

Produktionsbidrag og dambrugsmodel: manual og modelforudsætninger



DTU Aqua-rapport nr. 309-2016
Af Anne Johanne Tang Dalsgaard og
Per Bovbjerg Pedersen

Produktionsbidrag og dambrugsmodel: manual og modelforudsætninger

DTU Aqua-rapport nr. 309-2016

Af Anne Johanne Tang Dalsgaard og Per Bovbjerg Pedersen

Produktionsbidragsmodel for portionsørreder i ferskvand, version 3.1.1

Produktionsbidragsmodel for rognfisk i saltvand, betaversion 1.0

Dambrugsmodel, version 3.2

Kolofon

Titel	Produktionsbidrag og dambrugsmodel: manual og modelforudsætninger
Forfattere	Anne Johanne Tang Dalsgaard og Per Bovbjerg Pedersen
DTU Aqua-rapport nr.	309-2016
År	Januar 2016
Reference	Dalsgaard A. J. T. & Pedersen P. B. Produktionsbidrag og dambrugsmodel: manual og modelforudsætninger. DTU Aqua-rapport nr. 309-2016. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 23 pp. + bilag
Forside	Foto: Milan Møller Pavlovic
Udgivet af	Institut for Akvatiske Ressourcer, Nordsøen Forskerpark, Willemoesvej 2, 9850 Hirtshals
Download	www.aqua.dtu.dk/publikationer
ISSN	1395-8216
ISBN	978-87-7481-220-3

Indholdsfortegnelse

i. Forord	5
ii. Ophavsret og rettigheder	6
iii. Ansvarsfraskrivelse.....	6
1. Indledning.....	7
2. Produktionsbidragsmodel for portionsørreder i ferskvand	7
2.1. Produktionsbidraget af kvælstof (N).....	7
2.2. Produktionsbidraget af fosfor (P)	9
2.3. Produktionsbidraget af COD og BI5.....	10
3. Produktionsbidragsmodel for rognfisk i saltvand	11
3.1. Kvælstof -og fosforindholdet i havbrugsørreder	11
3.1.1. Kvælstof	12
3.1.2. Fosfor	13
4. Dambrugsmodellen	14
5. Indtastning af data.....	15
Tabel 1 i modellerne.....	15
Tabel 2 i modellerne.....	16
Tabel 3 i Dambrugsmodellen	17
6. Modeloutput	19
6.1. Oversigt over det samlede output	19
6.2. Slamkegler	19
6.3. Mikrosigter.....	19
6.4. Bioskyl	19
6.5. BioOmsætn	20
6.6. Slambed	20
6.7. Lagune	20
6.8. Rensegrad.....	21
6.9. PB-beregninger	22
6.10. Forudsætninger	22
Referencer.....	23
Bilag 1. Fordeling af kvælstof på forskellige former	24
Bilag 2. N og P indhold i forskellige væv fra regnbueørreder (rognfisk) hen over en produktionscyklus i saltvand	26

i. Forord

Næringsstofbidraget fra selve fiskeproduktionen kaldes "Produktionsbidraget", og er en central parameter for anlægs- og rensningsmæssige beregninger såvel som for myndighedsmæssig sagsbehandling og miljømæssige vurderinger af akvakulturanlæg. Produktionsbidraget udgør sammen med de vandløbsførte stoffer, eller rettere "de med indtags-vandet førte" stoffer (vandløbsbidraget), den samlede mængde stof, som et dambrug har mulighed for at rense på før den resterende mængde slutteligt ledes til recipient.

Til trods for det klare behov for en faglig funderet og empirisk valideret metode til beregning af produktionsbidraget, eksisterede der frem til 2013 ikke et simpelt og ensartet beregningsværktøj, som på faglig velfunderet vis kunne beregne produktionsbidraget af kvælstof, fosfor- samt organiske stoffraktioner og samtidigt kunne opdele disse stoffer i opløste/suspendede og partikulære fraktioner. DTU Aqua udviklede derfor på baggrund af videnskabelig litteratur og egne empiriske studier (f.eks. Dalsgaard and Pedersen, 2011) en simpel, regnearksbaseret beregningsmodel, som med få input (foderets sammensætning, foderets fordøjelighed, foderforbrug, og foderkvotienten) kan beregne produktionsbidraget ved produktion af regnbueørreder (op til ca. 800 g/stk.) i ferskvand. Produktionsbidragsmodellen blev tilgængelig i januar 2013 via hjemmesiden www.aquawaste.dk, og er siden blevet opdateret i flere omgange.

Modellen dækker imidlertid ikke havbrugsørreder, hvilket udgør en væsentlig del af den danske produktion, og der har været et stort ønske fra erhverv og myndigheders side om en model, der dækker rognfisk i havbrug op til slagtestørrelse. DTU Aqua har derfor nu udarbejdet en separat model, der omfatter opdræt af regnbueørreder (rognfisk; 1-4 kg) i saltvand. Modellen er baseret på analyser af fisk indsamlet hen over en produktionscyklus (fra udsætning til høst) samt kontrollerede fordøjelighedsforsøg i laboratoriet. Modellen vil være under fortsat udvikling efterhånden som behovet defineres og datagrundlaget udvides.

Modellerne er nærmere beskrevet på de efterfølgende sider, og vi håber, at de også fremadrettet vil blive anvendt som et fælles udgangspunkt og en almindelig anvendt beregningsmetode til fastlæggelse af produktionsbidragets størrelse og form ved opdræt af regnbueørreder i Danmark i fersk- og saltvand.

I det øjeblik produktionsbidragets størrelse og fordeling på form er fastlagt, er det muligt at begynde en teknisk/faglig vurdering og beregning af forskellige renseforanstaltningers forventede effekt på produktionsbidragets enkeltelementer. Ligeledes vil effekten på enkeltelementer fra et eventuelt vandløbsbidrag kunne vurderes og beregnes. Dette er baggrunden for udviklingen af "Dambrugsmodellen", der er et beregningsværktøj som via batch-baseret, stepvis beregning kan anvendes forud for en produktion til at estimere den forventede udledning fra et dambrug med en forventet, given produktion og bestykning samt specifik dimensionering af renseforanstaltningerne. Dambrugsmodellen er således en kobling af "Produktionsbidragsmodellen for portionsørreder i ferskvand" med en resemodel udviklet primært på baggrund af dokumenterede resultater fra videnskabelig litteratur og egne empiriske studier. Dette inkluderer især "Modeldambrugsprojektet" (Svendsen et al., 2008) samt projektet "Udvikling og validering af renseteknologier til klassiske dambrug", udarbejdet i samarbejde med Dansk Akvakultur og DCE-AU.

På trods af at det er muligt at benytte Dambrugsmodellen for de fleste typer dambrug, skal man være opmærksom på, at rensedelen har bedst empirisk grundlag indenfor Modeldambrugslignende anlæg. Modellen vil derfor give de mest sandsynlige beregninger af den forventede slutudledning for disse typer brug. Produktionsbidragsdelen af Dambrugsmodellen er omvendt generelt gældende for alle typer dambrug ved en normal produktion af regnbueørreder (200-800 g) i ferskvand.

Dambrugsmodellen er tilgængelig via hjemmesiden www.aquawaste.dk, og vil løbende blive forbedret og finjusteret (jf. behov og efterspørgelse) med henblik på bedst mulige forudsigelser, herunder også ved forskellige rensekomponentsammensætninger. Det er således vores håb, at Dambrugsmodellen vil vinde indpas som det fælles udgangspunkt og anvendte beregningsmetode til sandsynliggørelse ("bedste bud") af diverse renseforanstaltningers forventede effekt på den forventede, resulterende udledning fra opdrætsanlæg til regnbueørreder i Danmark.

ii. Ophavsret og rettigheder

Produktionsbidragsmodellerne samt Dambrugsmodellen er udviklet af DTU Aqua, der har ophavsret og IPR over produkterne. Enhver kommerciel anvendelse skal ske efter aftale med DTU Aqua.

iii. Ansvarsfraskrivelse

Dambrugsmodellen er et forudsigelsesværktøj som sagsbehandlere, konsulenter, opdrættere o.a. kan vælge at benytte til at sandsynliggøre, hvad eksempelvis en given indretning eller forskellige tiltag på et dambrug medfører, inkl. i forhold til den endelige udledning og dennes form og fordeling. Dambrugsmodellen er **ikke** et indberetnings- eller kontrolværktøj, men er udelukkende til standardiseret beregning af den bedste, faglige forventning ("bedste bud") før kontroldata foreligger. Modellen vil blive korrigeret, videreudviklet og forbedret i takt med, at flere data og mere viden rekvireres. Ethvert ansvar mht. modeloutputtet inklusivt uoverensstemmelser med faktisk målte data fralægges.

1. Indledning

Produktionsbidragsmodellerne samt Dambrugsmodellen er regnearksbaserede, og for alle modellerne gælder, at IND-UD fanen er den primære brugerfane. Her indtastes væsentlige oplysninger om anlæggenes foderforbrug, anvendte fodertyper, m.v. For Dambrugsmodellen er det desuden muligt at indtaste forskellige renseteknologiske driftsoplysninger samt forventede koncentrationer af diverse næringsstoffer i indtagsvandet.

IND-UD fanen inkluderer også modellernes overordnede output, dvs. en oversigt over det beregnede produktionsbidrag og for Dambrugsmodellens vedkommende desuden en oversigt over den forventede udledning af de forskellige næringsstoffer på hhv. total, opløst og partikulær form summeret over den modellerede periode. Forventede brutto- og nettorensgrader samt den forventede, resulterende specifikke udledning (kg pr. ton produceret fisk eller kg pr. ton forbrugt foder) kan også ses her.

Dambrugsmodellen indeholder endvidere en fane for hver rensekomponent, der potentielt set er installeret på det modellerede dambrug. Fanerne beskriver/beregner hver især hvor meget af et givent næringsstof på en given form, der fjernes i den givne rensesforanstaltning, enten via intern omsætning eller ved at stoffet føres videre til en anden rensesforanstaltning.

2. Produktionsbidragsmodel for portionsørreder i ferskvand

Produktionsbidraget defineres som den stofmængde, selve fiskeproduktionen tilfører det indtagne vand, inden det renses. Produktionsbidraget omfatter således fiskenes udskillelse af fækalier og affaldsstoffer og tillægges evt. foderspild.

Beregningen af produktionsbidraget og dets fordeling på partikulære og opløste stoffer afhænger af en række parametre, som fastlægges og indtastes i modellens IND-UD fane. Se afsnit 5 (Indtastning af data) for nærmere beskrivelse af inputparametrene. Parametrene omfatter primært:

- Foderets sammensætning, dvs. dets indhold af protein (kvælstof), fedt, kulhydrat, fibre (træstof), aske, fosfor og tørstof. Værdierne for de enkelte næringsstoffer skal udtrykkes som procent af den samlede vådvægt, og summen af næringsstofferne inkl. vand skal summere til 100 %.
 - Vær opmærksom på, om kulhydratindholdet (NFE) i foderet er angivet med eller uden fibre (træstof). Kulhydratindholdet i foder vil typisk ikke være målt direkte, men vil være beregnet som en difference: $NFE = \text{tørstof} - \text{protein} - \text{fedt} - \text{aske} - \text{fibre (træstof)}$. Denne beregning forudsætter, at fibre (træstof) er målt. Hvis fibre ikke er målt, vil den indgå i beregningen af kulhydrat (dvs. kulhydrater inkl. fibre), der da er beregnet som: $NFE = \text{tørstof} - \text{protein} - \text{fedt} - \text{aske}$.
 - Vær opmærksom på, at fosfor i nogle tilfælde vil være deklareret som procent af foderets tørvægt, og i så fald skal omregnes til indhold i % vådvægt før værdien indtastes.
- Foderets fordøjelighed m.h.t. de ovennævnte elementer. Her er indsat standardindstillede fordøjelighedsværdier til brug i modellen. Det er muligt at ændre værdierne, hvis man har mere præcise oplysninger.
- Foderkvotient (FK) = kg foder/kg produceret fisk.

Såfremt disse parametre kan fastsættes, kan produktionsbidraget beregnes. Beregningerne af de forskellige stoffer står beskrevet i diverse litteratur og tidsskrifter (f.eks. Dalsgaard and Pedersen, 2011). En beskrivelse af produktionsbidragsberegningerne følger desuden i de efterfølgende afsnit.

Resultatet af produktionsbidragsberegningerne findes i modellens IND-UD fane.

2.1. Produktionsbidraget af kvælstof (N)

Protein indeholder ca. 16 % kvælstof (N). Produktionsbidraget af kvælstof stammer fra eventuelt foderspild (partikulært bidrag) samt det protein i foderet, som fiskene ikke fordøjer (kommer ud med fækalierne = partikulært bidrag), plus det de fordøjer, men som ikke udnyttes til vækst (= opløst bidrag). Sidstnævnte udskilles primært som ammonium (NH_4), men også som urinstof (urea) og andre organisk bundne N-forbindelser. Det partikulære N bidrag fra foderspild og bundfældelige fækalier beregnes som:

$$1) \quad \text{Partikulært N} = \% N \text{ i foder} \cdot (\text{foderspild} + (\text{indtaget foder} \cdot (100 - ADC_{\text{protein}})\%)),$$

hvor ADC_{protein} er den tilsyneladende proteinfordøjelighed (samme som $ADC_{\text{kvælstof}}$) målt via fuld opsamling (ikke markørmetoder).

Produktionsbidragsmodellen antager, at kvælstofindholdet i regnbueørreder er 2,75 % (jf. Svendsen et al., 2008) svarende til et proteinindhold på 17,2 %. Dvs. der indbygges 27,5 g N/kg produceret fisk. Resten af det fordøjede N udskilles igen, og det opløste N-bidrag beregnes derfor som:

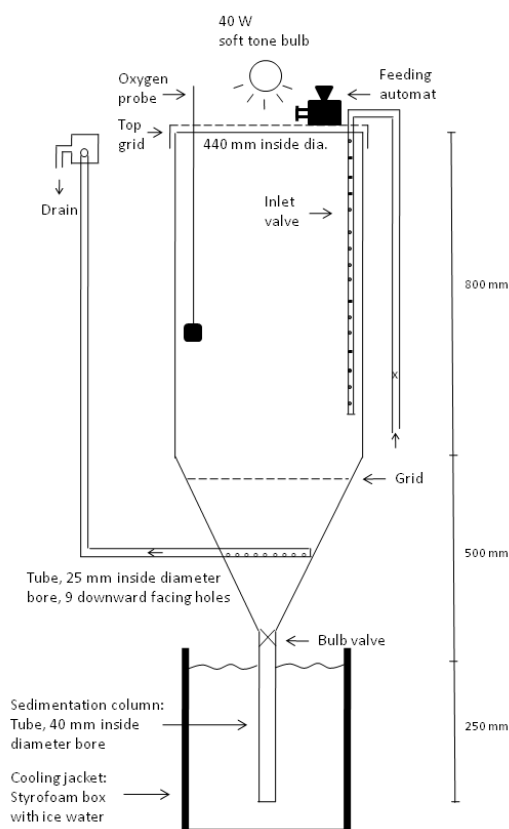
$$2) \quad \text{Opløst } N = \text{indtaget } N - N \text{ i bundfældelige fækalier} - N \text{ indbygget i fisk}$$

hvor N indbygget i fisk beregnes som:

$$3) \quad N \text{ indbygget i fisk} = \text{indtaget foder} / FK_{\text{korrr}} \cdot 2,75 \%,$$

hvor FK_{korrr} er foderkvotienten (FK) korrigeret for foderspild (den biologiske frem for den observerede FK).

Det er en forudsætning for produktionsbidragsberegningerne, at foderets fordøjelighed er målt i en form for masse-balance systems (fx figur 1), hvor alle bundfældelige fækalier opsamles, og som tilnærmelsesvis simulerer, hvad der reelt er bundfældeligt på et dambrug.



Figur 1. Design af et masse-balance system til måling af fordøjelighed og opsætning af masse-balancer via fuld næringsstofopsamling (fra: Dalsgaard and Pedersen, 2011).

Ved hjælp af dette set-up kan det præcise foderindtag registreres, og alle fækalier kan opsamles i nedkølede sedimentationsrør (reducerer eventuel mikrobiel omsætning). Fordøjeligheden (apparent digestibility coefficients; ADC) af et givent næringsstof udregnes ved at analysere indholdet af næringsstoffet i henholdsvis foderet og fækalierne og indsætte det i formlen (Talbot, 1985):

$$4) \quad ADC_i = 100 \cdot (C_i - F_i) / C_i,$$

hvor i refererer til det givne næringsstof, C_i er den konsumerede mængde af i , og F_i er mængden af i målt i fækaliene.

Fordøjeligheden målt på denne måde vil formentlig være lidt højere end den sande fordøjelighed, fordi der bl.a. kan ske en mindre lækage af næringsstoffer fra fækaliene inden de når sedimentationsrøret. Desuden kan der forekomme en disintegration af fækalier (= suspenderet fraktion) pga. påvirkning fra fisk, vand, mv. Mængden af næringsstoffer genfundet i fækaliene bliver mindre og ADC_i større jo mere dette sker. Afgørende i denne sammenhæng er imidlertid det faktum, at man i det pågældende system opsamler alle de bundfældelige fækalier, og derved får et præcist mål for det partikulære bidrag.

Nævnte påvirkninger af fækaliene sker også på et dambrug, og for at kvantificere denne lækage/disintegration og dens betydning for produktionsbidraget, blev der gennemført en række massebalanceforsøg på kommercielle fodertyper, hvor indholdet af kvælstof (og fosfor) i vand, fisk og fækalier blev målt direkte og sammenstillet i følgende massebalanceligning:

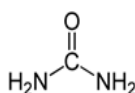
$$5) \quad X_{\text{konsumeret}} = X_{\text{tilbageholdt i fiskene}} + X_{\text{genfundet i fækalier}} + X_{\text{genfundet i vandet}}$$

hvor X refererer til total-kvælstof (TN) eller total-fosfor (TP) (se også Dalsgaard and Pedersen, 2011). Ca. 45,6 % af total N (TN) blev fundet i fiskene, 6,8 % i fækaliene og 47,6 % i vandet. Yderligere analyser af vandet viste, at 71 % af kvælstoffet i vandet var på $\text{NH}_4\text{-N}$ form (ca. 80 % hvis udtrykt som andel af filtreret TN frem for ufiltreret TN – se bilag 1). De resterende 29 % af den målte TN blev ikke karakteriseret yderligere, men baseret på litteraturen (bilag 1) og egne, senere forsøg regner modellen med følgende fordeling af kvælstof i vand (tabel 1):

Tabel 1. Fordelingen af opløst og suspenderet kvælstof på forskellige N-former

Kvælstoffraktion	(%)
Opløst + suspenderet kvælstof totalt (Total-N)	100
• heraf ammonium-N ($\text{NH}_4^+\text{-N}$)	71*
• heraf urinstof	10*
• heraf nitrit og nitrat ($\text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$)	0
• heraf andre N-forbindelser	19*

*Der gøres opmærksom på, at især urinstof ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$; figur 2) og for så vidt også andre N-forbindelser ultimativt nedbrydes til $\text{NH}_4\text{-N}$. På grund af den umiddelbare dannelse af ammonium fra urinstof bør denne indregnes som et $\text{NH}_4\text{-N}$ bidrag i det samlede produktionsbidrag.



Figur 2. Urinstof

2.2. Produktionsbidraget af fosfor (P)

Produktionsbidraget af fosfor stammer fra eventuelt foderspild (partikulært bidrag) samt det fosfor i foderet, som fiskene ikke fordøjer (kommer ud med fækaliene = partikulært bidrag), plus det de fordøjer, men ikke inkorporerer (udskilles primært gennem urinen = opløst bidrag = ortho-P). Det partikulære fosforbidrag fra foderspild og bundfældelige fækalier beregnes som:

$$6) \quad \text{Partikulært P} = \% \text{ P i foder} \cdot (\text{foderspild} + (\text{indtaget foder} \cdot (100 - ADC_{\text{fosfor}})\%),$$

hvor ADC_{fosfor} er den tilsyneladende fordøjelighed af fosfor.

Produktionsbidragsmodellen antager, at fosforindholdet i regnbueørreder er 0,43 % (jf. Svendsen et al., 2008). Dvs., der indbygges 4,3 g P/kg produceret fisk. Den resterende del af det fordøjede P udskilles igen på opløst form, og det opløste fosforbidrag beregnes derfor som:

$$7) \quad \text{Opløst P} = \text{indtaget P} - \text{P i bundfældelige fækalier} - \text{P indbygget i fisk}$$

hvor P indbygget i fisk beregnes som:

$$8) \quad P \text{ indbygget i fisk} = \text{indtaget foder} / FK_{\text{kor}} \cdot 0,43 \%$$

I lighed med kvælstof beskrevet ovenfor, kan en lille del af det "opløste" fosfor i modellen være på suspenderet form pga. fækaliedisintegration.

2.3. Produktionsbidraget af COD og BI₅

Det kemiske iltforbrug (chemical oxygen demand; COD) er et mål for den mængde O₂, der kræves, for fuldstændigt at nedbryde (oxidere) det organiske stof i en prøve til kuldioxid og vand. Til sammenligning er BI₅ (biologisk iltforbrug målt over 5 døgn) en indikator for mængden af let omsætteligt, organisk stof i prøven. Det biologiske iltforbrug målt som BI₅ udtrykker således den mængde ilt, mikroorganismene i en prøve forbruger til aerob nedbrydning af organiske forbindelser i løbet af 5 dage.

Produktionsbidraget af COD på et dambrug stammer fra foderspild (partikulært bidrag) plus det organiske stof i foderet, som fiskene ikke fordøjer (= partikulært bidrag), samt div. organisk stof der udskilles herunder slim, skæl, og andre udskilte organiske forbindelser m.v. (= opløst og suspenderet bidrag).

For at beregne det partikulære COD-bidrag fra det ufordøjede foder ganges mængderne af de forskellige, ufordøjede næringsstoffer i fækalierne med det tilsvarende energiindhold i de forskellige næringsstoffer (kJ/g næringsstof, tabel 2) og divideres med de tilsvarende oxykalariske koefficienter (kJ energi frigivet/g O₂ forbrugt, tabel 2), hvorefter de summeres. Tilsvarende beregning laves for foderspildet (se boks 1). Det totale, partikulære COD bidrag beregnes dernæst ved at summere de to ligninger.

Tabel 2. Energiindholdet og den oxykalariske koefficient af et givent næringsstof

Næringsstof	Energiindhold (kJ/g) ^a	Oxykalariske koefficient (kJ/g O ₂) ^b
Protein	23,66	13,36
Fedt	39,57	13,72
Kulhydrat (NFE)	17,17	14,76
Fibre (træstof)	17,17	14,76

^aBrett and Groves (1979); ^bBrafield (1985).

Masse-balanceforsøgene nævnt tidligere viste, at opløst + suspenderet COD udgør ca. 40 % af det partikulære COD, og fraktionen derfor kan beregnes ved at gange det partikulære COD bidrag fra ufordøjet foder med 0,4 under antagelse af, at foderspildet ikke bidrager til opløst + suspenderet COD (se boks 1).

Forsøgene viste videre, at det partikulære BI₅-bidrag kan beregnes ved at gange det partikulære COD bidrag fra indtaget, ufordøjet foder med 0,2 samt gange det partikulære COD bidrag fra foderspild med 0,5, og summere de to (se boks 1). At BI₅:COD forholdet i fækalierne er 0,2 understreger, at den ufordøjede foderdel er relativt svært nedbrydelig. Fiskene har, så at sige, optaget den mere let-nedbrydelige del og den mere ufordøjelige del, som udskilles via fækalierne, er mindre biologisk tilgængelig.

Endvidere viste forsøgene, at opløst + suspenderet BI₅ kan beregnes ved at gange det opløste + suspenderede COD bidrag fra indtaget, ufordøjet foder med 0,5 under antagelse af, at foderspildet ikke bidrager til denne fraktion (se boks 1). At BI₅:COD forholdet i den opløste fraktion er 0,5 understreger, at denne del er relativt lettere nedbrydelig i forhold til den partikulære (= fækalie) del.

BOKS 1. Beregning af COD og BI₅

Beregning af partikulært COD fra ufordøjet foder:

$$\begin{aligned} \text{COD fra ufordøjet protein} &= \text{indtaget protein} \cdot (100 - \text{ADC}_{\text{protein}})\% \cdot 23,66/13,36 \\ &+ \\ \text{COD fra ufordøjet fedt} &= \text{indtaget fedt} \cdot (100 - \text{ADC}_{\text{fedt}})\% \cdot 39,57/13,72 \\ &+ \\ \text{COD fra ufordøjet NFE} &= \text{indtaget NFE} \cdot (100 - \text{ADC}_{\text{NFE}})\% \cdot 17,17/14,76 \\ &+ \\ \text{COD fra ufordøjede fibre} &= \text{indtaget fiber} \cdot (100 - \text{ADC}_{\text{fibre}})\% \cdot 17,17/14,76 \end{aligned}$$

Beregning af partikulært COD fra foderspild:

$$\begin{aligned} \text{COD fra protein i foderspild} &= \text{protein i foderspild} \cdot 23,66/13,36 \\ &+ \\ \text{COD fra fedt i foderspild} &= \text{fedt i foderspild} \cdot 39,57/13,72 \\ &+ \\ \text{COD fra NFE i foderspild} &= \text{NFE i foderspild} \cdot 17,17/14,76 \\ &+ \\ \text{COD fra fibre i foderspild} &= \text{fibre i foderspild} \cdot 17,17/14,76 \end{aligned}$$

Beregning af det totale, partikulære COD bidrag:

$$\text{Partikulært COD totalt} = \text{partikulært COD fra ufordøjet foder} + \text{partikulært COD fra foderspild}$$

Beregning af det opløste + suspenderede COD bidrag:

$$\text{Opløst + suspenderet COD} = \text{partikulært COD fra ufordøjet foder} \cdot 0,4$$

Beregning af det totale partikulære BI₅ bidrag:

$$\text{Partikulært BI}_5 \text{ totalt} = (\text{partikulært COD}_{\text{ufordøjet foder}} \cdot 0,2) + (\text{partikulært COD}_{\text{foderspild}} \cdot 0,5)$$

Beregning af det opløste + suspenderede BI₅ bidrag:

$$\text{Opløst + suspenderet BI}_5 = \text{Opløst + suspenderet COD fra ufordøjet foder} \cdot 0,5$$

3. Produktionsbidragsmodel for rognfisk i saltvand

Produktionsbidragsmodellen for rognfisk (1-4 kg) i saltvand adskiller sig primært fra ferskvandsmodellen mht. kvælstof- og fosforindholdet i fiskene, input af rognprocent, samt defaultværdier for fordøjeligheder og fodersammensætning. Derudover beregner modellen ikke fordelingen af opløst kvælstof på forskellige N-underfraktioner, ligesom produktionsbidraget af COD for nuværende ikke er en del af modellen.

3.1. Kvælstof -og fosforindholdet i havbrugsørreder

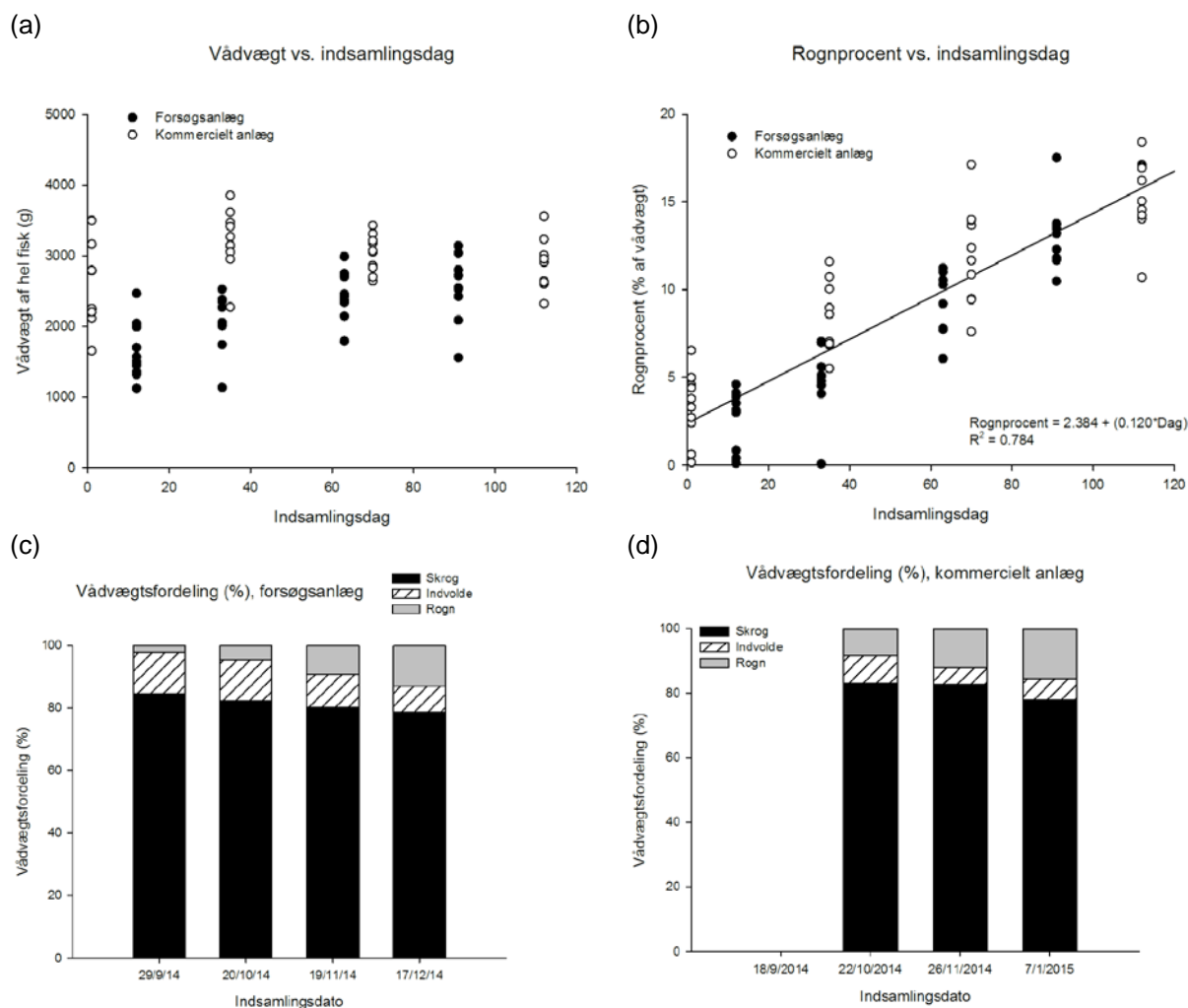
Indholdet af kvælstof (N) og fosfor (P) i fisk indgår som væsentlige parametre i produktionsbidragsmodellen. Indholdet bruges i beregningerne af de opløste N og P bidrag, idet det forudsættes at det fordøjede N og P, som ikke indbygges i fiskenes væv, udskilles over gællerne og i urinen til vandet.

For at bestemme N og P indholdet i rognfisk i saltvand, og herunder undersøge om indholdet ændrer sig i takt med, at fiskene udvikler rogn, blev der i løbet af andet halvår af 2014 indsamlet havbrugsørreder fra hhv. et kommercielt anlæg samt et landbaseret, saltvandsforsøgsanlæg. Der blev foretaget 4 indsamlinger på hver lokalitet, og hver gang blev der indsamlet 10 fisk. Hver fisk blev

umiddelbart efter hjemtagning til laboratoriet parteret i rogn, indvolde (inkl. lever) og skrog (=hel fisk minus rogn og indvolde). Indholdet af tørstof og aske (NMKL 23, 1991), protein (ISO 5983-2, 2005; protein = 6,25*Kjeldahl N), olie (Bligh and Dyer, 1959), og fosfor (ISO 6491, 1998) i hver vævstype blev efterfølgende analyseret (dobbelbestemmelser). Indvolde og skrog blev autoklaveret og homogeniseret forud for analyserne for at sikre at der blev udtaget homogene og repræsentative delprøver til analyse.

For begge lokaliteter gjaldt det, at fiskenes tilvækst aftog henover sæsonen (figur 3 samt bilag 2). For fisk fra det kommercielle anlæg faldt den gennemsnitlige vådvægt desuden fra oktober til november samt til starten januar hvilket tilskrives prøvetagningsproceduren/udtag af fisk fra havbruget.

Som vist i figur 3 udviklede fiskene på begge lokaliteter rogn hen over sæsonen, til dels på bekostning af andre væv inklusiv indvolde og skrog, og der var en relativ stærk sammenhæng (korrelation) mellem indsamlingsdatoen og rognprocenten ($r = 0,885$).



Figur 3. Sammenhængen mellem indsamlingsdatoen og hhv. vådvægten (a) og rognprocenten (b) af hele fisk, samt vådvægtsfordeling af væv fra fisk indsamlet fra et landbaseret saltvandsforsøgsanlæg (c) samt et kommercielt havbrug (d).

3.1.1. Kvælstof

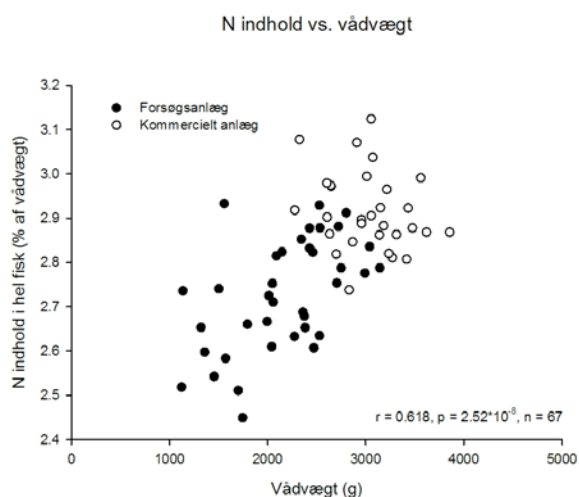
Indholdet af kvælstof i skroget ($2,77 \pm 0,10$ %, $n = 67$; bilag 2) var meget tæt på det indhold på 2,75 %, der anvendes i "Produktionsbidragsmodellen for portionsørreder i ferskvand" (omfattende fisk op til 800 g). Til sammenligning var kvælstofindholdet i rognen noget højere ($4,25 \pm 0,42$ %) end i skroget, og kvælstofindholdet i hele fisken steg derfor hen over sæsonen i takt med, at rognprocenten steg (figur 4). Der var således en relativ stærk korrelation mellem N indholdet i fiskene og rognprocenten ($r = 0,833$), hvorimod sammenhængen mellem N indholdet og fiskenes vådvægt var knap så stærk ($r = 0,618$, figur 4). På baggrund af disse resultater benyttes den lineære sammenhæng mellem N-

indholdet og rognprocenten (% af vådvægten) til at fastsætte N indholdet i rognfisk (1-4 kg) i saltvand (figur 4). Dvs.

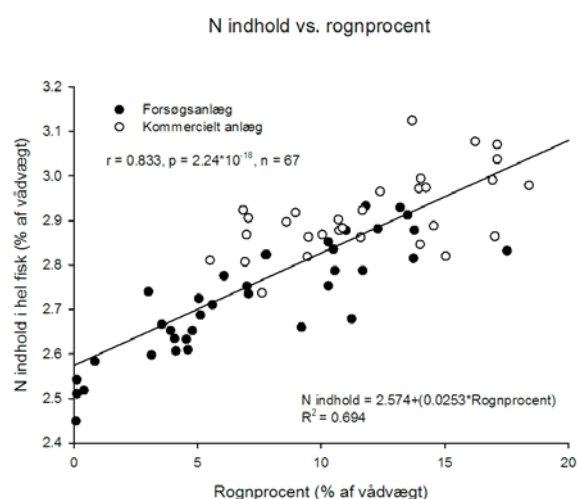
$$9) \quad N \text{ indhold i rognfisk} = 2,574 + (0,0253 \cdot \text{rognprocent})$$

Kvælstofresultaterne understøttes generelt af tidligere undersøgelser, der typisk har vist, at proteinindholdet i regnbueørreder stiger med vådvægten (fx Christensen og Horsted, 1991; Svendsen et al., 2008). Ingen af de tidligere undersøgelser har imidlertid forholdt sig til/undersøgt en eventuel sammenhæng med rognprocenten.

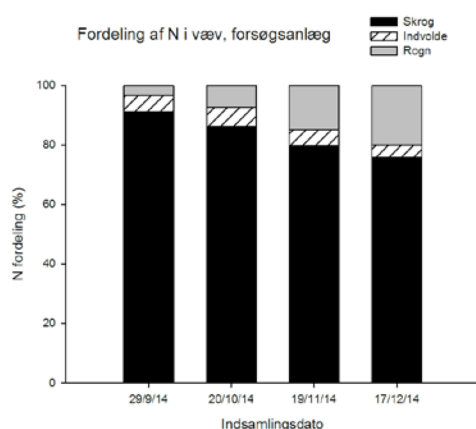
(a)



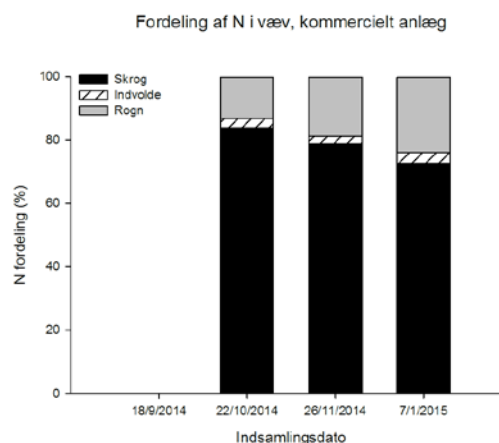
(b)



(c)



(d)



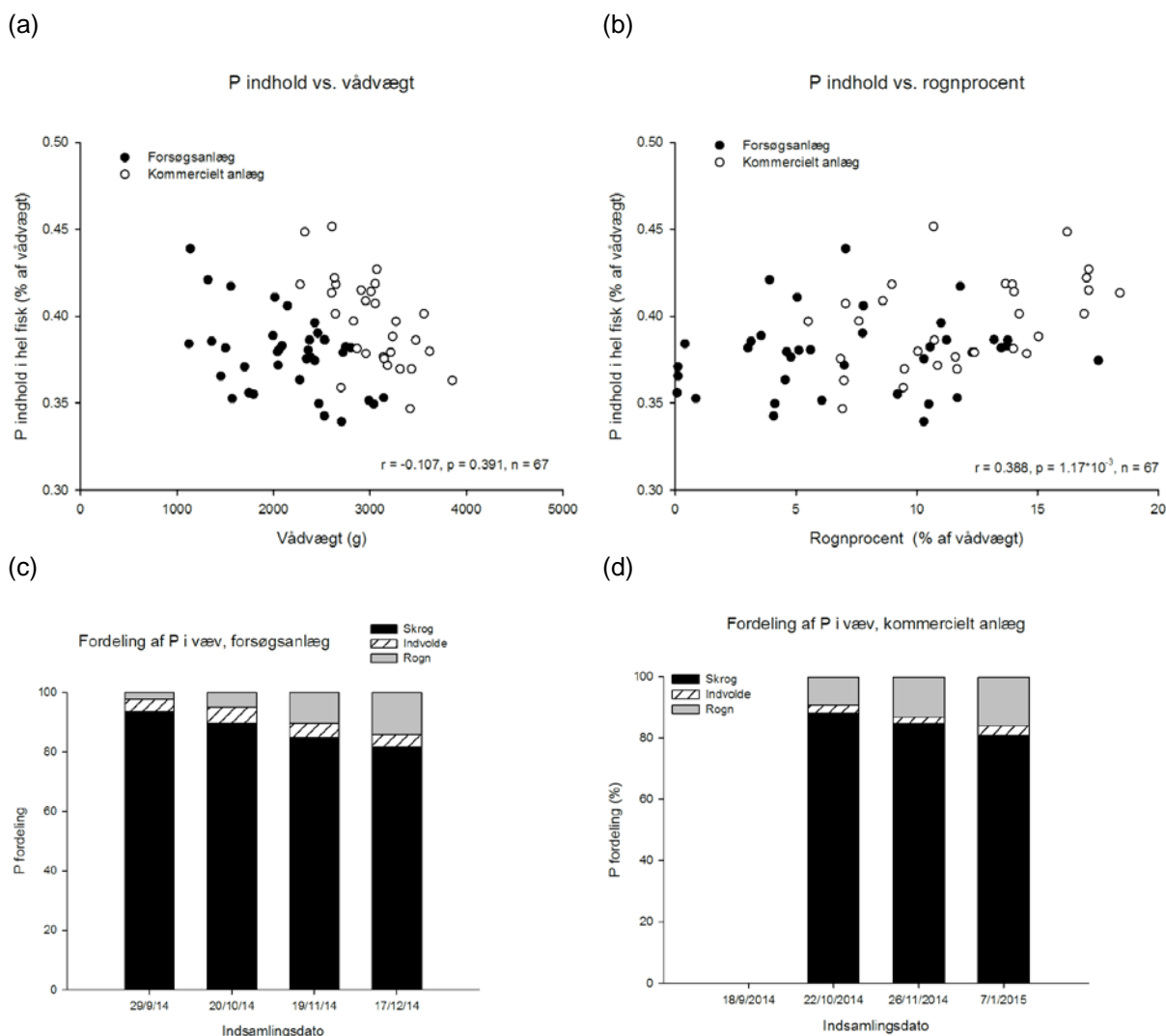
Figur 4. Sammenhængen mellem kvælstofindholdet (N) i hel fisk og hhv. vådvægten (a) og rognprocenten (b), samt den relative fordeling af N i væv fra fisk indsamlet fra et landbaseret saltvandsforsøgsanlæg (c) og et kommercielt havbrug (d).

3.1.2. Fosfor

Til forskel for kvælstof var der ikke videre forskel i fosforindholdet i hhv. rogn og skrog (bilag 2), og da disse to fraktioner udgjorde langt den største andel af vådvægten, var der ikke nogen entydig sammenhæng mellem hverken fosforindholdet og vådvægten eller fosforindholdet og rognprocenten (figur 5). Det overordnede, gennemsnitlige fosforindhold i hele fisk fra de to lokaliteter (0.39 ± 0.03 , $n = 67$) benyttes derfor til at fastsætte fosforindholdet i produktionsbidragsmodellen til rognfisk (1-4 kg) i saltvand. Dvs.

$$10) \quad P \text{ indhold i rognfisk} = 0,39 \% \text{ af vådvægt}$$

Til sammenligning anvendes et P indhold på 0,43 % i "Produktionsbidragsmodellen for portionsræder i ferskvand" (omfattende fisk i ferskvand op til 800 g). Det lavere fosforindhold i større fisk stemmer godt overens med tidligere undersøgelser, der generelt har fundet, at fosforindholdet falder svagt med fiskestørrelsen (fx Christensen og Horsted; 1991; Svendsen et al., 2008).

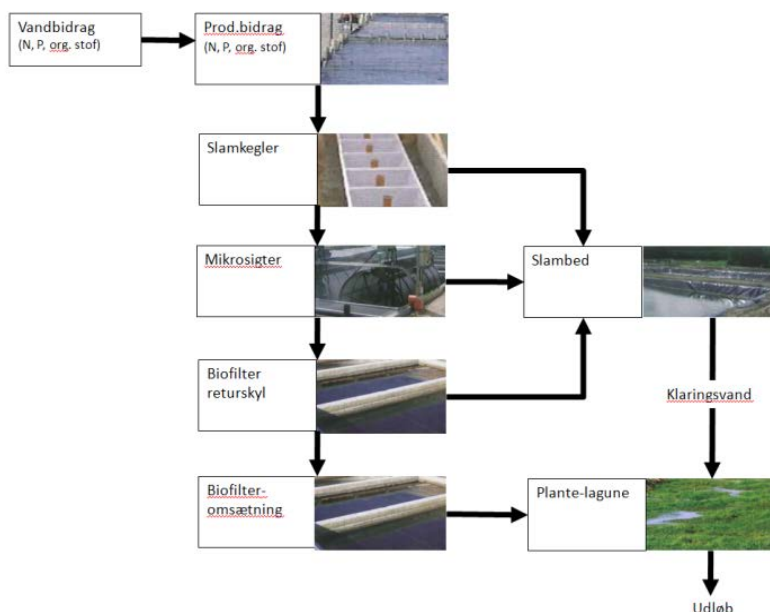


Figur 5. Sammenhængen mellem fosforindholdet (P) i hel fisk og hhv. vådvægten (a) og rognprocenten (b), samt den relative fordeling af P i væv fra fisk indsamlet fra et landbaseret saltvandsforsøgsanlæg (c) og et kommercielt havbrug (d).

4. Dambrugsmodellen

Princippet i dambrugsmodellen er skitseret i figur 6. Modellen følger diverse næringsstoffer på deres forskellige form (total, opløst og partikulært) fra de kommer ind på dambruget via indtagsvand og fra selve fiskeproduktionen (produktionsbidraget), til de fjernes i forskellige rensekomponenter (én Excel-fane for hver), og til resterende næringsstoffer slutteligt forlader dambruget via udløb fra plantelagunen til recipienten. De enkelte renseforanstaltninger fjerner en vis mængde af det tilførte stof baseret på standardindstillede rensegrader, der efterfølgende kan ændres, hvis man indhenter mere præcise værdier.

Bortset fra lagunen er de standardindstillede rensegrader primært baseret på gennemsnitlige, årlige rensegrader målt på dambrug som indgik i "Modeldambrugsprojektet" (Svendsen et al., 2008). For lagunen modelleres fjernelsen af de forskellige næringsstoffer ud fra førsteordensligninger som beskrevet i afsnit 6.7. Dambrugsmodellen er statisk og indeholder ingen sæsonvariation (simulerer ikke tidsmæssigt opløst).








Figur 6. Princippet i dambrugsmodellen. Pilene viser det modellerede forløb for et givent næringsstof fra det kommer ind i anlægget via indløbsvandet plus det beregnede produktionsbidrag, til det passerer gennem de forskellige renseforanstaltninger for til sidst at forsvinde ud fra dambruget via lagunen.

5. Indtastning af data

Cellerne i Excel regnearket er markeret med forskellige farver med forskellig betydning (boks 2).

BOKS 2. Definition af regnearksceller

	Gule celler:	Her skal indtastes værdier
	Rosa celler:	Valgfrie inputceller. Her kan indtastes værdier/information
	Grønne eller	
	blå celler:	Standardindstillede værdier. Kan ændres, hvis man har mere præcise værdier
	Hvide celler:	Kan ikke ændres. Indeholder diverse model-outputværdier mv.

Tabel 1 i modellerne

Input foder

Foder 1-5: Her skal indtastes analyserede eller deklarerede værdier for anvendt eller påtænkt anvendt foder. Værdierne for de enkelte næringsstoffer skal udtrykkes som procent af den samlede vådvægt, og summen af næringsstofferne inkl. vand skal give 100 %.

Deklarationen for mindst én fodertype **skal** indtastes, og der kan indtastes deklARATIONER for op til 5 forskellige fodertyper. Modellen beregner en vægtet, gennemsnitlig fodersammensætning til videre brug på baggrund af de indtastede deklARATIONER og fodermængder (ton). Ved flere end 5 fodertyper fordeles disses vægtet ud på de 5 mest anvendte fodertyper, så den samlede mængde foder svarer til den forventede samlede udfodring.

Vær opmærksom på, om kulhydratindholdet (NFE) i foderet er angivet med eller uden fibre (træstof). Kulhydratindholdet i foder vil typisk ikke være målt direkte, men vil være beregnet som en difference/restfraktion, dvs: $NFE = \text{tørstof} - \text{protein} - \text{fedt} - \text{aske} - \text{fibre (træstof)}$. Denne beregning forudsætter, at fibre (træstof) er målt. Hvis fibre (træstof) imidlertid ikke er målt, vil den i stedet indgå i beregningen af kulhydrat (dvs. kulhydrat inkl. fibre (træstof)), der da er beregnet som: $NFE = \text{tørstof} - \text{protein} - \text{fedt} - \text{aske}$.

Vær også opmærksom på, at fosfor i nogle tilfælde vil være deklareret som procent af

foderets tørvægt, og i så fald skal omregnes til % vådvægt før værdien indtastes.

Fordøj.: Her er der indsat standardindstillede fordøjelighedsværdier (i procent) til brug i modellen. Det er muligt at ændre værdierne, hvis man har mere præcise oplysninger.

Tabel 2 i modellerne

Input produktions- og driftsparametre

Realiseret foderkonvertering (FK):	Her indtastes en samlet, observeret eller forventet FK (kg foder/kg produceret fisk) for det oplyste foder uden hensyntagen til foderspild.
Foderspild (estimeret, % af foder):	Her er indsat et default foderspild på 1% af foderet. Værdien kan ændres manuelt.
Korrigeret (biologisk) foderkonvertering ($FK_{\text{kor.}}$):	Modellen beregner en korrigeret FK på baggrund af det indtastede foderspild.
Rognprocent (kun i Produktionsbidragsmodellen for rognfisk i saltvand):	Her indtastes fiskenes rognprocent (som % af vådvægten). Den indsatte defaultværdi på 15 % kan ændres manuel hvis man har mere præcise værdier eller forventninger.
Foderforbrug (ton):	Modellen summerer her de indtastede fodermængder i tabel 1.
Produktion af fisk (ton):	Her beregnes den producerede mængde fisk på baggrund af den indtastede, realiserede FK og det samlede foderforbrug.

Følgende inputceller findes kun i Dambrugsmodellen

Slamkegler: nej=0, ja=1	Her indtastes værdien 0 hvis dambruget ikke har slamkegler, og værdien 1 hvis dambruget har installeret slamkegler.
Mikrosigter: nej=0, ja=1	Her indtastes værdien 0 hvis dambruget ikke har mikrosigter, og værdien 1 hvis dambruget har installeret mikrosigter. Rensegrader i mikrosigter (tabel 6) er baseret på 70-74 μm maskestørrelse i dugen. Der er for nuværende ikke empiriske data for andre maskevidder.
Biofilter: nej=0, fixed bed=1, moving bed=2	Her indtastes værdien 0 hvis dambruget ikke har et biofilter, værdien 1 hvis dambruget har et fixed bed biofilter, eller værdien 2 hvis dambruget har et moving bed biofilter
Biofilter: specifikke overfladeareal (m^2):	Her indtastes biofilteroverfladearealet. Modellen er udviklet til overfladearealer mellem 60.000 - 440.000 m^2 , og kan ikke umiddelbart forventes at give pålidelige resultater ved indsættelse af mindre/større arealer.
Plantelagune: nej=0, ja=1	Her indtastes værdien 0 hvis dambruget ikke har en plantelagune tilknyttet, og værdien 1 hvis dambruget har en plantelagune.
Plantelagune: overfladeareal (m^2):	Her indtastes plantelagunens overfladeareal. Modellen er udviklet til plantelagunearealer mellem 1.000 - 15.000 m^2 , og kan ikke umiddelbart forventes at give pålidelige resultater ved indsættelse af mindre/større arealer.
Flow til plantelagunen (l/s):	Her indtastes indløbsflowet til lagunen. NB. Vær opmærksom på at flow i området 15 l/s/100 ton foder/år har stor indvirkning på lagunens fjernelsesrater, idet modellen "springer" fra ét sæt ratekonstanter til et andet sæt ratekonstanter alt efter om flowet er \leq eller $>$ 15 l/s/100 ton foder/år (se evt. fanen "Lagune").

Tabel 3 i Dambrugsmodellen

Input indløbskoncentrationer

Prøve 1-26:	Her kan indtastes informationer om analyserede eller forventede næringsstofkoncentrationer (mg/l) i indløbsvandet. Der skal indtastes informationer for mindst én stikprøve (husk også at indtaste vandføringen), og der kan indtastes informationer for op til 26 stikprøver. Modellen beregner en vægtet, gennemsnitlig indløbskoncentration (mg/l) af de enkelte næringsstoffer til videre brug på baggrund af de indtastede koncentrationer, vandføringen (l/sek), og antallet af måledage som de enkelte analyserapporter antages at dække over.
Analyseperiode:	Her kan indtastes den periode (f.eks. datoer), stikprøveanalysen dækker over.
Antal "måledage" analysen dækker:	Her skal indtastes, hvor mange dage dataene/analysen dækker. Hvis der f.eks. indtastes data for 26 stikprøvedage, kunne antal dage for hver stikprøve være $365/26 = 14,04$ modelleringsdage pr. stikprøve. De indtastede antal dage summeres automatisk yderst til venstre i rækken.
Omregning af "måledage" til "årsdage"	Da modellen regner på årsbais, omregnes det indtastede antal måledag i række ovenover her til vægtede "årsdage", der altid summerer til 365.
Vandføring indløb (l/sek):	Her skal vandføringen målt på stikprøvetidspunktet indtastes.
Total N (mg/l):	Her skal indløbskoncentrationerne af total N (TN) indtastes.
Partikulært N (mg/l):	Partikulært N er standardindstillet til 8 % af total N. Andelen er baseret på forskellen mellem TN og $(\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N})$ målt i indtagsvandet på de dambrug, der indgik i Modeldambrugsprojektets 2. måleår (Svendsen et al., 2008). Den gennemsnitlige koncentration, baseret på 73 målepunkter fordelt på 7 dambrug, var $0,17 \pm 0,17$ mg partikulært N/l, og gennemsnittet vægtet med vandføringen var 0,18 mg partikulært N/l. Værdien af partikulært N kan ændres manuelt hvis man har mere præcise værdier eller forventninger. Vær i så fald opmærksom på, at summen af partikulært N og opløst N ikke må overstige total N.
Opløst N (mg/l):	Opløst N beregnes i modellen som differencen mellem total N og partikulært N.
Ammonium N (TAN, mg/l):	Her skal indløbskoncentrationerne af TAN indtastes.
$\text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$ (mg/l):	Værdien er standardindstillet som differencen mellem opløst N og TAN. Værdierne kan ændres manuelt. Vær i så fald opmærksom på at $\text{TAN} + \text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$ ikke må overstige opløst N.
Total P (mg/l):	Her skal indløbskoncentrationerne af total fosfor (TP) indtastes.
Partikulært P (mg/l):	Partikulært fosfor beregnes i modellen som differencen mellem total P og ortho-P. Værdien kan ændres manuelt. Vær i så fald opmærksom på at summen af partikulært P og ortho-P ikke må overstige total P.
Ortho-P (mg/l):	Ortho-P er standardindstillet til 30 % af total P. Andelen er baseret på forholdet mellem målte total P og ortho-P koncentrationer i indtagsvandet på dambrug, der indgik i Modeldambrugsprojektets 2. måleår (Svendsen et al., 2008). Her var den gennemsnitlige koncentration, baseret på 85

målepunkter fordelt på 7 dambrug, $0,071 \pm 0,070$ mg partikulært P/l, mens gennemsnittet vægtet med vandindtaget var $0,094$ mg partikulært P/l. Værdien af ortho-P kan ændres manuelt. Vær i så fald opmærksom på at summen af ortho-P og partikulært P ikke må overstige total P.

Total BI_5 (mg/l):	Her skal indløbskoncentrationerne af total BI_5 indtastes.
Partikulært BI_5 (mg/l):	Partikulært BI_5 er standardindstillet til at følge fordelingen i baggrundskoncentrationerne (C^*) mellem partikulært BI_5 og opløst BI_5 (se afsnit 6.7). Værdien kan ændres manuelt. Vær i så fald opmærksom på at summen af partikulært BI_5 og opløst BI_5 ikke må overstige total BI_5 .
Opløst BI_5 (mg/l):	Opløst BI_5 er standardindstillet som differencen mellem total BI_5 og partikulært BI_5 . Værdien kan ændres manuelt. Vær i så fald opmærksom på at summen af partikulært BI_5 og opløst BI_5 ikke må overstige total BI_5 .
Total COD (mg/l):	Total COD er standardindstillet til $11,8$ gange total BI_5 baseret på forholdet mellem målte BI_5 og COD koncentrationer i indtagsvandet på dambrug, der indgik i Modeldambrugsprojektet (Svendsen et al., 2008). Den gennemsnitlige BI_5 koncentration, baseret på 87 målepunkter fordelt på 7 dambrug, var her $1,02 \pm 0,59$ mg BI_5 /l, mens gennemsnittet vægtet med vandføringen var $1,00$ mg BI_5 /l. Den gennemsnitlige COD koncentration, baseret på de samme 87 målepunkter, var $9,86 \pm 4,62$ mg COD/l, og gennemsnittet vægtet med vandføringen var $11,76$ mg COD/l. Værdien af total COD kan ændres manuelt.
Partikulært COD (mg/l):	Partikulært COD er standardindstillet til at følge fordelingen i baggrundskoncentrationerne (C^*) mellem partikulært COD og opløst COD (se afsnit 6.7). Værdien kan ændres manuelt. Vær i så fald opmærksom på at summen af partikulært COD og opløst COD ikke må overstige total BI_5 .
Opløst COD (mg/l):	Opløst COD er standardindstillet som differencen mellem total COD og partikulært COD. Værdien kan ændres manuelt. Vær i så fald opmærksom på at summen af partikulært COD og opløst COD ikke må overstige total COD.

Supplerende oplysninger fra rekvirenten

Fiskebestand (kg):	Her kan fiskebestanden i anlægget på stikprøvetidspunktet indtastes.
Fodertype:	Her kan navnet på den væsentligste fodertype anvendt på stikprøvetidspunktet indtastes. Fodertypen skal stemme overens med en af de op til 5 fodertyper indtastet i tabel 1.
Fodermængde (kg):	Her kan mængden af foder udfodret umiddelbart forud for stikprøveudtagningen indtastes.

Supplerende oplysninger fra analyselab

Analyselaboratorium:	Her kan indtastes, hvem der har udført stikprøveanalysen.
Dato for prøvetagning (dd.mm.yy):	Her kan indtastes informationer om datoen for stikprøveudtagningen (dag:måned:år).
Klokkeslæt for prøveudtagning (hh:mm):	Her kan indtastes information om tidspunktet for stikprøveudtagningen (time:minut).

Vandtemperatur (gr. C): Her kan stikprøvens vandtemperatur indtastes.
Iltmætning (%): Her kan stikprøvens iltmætning indtastes.

6. Modeloutput

6.1. Oversigt over det samlede output

Tabel 4 på IND-UD fanen giver en oversigt over det samlede produktionsbidrag samt den forventede udledning (kun relevant for Dambrugsmodellen) baseret på de indtastede data. Værdierne i tabellen summerer de vigtigste output fra andre faneblade. Produktionsbidraget er en samlet oversigt over mængden af de forskellige næringsstoffer, der stammer fra selve fiskeproduktionen. Værdierne er hentet fra fanen "PB-beregninger", hvor de er beregnet på baggrund af indtastede værdier i tabel 1 og 2.

Der gøres opmærksom på, at især urinstof ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), og for så vidt også andre N-forbindelser, ultimativt nedbrydes til ammonium. På grund af den umiddelbare dannelse af ammonium fra urinstof, bør denne indregnes som et NH_4^+ -N bidrag i det samlede produktionsbidrag.

I rensemodellen tillægges endvidere "andre N-forbindelser" (IND-UD fanen tabel 4) idet disse også ultimativt vil nedbrydes til ammonium i dambrugets renseforanstaltninger. De kommer dermed reelt til at indgå i det samlede ammoniumregnskab.

Brutto- og nettoudløbet ("Udledning") fra dambruget er hentet hhv. fra Lagune-fanen og Rensegrad-fanen, og viser det af modellen beregnede udløb fra dambruget af et givent næringsstof på forskellig form. Bruttoudledningen er den samlede beregnede udløbsmængde fra lagunen af et givent næringsstof i hele modelleringsperioden efter at vandet har passeret de forskellige renseforanstaltninger. Nettoudledningen er den beregnede udløbsmængde fra lagunen af et givent næringsstof i hele modelleringsperioden fratrukket bidraget fra indløbsvandet, dvs. nettoudledningen viser den udledning, der tilskrives produktionsbidraget.

Den specifikke udledning er hentet fra Rensegrad-fanen, og viser udledningen af et givent næringsstof over hele modelleringsperioden opgjort enten i forhold til mængden af produceret fisk, eller i forhold til mængden af anvendt foder.

6.2. Slamkegler

Modellen er sat op til at skelne i de standardindstillede rensegrader i Slamkegle-fanen mellem dambrug, der har hhv. ikke har installeret mikrosigter på baggrund af, om man har tastet "0" (for ingen mikrosigter) eller "1" (for mikrosigter) i tabel 2 i IND-UD fanen. Dette er gjort for at tage højde for, at det samme slam ikke både kan fjernes i slamkeglerne og i mikrosigten. Det kan kun fjernes én gang. Rensegraderne i slamkeglerne for dambrug uden mikrosigte er baseret på resultaterne fra fire dambrug i Modeldambrugsprojektets 2. måleår, mens rensegraderne i slamkeglerne for dambrug med mikrosigte er baseret på resultaterne fra to dambrug i samme projekt. Rensegraderne er indtil videre sat til at fjerne en fast andel (%) af et givent stof. De kan ændres manuelt, hvis man har mere præcise værdier. Vær i så fald opmærksom på om rensegraderne i Mikrosigte-fanen også skal korrigeres.

6.3. Mikrosigter

Modellen sætter automatisk de standardindstillede rensegrader i Mikrosigte-fanen til "0", hvis dambruget ikke har installeret mikrosigter, dvs. hvis man har tastet "0" ud for mikrosigter i tabel 2 i fanen IND-UD. Hvis man i stedet har tastet "1" for at indikere, at dambruget har mikrosigter, baseres de standardindstillede rensegrader på resultaterne fra to dambrug i Modeldambrugsprojektets 2. måleår, med mikrosigter med 70-74 μm maskevidde i dugen. Rensegraderne er indtil videre sat op til at fjerne en fast andel (%) af et givent stof. De kan ændres manuelt, hvis man har mere præcise værdier. Vær i så fald opmærksom på om rensegraderne i Slamkegle-fanen også skal korrigeres. Der foreligger ikke for nuværende empiriske data for andre maskevidder.

6.4. Bioskyl

De standardindstillede rensegrader i Bioskyl-fanen bruges til at beregne, hvor meget stof der fjernes over i slambeddet ved returskylning af fixed bed biofiltre, og hvor meget der bliver tilbage i produktionsanlægget. Rensegraderne er baseret på resultaterne fra fem dambrug i

Modeldambrugsprojektets 2. måleår. Rensegraderne er indtil videre sat op til at fjerne en fast andel (%) af et givent stof. De kan ændres manuelt, hvis man har mere præcise værdier.

6.5. BioOmsætn

De arealafhængige, standardindstillede rensegrader i fanen "BioOmsætn" bruges til at beregne, hvor stor en fjernelse/omsætning af et givent stof, der sker i biofilteret. De er baseret på gennemsnittet af seks dambrug i Modeldambrugsprojektets 2. måleår, og kan ændres manuelt, hvis man har mere præcise værdier for et givent anlæg.

Fjernelsen afhænger af det indtastede biofilteroverfladeareal (IND-UD fanen, tabel 2), samt det samlede antal måledage i IND-UD fanen tabel 3. Modellen regner med, at det TAN der "fjernes" i biofilteret omdannes til NO_2^- -N og NO_3^- -N (nitrifikation). Endvidere er modellen sat op til, at der kan indsættes en fjernelse (denitrifikation) af NO_3^- -N i biofilteret. I Modeldambrugsprojektet blev der målt en gennemsnitlig fjernelse på $0,045 \text{ g/m}^2/\text{dag}$. Nyere data og optimerede driftsmetoder antyder dog, at der ikke sker nævneværdig denitrifikation i biofiltrene, og værdien er derfor sat til $0,0 \text{ g/m}^2/\text{dag}$. Den kan ændres manuelt, hvis man har mere præcis viden eller forventninger.

Den overfladespecifikke fjernelse af ammonium ($0,18 \text{ g/m}^2/\text{dag}$) afspejler den i Modeldambrugsprojektet realiserede fjernelse (gns. $0,15 \text{ g/m}^2/\text{dag}$) justeret for efterfølgende optimeringer i praktisk drift dokumenteret ved flere efterfølgende målinger. Såfremt driftsbetingelserne optimeres, kan denne værdi øges betragteligt (op mod $0,5 \text{ g/m}^2/\text{dag}$). Der er ikke p.t. i modellen indsat parameterindtastning og parameterafhængig omsætning.

IF/THEN regler sørger for, at der ikke kan omsættes mere TAN eller fjernes mere organisk stof (B_5 og COD) i biofilteret, end der tilføres.

6.6. Slambed

Slambedet modtager i modellen input fra slamkeglerne, fra biofilterreturskyl (hvis dambruget bruger fixed bed biofiltre) samt mikrosigteskyl. Modellen regner med at 20 % af den NO_2^- -N og NO_3^- -N, der fjernes fra slambedet, går "tilbage" på NH_4^+ -N form (især via dissimilativ nitrat reduktion), ligesom 61 % af det partikulære N der fjernes, nedbrydes til TAN. Dvs. at "puljen" af TAN vokser i slambedet = der fraføres via overløbet mere TAN end der tilføres.

De standardindstillede rensegrader mv. er baseret på gennemsnittet af tre dambrug i Modeldambrugsprojektets 2. måleår, og kan ændres manuelt, hvis man har mere præcise værdier.

6.7. Lagune

Lagunen modtager i modellen input fra produktionsenhederne (BioOmsætn-fanen) og slambedet (klaringsvand, Slambed-fanen). Fjernelse af næringsstoffer i lagunen (tabel 10-1) modelleres vha. en ofte anvendt ligning til beregning af fjernelse af næringsstoffer i plantelaguner (Kadlec and Knight, 1996; Kadlec, 1997):

$$9) \quad \left(\frac{C_{OUT} - C^*}{C_{IN} - C^*} \right) = C_{IN} \cdot e^{(-k_A/q)}$$

Ligningen kan omskrives til:

$$10) \quad C_{OUT} = C_{IN} \cdot e^{(-k_A/q)}$$

hvor C_{OUT} er koncentrationen af stof ud af lagunen, C_{IN} er koncentrationen af stof ind i lagunen, C^* er baggrundskoncentrationen af det enkelte næringsstof ($\text{mg/l} = \text{g/m}^3$), k_A er en førsteordens ratekonstant for omsætningen af stoffet (m/d), og q er den hydrauliske overfladebelastning ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d} = \text{m/d}$).

Baggrundskoncentrationen (C^*) for det enkelte næringsstof repræsenterer en værdi, som koncentrationen i princippet aldrig kan komme under. Den repræsenterer således den teoretisk laveste koncentration af næringsstoffet i et naturligt system. Baggrundskoncentrationerne er i modellen fastlagt med udgangspunkt i danske naturvandløbsdata ("NOVANA: Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen". Naturstyrelsen, Miljøministeriet). Værdierne kan ændres manuelt, hvis man har mere præcise værdier eller forventninger.

Ratekonstanterne (k_A -værdierne) for omsætningen af de enkelte næringsstoffer er fastlagt ved at kalibrere modellen (vha. "Solverfunktionen" i Microsoft Excel) til målte lagunedata fra hhv. to model 1 og et model 3 dambrug. Værdierne kan ændres manuelt, hvis man har mere præcise værdier eller forventninger.

Modellen vælger k_A -værdierne på baggrund af dambrugets indtastede foderforbrug samt flow til plantelagunen. Modellen "springer" således fra ét sæt ratekonstanter til et andet sæt ratekonstanter alt efter om flowet er \leq eller > 15 l/s/100 ton foder/år (se evt. fanen "Lagune"). Vær derfor opmærksom på, at flow i området 15 l/s/100 ton foder/år har stor indflydelse på lagunens fjernelsesrater.

Modellen beregner den hydrauliske overfladebelastning (q) ud fra flowet ind i lagunen (l/s omregnet til m^3/d) samt lagunens overfladeareal (m^2) indtastet i tabel 2 på IND-UD fanen.

Ved hjælp af den årlige vandføring ("årsflow") er de beregnede koncentrationer omsat til årlige mængder (kg), der betegnes som intern fjernelse. Den sidste kolonne i Lagune-fanen viser det totale udløb (totale mængde) fra dambruget af et givent næringsstof summeret hen over den modellerede periode/året.

6.8. Rensegrad

I tabel 11 i Rensegrad-fanen er rensegraderne delt op i brutto- (R_B , %) og netto rensegrader (R_N , %), beregnet som beskrevet i boks 3.

Tabel 12 i Rensegrad-fanen (Fjernelse af næringsstoffer i forskellige rensekomponenter (kg)) er en samlet oversigt over, hvor meget af et givent næringsstof der fjernes i de enkelte rensekomponenter.

BOKS 3. Beregning af brutto – og netto rensegrader

- P = produktionsbidrag af et givent næringsstof
- I = input via indtagvand af et givent næringsstof
- U_M = den beregnede, forventede udledning af et givent næringsstof fra dambruget
- U_N = dambrugets nettoudledning af et givent næringsstof, dvs. $U_N = U_M - I$
- S_N = tilbageholdelsen over hele dambruget af et givent næringsstof stammende fra fiskeproduktionen, dvs. $S_N = P - U_N$

Beregning af bruttorensgraden

Bruttorensgraden (R_B , %) viser tilbageholdelsen over hele dambruget af et givent næringsstof fra fiskeproduktionen (S_N) i forhold til den samlede næringsstofftilførsel (dvs. bidrag fra indløbsvandet + bidrag fra fiskeproduktionen).

$$R_B (\%) = ((P - U_N)/(I + P)) * 100 = (S_N/(I + P)) * 100$$

Beregning af netto rensegraden

Nettorensgraden (R_N , %) viser tilbageholdelsen (S_N) over hele dambruget af et givent næringsstof fra fiskeproduktionen i forhold til produktionsbidraget af stoffet

$$R_N (\%) = ((P - U_N)/P) * 100 = S_N/P * 100$$

NB! Det er muligt for nettorensgraden af et givent næringsstof at blive større end 100 % hvis renseforanstaltningerne, ud over at frarensere produktionsbidraget af næringsstoffet, også fjerner noget af bidraget fra indløbsvandet (dvs. hvis $U_M < I$).

6.9. PB-beregninger

Fanen beskriver beregningen af produktionsbidraget af kvælstof (N), fosfor (P) og organisk stof på hhv. opløst og partikulær form. En nærmere beskrivelse af beregningerne for COD og BI₅ kan ses i boks 1.

6.10. Forudsætninger

Værdierne i fanen bruges i beregningerne af produktionsbidraget.

Referencer

- Brafield, A.E. 1985. Laboratory studies of energy budgets, in: Tytler, P., Calow P. (Eds.), Fish energetics: New perspectives, Croom Helm Ltd., London, UK, pp. 257-281.
- Brett, J.R., Groves, T.D.D. 1979. Physiological energetics, in: Hoar, W.S., Randall, D.J., Brett, J.R. (Eds.), Fish Physiology vol. VIII. Bioenergetics and Growth, Academic Press, London, pp. 279-352.
- Bureau, D.P., Hua, K. 2010. Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. Aquaculture Research 41: 777-792.
- Christensen, K.D., Horsted, K. 1991. Miljøbelastning fra havbrug og saltvandsdambrug. Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelse, DFH rapport nr. 397-1991, 90 pp.
- Dalsgaard, J. and Pedersen, P.B. 2011. Solid and suspended/dissolved waste (N, P, O) from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 313(1-4): 92-99.
- ISO 6491, 1998. Animal feeding stuffs - Determination of phosphorus content - Spectrometric method. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 5983-2, 2005. Animal feeding stuffs - Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content - Part 2: Block digestion/steam distillation method. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Kadlec R.H. 1997. Deterministic and stochastic aspects of constructed wetland performance and design. Water Science and Technology 35(5): 149-56.
- Kadlec R.H., Wallace, S.D. 2009. Treatment wetlands. 2nd ed., CRC Press, Boca Raton, USA.
- Kajimura, M., Croke, S.J., Glover, C.N., Wood, C.M. 2004. Dogmas and controversies in the handling of nitrogenous wastes: The effect of feeding and fasting on the excretion of ammonia, urea and other nitrogenous waste products in rainbow trout. Journal of Experimental Biology 207, 1993-2002.
- NMKL 23, 1991. Moisture and ash. Gravimetric determination in meat and meat products. Nordic Committee on Food Analysis, Oslo, Norway.
- Olson, K.R., Fromm, P.O. 1971. Excretion of urea by two teleosts exposed to different concentrations of ambient ammonia. Comparative Biochemistry and Physiology - Part A 40: 999-1007.
- Smith, H.W., 1929. The excretion of ammonia and urea by the gills of fish. The Journal of Biological Chemistry 81: 727-742.
- Svendsen, L.M., Sortkjær, O., Ovesen, N.B., Skriver, J., Larsen, S.E., Bouttrup, S., Pedersen, P.B., Rasmussen, R.S., Dalsgaard, A.J.T., Suhr, K. 2008. Modeldambrug under forsøgsordningen. Faglig slutrapport for måle- og dokumentationsprojekt for modeldambrug. DTU Aqua-rapport nr.: 193-08.
- Talbot, C. 1985. Laboratory methods in fish feeding and nutritional studies, in: Tytler, P., Calow P. (Eds.), Fish energetics: New perspectives, Croom Helm Ltd., London, UK, pp. 125-154.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J. 2002. Recirculating Aquaculture Systems 2nd edition. Northeastern Regional Aquaculture Center (NRAC) publication no. 01-002,
- Walsh, P.J, Mommsen, T.P. 2001. Evolutionary considerations of nitrogen metabolism and excretion, in: Wright, P.A., Anderson, P.M. (Eds.), Nitrogen Excretion, Fish physiology 20: 1-30.
- Wood, C. 2001. Influence of feeding, exercise, and temperature on nitrogen metabolism and excretion, in: Wright, P.A., Anderson, P.M. (Eds.), Nitrogen Excretion, Fish physiology 20: 201-238.
- Wright, P.A., Land, M.D. 1998. Urea production and transport in teleost fishes. Comparative Biochemistry and Physiology Part A - Molecular & Integrative Physiology 119: 47-54.

Bilag 1. Fordeling af kvælstof på forskellige former

Tabel 1 viser fordelingen af opløst og suspenderet kvælstof på forskellige fraktioner brugt i modellen til at beregne produktionsbidraget af de forskellige kvælstofformer. Fordelingen er baseret på interne studier ved DTU Aqua samt litteraturværdier. Det relative indhold af ammonium-N (71 %) i tabellen og i modellen er baseret på et gennemsnit af målte værdier i ufiltreret vand fra et forsøg med tre kommercielle fodertyper (Ecolife 20 fra Biomar, 576 BM XS fra Aller Aqua, og Dan-Ex 2844 fra Dana Feed). Værdien dækker over en vis variation mellem fodertyperne, varierende fra 64 til 79 % (se Dalsgaard and Pedersen, 2011). Et senere forsøg (ikke publiceret) med et kontrolfoder viste tilsvarende genfinding af total-N på $\text{NH}_4\text{-N}$ form i ufiltreret vand (67 %). I dette forsøg blev der også målt på filtret vand, og her svarede genfindingen af total-N på $\text{NH}_4\text{-N}$ form til 82 %.

Tabel 1. Fordelingen af opløst og suspenderet kvælstof på forskellige N-former i produktionsbidragsmodellen for regnbueørreder (200-800 g/stk, ferskvand)

Kvælstoffraktion	(%)
Opløst + suspenderet kvælstof totalt (TN)	100
• heraf ammonium-N ($\text{NH}_4\text{-N}$)	71
• heraf urinstof	10
• heraf nitrit og nitrat ($\text{NO}_2\text{-N}$ og $\text{NO}_3\text{-N}$)	0
• heraf andre N-forbindelser	19

Smith (1929) viste allerede tilbage i 1929, at fisk (baseret på forsøg med karper og guldfisk) udskiller 6-10 gange mere kvælstof over gællerne end via nyrerne. Han beskrev, at hovedparten af kvælstofudskillelsen sker ved diffusion over gællerne i form af ammonium, urea ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$), og aminer eller aminosyredrivater, mens mindre diffunderbare stoffer som creatin, creatinin og urinsyre udskilles via nyrerne. Han kunne i samme studie ikke nærmere karakterisere 15-28 % af kvælstoffet i vandfraktionen.

Ifølge Walsh and Mommsen (2001) samt Wood (2001), har langt størstedelen af alle efterfølgende studier om N-udskillelse i fisk primært målt på udskillelsen $\text{NH}_4\text{-N}$ og urea, på trods af, at der generelt er fundet store afvigelser mellem total-N og summen af ammonium-N + urea-N. Timmons et al. (2002) skriver da også, at TAN udgør 90 % af det udskilte kvælstof, mens urea udgør 10 % (i ferskvandsfisk). Bureau and Hua (2010) nævner samme værdier: "*Ammonia represents approximately 80-90 % of nitrogenous metabolic wastes of fish and crustacean.... Urea generally only represents about 10 % of dissolved N waste (DWN) outputs of fish (Kaushik and Cowey 1991)*". Til sammenligning fandt Wright and Land (1998), at 20-25 % af udskilt total-N (målt som ammonium + urea-N) udskilles som urea-N i ørredyngel.

Ligesom Smith (1929) og senere Olson and Fromm (1971) forsøgte Kajimura et al. (2004) at karakterisere sammensætningen af den ukendte N-fraktion i vandfasen, og fandt/diskuterede at:

- En signifikant andel af aminosyre-N udskilles formentlig over gællerne (4-10 %), mens udskillelsen via tarmen synes minimal
- En stor andel af protein-N synes at stamme fra slim (3-10 %), mens der formentlig sker en minimal udskillelse via tarmen
- Udskillelse af N via urin blev ikke målt, men forventedes baseret på et litteratur-review af Wood (1995) ikke at bidrage nævneværdigt
- Det kan ikke udelukkes, at signifikante mængder af ammonia-N og urea-N udskilles over tarmvæggen ("ægte", metaboliseret N, f.eks. fra N-omsætning i tarmvævet). Alternativt kunne N udskilt denne vej stamme fra ikke-absorberet N omsat og udskilt af tarmbakterier
- Noget af det ubestemte N forefindes evt. som små peptider, der findes i store mængder i vævet hos mange fisk
- Forfatterne fandt, at andelen af ubestemt N syntes at stige i takt med øget fodring (nåede 63 % i fisk fodret med 5 % pr. dag) og diskuterede, at dette formentlig skyldtes øget andel af ikke-oxiderede N-produkter

Kajimura et al. (2004) summerede desuden, hvad der er fundet i tidligere studier. Resultaterne er gengivet i tabel 2. Tabellen konfirmerer, at størstedelen af kvælstoffet udskilles som ammonia-N og

urea-N, mens andelen af "ubestemt total-N" typisk udgør mellem 10-20 % i fodrede fisk. Kajimura et al. (2004) diskuterede, at den store andel af "ubestemt total-N", især i tidligere studier, formentlig delvist skyldes brug af målemetode.

Tabel 2. Fordeling af opløst total-N på forskellige N former (%) fundet i forsøg med regnbueørreder. Uddrag fra tabel 5 i Kajimura et al. (2004)

Reference	Olson & Fromm (1971) Sultede fisk	Beamish & Thomas (1984) ^a	De Boeck et al. (2001) ^b Fodrede fisk	Kajimura et al. (2004) Sultede fisk	Kajimura et al. (2004) Fodrede fisk
Ammonia-N	27.0-51.9	52.4	32.1	66.4	62.2
Urea-N	18.7-33.3	36.4	4.3	10.3	7.5
Creatinine-N	- ^c	-	-	0.4	1.1
Creatine-N	-	-	-	0.2	0.3
TMAO + TMA	-	-	-	-	-
Uric acid	-	-	-	-	-
Nitrite + nitrate	-	-	-	-	-
Amino acid-N	-	-	-	4.1	7.2
Protein-N	21.9-33.0	-	-	3.1	4.2
Unknown	1.2-10	11.2	63.6	15.5	17.5

^a Ifølge Wood (2001), er dette studie af Beamish and Thomas (1984) det seneste, grundige forsøg om N-budgetter baseret på individuelle fisk frem til 2001, og konklusionerne fra studiet forbliver valide frem til "i dag" (2001).

^b Kajimura et al. (2004) gengav disse tal ud fra aflæsning af søjlediagrammer i artiklen af De Boeck et al. (2001). Det har ikke umiddelbart været muligt at nå frem til helt de samme værdier, men De Boeck et al. (2001) nævner selv i teksten, at koncentrationen af total-N var omtrent dobbelt så høj som summen af målt ammonium-N og urea-N. Forfatterne forsøgte ikke at karakterisere andre N-forbindelser.

^c Ikke bestemt.

Bilag 2. N og P indhold i forskellige væv fra regnbueørreder (rognfisk) hen over en produktionscyklus i saltvand

Tabel 1. Kvælstof (N) -og fosforindhold (P) i væv fra fisk udtaget fra et landbaseret saltvandsforsøgsanlæg (gns. \pm SD, n = 9-10)

Dato	Vådvægt (g)	N indhold (%)				Fosforindhold (%)			
		Rogn	Indvolde	Skrog ^a	Fisk total	Rogn	Indvolde	Skrog ^a	Fisk total
29-09-2014	1653,4 \pm 405,9	3,60 \pm 0,32	1,14 \pm 0,33	2,81 \pm 0,10	2,60 \pm 0,07	0,344 \pm 0,020	0,129 \pm 0,037	0,419 \pm 0,020	0,378 \pm 0,020
20-10-2014	2060,0 \pm 420,1	4,05 \pm 0,17	1,39 \pm 0,19	2,78 \pm 0,05	2,66 \pm 0,09	0,388 \pm 0,017	0,165 \pm 0,021	0,426 \pm 0,049	0,380 \pm 0,029
19-11-2014	2442,6 \pm 351,6	4,43 \pm 0,19	1,45 \pm 0,23	2,76 \pm 0,10	2,78 \pm 0,07	0,415 \pm 0,018	0,175 \pm 0,028	0,404 \pm 0,030	0,376 \pm 0,022
17-12-2014	2538,7 \pm 458,9	4,40 \pm 0,16	1,46 \pm 0,35	2,76 \pm 0,05	2,87 \pm 0,05	0,412 \pm 0,021	0,184 \pm 0,048	0,393 \pm 0,019	0,375 \pm 0,022

^a Hel fisk minus indvolde (inkl. lever) og rogn.

Tabel 2. Kvælstof (N) -og fosforindhold (P) i væv fra fisk udtaget fra et kommercielt havbrug (gns. \pm SD, n = 10)

Dato	Vådvægt (g)	N indhold (%)				Fosforindhold (%)			
		Rogn	Indvolde	Skrog ^a	Fisk total	Rogn	Indvolde	Skrog ^a	Fisk total
18-09-2014	2496,0 \pm 534,1	3,88 \pm 0,50	-	2,63 \pm 0,06	-	0,367 \pm 0,050	-	0,357 \pm 0,024	-
22-10-2014	3221,1 \pm 413,9	4,54 \pm 0,08	1,02 \pm 0,13	2,90 \pm 0,07	2,87 \pm 0,04	0,431 \pm 0,012	0,116 \pm 0,020	0,410 \pm 0,026	0,386 \pm 0,022
26-11-2014	3031,3 \pm 252,9	4,52 \pm 0,08	1,44 \pm 0,36	2,79 \pm 0,08	2,92 \pm 0,11	0,427 \pm 0,008	0,170 \pm 0,041	0,399 \pm 0,029	0,389 \pm 0,024
07-01-2015	2848,1 \pm 348,2	4,58 \pm 0,19	1,62 \pm 0,33	2,75 \pm 0,09	2,96 \pm 0,09	0,431 \pm 0,019	0,194 \pm 0,036	0,428 \pm 0,026	0,414 \pm 0,023

^a Hel fisk minus indvolde (inkl. lever) og rogn