikmeter	(högsta värde under juli - september)
Reduktionsfaktor för genomströmning=	.5	(lägsta värde)

Tabell 3a Fodersammansättning

Protein	36.5 %	
Fett	16.5 %	
Karbohydrat	30 %	
Aska	5 %	
Energiinnehåll	3130	Kcal/kg (OE, beräknat)

Tabell 3b Fodersammansättning (komplement)

Proteinet innehåller:

Nitrogen	14.7 %	
Fosfor	2.3 %	
Fodrets sjunkhastighet	.1	m/s

Tabell 4 Fiskens sammansättning

Protein	18 %
Fett	20 %

Proteinet innehåller:

Nitrogen	14.7 %
Fosfor	2.3 %

Tabell 5 Förändring av oxygen och ammonium-koncentrationer i kassarna på grund av fiskens andning respektive exkretion.
Fiskvikt= 1000 gram : Temperatur= 18 C

Baserat på	Oxygen in (mg/l)	Oxygen min (mg/l)	Ammonium in (mg/l)	Ammonium min (mg/l)
Medelström	7.64	6.56	0	.0586
Tidvattenström *)	5.34	4.25	.041	.0996
Fjordytan *)	4.01	2.93	.0645	.123

*) OBS! Medelvärden - lägre (högre för ammonium) värden kan förekomma. Å andra sidan har inte förhöjning av oxygenhalterna (sänkning av ammoniumhalt) p.g.a. eventuell primärproduktion i värdsystemet medtagits

OBS! Vid ev omdimensionering: försök göra odlingens längd större (odlingen bör visa så stor yta mot strömmen som möjligt)

Observera att

Om oxygenhalten lägre än 5 mg/l bör anläggningen dimensioneras om

Om ammoniumhalten högre än 0.5 mg/l (ppm) bör anläggningen dimensioneras om

Tabell 6 Emission av upplöst nitrogen och fosfor från kassarna vid högsta (18 °C) och lägsta (2 °C) temperatur. För jämförelse uttrycktes resultaten också i person-ekvivalenter (P.E.). *)

Temperatur (°C)	Nitrogen (kg/dygn) (P.E.)		Fosfor (kg/dygn) (P.E.)	
	18	88.7	7090	13.9
10	46.8	3740	7.31	2930
2	24.7	1970	3.86	1540

*) Förutsatt att fisken får maximal ranson, se Tab. 9, av foder enl. specifikation i Tab. 3. OBS! emissionerna kan minskas genom att proteinhalten i fodret sänks

Tabell 7 Sedimenterande latent syreförbrukning (UOD), nitrogen (N), fosfor (P), askfri torrsbstans (T) samt aska (A) vid högsta, medel och lägsta temperatur för olika grader av överutfodring. Om foder ges enligt Tab. 9 är överutfodringen 0 %.

överutfodring %	Temp. (°C)	från foder + exkrementer				
		kg O ₂ /d	kg T/d	kg A/d	kg P/d	(kg N/d)
0	18	563	411	139	.702	4.48
25	18	1720	989	174	6.55	41.8
50	18	2880	1570	209	12.4	79.2
0	10	297	217	73.4	.37	2.36
25	10	908	521	91.8	3.45	22.1
50	10	1520	826	110	6.54	41.8
0	2	157	114	38.7	.195	1.25
25	2	479	275	48.4	1.82	11.6
50	2	800	436	58.1	3.45	22

Kommentarer till Tabell 7

Sedimentyta= 5800 kvadratmeter (Foderrester + exkrementer)
Därtill kommer sedimentation över ett större område av organiskt material som växtplankton genererar m.h.a. emissionen av lösta växtnärsalter direkt från kassarna (jfr. Tab. 5)

Beräkning av oxygenkonsumtionen i djupvattnet per 1000 kg fiskproduktion:

Oxygenkons = .019 mg/l/(1 ton fiskproduktion)

OBS! Om totala årliga konsumtionen i djupvattnet (oxygenkons x årsprod (i ton)) blir större än 1 mg/l bör oceanografisk expertis rådfrågas

Tabell 8 Totala emissionen (löst + fast material) av kväve (N) och fosfor (P) för olika grader av överutfodring. Fiskvikt= 1000 gram
Emissionerna är uttryckta i kilo nitrogen eller fosfor per 1000 kg fiskproduktion

överutfodring %	Löst		Fast		totala utsläpp	
	N (kg)	P (kg)	N (kg)	P (kg)	N (kg)	P (kg)
0	41.7	6.52	2.11	.33	43.8	6.85
25	41.7	6.52	19.7	3.08	61.3	9.59
50	41.7	6.52	37.2	5.82	78.9	12.3
75	41.7	6.52	54.8	8.57	96.4	15.1
100	41.7	6.52	72.3	11.3	114	17.8

Tabell 9 Utfodringstabell. Rekommenderad utfodring med foder enl. Tab. 3.
(kg foder/100 kg fisk/dygn)

Temperatur (C)	Vikt (kg)			
	0.1	0.3	1.0	3.0
4	1.1	.82	.57	.41
8	1.6	1.1	.78	.56
12	2.2	1.5	1.1	.78
16	3	2.1	1.5	1.1
20	4.1	2.9	2	1.5

Tabell 10 Aktuell utfodringstabell (med foder enl. Tab. 3). Total fiskvikt i kassarna är nu 160000 kg, (medelvikt 1 kg)
Förväntad fiskvikt efter en 30-dagars period visas också

Temperatur	Fodermängd kg/dygn	Beräknad vikt efter 30 dygn
6	1070	1.16
7	1160	1.18
8	1250	1.2
9	1360	1.21
10	1470	1.23