

Del-bidrag fra Danmarks Fiskeriundersøgelser (DFU) til afrapportering af

Projekt FREA

Udredning af de kommercielle og tekniske muligheder for at opdrætte ørreder i fuldt recirkulerede akvakulturanlæg

Nærværende notat skal indgå som en del af afrapporteringen af ovennævnte projekt til Direktoratet for Fødevarerhverv. Øvrige dele er indeholdt i andre notater som f.eks. afledning af slam og spildevand. Den endelige rapport vil blive skrevet sammen af Kurt Malmbak Kjeldsen (KMK ApS) på vegne af Dansk Akvakultur (DA).

Baggrund

Ansøgningen til nærværende projekt var baseret på ønsket om en vurdering af et oplæg til en årlig produktion af 3.000 tons portionsørreder i et lukket recirkulationsanlæg.

Da der som nævnt her er tale om en delrapport, vil projektets baggrund ikke blive omtalt eller uddybet i dette notat. Projektets hovedprincipper skal dog nævnes, da langt de fleste har haft betydning for DFU's gennemgang af de planlagte og delvist beskrevne forhold internt i opdrætsanlægget.

Projektet har været tænkt planlagt efter følgende hovedprincipper:

- Årlig produktion af 3.000 tons regnbueørreder i størrelsen 300 – 500 g/stk.
- Intet vandindtag fra vandløb
- Ingen direkte udledning til vandløb, søer eller havet
- Marginal miljøpåvirkning
- Optimale vilkår for fiskebestanden under opvæksten
- Rentabel drift
- Markedsorienteret produktion
- Økologisk produktion
- Bedste arbejdsmiljø for medarbejdere
- Placering i udkantsområder

Arbejdet med at vurdere oplægget til den påtænkte produktion samt identifikation af områder, der trænger til yderligere afklaring har været fordelt blandt flg. institutioner og firmaer:

- Vandindtag – DHI
- Indretning, drift og rensning – DFU
- Udledninger fra produktionsanlæg – DFU
- Udledninger til miljø (slam, nedsivning, vandløb m.v.) – DHI
- Veterinære forhold – SAF (Sektion for Akvakultur, Fødevareregion Syd)
- IT og software – DHI
- Management – DA
- Økonomi – DA
- Samfundsmæssige konsekvenser – KMK ApS
- Samfundsøkonomisk analyse – IMV (Institut for Miljøvurdering)

Indledning

Projektet oplægget til et fuldt recirkuleret produktionsanlæg med en kapacitet på 3.000 tons ørreder pr. år var på en række punkter meget konkret, mens andre faktorer og parametre var mere løst beskrevet.

DFU's opgave i projektet har været at vurdere de interne produktionsforhold i det påtænkte anlæg. Igennem projektføreløbet har det imidlertid vist sig, at såfremt anlægget etableres, vil

det formentlig ikke blive i den oprindelige version, der indeholdt delvist uprøvet elementer, men i stedet et mere konventionelt recirkulationsanlæg, i tråd med det, som i dag opbygges af danske anlægsleverandører.

Denne udvikling har medført, at den gennemførte vurdering af anlægget og de bagved liggende forudsætninger har fået et mere generelt tilsnit.

Recirkuleringsgrad

Når der tales om recirkulering og fuld recirkulering er det vigtigt, at termerne defineres, idet der kan opstå forvirring herom.

I forbindelse med modeldambrugene er recirkuleringsgraden eller –procenten et udtryk for genanvendelsen af det totale vandflow pr. time. Indenfor åleopdræt, er recirkuleringsprocenten et udtryk for den del af den samlede vandmængde, der genanvendes pr. døgn.

Fra officiel side mangler der i Danmark en helt præcis og opdateret definition af begrebet. Det nærmeste, man kommer en definition, er Miljøstyrelsens Vejledning Nr. 3 fra 1993 vedr. "Godkendelse af listevirksomheder" hvori der står:

Åle- og skaldyrsdambrug med fuld recirkulation er undtaget fra godkendelsespligten, fordi disse dambrug ikke medfører væsentlig forurening. Ved begrebet "fuld recirkulation" forstås anlæg, hvor mindst 90 % af vandvoluminet recirkuleres. Der må således kun ske udtag af slam og/eller op til 10 % overskudsvand. For overskudsvand og slam gælder, at det skal tilstræbes udbragt på landbrugsjord i overensstemmelse med de gældende regler herom. Ønskes der udledt spildevand (overskudsvand) fra ikke-godkendelsespligtige åleopdrætsanlæg, skal der indhentes tilladelse hertil efter miljøbeskyttelsesloven kapitel 4. Det forudsættes, at der ikke gives tilladelse til udledning direkte til recipient.

Da definitionen ikke indeholder en tidsfaktor (10 % overskudsvand pr. hvilken tidsenhed ?) er den ikke praktisk anvendelig. Man kunne antage, at der menes 10 % af vandvoluminet pr. døgn - dette svarer dog ikke til at 90 % af vandvoluminet recirkuleres.

Da "FREA" er et fuldt recirkuleret akvakulturanlæg, vil det i dette projekts sammenhæng blive betragtet som anlæg, der i gennemsnit ikke udskifter mere end 10 % af vandvoluminet pr. døgn. Ligeledes må det udskiftede slam og vand ikke udledes direkte til recipient.

I det konkrete opdrætsprojekt, som nærværende vurdering i et vist omfang forholder sig til, overvejes det periodevis af kølemæssige årsager at skifte mere end 10 % af vandvoluminet pr. dag. Da det samlede indhold af kvælstof (N), fosfor (P) og organisk stof imidlertid vil være konstant, anses det øgede vandforbrug ikke at være kritisk.

Som det vil fremgå senere i teksten kan anlægget beregnes til under de givne forudsætninger at have et samlet vandvolumen på mindst 22.000 m³. En udskiftning på 10 % af dette vandvolumen pr. døgn svarer til 25,5 liter/sekund.

Driftsprincip "alt ind/alt ud"

I opdrætsprojektet er det beskrevet, at man ønsker at drive anlægget efter princippet "alt ind/alt ud". Begrundelsen herfor er, at man vil minimere risikoen for sygdomsspredning mellem de forskellige hold fisk. Princippet er fornuftigt rent veterinærmæssigt, hvorimod det typisk vil give uforholdsmæssigt store udgifter til investering og drift.

Skal alt ind/alt ud opdræt praktiseres, vil det kræve, at produktionsafsnittene er fuldstændig adskilte, ikke blot i vandmæssig sammenhæng, men også i forskellige bygninger/lokaler med sluser imellem, ligesom mandskab, redskaber, sorteringssystemer og andet udstyr skal desinficeres ved brug i flere enheder.

Danmarks Fiskeriundersøgelser

Det kan umiddelbart anbefales, at separere klækkeriet som en særskilt enhed. Ligeledes bør de mindste fisk også gå i separate enheder, mens der herefter må foretages en afvejning af hvor langt man kan og vil gå i forfølgelsen af dette driftsprincip. De veterinære aspekter er beskrevet andetsteds i nærværende rapport, og vil derfor ikke blive omtalt her.

Erfaringer fra anlæg, der drives med intensiv recirkulation, viser ofte, at helt nye/rengjorte anlæg og biofiltre giver en bedre drift end "gamle" anlæg. Skønt hidtil ikke hverken forklaret eller behørigt dokumenteret, kunne dette forhold tale for alt ind/alt ud produktion, men der savnes en detaljeret og dokumenteret gennemgang af den samlede driftsøkonomi heri. Der skal således være fysisk og økonomisk plads til, at hele produktionsenheder tømmes, rengøres, desinficeres og at biofiltrene efterfølgende skal podes og gøres aktive og effektive igen. Et kompromis – i forhold til den ønskede optimering ved nye anlæg – kunne være at dele biofiltrene op i parallelle sektioner og samtidig have en overkapacitet af biofilteroverflade svarende til en af disse sektioner. Herved kan man på skift koble en biofiltersektion ud, der herefter ikke blot returskylles, men gøres fuldstændig ren og desinficeres (evt. skiftes filtermaterialet), før sektionen igen kobles på anlægget.

Vandindtag

Forholdene omkring vandindvinding er beskrevet andetsteds i rapporten og skal derfor ikke kommenteres her.

Da det forudsættes, at vandet hentes op fra boringer, anses det ikke nødvendigt at UV- eller ozonbehandle indtagsvandet. Såfremt vandet eksponeres for luft udenfor bygningerne skal området beskyttes som beskrevet i afsnittet om veterinære forholdsregler.

Den del af vandet, der skal til klækkeriet, bør som en ekstra sikkerhedsforanstaltning føres igennem et UV-behandlingsanlæg.

Såfremt indtagsvandet tilføres anlægget i vandbehandlingsafdelingen anses det ikke for nødvendigt at gøre noget specielt i forhold til eventuel gasovermætning. Indtagsvandet vil kun udgøre en minimal mængde af det recirkulerende vand og evt. ekstra gas vil blive fjernet i rislefiltre eller ved den øvrige beluftning af vandet.

Vandforbrug og vandbehov

Gennem projektfasen har der været arbejdet med forskellige mængder af indtagsvand.

I den oprindelige beskrivelse af opdrætsprojektet var der tale om 4 liter/sekund (l/s) til yngel og sættefisk plus 36 l/s til produktionsanlæg, i alt 40 l/s. Efterfølgende har der, ikke mindst af hensyn til køling, været tale om 80 l/s. Projektgruppen har bestemt sig for at vurdere konsekvenserne af 3 scenarier: 25 – 50 – 75 l/s.

For ikke at skulle gennemføre alt for mange simuleringer i forbindelse med vandforbruget, er produktionen i det efterfølgende betraget som én enhed - der underopdeles således ikke i de forskellige produktionsafsnit.

Med hensyn til bestandstæthed, er beregningerne gennemført ud fra et ønske om et gennemsnit på 50 kg fisk pr. kubikmeter vand. Omfanget af vandbehov til fiskene kan beregnes som vist nedenfor, men også her vil princippet om alt ind/alt ud have betydning, og medføre betydeligt større volumenbehov i takt med princippet håndhævelse.

Den overordnede mening med opdrætsprojektet har været et ønske om at producere 3.000 tons portionsørreder pr. år. Produktionen skal ske lige fra æg og frem til en slagteklar fisk på i gennemsnit 350 g/stk.

I opdrætsprojektet er forudsat en foderkvotient (FQ) på 0,9 hvilket forventeligt er et forsigtigt gæt. En realiseret værdi på mellem 0,8 og 0,9 vil være sandsynlig.

I udregningerne af behovet for vandvolumen til fiskene er der taget udgangspunkt i en kontinuerlig produktion, hvor der i gennemsnit udtages lige mange fisk til slagting hver dag 365 dage om året. Tilsvarende forudsætter modellen, at lige så mange nyklækkede fisk tilføres anlægget pr. dag. Dette er selvfølgelig ikke realistisk, da æg og nyklækkede fisk til startfodring

Danmarks Fiskeriundersøgelser

tilføres holdvis, men volumenbehovet på dette stadie er dog ubetydeligt i den samlede anlægsbetragtning.

Af større betydning er det reelle antal produktionsdage pr. år. Reelt kan man ikke realisere fuld produktion 365 dage/år, idet der fragår dage til flytning af fisk, sortering og andre mere eller mindre forudsatte afbræk i produktionen. Erfaringer fra tilsvarende fiskeopdræt viser, at 350 produktionsdage/år er et realistisk bud for et veldrevet anlæg. For at illustrere produktionsdagens indflydelse på det nødvendige opdrætsvolumen er der udført beregninger for hhv. 365, 350 og 335 dages produktion/år.

Fiskenes væksthastighed har også meget stor indflydelse på omsætningshastigheden og dermed volumenbehovet i anlægget. For ikke at skulle udføre voldsomt mange simuleringer er der i denne rapport valgt en vækstmodel, som ligger til grund for den oprindelige projektformulering. Vækstmodellen er vist i rapportens **Bilag X**.

I nedenstående tabel (**Tabel xx**) er der gjort følgende forudsætninger vedr. en årsproduktion:

Der skal i løbet af året leveres 3.000 ton fisk a 350 g = 8.571.429 stk. svarende til ca. 8,2 ton/dag (ca. 23.500 fisk a 350 g). Fiskene produceres med en FQ på 0,9 hvilket med den fastlagte vækstmodel (vækstmodellen (tilvækst som funktion af størrelse og temperatur) bør præsenteres) giver en produktionstid fra 0,1 g/stk til 350 g/stk på 303 dage.

365 produktionsdage/år		FQ 0,90					
Resultater		Startvægt	Slutvægt	Antal fisk	Biomasse	Tæthed	Kar
Dag	dage	g/stk	g/stk	i alt	kg	kg/m ³	m ³
1 - 40	40	0	1	939.335	439	10	44
41 - 80	40	1	7	939.335	3.365	20	168
81 - 120	40	7	24	939.335	14.254	25	570
121 - 160	40	25	55	939.335	36.951	35	1.056
161 - 200	40	56	106	939.335	74.354	50	1.487
201 - 240	40	107	178	939.335	134.012	50	2.680
241 - 280	40	180	276	939.335	213.949	55	3.890
281 - 303	23	279	350	540.117	169.875	55	3.089
Total	303			7.115.460	647.199		12.984

Tabel **xx**.

Såfremt det tager 303 dage at producere en fisk, og der kan produceres 365 dage om året, vil der være et behov for at tage 23.483 fisk ud af anlægget pr. dag. Den gennemsnitlige daglige tilførsel til anlægget skal være større idet der skal tages hensyn til dødelighed. Da dødeligheden imidlertid forudsættes at være størst blandt de helt små fisk, har det ikke stor betydning for den samlede volumenberegning, hvorfor der ikke er taget hensyn hertil i beregningerne. (Hvis det antages, at 15% af fiskene dør eller frasorteres, før de når en størrelse på 3 g/stk, og der efterfølgende kalkuleres med et tab på 5% af fiskene jævnt fordelt frem til slagtestørrelse, så skal anlæggets bassinvolumen øges med mindre end 2%).

Tabellen viser hvor mange fisk og hvor megen biomasse, der er i perioder á 40 dage. Under disse forudsætninger vil der i afrundede tal være behov for en stående bestand på 7,1 mio. fisk, der tilsammen vejer 647 ton.

Tabellen giver også et bud på hvor mange kg fisk der kan/bør være pr. kubikmeter vand i fiskebassinerne. Det ses, at det samlede behov for volumen i bassinerne er 12.984 m³

FQ	Produktion		Stående bestand	
	dage/år	kg/dag	stk.	tons

Danmarks Fiskeriundersøgelser

0,9	335	8.955	7,8 mio.	705
	350	8.571	7,4 mio.	675
	365	8.219	7,1 mio.	647

Tabel xx.

I tabel xx er vist hvilken indflydelse antallet af produktionsdage pr. år har på, hvad der skal produceres pr. dag og på den nødvendige stående bestand af fisk.

Til en produktion af 3.000 tons fisk med en FQ på 0,9 skal der bruges 2.700 tons foder, hvilket anlægget så også skal dimensioneres efter såvel karmæssigt som rensningsmæssigt. Hvis foderkvotienten forbedres til 0,8 vil en sådan forbedring kunne bruges til enten at producere samme mængde fisk (3.000 tons) med mindre foder (2.400 tons) eller flere fisk (3.375 tons) på samme mængde foder (2.700 tons).

Hvis anlægget oprindeligt er dimensioneret til en produktion med en FQ på 0,9 er det næppe sandsynligt, at man vil producere færre fisk i anlægget, når man er i stand til at gøre det på en mere effektiv måde. Det er derfor forudsat i beregningerne med 0,8 i FQ, at de 2.700 tons foder benyttes til at producere 3.375 tons fisk.

I vækstmodellen betyder den lavere FQ, at fiskene med den samme procentvise udfodring vokser bedre og hurtigere end i modellen med en FQ på 0,9. Hvor fiskene i den første model var 303 dage om at nå en slagsklar størrelse, så kan de med den bedre vækst være salgsklare på 267 dage.

365 produktionsdage/år		FQ 0,80					
Resultater		Startvægt	Slutvægt	Antal fisk	Biomasse	Tæthed	Kar
Dag	dage	g/stk	g/stk	i alt	kg	kg/m ³	m ³
1 - 40	40	0	2	1.047.771	608	10	61
41 - 80	40	2	11	1.047.771	5.654	20	283
81 - 120	40	11	36	1.047.771	23.831	25	953
121 - 160	40	37	81	1.047.771	60.665	35	1.733
161 - 200	40	83	155	1.047.771	121.635	50	2.433
201 - 240	40	157	256	1.047.771	215.703	50	4.314
241 - 267	27	259	353	707.245	216.384	55	3.934
Total	267			6.993.869	644.480		13.711

Tabel xx

Tabel xx viser en beregning af den stående bestand af fisk, der på 267 dage vokser fra 0,1 g til 353 g/stk. Da den årlige produktion nu er 3.375 tons skal der i gennemsnit udtages 9.250 kg fisk/dag (26.200 stk a 353 g). Ved en hypotetisk produktion på 365 dage/år ses den stående bestand at skulle være på ca. 7 mio. fisk, der vejer ca. 645 tons.

	Produktion		Stående bestand	
	p.dage/år	kg/dag	stk.	ton
0,8	335	10.075	7,6 mio.	702
	350	9.643	7,3 mio.	672
	365	9.247	7,0 mio.	645

Tabel xx

I tabel xx er vist hvilken indflydelse antallet af produktionsdage pr. år har på, dels hvad der skal produceres pr. dag og dels behovet for den stående bestand af fisk. Som det fremgår ved at sammenligne tabel xx og tabel xx se, at man med samme foderforbrug og en tilnærmelses-

Danmarks Fiskeriundersøgelser

vis lige stor stående bestand kan producere 375 ton mere pr. år, hvis foderkvotienten kan nedsættes fra 0,9 til 0,8 og foderindtaget kan fastholdes.

Nedenfor er i tabel xx vist pladsbehovet ved 3 forskellige antal produktionsdage pr. år og ved de to forskellige foderkvotienter. Som det fremgår af tabellen, er pladsbehovet noget større ved den lave foderkvotient på trods af, at den stående bestand, som vist ovenfor, er stort set identisk m.h.t. antal og tonnage. Forklaringen herpå er, at sammensætningen af bestanden er forskellig, idet der ved de hurtigt voksende fisk (FQ = 0,8) er flere små fisk, der kræver mere vandvolumen pr. kg fisk. Konklusionen på disse simuleringer er således, at der skal afsættes yderligere plads til små fisk, hvis foderkvotienten kan sænkes fra 0,9 til 0,8.

g/stk	FQ 0,9		350 dage		335 dage	
	Tæthed kg/m ³	365 dage Kar - m ³	diff. fra 365 dage m ³	Kar - m ³	diff. fra 365 dage m ³	Kar - m ³
0-2	10	44	2	46	4	48
2-10	20	168	7	175	15	183
10-35	25	570	24	595	51	621
35-75	35	1.056	45	1.101	95	1.150
75-125	50	1.487	64	1.551	133	1.620
125-200	50	2.680	115	2.795	240	2.920
> 200	55	3.890	167	4.057	348	4.238
>200	55	3.089	132	3.221	277	3.365
		12.984	556	13.540	1.163	14.147
	kg/m ³	50		50		50

g/stk	FQ 0,8		350 dage		335 dage	
	Tæthed kg/m ³	365 dage Kar - m ³	diff. fra 365 dage m ³	Kar - m ³	diff. fra 365 dage m ³	Kar - m ³
0-2	10	61	3	63	5	66
2-10	20	283	12	295	25	308
10-35	25	953	41	994	85	1.039
35-75	35	1.733	74	1.808	155	1.889
75-125	50	2.433	104	2.537	218	2.651
125-200	50	4.314	185	4.499	386	4.700
> 200	55	3.934	169	4.103	352	4.287
>200	55	0	0	0	0	0
		13.711	588	14.299	1.228	14.939
	kg/m ³	47		47		47

Tabel xx

I beregningerne er der som tidligere nævnt ikke taget hensyn til døde fisk. Dette gælder både hvad angår antallet af individer og den mængde foder, disse fisk måtte indtage, før de dør. De angivne foderkvotienter vil i en virkelig produktionssituation skulle opdeles i en biologisk og en økonomisk foderkvotient. Den biologiske FQ repræsenterer den reelle produktion pr. kg foder, uanset om alle fiskene når frem til salgsstørrelse eller om nogen dør undervejs. Den økonomiske FQ repræsenterer forholdet mellem det samlede forbrugte foder og den leverede mængde fisk som man får afregning for.

De angivne volumenbehov må derfor betragtes som minimumsværdier.

Dimensionering af biofiltre

Den største daglige udfodring i ovennævnte simuleringer er 8.060 kg/dag, hvilket er nødvendigt ved 335 produktionsdage pr. år (uafhængigt af parametrene FQ og årsproduktion). Biofilterets samlede areal kan da udregnes til at skulle være minimum til 8.060 kg/d x 100 m²/kg/d = 806.000 m² (under forudsætning af optimalt ydende filtre/filteroverflader).

De angivne 100 m² pr kg foder pr. dag repræsenterer en tommefingerregel, der ofte benyttes ved generelle beregninger af biofilterbehovet under forudsætning af forudgående mekanisk rensning. Dette er dog en regel der er påvirkelig af en række forhold, hvoraf de vigtigste er temperatur og foderkvotient. I dette projekt, hvor der regnes med mekanisk filtrering med en filterdug på 60 til 80 µ, en vandtemperatur på ca. 16 grader C og foderkvotienter på 0,8 - 0,9, kan tommefingerreglen erfaringsmæssigt anvendes til et godt estimat af det samlede minimumsbehov for filterareal.

Danmarks Fiskeriundersøgelser

I det oprindelige projektoplæg til den ønskede produktion påtænkes der udelukkende brugt et dykket biofilter af typen "*moving bed*". Denne type udgøres af små plastlegemer - "biolegemer" - der holdes i konstant bevægelse af en vand- og/eller luftstrøm.

Filosofien bagved denne filtertype er dels, at de små legemer har en stor overflade pr. m³ materiale og dels, at den biofilm (bakteriebelægning), der dannes på de små legemers overflade, hele tiden gnubbes mod andre biolegemer, hvorved "gammel" biofilm afstødes. Disse filtre vil således i teorien virke optimalt uafbrudt og skal returskylles med en meget lavere frekvens end de mere traditionelle filtre, hvor bakterierne typisk vokser på overfladen af fikserede plastrør eller plastplader (fastmedie-filtre).

Overfladen på den påtænkte model *moving bed* biolegemer er angivet til 600 m² pr. m³, hvilket er ganske meget sammenlignet med de 200 m²/m³, der er almindeligt blandt de traditionelle fastmedieliltre. Imidlertid skal man ved beregning af volumenbehovet til et *moving bed* filter huske, at der, som navnet antyder, skal være plads til at biolegemerne skal kunne bevæge sig. De beholdere, der skal rumme biolegemerne, må maksimalt fyldes 70 % med plastlegemer.

Et andet forhold, man skal være opmærksom på i forbindelse med dimensioneringen er, hvordan fabrikanten af de påtænkte biolegemer er nået frem til den angivne specifikke overflade. Det er relativt nemt at beregne/måle den præcise overflade på de forskellige biolegemer; men når overfladen så skal overføres til, hvor mange m², der er pr. m³, opstår der straks større usikkerhed: Er biolegemerne hældt løst ned i et veldefineret volumen og derefter talt og efterfølgende ganget med det enkelte legemes areal? Eller er legemerne hældt ned i det samme veldefinerede volumen, rystet for at blive pakket sammen og dernæst efterfyldt, før arealet er regnet ud? Endelig skal det påpeges, at det i praksis har vist sig vanskeligt fuldt at udnytte overfladen i medier med meget høje specifikke overflader. I det konkrete eksempel er der et ønske om et overfladeareal i biofiltrene på mindst 806.000 m².

Hvis der anvendes mere traditionelle biofiltre med 200 m² overflade/m³, vil dette kræve 4.030 m³ filtermateriale. Anvendes der et *moving bed* filter med en specifik overflade på 600 m²/m³ og en fyldningsgrad på 70 %, er selve filterbehovet 1.343 m³ + 576 m³ frit vand i alt 1.919 m³, eller sammenlagt knap det halve af det mere konventionelle filter - under forudsætning af tilsvarende omsætning pr. arealenhed.

Driftsmæssigt har de to filtertyper hver deres fordele og ulemper. I projektoplægget til produktionsanlægget er der udelukkende påtænkt brug af *moving bed* filtre. Den driftsmæssige årsag hertil er ønsket om en mere kontinuerlig produktion med relativt få returskylninger. Såfremt filterbeholderne og den luftstrøm, der skal holde legemerne i omrøring, dimensioneres korrekt, vil der med al sandsynlighed også være behov for færre returskylninger i sammenligning med fastfilmsanlæggene. Til gengæld vil den afgnubbede filterhud, blive sendt med vandet ud i fiskebassinerne, hvor de medvirker til at øge indholdet af organisk og suspenderet materiale, hvilket medfører forøget risiko for gælleinfektioner. Et øget partikelindhold i vandet vil også mindske effektiviteten af UV-filtre.

Biofiltre af fastmedietyper kræver et større filtervolumen og de skal returskylles hyppigere end veldrevne *moving bed*-filtre, hvilket dels er mere arbejdskrævende og dels kan give fluktuationer i de vandkemiske forhold. Det sidste kan forebygges ved parallel sektionering (se nedenfor).

Til fordel for fastmedieliltrene taler, at de kan returskylles med større sikkerhed for, at returskylningen er foretaget overalt i filteret. I *moving bed*-filtre kan man risikere, at den luft, der bruges til at løsne filterhud og evt. slam med, danner "kanaler" gennem filtermaterialet. Her ved slipper luften og vandet let igennem og områder af filteret skylles kun mangelfuldt eller slet ikke.

I sammenligning med *moving bed*-filtre er den væsentligste fordel ved at anvende fastmedie-filtre i recirkulationsanlæg imidlertid filtrenes evne til at opfange og fastholde små partikler fra vandfasen.

Danmarks Fiskeriundersøgelser

Konklusionen på ovenstående er, at det med de nuværende filtertyper kan anbefales at opbygge biofilterdelen i en kombinationsmodel, hvor vandet først passerer et *moving bed*-filter, hvorefter det føres gennem et fastmediefilter, som foruden at medvirke i den almindelige filtrering også kan opfange og fastholde småpartikler fra vandet, herunder afgnubbet filterhud fra *moving bed*-filteret.

Uanset hvilken filtertype, der ønskes benyttet, vil det dog altid være en fordel at opdele filterne i flere separate, parallelt og /eller serielt forbundne afdelinger, så en eller flere sektioner om nødvendigt kan kobles fra, uden at man af den grund lukker for al biofiltrering i anlægget. I planlægningsfasen bør man, som tidligere nævnt, afveje økonomien i at etablere en overkapacitet på filtersiden, så man evt. på skift kan tage sektioner ud til fuldstændig rengøring.

Biofiltrenes samlede volumen kan som nævnt beregnes til 4.030 m³ ved et filtermateriale med en specifik overflade på 200 m²/m³ og 1.919 m³ ved et filtermateriale med en specifik overflade på 600 m²/m³ og en fyldningsgrad på 70 %.

Såfremt der vælges en kombinationsmodel med fordeling på de to filtertyper, kan det samlede volumen udgøre 3.000 m³.

Hvis man vil beregne vandmængde i biofiltrene skal man fratrække filtermaterialets eget volumen, der kan sættes til 10 %. Dette svarer rundt regnet til 275 m³, og der er således ca. 2.700 m³ vand i biofiltrene.

Anlæggets samlede vandvolumen kan derfor estimeres på flg. måde:

Fiskebassiner:	14.939 m ³
Fisk:	- 705 m ³
Biofiltre:	2.975 m ³
Filterlegemer:	- 275 m ³
Rør, reservoirer m.v.	4.066 m ³
Udleveringsbassiner	1.000 m ³
I alt	<u>22.000 m³</u> (som minimum)

Model for produktion af regnbueørreder i recirkulationsanlæg.

For at kunne gennemføre en række simuleringer af massebalancerne for kvælstof og fosfor i anlægget er der udarbejdet en regnearksmodel, hvis hovedkomponenter vil blive gennemgået nedenfor. Modellen giver foruden næringssaltbalancerne en række andre produktionstekniske oplysninger, når nedenstående forudsætninger er indtastet.

Foderforbrug	2.700	tons/år
Foderkvotient	0,9	
Foderdage	350	dage/år
Foderspild	0,5	% af udfodret mængde
BI ₅ /COD i fækalier	0,30	
Fodersammensætning		
	Indhold	Fordøjelighed
Protein	47,0 %	92 %
Fedt	25,0 %	91 %
Kulhydrat (NFE)	11,0 %	78 %
Kulhydrat (træstof)	0,5 %	
Aske	7,0 %	
Fosfor i foderet	1,0 %	

Foderforbrug, foderkvotient og foderdage er tidligere beskrevet og vil derfor ikke blive yderligere gennemgået på dette sted.

Foderspild er normalt ikke (og bør heller ikke være) af nævneværdig størrelse; men det skal medtages i modelberegningerne især da selv et relativt lille foderspild har forholdsvis stor betydning for anlægget produktionsbidrag af organisk stof.

Af projektet for produktionsanlægget fremgår det, at man påtænker at distribuere foderet til de enkelte bassiner v.h.j.a. et rørsystem, hvor pillerne blæses frem. Et sådant anlæg kan føre foderpillerne frem på en meget skånsom måde, men det modsatte kan også være tilfældet. Man bør derfor med jævne mellemrum, og især i starten, kontrollere, hvor meget støv og smuld anlægget genererer. Foderspild er en uheldig kombination af tabte penge og belastning af anlægget med partikulært materiale.

BI5/COD-forholdet i fækalier er sat til 0,3, således at 30 % af fækaliernes COD-indhold vil kunne registreres som BI5. 0,3 er et rimeligt gennemsnit af de forskellige undersøgelser på området, som afhængig af fodertype typisk viser værdier fra 0,26 til 0,33.

Fodersammensætningen har stor indflydelse på såvel fiskenes vækst som produktionsbidraget og dermed også på vandets indhold af affaldsstoffer. Disse affaldsstoffer, på henholdsvis partikulær og opløst form, skal hurtigst muligt skal føres væk fra fiskekarrene og til videre håndtering i vandbehandlingsanlægget.

Protein, fedt og kulhydrat indgår på forskellig vis i fiskenes stofskifte, og derfor er fordøjeligheden af de enkelte komponenter af stor betydning. Den ufordøjelige fraktion udskilles fra fiskene primært i form af fækalier.

Foderets indhold af fosfor, der primært bruges til skeletopbygning, er normalt lovgivningsmæssigt begrænset til maksimalt 1 %, dog accepteres et højere niveau i yngelfoder. Et recirkulationsanlæg, der ikke har direkte udledning til en recipient, vil lovligt kunne bruge et foder med et højere fosforindhold, men det forudsætter selvfølgelig, at man er i stand til at håndtere den fosformængde, der kommer ud af anlægget.

Vandskifte	50	liter/sekund
Kvælstof i indtagvand	0,7	mg Tot-N / liter
Kvælstoftab fra fækalier	30	% "tabes" til vandfasen
Fosfor i indtagvand	0	mg Tot-P / liter
Fosfor i fækalier (netto)	60	% af Prod.bidrag
Org. stof i indtagvand	0	mg BI ₅ / liter (modificeret)
Org. stof i fækalier (netto)	80	% af Prod.bidrag excl. foderspild

Vandskifte, som tidligere nævnt har projektgruppen ønsket, at der skal gennemføres simuleringer/modelberegninger af forholdene ved henholdsvis 25, 50 og 75 l/s.

Hvis andre forhold er uændrede kan man betragte de forskellige vandtilførsler som et udtryk for den fortynding der kan ske af produktionsvandets indhold af næringssalte. Et øget vandskifte kan også blive aktuelt, hvis man om sommeren ønsker at undgå for høje temperaturer i anlægget.

Kvælstof i indtagvand er en parameter der bør kendes og medregnes i kvælstofregnskabet.

Kvælstoftab fra fækalier kan, som det er vist i eksemplet, være af ganske stor betydning (her angivet til 30 %). Langt det meste af det kvælstof, der afgives fra fiskene, udskilles som ammoniak via gællerne, men som nævnt indgår ufordøjet protein i fækalierne, og 16 % heraf er kvælstof.

Danmarks Fiskeriundersøgelser

Af hensyn til anlæggets affaldshåndtering er det bedst at fækaliene er faste og stabile, og at de hurtigt når frem til mikrosigten, hvori de kan fjernes fra anlægget og føres til slambehandling. Desværre er forholdene ikke altid ideelle, og fækaliene går ofte mere eller mindre i opløsning. Dette kan dels skyldes en lang opholdstid i fiskebassinerne, hvor der måske oven i købet beluftes kraftigt, og dels at foderfabrikanten ikke har formået at sammensætte et foder, der giver faste fækalier. Ligeledes har fiskenes almentilstand også en væsentlig betydning for fækaliernes struktur. Der er således flere årsager til at fækalier kan gå i opløsning og afgive noget af deres kvælstof til vandfasen. I nærværende projektoplæg er der planlagt ret store opdrætsenheder, hvor der endvidere er regnet med intern beluftning i karrene, hvilket er grunden til, at der i modellen indtil videre er indsat 30 % som opløsningsgraden af kvælstof i fækaliene.

Fosfor i indtagstvånd er en parameter der bør kendes og medregnes i fosforregnskabet.

Fosfor i fækalier (netto) er et udtryk for, hvor meget fosfor, der kan forventes ført væk fra produktionsanlægget på fast form i fækaliene.

Organisk stof i indtagstvånd er en parameter der er svær at forudsige, idet den bl.a. afhænger af arealets beskaffenhed og anvendelse, indtagets dybde m.v. Mængden skal det selvfølgelig medtages i regnskabet for organiske stof.

Biofiltre			
Omsætning i % af (Produktionsbidrag - foderspild - fisk + Indtagstvånd)			
	Tot-N	Tot-P	BI ₅
Bakterier + småpartikler	8 %	30 %	8 %
Denitrifikation	11 %		

De sidste forudsætninger, der skal indtastes er følgende, der vedrører den forventede omsætning i biofiltrene:

Bakterier og småpartikler er et udtryk dels for biofiltrenes egenproduktion af bakterier og dels de små partikler, der bliver "fanget" eller "klæber" til i biofiltrenes bakterieoverflade. Konglomeratet udgør det slam, der spules af biofiltrene ved returskylning, og/eller de løsrevne stykker filterhud, der efter en tur ud i fiskebassinerne vender tilbage til vandbehandlingsafdelingen, hvor de (i bedste fald) bliver opfanget i mikrosigterne, og dermed fjernet fra anlægget. Som tidligere beskrevet er der stor forskel på biofiltrenes opbygning og driftsmetode, hvilket kan give store udsving i disse parametre. Ligeledes har det også betydning, hvor finmasket filterdugen er i mikrosigterne.

Denitrifikation er et udtryk for den omdannelse, der sker af nitrat inderst inde i bakteriebelægningen, hvor der ikke er ret meget ilt. De bakterier, der findes derinde, kan vokse v.h.j.a. en kulstofkilde (organisk stof) og den ilt, der er bundet i nitrat (NO₃). Et af disse bakteriers primære affaldsstoffer er frit kvælstof (N₂) der kan afgasses til atmosfæren. Processen foregår som nævnt under iltbegrænsede forhold, og da filterhuden ikke er ret tyk, er det generelt kun i det inderste lag, at denne proces kan foregå. Hvis der i anlægget sker en ophobning af kvælstof (som nitrat) til større koncentrationer, end man er villig til at acceptere i forhold til fiskenes velbefindende (her fastsat til 200 mg NO₃/l), kan man vælge at skifte mere vand, og dermed fortynde sig ud af problemet. Hvis det ikke er muligt eller ønskeligt at skifte mere vand, må man i stedet etablere et decideret denitrifikationsfilter.

Til et sådant filter fremføres typisk en lille delstrøm af det samlede vandflow i vandrensningsafdelingen. Iltniveauet i filteret holdes lavt – under 10 % mætning men ikke ned til 0 %, da der så er stor risiko for at slammet i filteret danner svovlbrinte og andre giftige stoffer. Som

Danmarks Fiskeriundersøgelser

kulstofkilde i interne denitrifikationsfiltre benyttes ofte ren alkohol (IPA-sprit eller methanol) idet processen så dels kan kontrolleres dels er forudsigelig og stabil.

Resultater	
Produktion af fisk	3.000 ton/år
Foderspild	13,5 ton/år
Gns. produceret kg fisk	8,6 ton/dag
Gns. Foderforbrug	7,7 ton/dag
Gns. Foderspild	37 kg/dag

Når værdierne for de ovenfor omtalte forudsætninger er indført i modellen, kan resultaterne aflæses:

Produktion af fisk, tallet fremkommer ved at dividere den indtastede fodermængde med den indtastede foderkvotient.

Foderspild, selv et relativt lavt foderspild (her sat til 0,5 % af udfodret mængde) ses at blive til en betydelig mængde i et så stort anlæg. Da foderspild som nævnt har flere negative effekter, bør der gøres en aktiv indsats for at minimere problemet.

Dagligt gennemsnit for produceret kg fisk, foderforbrug og foderspild beregnes ud fra de samlede antal produktionsdage/år, hvilket her er sat til 350 dage.

Vandforbrug	
Pr. år	1.576.800 m3
Pr. dag	4.320 m3
Pr. kg prod. fisk	526 liter
Pr. kg tildelt foder	584 liter

Vandforbruget, der i dette tilfælde er tastet ind i modellen som 50 l/s, er omregnet til det årlige og daglige forbrug. Ligeledes er det vist, hvad vandforbruget er pr. kg produceret fisk og pr. kg tildelt foder. Af det viste eksempel fremgår det, at der er brugt 584 liter vand pr. kg foder, hvilket er ca. 1/10 af forbruget i modeldambrug.

Produktionsbidrag	
incl. foderspild	
Kvælstof (N)	113 ton/år
Fosfor (P)	12 ton/år
Organisk stof (BI5)	198 ton/år

Produktionsbidraget er den del af det tilførte foders kvælstof, fosfor og organisk stof, der ikke indbygges i fiskene. Produktionsbidraget er med andre ord udtryk for det stof, der på en eller anden måde skal håndteres og fjernes fra anlægget.

Produktionsbidraget udregnes i et særskilt regneark, der er baseret på de samme forudsætninger som ovenfor beskrevet. Dette regneark vil ikke blive gennemgået i nærværende afrapportering, men et eksempel er vist i denne rapport's **Bilag xx**.

Danmarks Fiskeriundersøgelser

Hvis de 53 mg Total-N alle omregnes til nitrat, som er den form de befinder sig på i vandfasen efter nitrifikationen, skal man se på mol-vægten for kvælstof (N) og ilt (O). Nitrat, der har formlen NO₃, består således af 1 N-atom (vægt 14 g/mol) og 3 O-atomer (vægt 3 x 16 = 48 g/mol), hvilket giver en samlet vægt på 62 g/mol, eller 62/14 = 4,43 gange så meget. 53 mg NO₃-N / liter kan derfor omregnes til 235 mg NO₃ / liter vand.

I regnearkets sidste resultatblok, der ses nedenfor, er der vist et tilsvarende regnskab, her er det blot regnet ud på dagsniveau under hensyntagen til, at færre produktionsdage vil give en højere belastning af anlæg og fisk på de dage, hvor der er fuld produktion:

Gns. dagsregnskab	Kvælstof		Fosfor	
	Tot-N		Tot-P	
N + P + Organisk stof	Kg	mg/l	Kg	mg/l
Tilført				
- med indtagvand	3	1	0	0,0
Tilført med foder	580	134	77	17,9
	583	135	77	17,9
Fjernet som uopløst				
Foderspild	3	1	0	0,1
Fækalier (netto)	29	7	20	4,7
Indbygget i fisk	257	60	43	9,9
	289	67	64	14,7
Vandfasen før biofiltrene				
Rest i vand før biofiltrene	294	68	14	3,1
Biofiltre				
Bakterier + småpartikler	26	6	10	2,4
Denitrifikation i biofiltre	29	7		
Rest i vandfasen	239	55	3	0,8
Tot-N omregnet til NO ₃	245	mg/l		

Organisk stof. For organisk stof vil det samlede produktionsbidrag udgøre 198 tons BI₅ pr. år. Baseret på erfaringer fra modeldambrug vil ca. 55 % af stofbidraget svarende til ca. 107 tons være på partikulær form og med en størrelse der kan blive fjernet via de planlagte mekaniske filtre.

Af de resterende ca. 91 tons BI₅ vil, afhængig af konstruktion, indretning og drift af produktionsanlæggets biofiltre, en varierende del blive optaget og nedbrudt i filtrenes biomasse. Ved returskylning, såfremt en sådan sker hyppigt/regelmæssigt, vil en del af bakteriemassen kunne genfindes i returskyllevandet. Baseret på erfaringerne fra driften af anlæg med recirkulation vil denne delmængde udgøre ca. 67 tons BI₅ pr. år.

Under antagelse af at yderligere ca. 16 tons BI₅ pr. år forlader biofiltrene som afreven filterhud der udskilles i de mekaniske filtre, vil den gennemsnitlige koncentration i anlægget variere med det relative vandforbrug fra 5 til 10 mg BI₅/l svarende til 16 til 33 mg COD/l. Massebalancen for produktionsbidraget af organisk stof vil følgelig være som vist i nedenstående tabel.

Massebalance for bidraget af organisk stof (målt som BI₅) ved alternative vandforbrug.

Danmarks Fiskeriundersøgelser

Vandforbrug (l/s)	Partikulært og med skyllevand t BI ₅ /år	Omsat i biofiltre t BI ₅ /år	Opløst t BI ₅ /år
25	123	67	8
50	123	67	8
75	123	67	8

Simuleringer. Regnearket er herefter benyttet til en række simuleringer, hvis hovedresultater vil blive gennemgået nedenfor. Alle variationer er gennemført med beregning af konsekvenserne ved et vandskifte på 25, 50 og 75 liter/sekund:

Resultat pr. år (med fodring 365 dage)										
		A			B			C		
Gns. vandskifte	l/sek.	25	50	75	25	50	75	25	50	75
Vandforbrug	m ³ x 10 ³ /år	788	1.577	2.365	788	1.577	2.365	788	1.577	2.365
Foderkvotient		0,9			0,8			0,9		
Prod. af fisk	ton/år	3.000			3.375			3.000		
Foderspild	%	0,5			0,5			1		
N ud med vand+slam	ton/år	103			92			103		
P ud med vand+slam	ton/år	12			10			12		
Org.stof ud med vand+slam	ton/år	131			131			131		
Nitrat i vandfasen	mg/l	467	235	157	421	212	142	462	232	156
Fosfor i vandfasen	mg/l	1,5	0,8	0,5	1,3	0,6	0,4	1,5	0,7	0,5
Org. stof i vandfasen	mg/l	41	20	14	41	20	14	41	20	14

I denne tabel er der regnet med en teoretisk produktion, der forløber ligeligt over alle årets 365 dage.

I **Blok A** er vist en "standard-produktion" på 3.000 ton/år og en foderkvotient på 0,9. Det ses, at nitratholdet ved 25 l/s er oppe på 469 mg/l, hvilket er højt, og over den fastsatte grænse på 200 mg/l, og dog alligevel under grænseværdien på 500 mg/l for økologiske ørreder produceret i recirkulationsanlæg. For nærværende rapport's beregninger har projektgruppen vedtaget, at indholdet af nitrat i produktionsanlægget ikke må overstige 200 mg/l. Det ses således, at selv ved at forhøje vandindtaget til 50 l/s, når nitratholdet kun ned på 234 mg/l. For at overholde den vedtagne grænseværdi vil det ved dette vandskifte være nødvendigt at etablere en denitrifikation internt i produktionsanlægget.

I **Blok B** er foderkvotienten sænket til 0,8, hvilket med en uændret fodermængde øger produktionen til 3.375 ton/år.

Da der er bundet mere N og P i fisk ses det, at der kommer væsentlig mindre N ud og noget mindre P ud af anlægget.

I **Blok C** er standardbetingelserne fra Blok A gentaget, eneste ændring er, at foderspildet er sat op fra 0,5 til 1 %, hvilket primært har betydning for udledningen af organisk stof.

I den næste blok med simuleringer produceres der igen 3.000 ton/år og en FQ på 0,9. Variationen udgøres af de tre forskellige antal produktionsdage:

Resultater pr. dag ved varierende antal foderdage pr. år (med foderkvotient 0,9)										
		A			B			C		
Gns. vandskifte	l/sek.	25	50	75	25	50	75	25	50	75

Danmarks Fiskeriundersøgelser

Vandforbrug	m ³ / dag	2.160	4.320	6.480	2.160	4.320	6.480	2.160	4.320	6.480
Foderkvotient		0,9			0,9			0,9		
Foderdage	dag / år	365			350			335		
Gns. foderforbrug	kg / dag	7.397			7.714			8.060		
Gns. produktion af fisk	kg / dag	8.219			8.571			8.955		
N ud med vand+slam	kg / dag	281			294			307		
P ud med vand+slam	kg / dag	33			34			36		
Org.stof ud med vand+slam	kg / dag	131			137			143		
Nitrat i vandfasen	mg/l	467	235	157	487	245	164	508	255	171
Fosfor i vandfasen	mg/l	1,5	0,8	0,5	1,6	0,8	0,5	1,6	0,8	0,5
Org. stof i vandfasen	mg/l	41	20	14	43	21	14	44	22	15

Blok A er identisk med Blok A i den ovenstående tabel.

I **Blok B** er antallet af produktionsdage sat ned til 350 dage/år.

I **Blok C** er antallet af produktionsdage/år sat ned til 335 dage/år. I denne version ses det, at vandets nitratindhold ved en tilførsel på 25 liter/sekund overskrider grænseværdien på 500 mg/liter for økologisk produktion(OBS grænse= 200 mg/l).

Af tabellen fremgår det, at både ved et vandskifte på 25 l/s og 50 l/s vil det være nødvendigt med intern denitrifikation for at komme ned under den vedtagne grænse på 200 mg nitrat/liter vand i produktionsanlægget.

I den sidste blok (der ses nedenfor) er foderkvotienten generelt sænket til 0,8. Variationen udgøres herefter af antallet af arbejdsdage:

Det ses, at man i alle situationer kan overholde kravene til økologisk produktion, men for at overholde den interne grænseværdi på 200 mg NO₃/ l vand i produktionsanlægget vil man være nødt til at indsætte et internt denitrifikationsanlæg, hvis anlægget skal drives med en vandudskiftning på 25 eller 50 l/s.

Resultater pr. dag ved varierende antal foderdage pr. år (med foderkvotient 0,8)										
		A			B			C		
Gns. vandskifte	l/sek.	25	50	75	25	50	75	25	50	75
Vandforbrug	m ³ / dag	2.160	4.320	6.480	2.160	4.320	6.480	2.160	4.320	6.480
Foderkvotient		0,8			0,8			0,8		
Foderdage	dag / år	365			350			335		
Gns. foderforbrug	kg / dag	7.397			7.714			8.060		
Gns. produktion af fisk	kg / dag	9.247			9.643			10.075		
Tot-N ud med vand+slam	kg / dag	253			264			276		
Tot-P ud med vand+slam	kg / dag	28			29			30		
Nitrat i vandfasen	mg/l	421	212	142	439	221	148	458	230	154
Fosfor i vandfasen	mg/l	1,3	0,6	0,4	1,3	0,7	0,4	1,4	0,7	0,5
Org. stof i vandfasen	mg/l	41	20	14	43	21	14	44	22	15

(OBS. nitratgrænsen er sat til 200 mg/l)