



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Udlederkontrollsystem på modeldambrug type 3

Niels H. Eisum
DHI

Kaare Michelsen
Dansk Akvakultur

Paw Petersen
OxyGuard

Brian Thomsen
Dansk Akvakultur

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	9
1 INTRODUKTION	11
2 MATERIALER OG METODER	13
2.1 BESKRIVELSE AF LØJSTRUP DAMBRUG	13
2.2 AUTOMATISK FLOWMÅLING AF VANDMÆNGDER	14
2.3 PRØVETAGNING (AUTOSAMPLER OG INDFRYSNING)	14
2.4 ON-LINE MÅLING MED UV-VIS SENSOR	14
2.5 ON-LINE MÅLING MED AUTOANALYZER	15
2.6 ANALYSEBASEREDE MÅLINGER	16
2.7 MÅLING AF PH, OPLØST ILT (DO) OG TEMPERATUR	16
2.8 DATA REGISTRERING, OPSAMLING OG BEARBEJDNING	18
2.9 KVALITETSSIKRING	18
2.10 ERFARINGER FRA ÅBY RENSEANLÆG	19
3 RESULTATER OG DISKUSSION	21
3.1 PRODUKTION PÅ LØJSTRUP DAMBRUG	21
3.2 DRIFT OG VEDLIGEHOLD AF Udstyr	21
3.3 PRØVEOPSAMLING	22
3.4 PRØVEOPSAMLING	22
3.5 RESULTATER FRA ON-LINE MÅLINGER OG ANALYSER	24
3.6 RESULTATER FRA INTERNE DRIFTSDATA	31
3.7 IT STRUKTUR	32
3.8 ØKONOMI	32
4 KONKLUSION	35
5 LITTERATURLISTE	37

Forord

Projekt "Udlederkontrollsystem på modeldambrug type 3" er udført af Dansk Akvakultur i samarbejde med DHI, OxyGuard A/S og Løjstrup Dambrug i perioden november 2009 til oktober 2011.

Projektet er delvist finansieret af Miljøstyrelsen under ordningen miljøeffektiv teknologi 2009.

DHI varetager det overordnede projektansvar, i det både OxyGuard A/S og Dansk Akvakultur har selvstændigt ansvar for udvalgte arbejdsopgaver. Der er oprettet en følgegruppe med deltagelse af Danmarks Sportsfiskerforbund, Miljøstyrelsen, DTU-Aqua, Aarhus Universitet/DMU og Kommunernes Landsforening.

De praktiske forsøg er gennemført på Løjstrup Dambrug, som takkes for godt samarbejde, stor imødekommethed og varm kaffe ad libitum.

Det overordnede formål er at afprøve og demonstrere brugen af et moderne kontinuerligt målesystem på modeldambrug type 3.

Sammenfatning og konklusioner

De danske dambrugere har i de senere år investeret massivt i ombygning til modeldambrug type 1 og 3, og op mod 1/3 af den samlede produktion i dambrug er omlagt fra "klassisk" drift til mere moderne anlæg.

Overholdelse af udledervilkår for bl.a. kvælstof og fosfor vurderes med stikprøvebaserede egenkontrolprogrammer. Der udtages typisk enten 26 prøvesæt af dambrugets udløbs- og indløbsvand eller 12 prøver, hvis der kun indtages vand fra væld eller boring. Prøverne udtages og analyseres af et akkrediteret laboratorium.

Stikprøvekontrollen har visse svagheder.

Vurderingen af, om udledningerne overholder de stillede vilkår, er behæftet med en vis usikkerhed, og der er risiko for, at bedømmelsen er forkert. En forkert bedømmelse kan have negative konsekvenser for enten dambrugeren eller miljøet.

Analyseresultaterne foreligger først med en vis tidsmæssig forsinkelse, og de dækker ikke hele driftsperioden. Derfor kan de kun i begrænset omfang anvendes til kontinuerlig optimering af anlæggenes drift og ydeevne.

Akvakulturudvalget anbefaler, at akvakultur fremover reguleres gennem en resultatbaseret forvaltning, og at overgangen til resultatbaseret forvaltning

understøttes af udvikling af on-line-teknologi.

På den baggrund er det relevant at undersøge, om on-line målinger med sensor/sonde på modeldambrug type 3 kan bidrage til bedre driftsoptimering og/eller styrket monitorering af udledninger.

Projektets overordnede formål er at afprøve og demonstrere brugen af et moderne kontinuerligt målesystem på modeldambrug type 3 med henblik på at monitorere anlæggets udledninger af især kvælstof, ammonium og fosfor samt udvalgte interne driftsparametre (pH, oxygen, nitrat og nitrit).

Relevante produktionsdata er registreret løbende.

Projektet er gennemført på Løjstrup Dambrug (modeldambrug type 3) i perioden 2010 til 2011.

On-line målinger af nitrat og nitrit er gennemført med en optisk UV-VIS sensor, temperatur, pH og ammonium er målt med en multiparameter målesonde, udledning af total fosfor er bestemt med en skabs-analysator og iltindholdet i anlægget er målt med sensor.

Til måling, overvågning og datalogning af opløst ilt (DO), temperatur, pH samt flow i ind- og udløb anvendes et OxyGuard Commander system.

Resultater for udledninger er sammenholdt med resultater fra analyser af stikprøver fra et traditionelt stikprøveprogram.

Alle målinger er samlet i en database ved anvendelse af softwareprogrammet DIMS, der er udviklet af DHI.

Der er opsamlet en række data under meget varierende forhold (vejrlig og drift), men det må konstateres, at sonde/sensorer og analysator ikke var installeret optimalt. Det må ligeledes konstateres, at løbende vedligehold af udstyret ikke er forløbet optimalt. Dette - samt en meget kold vinter - har betydet, at der ikke er indsamlet et komplet data materiale.

Resultaterne giver anledning til følgende konklusioner.

Det vurderes overordnet, at det er muligt at monitorere udledninger af ammonium, kvælstof og fosfor fra et modeldambrug type 3 med on-line metoder med høj validitet. Det vurderes ligeledes, at et sådant program på sigt vil kunne erstatte den nuværende stikprøvekontrol, og at det vil kunne bidrage til øget driftsoptimering. Der er behov for yderligere udredninger af de økonomiske konsekvenser, men økonomien kan vise sig prohibitiv.

Konklusionerne bygger på fem forudsætninger.

1. Installation af udstyr skal tænkes ind i designet af dambruget, før det bygges. Efterfølgende montering på eksisterende anlæg kan være problematisk og kan nødvendige større anlægsmæssige ændringer.
2. Der skal etableres faste procedurer for løbende vedligehold og kalibrering af udstyret, og denne del skal - i det mindste på kort sigt - outsources til en professionel aktør.
3. Økonomisk lønsomhed kræver som minimum, at resultater fra on-line målinger kan erstatte resultater fra stikprøvetagning, så der ikke skal afholdes udgifter til både on-line målinger og analyser af stikprøver.
4. Der skal etableres en IT arkitektur, hvor måleresultater opsamles, bearbejdes og præsenteres således, at både myndigheder og opdrætter kan gøre brug af dem. Det anbefales, at der opbygges en fælles IT platform, og at denne del outsources.
5. Det følger af krav til vedligehold og opbygning af IT arkitektur, at der skal opbygges et vist minimumsmarked for systemet. Det vil således være nødvendigt, at programmet anvendes på flere anlæg.

Der er behov for yderligere afklaringer og optimeringer, og det anbefales derfor, at der gennemføres yderligere udredninger på området.

Summary and conclusions

The Danish fish farmers have in recent years invested heavily in the so called model fish farms type 1 and 3, and app. 1 / 3 of the total production in fish farming has shifted from "classical" farming operations to more modern technology.

Compliance with discharge requirements for e.g. nitrogen and phosphorus is currently evaluated with sample based monitoring programs. This typically calls for 26 samples of effluent and influent water. The latter can be reduced to 12 samples if intake source is either spring or drill water. The samples must be taken and analyzed by an accredited laboratory.

Sample based monitoring programs have certain weaknesses.

The assessment of whether the discharges comply with the conditions imposed is subject to some uncertainty, and there is a risk that the assessment is wrong. A wrong rating can have negative consequences for either the fish farmer or the environment.

The results are available only with a certain time lag, and they do not cover the entire operating period. They can therefore only to a limited extent be used for continuous optimization of plant operation and performance.

The Aquaculture Committee (2010) recommends that aquaculture should be regulated through performance based monitoring programs and that the transition should be supported by further development of online monitoring technologies.

Against this background it is relevant to investigate whether on-line measurements with sensor/probe devices on model fish farm type 3 can contribute to improved operational excellence and/or enhanced monitoring of emissions.

The overall aim is to test and demonstrate the use of a modern continuous measurement program on a model fish farm type 3 in order to monitor farm emissions of mainly nitrogen, ammonium and phosphorus as well as selected internal operating parameters (pH, oxygen, nitrate and nitrite).

Relevant production data are recorded continuously.

The project is implemented on "Løjstrup Dambrug" (modelfishfarm type 3) in the period 2010 to 2011.

On-line measurements of nitrate and nitrite is carried out with an optical UV-VIS sensor, temperature, pH and ammonia were measured with a multiparameter probe, the discharge of total phosphorus were determined by an autoanalyzer and oxygen content is measured with a sensor.

An OxyGuard Commander system is used for monitoring and data logging of dissolved oxygen (DO), temperature, pH and flow in water inlet and outlet.

The results for discharges are compared with results from analysis of samples from a traditional monitoring program.

Data are collected in a database using the software program DIMS, developed by DHI.

A vast number of data were monitored and logged under varying conditions (weather and operations), but it is clear that the probe, sensors and analyzer were not installed optimal. It should also be noted that the ongoing maintenance of the equipment failed to function optimal. This - and a very cold winter - has meant that there is a certain lack of data.

The results give rise to the following conclusions.

The overall assessment is that it is possible to monitor emissions of ammonia, nitrogen and phosphorus from a model fish farm type 3 with on-line monitoring programs and that such monitoring might replace current sample based monitoring programs and that it might contribute to increased operational excellence. There is a need for further investigations into the economic consequences, but economy may prove prohibitive.

The conclusions are based on five assumptions.

1. The installation of the equipment must be incorporated into the design of the farm before it is built. Refitting already existing farms can be problematic and may require major construction changes.
2. Firm procedures for ongoing maintenance and calibration of equipment are required, and this task must be outsourced to a professional actor – at least short term.
3. Economic viability requires at a minimum that results from on-line measurements can replace results from sampling.
4. Establishment of an IT architecture where measurement results are logged, processed and presented so that both authorities and fish farmers can make use of them. It is recommended to build a common IT platform, and that this part is outsourced.
5. It follows from the requirement for maintenance and IT architecture that a minimum market for on-line programs is required.

There is a need for further clarifications and optimizations, and further investigations are recommended.

1 Introduktion

De danske dambrugere har siden 2004 gennemført massive investeringer i modeldambrug type 1 og 3, og op mod 1/3 af den samlede produktion var i 2009 omlagt fra "klassisk" drift til anlæg med en højere grad af recirkulering.

De to anlægstyper reguleres forskelligt, i det klassiske dambrug reguleres på foderbruget, hvor modeldambrug reguleres på udledninger.

Den fremtidige miljømæssige regulering af dambrug var genstand for indgående drøftelser i det såkaldte "akvakulturudvalg", som i maj måned 2010 – efter dette projekts igangsætning – afleverede en række anbefalinger (1).

Udvalgets hovedanbefaling er, "at akvakulturen fremover reguleres gennem en resultatbaseret forvaltning, hvor målfastsættelsen og kontrollen sker direkte på udledningerne, og hvor der indføres et system med omsættelige kvoter for kvælstofbelastningen".

For dambrugenes vedkommende udmøntes anbefalingen i to tempi.

I juni måned 2011 trådte en ny bekendtgørelse for modeldambrug type 3 i kraft (bekendtgørelse om modeldambrug type 3 eller lignende anlæg, BEK nr. 478 af 10. maj 2011).

Der arbejdes p.t. på en ny bekendtgørelse, som skal omfatte alle dambrug.

Den resultatbaserede forvaltning forudsætter, at der ved godkendelse af dambrug fastsættes vilkår om maksimale årlige og daglige udledninger af organisk stof (målt som modificeret BI5), totalfosfor, totalkvælstof og ammoniumkvælstof.

Overholdelse af vilkår om maksimale årlige udledninger af ammoniumkvælstof og organisk stof kontrolleres med tilstandskontrol (koncentrationer). For totalkvælstof og totalfosfor kontrolleres udledningerne med transportkontrol (årlige udledninger).

De nuværende egenkontrolprogrammer gennemføres via analyser af stikprøver. Der udtages typisk 26 prøvesæt af dambrugets udløbs- og indløbsvand. Prøveantallet kan nedsættes til 12 prøver, hvis der kun indtages vand fra væld eller boring. Prøveudtagningen fordeles jævnt over driftsperioden, og der foretages kontinuerlige målinger af vandindtag og vandudledning.

Prøverne udtages og analyseres af et akkrediteret laboratorium.

På baggrund af analyseresultaterne vurderes det via statistisk kontrolteori, om dambruget har overholdt vilkår om udledninger:

$U \geq d + K*s$, hvor

U: Fastsatte udledervilkår, d: Gennemsnit af analyseresultater, K: Justeringsfaktor, s: Spredningen på analyseresultater.

Der henvises til litteraturlisten (2) for yderligere informationer om tilstandskontrol og transportkontrol.

Den skitserede metode til at sikre kontrol af udledninger fra dambrug har visse svagheder.

En stikprøvekontrol giver ikke et fuldt dækkende billede af udledningerne, i det koncentrationerne i udledningerne ikke er konstante over hele året. Vurderingen af, om udledningerne overholder de stillede vilkår, er derfor behæftet med en vis usikkerhed, og der er risiko for, at bedømmelsen er forkert.

For dambrugeren er risikoen, at kontrollen forkaster en udledning, der reelt har overholdt de stillede krav. Det kan fx være tilfældet, hvis stikprøverne er udtaget i perioder, hvor udledningerne er større end gennemsnittet.

For vandmiljøet er risikoen, at kontrollen accepterer en udledning, der ikke overholder de stillede krav, hvilket fx kan være tilfældet, hvis stikprøverne er udtaget i perioder med relativt lave udledninger.

I statistisk kontrolteori vælges størrelsen af disse risici, og dette afspejles i antallet af stikprøver og justeringsfaktoren (K).

Analyseresultaterne fra stikprøverne foreligger først med en vis tidsmæssig forsinkelse, og de dækker ikke hele driftsperioden. Derfor kan de kun i begrænset omfang anvendes til kontinuerlig optimering af anlæggets drift og ydeevne.

Det er derfor relevant at undersøge, om de nyeste teknologiske landvindinger indenfor måleteknik og styringsteknologi kan implementeres på modeldambrug type 3 til sikring af bedre driftsoptimering og kontinuerlig monitorering af udledninger.

Akvakulturudvalget anbefaler endvidere, at overgangen til resultatbaseret

forvaltning understøttes af udvikling af on-line teknologi

Projektets overordnede formål er på den baggrund at afprøve og demonstrere brugen af et moderne kontinuerligt målesystem på modeldambrug type 3 med henblik på at monitorere både anlæggets udledninger og de interne driftsparametre.

Følgende fire hovedspørgsmål søges besvaret:

1. Hvad er de væsentligste tekniske udfordringer i forhold til drift og indretning?
2. Hvor robust er teknologien overfor vejrlig og variationer i anlæggets drift?
3. Hvor valide er data fra on-line målinger?
4. Hvad er de økonomiske konsekvenser?

2 Materialer og metoder

Et dambrugs udledninger af kvælstof og fosfor påvirker især fjernrecipienten gennem eutrofiering (algevækst), og udledninger af ammonium og organisk materiale påvirker nærmiljøet nedstrøms dambruget (iltforbrug).

Bekendtgørelsen om modeldambrug opstiller således generelle krav til udledning af disse fire stoffer, som derfor er særlig relevante ud fra et myndighedsperspektiv.

Opdrætsvandets kvalitet har stor betydning for anlæggets drift og ydeevne, og der er i dette projekt fokuseret på pH, iltkoncentration, nitrat/nitrit og ammonium.

Alle målinger fra sensorer og fra laboratoriebestemmelserne er samlet i en database ved anvendelse af softwareprogrammet DIMS, der er udviklet af DHI.

2.1 Beskrivelse af Løjstrup Dambrug

Løjstrup Dambrug ligger ved Hadsten Lilleå og består af en afdeling vest for Lilleåen, der drives som et traditionelt gennemstrømningsanlæg, og et anlæg på den østlige side af Lilleåen, der er indrettet og drevet som et modeldambrug type 3. Forsøgene er gennemført på modeldambruget.

Dette er indrettet med 14 betonkummer, hvoraf de 10 kummer er 6 m brede, 26 m lange og ca. 1 m dybe. Disse kummer forsynes med vand fra dambrугets renseforanstaltninger gennem en fælles fødekanal. Herudover er der fire 6 m brede, 20 m lange og ca. 1 m dybe kummer med intern recirkulering af vand via air lifts. Sidstnævnte kummer bruges til små sættefisk, og de drives udelukkende på dambrугets friskvandsforsyning.

Afløbet fra kummerne føres via en fælles bagkanal til et betonkanalanlæg bestående af tre 83 m lange serieforbundne kanaler. Disse er hver 6 m brede og vandybden er på ca. 1,6 m. Hver kanal er indrettet med en air lift og to rækker slamkegler henholdsvis i kanalens midte og før udløbet af den enkelte kanal. Ved udløbet af den sidste kanal er der et mikrosigteanlæg bestående af 3 Ø 1,4 m tromlesigter med en længde på 2,5 m. Den samlede hydrauliske kapacitet for sigterne er 900 l/sek. ved en maskevidde på 74 µm i sigtedugen.

Anlæggets samlede opdrætsvolumen er på ca. 4.300 m³.

Efter mikrosigterne ledes vandet gennem en betonkanal til et kombifilter bestående af 11 kamre á 2 x 10 m. Højden på filterfyldningen er 1,1 m. Det samlede filtervolumen udgør 242 m³ og det specifikke overfladeareal er på ca. 194.000 m².

Fra kombifilteret går vandet via en air lift til kummernes indløbskanal. Overskudsvand ledes fra kombifilteret til en ca. 4.500 m² stor lagune opdelt i 3 bassiner.

Dambruget forsynes med vand fra 4 boringer, hvoraf der på skift indvindes fra 2 – 3 boringer. Vandet er noget jernholdigt, og den tilladte indvindingsmængde er på 45 l/sek. I forsøgsperioden har vandindvindingen udgjort ca. 25 l/sek. Den indvundne vandmængde registreres løbende ved hjælp af en magnetisk induktiv flowmåler.

Vand brugt på dambruget afledes til Hadsten Lilleå fra det sidste lagunebassin gennem et Ø 400 mm rør. Den afledte vandmængde bliver løbende registreret ved hjælp af en magnetisk induktiv flowmåler. Alle vandprøver er udtaget umiddelbart før afløbet fra lagunen.

2.2 Automatisk flowmåling af vandmængder

Vandmængder ind og ud af dambruget blev målt kontinuerligt med en elektronisk-magnetisk induktiv flowmåler, et vandur, monteret på et fuldløbende rør. Vanduret giver et analogt signal, der dels kan styre prøvetagningsudstyr og dels kan logges på en pc.

2.3 Prøvetagning (autosampler og indfrysning)

Der er dagligt udtaget vandprøver over 24 timer af afløbet fra lagunen (samlet afløb fra dambruget) med en ISCO Glacier vandprøvetager.

En vandkemisk døgnprøve består af en række delprøver på ca. 100 ml, som udtages hvert kvarter og puljes over et døgn i en stor flaske, dvs. i alt ca. 9,6 l prøve pr. døgn. Prøvetageren er udstyret med køleanlæg, og prøverne opbevares mørkt.

Efter omrytning af døgnprøven er der dagligt overført 0,5 l til en beholder opbevaret i fryser. Den frosne blandeprøve blev afhentet af Analytech efter 14 dage. Analytech er vant til at håndtere frosne prøver, så disse udgør ikke noget håndteringsproblem for laboratoriet. Nedfrysning af prøverne indebærer dog, at analysen for suspenderet stof ikke giver pålidelige resultater, da der f.eks. kan udskilles metalhydroxider fra vandet under indfrysning og optøning.

Vandmængder ind og ud af dambruget blev målt kontinuerligt

2.4 on-line måling med uv-vis sensor

I forsøgsperioden er der anvendt en UV-VIS sensor fra firmaet s::can i Østrig. Sensoren måler absorbansen gennem en vandprøve over et bredt spektralt område spændende fra UV til VIS. Forskellige dele af spektret kan korrigeres til forskellige parametre. Den del af spektret, som har meget korte bølgelængder, kan anvendes til at bestemme nitrat og nitrit-indholdet i prøven, mens den modsatte ende af spektret typisk anvendes til bestemmelse af turbiditeten.



Figur 1 Optisk sensor, multiparameterprobe og opstilling

Sensoren er udstyret med en lille kompressor, der kan rense målevolumet med trykluft, før målingen foretages. I praksis har udstyret været drevet således, at der før hver 5'te måling foretages en rensning. Dette kan normalt holde den værste begroning væk, men periodisk tilsyn og rensning af vinduerne er dog stadig nødvendig.

Foruden den optiske måler fra s::can er der også anvendt en mere traditionel multiparameter målesonde. Denne indeholder en temperaturmåler, pH elektrode og en ammonium ion-selektiv elektrode. Denne sonde er også tilsluttet kompressoren for automatisk rensning.

På ovenstående billeder er til venstre vist den optiske målesonde, mens sonden i midten er multiparameter proben med bl.a. ammonium elektroden. Til højre vises, hvordan udstyret er monteret i praksis, og her ses også controlleren, der opsamler målesignalerne.

2.5 on-line måling med autoanalyser

Til bestemmelse af totalfosfor indholdet i udløbet fra dambruget er der anvendt en skabs-analysator fra Stip/Isco. Måleskabet tager en prøve ind og tilføjer forskellige reagenser, hvorefter det totale fosfor indhold kan bestemmes via en optisk måling. Der dannes et farvestof, og mængden er proportional med indholdet af fosfor.



Figur 2 Autoanalyser og opstilling

Ovenfor ses et billede af selve analysatoren, mens det andet billede viser hvor den var opsat på Løjstrup Dambrug.

I lagunen, hvor sensorerne er placeret, er der også monteret en Eheim springvandspumpe, der sender en prøvestrøm ind til fosfor analysatoren. Prøvestrømmen kommer gennem den grå-orange slange, der går gennem væggen ved siden af analysatoren. Prøveslangen er i det fri isoleret med en rørsål, og der er indlagt en varmetråd sammen med slangen i denne rørsål, så prøvestrømmen ikke fryser til. Effekten i varmetråden styres således, at prøvestrømmen ved indløb i huset ikke kommer under 4 grader, men der er ikke køling på, så i den varme del af året har temperaturen været højere.

2.6 Analysebaserede målinger

Til kontrol af on-line målingerne og dambrugets udledning af BI5, total kvælstof og totalfosfor var der planlagt udtaget normale ind- og udløbsprøver med 14 dages mellemrum. Prøverne blev afhentet af Analytech. Indløbsprøver fra dambrugets grundvandsindtag blev udtaget som stikprøve, mens udløbsprøverne bestod af den sidst udtagne døgnprøve efter fradrag af ½ l til 14 dages prøven. I vinteren 2011 opstod der problemer med driften af autosampleren som følge af frost, hvorfor der i en periode ikke blev udtaget prøver. Resultatet af de relevante analysebaserede prøver er vist i afsnit 3.5.

2.7 Måling af pH, opløst ilt (DO) og temperatur

Til måling, overvågning og datalogning af DO, temperatur, pH samt flow i ind- og udløb anvendes et OxyGuard Commander system.

Commander systemet består af en Master Box i kontoret, forbundet ved hjælp af et datakabel til en indgangs/udgangsbox, DO meter og pH transmitter (pH Manta) ved dammene. To OxyGuard iltsonder, som også måler temperatur, er forbundet til DO metret.

Ved indløbet var målingerne først placeret i plastrøret og målte således på "rå" indløbsvand. På grund af okkerbelægninger blev de flyttet til efter okkerfilteret som vist nedenfor.



Figur 3 Sonde ved hhv. indløb og udløb

Ved udløbet blev der målt i lagunen lige ved udløbsrøret (se foto).

Ved en given anlægsstørrelse og vandgennemstrømning, og forudsat at vigtige parametre såsom pH og opløst CO_2 holdes indenfor acceptable grænser, bliver det opløst ilt (DO) og temperatur, som bestemmer fiskenes aktivitetsniveau og foderbehov. Disse parametre, sammen med fiskenes art og udviklingstrin (størrelse), gør det muligt at bestemme den optimale foderdosering for at sikre optimal vækst og minimum udledning.

Der er tre hovedmetoder til drift af dambrug. Hver metode findes dog i mange varianter.

Ved traditionelle gennemstrømningsdambrug anvendes det forekommende vand, som det er, og mængden af fisk tilpasses de aktuelle betingelser. En vis grad af beluftning finder sted, særligt i de varme sommermåneder.

Ved mere intensive dambrug beluftes vandet systematisk, og recirkulation af en del af vandet kan finde sted. Under visse omstændigheder kan der tilsættes ilt, for eksempel ved høj biomasse. Løjstrup Dambrug hører til denne kategori. Denne form for drift tillader en højere biomasse per kubikmeter. Det recirkulerede vand filtreres i både tromlefilter samt biofilter inden opblanding med friskt indløbsvand og opiltning. Målinger på udløbsvandet sikrer, at driften fungerer indenfor de ønskede rammer. Målinger af opløst ilt i dammene kan også foretages. Det er vigtigt at bemærke, at der ved beluftning kun kan opnås en iltkoncentration i vandet, der svarer til 100 % mætning. Om sommeren, hvis vandet når $20\text{ }^\circ\text{C}$, svarer 100 % til $9,1\text{ mg/l}$, og det kan – afhængig af biomassen – være for lidt. Anvendelse af ren ilt tillader højere værdier og er en god sikring til opnåelse af god vækst og minimum udledning.

Nedenstående billede af Løjstrup Dambrug viser kegler til opiltning samt overløb til beluftning.



Figur 4 Kegler til opiltning

Ved den mest intensive form for dambrug anvendes ren ilt, og en meget høj grad af recirkulation er mulig. Her holdes indløbsvandet på et minimum. Der reguleres og tilsættes ilt både før og efter i hver dam. Funktionen af filtrene overvåges nøje – målinger af opløst CO_2 er her meget vigtig. Denne metode tillader de højeste bestandstætheder, da det har den højeste grad af styring af vandkvaliteten.

2.8 Data registrering, opsaml ing og bearbejdning

Alle målinger fra de forskellige sensorer og fra laboratoriebestemmelserne er samlet i en database ved anvendelse af softwareprogrammet DIMS, der er udviklet af DHI.

Data fra s::can sensorerne er automatisk opsamlet af en lokal PC og derefter videresendt til databasen i real tid. Dataindlæsningen er foretaget ved hjælp af gennemlæsning af de tekstbaserede filer, som s::can sensorerne kan aflevere.

På lignede vis er data fra OxyGuard sensorerne blevet læst ind i databasen via filer i XML-format, mens målingen fra total-P måleskabet er overført via et ADAM-modul fra Advantech, idet analyseresultatet fra total-P måleren afleveres som et 4-20 mA signal.

DIMS systemet har mulighed for at samle data ind fra mange forskellige datakilder, så i databasen er også indlagt resultatet fra de vandprøver, der er blevet analyseret på eksternt laboratorium. Driftsdata som fx fiskemængder, foderforbrug og forbrug af hjælpestoffer er også indtastet i databasen

2.9 Kvalitetssikring

On-line målingerne blev sammenholdt med de prøver, der blev analyseret af Analytech. En ulempe i den forbindelse er tidsforskydningen mellem prøveudtagningen og afrapporteringen af prøverne. Det tog også nogen tid, før prøverne blev visualiseret, og der var ikke noget objektivt kriterium for den tilladelige afvigelse. Ved en eventuel videreførelse af projektet bør der indledningsvis sikres en standard for kvalitetssikringen.

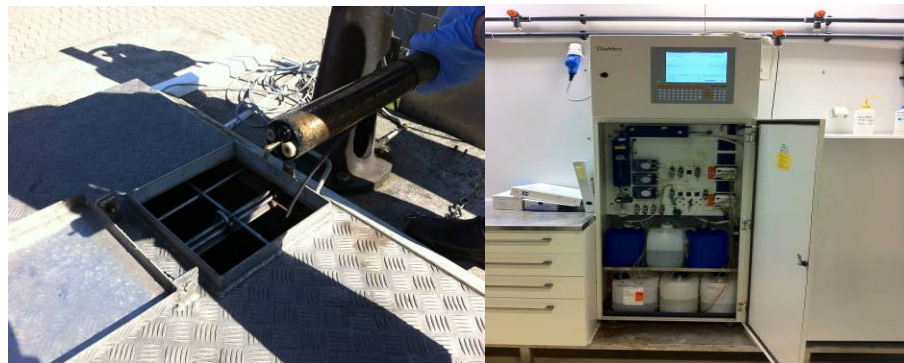
2.10 Erfaringer fra Åby Renseanlæg

Nedenstående billeder er taget fra Åby Renseanlæg ved Aarhus i forbindelse med et besøg på anlægget.

Figur 5 viser sensor ved udløb (ilt, pH m.m.) og autosampler ved udløb og figur 6 viser sensor ved udløb (ammonium, nitrat/nitrat) og autoanalyser (totalkvælstof og totalfosfor).



Figur 5 sensor (ilt, pH) ved udløb og autosampler



Figur 6 sensor (ammonium m.m.) ved udløb og autoanalyser

Besøget bekræftede to vigtige formodninger. For det første, at det er afgørende, at installationen af udstyret er placeret optimalt, og for det andet, at løbende vedligehold er af yderste vigtighed. Renseanlægget har således kontrakt med leverandøren, som forestår regelmæssig kontrol og vedligehold af udstyret.

Resultaterne anvendes kun til optimering og styring af den daglige drift. Vurderingen af anlæggets udledninger bygger på stikprøveanalyser, men on-line målingerne giver et væsentligt bidrag til den daglige monitoring af både drift og udledninger.

3 Resultater og diskussion

3.1 Produktion på Løjstrup Dambrug

Produktionen på Løjstrup Dambrug er kendetegnet ved store årstidsvariationer i den stående bestand. Der produceres primært fisk til udsætning i havbrug på 800 – 1.000 g/stk.

Disse fisk overføres normalt i april måned til netbure i havet. Umiddelbart før overførslen til havbrug kan bestanden på Løjstrup Dambrug Øst andrage 240 – 260 ton. Efter overførslen falder bestanden til ca. 40 ton. På dette tidspunkt omfatter besætningen hovedsageligt sættefisk til næste års produktion af havfisk.

Sættefiskene startes i kummer, der modtager vand direkte fra dambrugets borer. Ved udsætning i disse kummer er størrelsen ca. 4 – 5 g/stk.

3.2 Drift og vedligehold af udstyr

Udstyr, der indgik i dambrugets daglige drift – vand, Ilt og pH målere – blev vedligeholdt af dambruget, hvor dambruget havde mulighed for at få assistance fra OxyGuard. Udstyr til måling af total fosfor, ammonium og nitrit blev efterset og serviceret af DHI og Dansk Akvakultur, mens Dansk Akvakultur alene stod for driften af autosampleren. Efter vinterens problemer med autosampleren tog det for lang tid, at få denne i drift, og der kunne i det hele taget være udvist større omhu med vedligeholdelse af måleudstyret. Det må – som tilfældet også er med Åby Renseanlæg - anses for en nødvendighed, at der foreligger en fast aftale om tilsyn og vedligehold af udstyr, såfremt en fremtidig egenkontrol skal baseres på on-line målinger.



Figur 7 sonder ved forsøgets afslutning

Sådan så sonderne ud ved afslutningen af forsøget

Der har været problemer med okker aflejringer på ilt- og pH sonderne i indløbet, da sonden var monteret direkte i det indpumpede vand. Problemet blev afhjulpet ved at flytte sonderne til efter okkerfilteret.



Figur 8 iltsonde og pH sonde

Selvom OxyGuard iltsonden er den mindst vedligeholdelseskrævende på markedet, vil aflejringer, som er uigennemtrængeligt for ilt, påvirke den. Regelmæssig kontrol og eventuel aftørring, for eksempel ved 1 uges eller 1 måneds mellemrum, er derfor at anbefale.

Ligeledes bør pH sonden kontrolleres og aftørres på elektrodespidsen ved regelmæssige mellemrum. pH sonder har den ulempe, at når de holder op med at virke, giver de et udgangssignal på pH 7, hvad der svarer til det ønskede pH på udledning vand. Kontrol af pH sonder er derfor meget vigtigt.

pH sonden fra udløbet:



Figur 9 pH sonde ved udløb

3.3 Prøveopsamling

Bortset fra perioden i vinteren 2011, hvor autosampleren var ude af drift, forløb udtagningen af vandprøver problemløst. Sikres autosampleren mod frost ved placering i et opvarmet rum, findes der ikke at være problemer med at udtage puljede 14 dages prøver

3.4 Prøveopsamling

For at opnå gode og pålidelige målinger uden stort vedligehold er det nødvendigt at montere sensorerne på steder, hvor der naturligt er et flow. Samtidig skal vandet være repræsentativt for det, der ønskes målt i, så i det

aktuelle forsøg blev det besluttet at måle i den lille lagune umiddelbart inden udløb til Lilleåen.

Beslutningen blev taget af praktiske årsager, da det var nemt at komme til på dette sted, men over tid blev der opbygget en del slam og andemad i lagunen, så flowhastigheden var for lille til at kunne holde målefeltet rent.

Et bedre sted at måle vil være i udløbsrøret til åen, men af praktiske årsager skulle der bygges meget om for at kunne montere sonder på det sted, så det blev opgivet i denne omgang. Andre steder på anlægget var der bedre flowforhold, men til gengæld ville det så ikke være repræsentativt for det vand, der udledes til åen.

Prøveslangen ind til totalfosfor analysatoren, der på nedenstående billede ses som en grå/orange slange, blev isoleret og monteret med en varmeledning for at holde den frostfri i vinterperioden. Denne del fungerede meget fint i praksis.



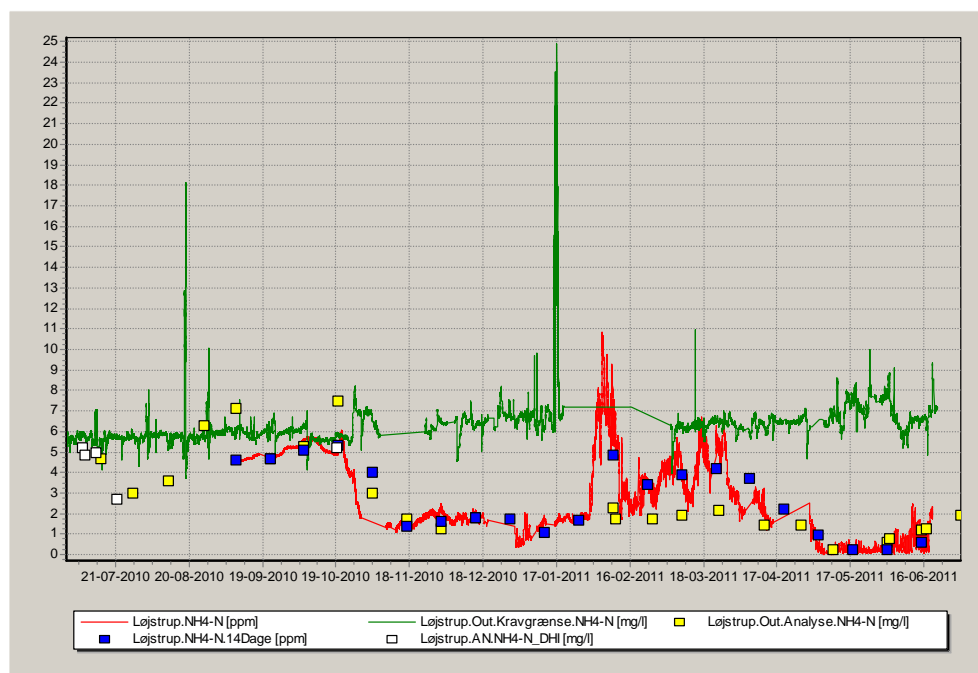
Figur 10 placering af sensor og prøveslange til analysator

I starten kunne trykluftssystemet holde målefeltet frit for begroning, men som tiden gik, blev lagunen fyldt op med slam og andemad, og så kunne sonden ikke længere holde sig selv ren. På billedet nedenfor ses, hvordan lagunen så ud ved hhv. start og afslutning af forsøgsperioden



Figur 11 lagune ved hhv. start og afslutning

3.5 Resultater fra on-line målinger og analyser



Figur 12 resultater ammonium målinger

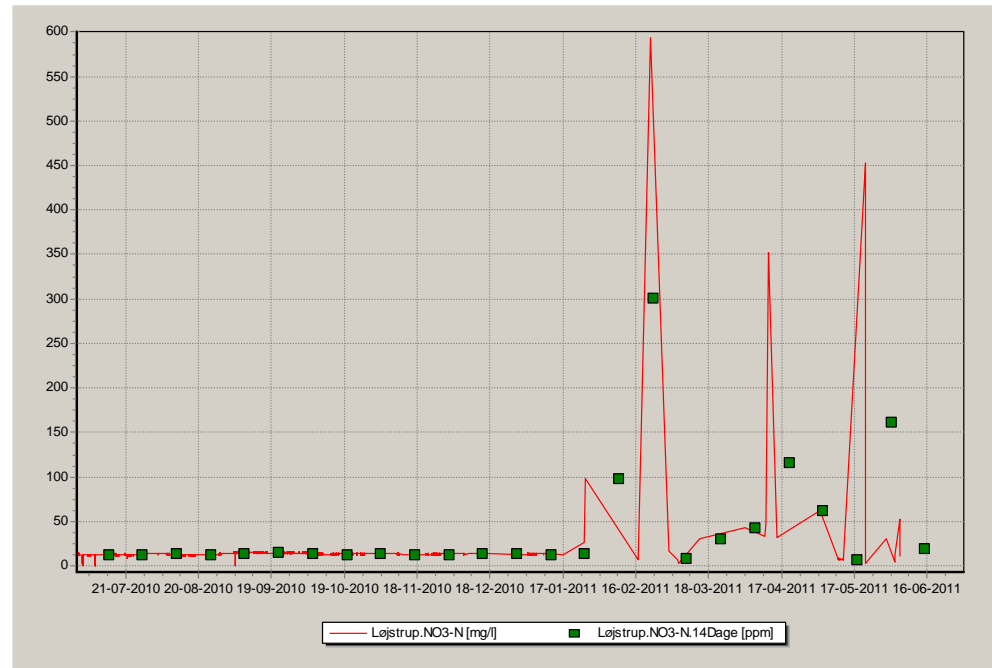
På ovenstående figur ses resultatet af målingerne af ammonium. Målingerne er foretaget med en ionselektiv elektrode. Den røde kurve viser sensorsignalet, som det er målt gennem tiden. De blå firkanter er beregnede 14 dages middelværdier. Denne beregnes som middelværdien af de senest forløbne 14 dage, hvilket giver en vis latenstid ved ændringer i koncentrationen.

De gule firkanter kan sammenlignes med de blå, da de fremkommer som laboratorieanalyserne af de udtagne 14-dages prøver over samme periode.

I starten af måleperioden var der fejl på den leverede elektrode, så derfor er der ingen data før september. Efter jul blev vandet i lagunen meget koldt og der kom is på overfladen, så i den periode har sonden målt i vand, der var

koldere, end det sensoren er specificeret til at kunne måle i. Når der ses bort fra den koldeste del af vinteren, er der meget godt sammenfald mellem de målte sensorværdier (blå firkanter) og analyseresultaterne (gule firkanter) fra de indsamlede prøver.

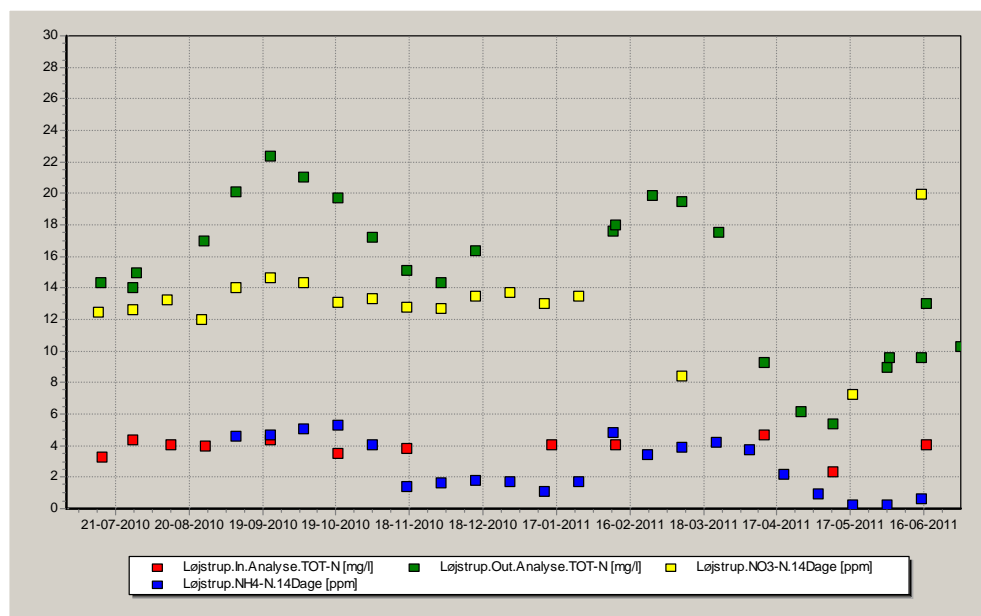
Den grønne kurve er beregnet ud fra kravet til den maksimale koncentration, der må være i udløbet. Kurven beregnes på baggrund af det aktuelt målte flow. Da flowmåleren har været ude af drift i nogle perioder, er der også nogle huller i beregningen. Disse er vist som rette linjer.



Figur 13 resultater nitrat målinger

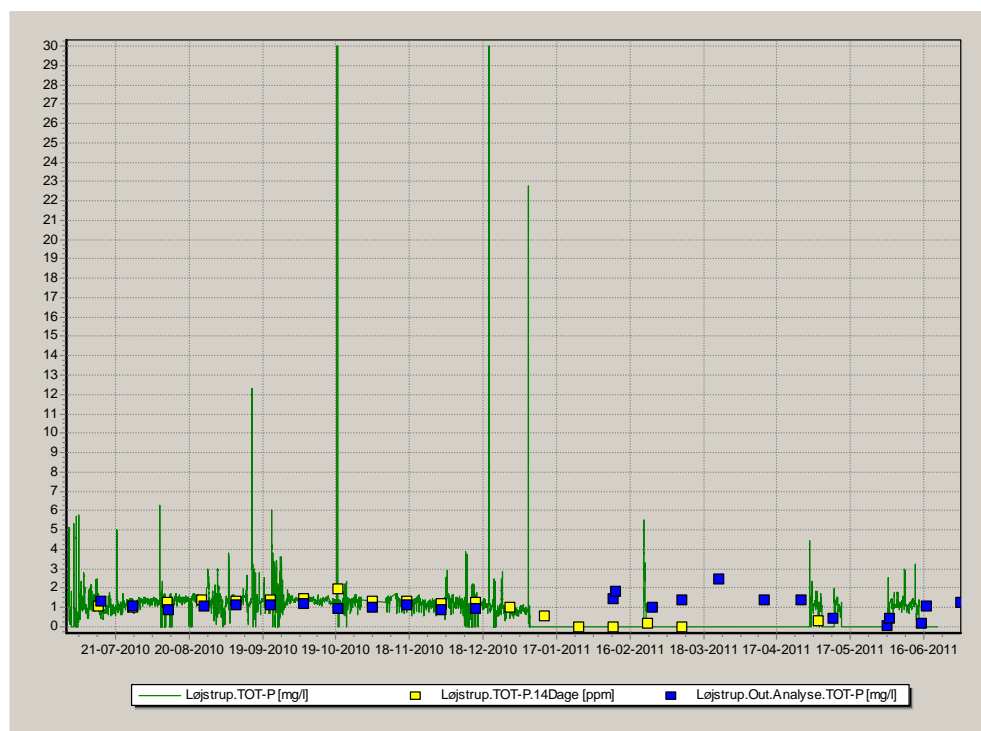
I målesonden er der også en nitrat måler. Denne fungerer som en optisk måling, idet nitrat absorberer i det dybe UV område. Der er ikke lavet nogen analyser i måleperioden, så der er ikke foretaget en absolut kalibrering af målesonden. Målesignalet skal fx kompenseres for indholdet af partikler i vandet, da de typisk også vil bidrage til absorbansen i det ultraviolette område. Dette er ikke foretaget, så i starten af måleperioden, hvor målemediet kun havde begrænset partikelindhold, findes målinger, men i slutningen af perioden er der så mange partikler i vandet, at lyset ikke kan komme gennem prøven, og derfor findes urealistisk høje værdier for nitraten.

Resultaterne i starten af perioden er dog sikkert lidt for høje, da der ikke er foretaget en kalibrering af sensoren for at eliminere effekten af partikelindholdet.



Figur 14 resultater for total kvælstof

Der er lavet analyser af total-N i både indløb og udløb. På ovenstående figur ses disse analyseresultater sammen med de beregnede 14 dages middelværdier af sensorsignalerne fra hhv. nitrat og ammonium målerne. Kurveforløbet af summen af nitrat og ammonium og totalkvælstof analyserne er nogenlunde sammenfaldende bort set fra den tidligere beskrevne parallelforskydning af nitrat-målingerne



Figur 15 resultater for total fosfor

Resultaterne fra total fosfor målingerne er vist på ovenstående graf. Den grønne kurve er måleresultaterne fra analysatoren, der foretager en måling hver time gennem prøveperioden. Vand fra lagunen bliver pumpet ind til det lille laboratorium, hvor analysatoren står. For enden af pumpeslangen er

monteret en sugokolbe, som udgør et lille reservoir for vand, som analysatoren kan tage af, når der skal måles. Opstillingen er lavet på den måde, da analysatoren ikke må suge luft ind med prøven.



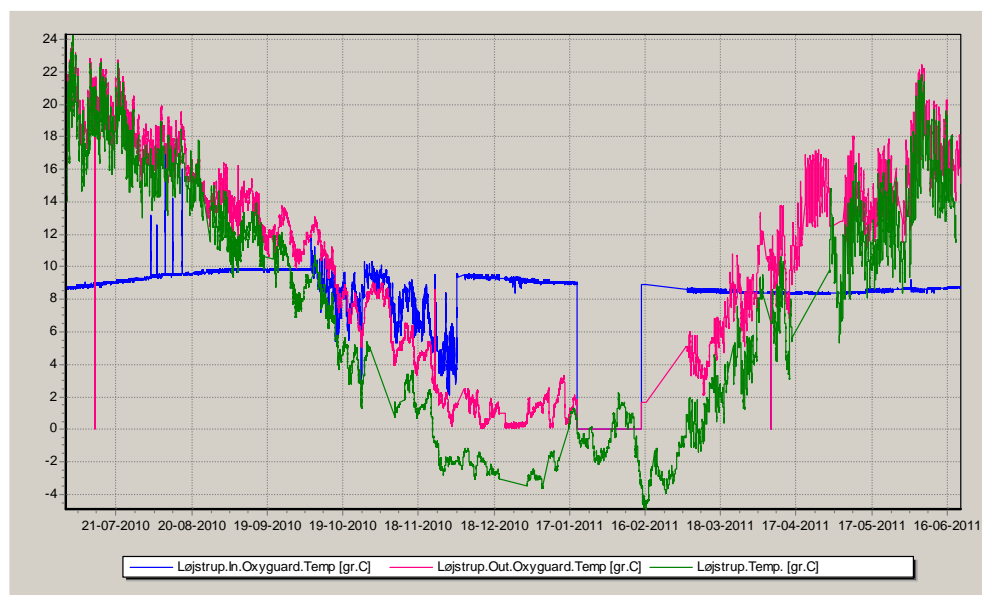
Figur 16 frostsprængt sugokolbe til analysator

Det ekstra vand, der pumpes ind, løber over kanten på kolben og videre ud i en vask, og med jævne mellemrum er kolben blevet tømt for sedimenteret materiale. Sugeslangen til analysatoren er monteret et stykke over bunden af kolben, så der ikke direkte suges grove partikler ind i målekammeret.

I forbindelse med et strømsvigt i slutningen af december, blev der så koldt i laboratoriet, at prøvekolben blev frostsprængt, hvorefter den blev udskiftet.

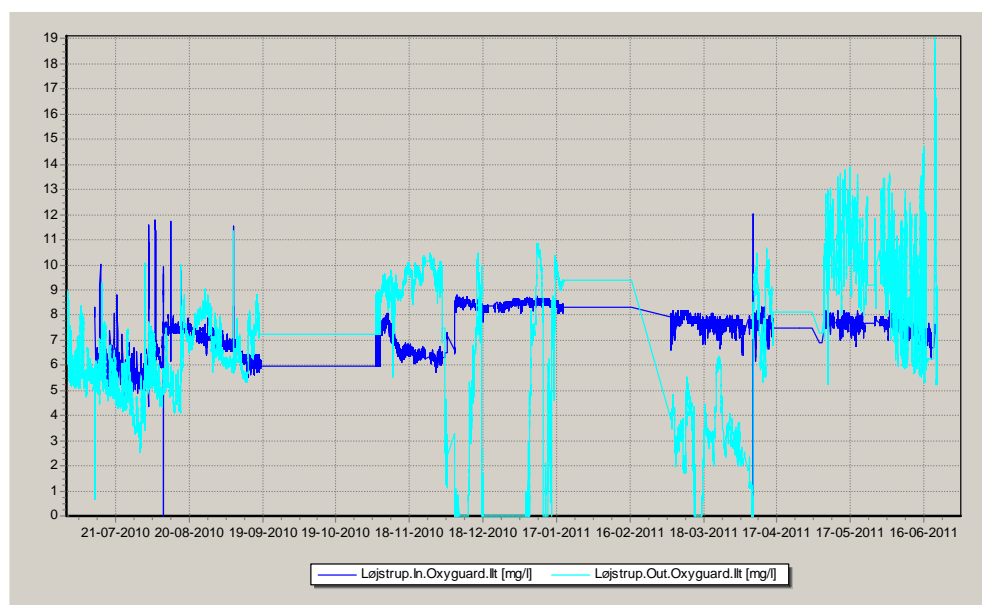
Da analysatoren igen blev sat i drift efter dette udfald, var den lidt ustabil. Efter forsøgsperioden er analysatoren blevet adskilt, og det har vist sig, at der også var kommet en lille revne i målekammeret – sandsynligvis forårsaget af en frostsprængning gennem den kolde tid. Resultaterne efter jul kan derfor ikke tillægges særlig værdi, men indtil jul har analysatoren kørt meget stabilt og givet resultater, der er meget tæt på resultatet fra laboratorie-prøverne.

Samme strømsvigt har bevirket, at computeren ophørte med at virke. Computeren fungerer som langtidsdatalager for Commander systemet, og ved re-etablering af strømmen blev der ikke kontrolleret, at denne funktion også var genetableret. Der mangler derfor visse data for en periode i januar-februar 2011.



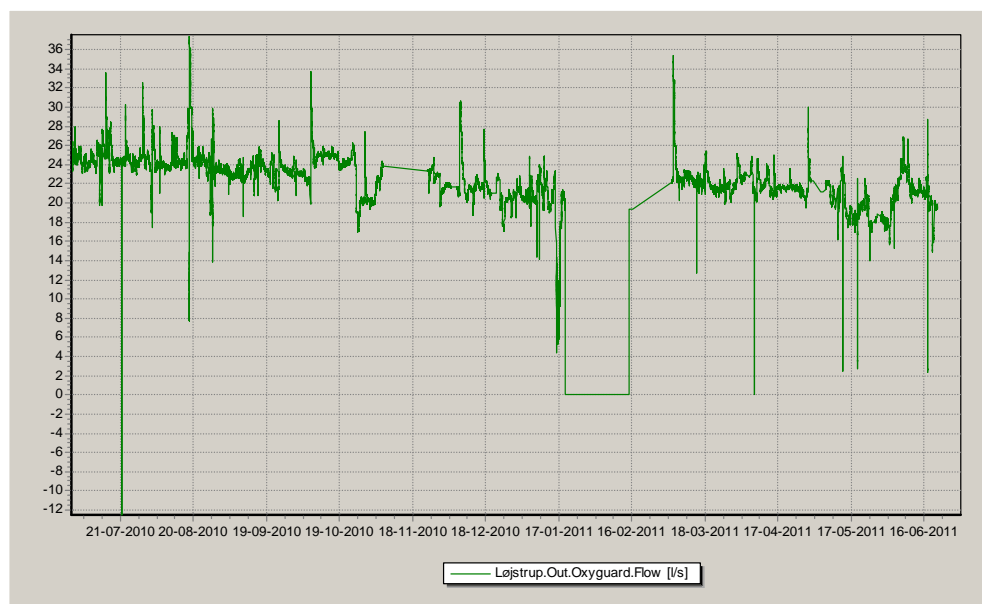
Figur 17 temperatur målinger

Temperaturen er målt 3 forskellige steder på anlægget. Sammen med iltmålerne i ind (blå kurve) og udløb (rød kurve) fra dambruget er temperaturen blevet målt, foruden i s::can multisonden i lagunen (grøn kurve).



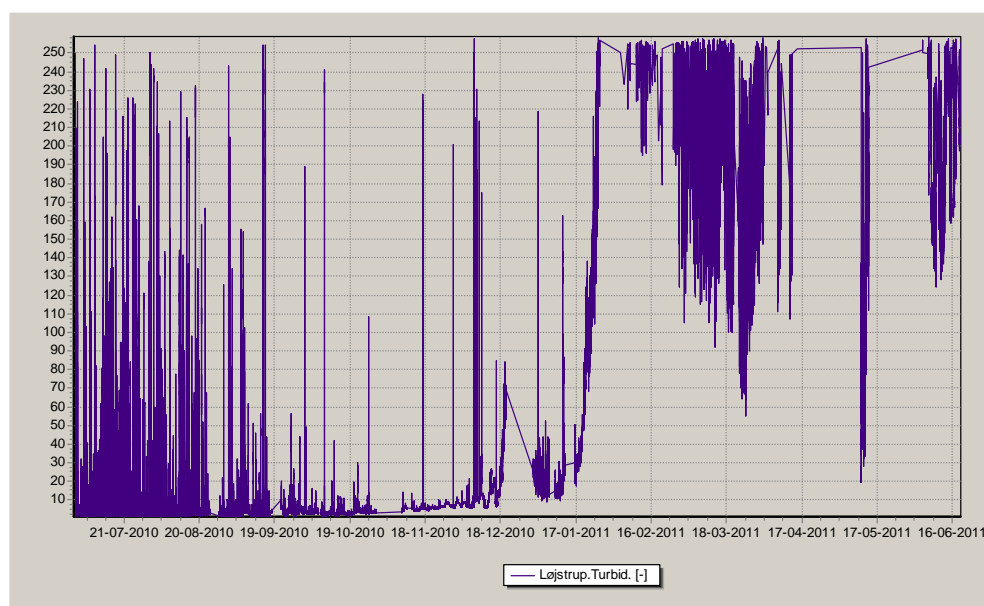
Figur 18 iltmålinger

Iltindholdet er målt i hhv. indløb (mørkeblå kurve) og udløb (lyseblå kurve)



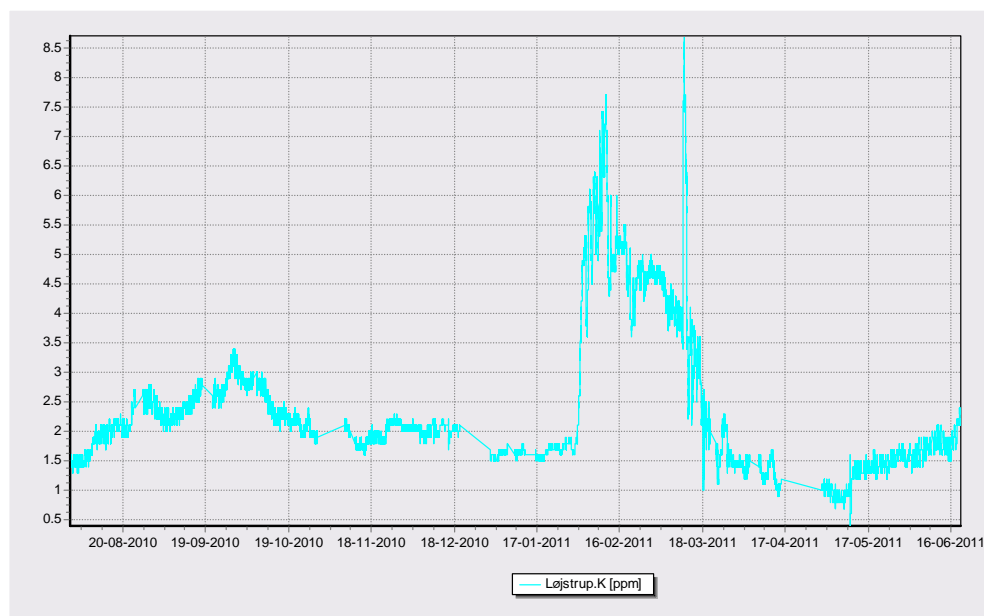
Figur 19 flowmålinger

Ovenstående graf viser data for flow



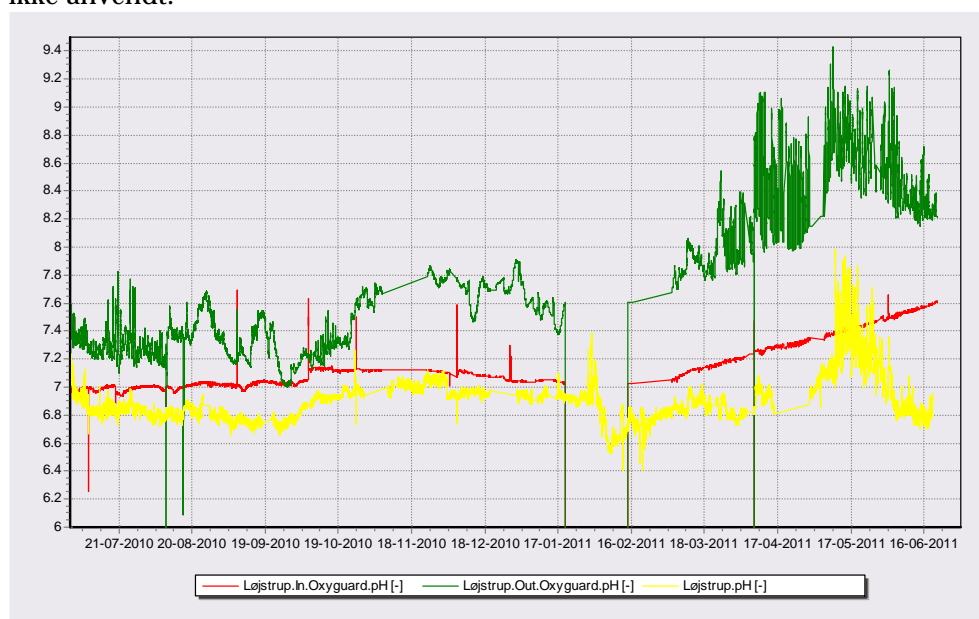
Figur 20 turbiditet

Turbiditeten er blevet målt med s::can udstyret i lagunen. I den sidste del af måleperioden er turbiditeten meget høj, og det er som nævnt tidligere årsag til, at der ikke kan måles nitrat.



Figur 21 signal fra kalium elektrode

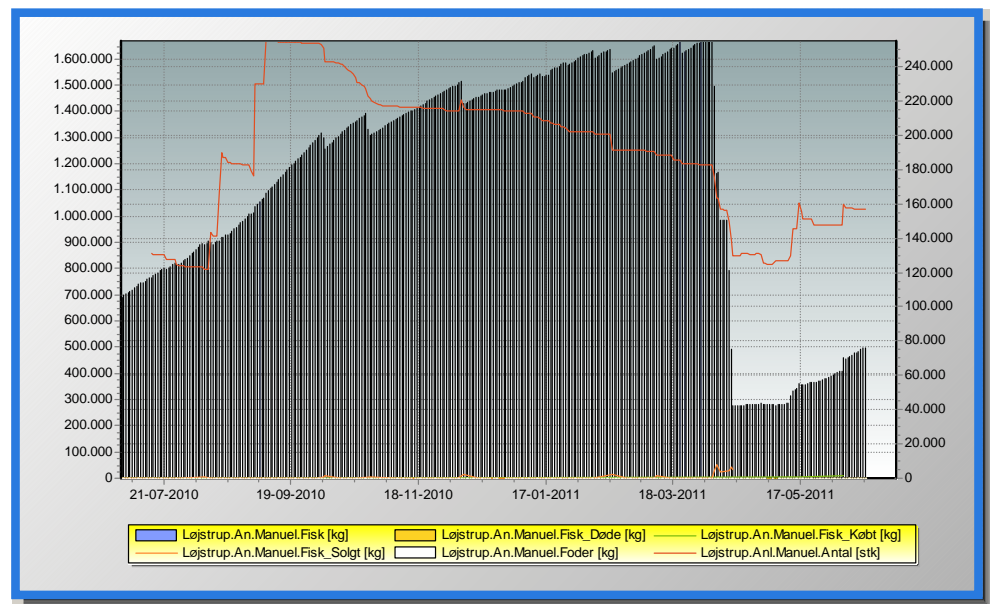
I s::can multisonden findes en Kalium-elektrode, der anvendes som kompensations-elektrode for ammonium-elektroden. Signalet fra Kalium-elektroden er også medtaget her, da signalet er til rådighed, men ellers er det ikke anvendt.



Figur 22 pH målinger

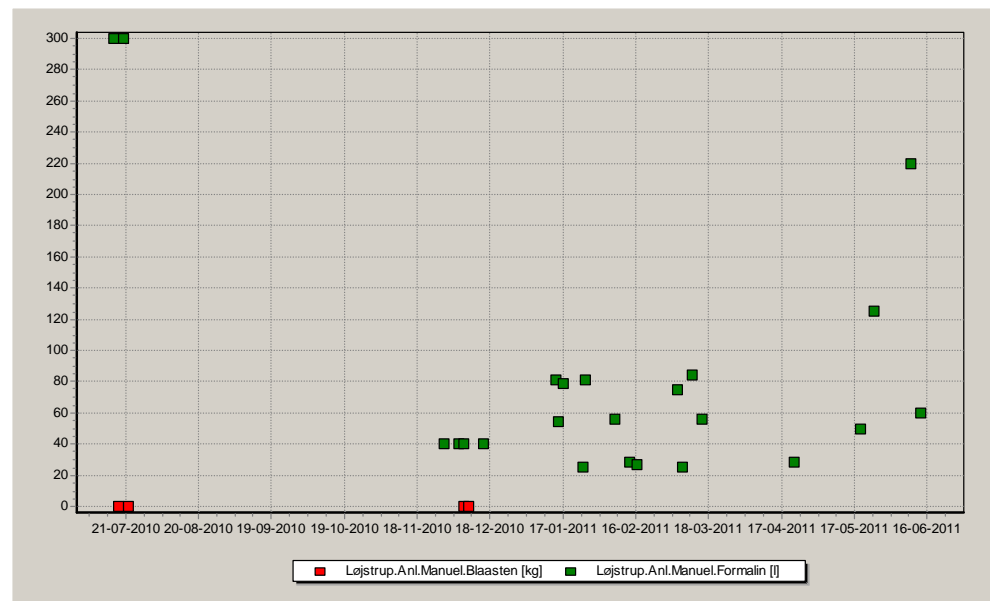
Der bestemmes pH med Oxyguardsensorer i hhv. ind- og udløb, samt med s::can multisonden i lagunen. Disse signaler er vist på ovenstående figur i nævnte rækkefølge med rød, grøn og gul farve. I slutningen af måleperioden bliver signalererne meget springende, hvilket er et tegn på, at sensorerne trænger til rensning.

3.6 Resultater fra interne driftsdata



Figur 23 udvikling i fiskebestand

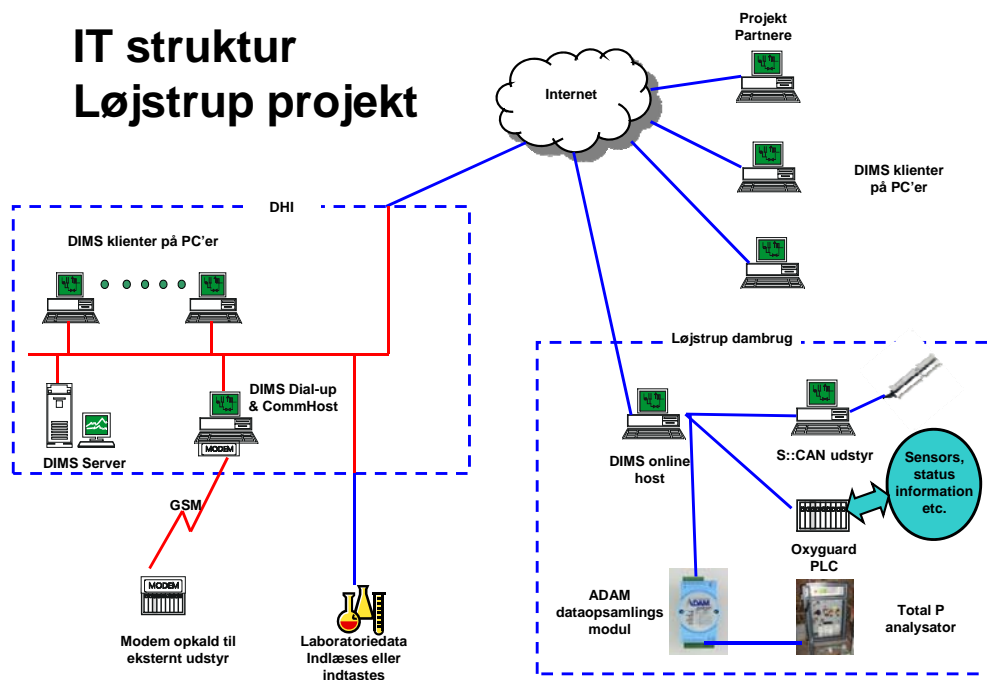
Ovenstående graf viser udviklingen i den bestående fiskebestand gennem forsøgsperioden.



Figur 24 Tilsætning af blæsten og formalin

Grafen viser, hvornår der er tilsat blæsten og formalin i måleperioden.

3.7 IT struktur



Figur 25 it struktur

Den anvendte IT struktur i dette projekt er baseret på data managements systemet DIMS. Systemet er et klient/server system, og selve DIMS-serveren, der indeholder den centrale database med alle de opsamlede data, er placeret hos DHI, mens alle projektpartnere har adgang til data via DIMS-klienter.

På Løjstrup Dambrug er der installeret en DIMS online host PC, der i realtid sender data fra de forskellige sensorer og målesystemer til databasen. På tegningen er illustreret, at der på forskellig vis opsamles og videresendes data. Fra s::can-udstyret sendes data via en indbygget industri-PC, mens målesignalet fra total-P analysatoren konverteres fra 4-20 mA til digitalt signal via et Advantech modul. Data fra OxyGuard-sensorerne udveksles via nogle XML-filer, som oversættes til måleværdier, der kan gemmes i databasen.

I projektet er analyseresultaterne blot indtastet i databasen, da resultatet fra laboratoriet er leveret på papir, men der er mulighed for automatisk indlæsning, hvis resultaterne leveres på elektronisk form.

3.8 Økonomi

Udgifterne til et on-line måleprogram, som det her afprøvede, udgøres af fire hovedposter.

Der er udgifter til selve måleudstyret: Fosfat analysator, automatisk prøvetager, ammoniums sensor, nitrat/nitrit sensor og ilt/pH måler.

Priser på de fire første er indhentet fra Aquasense, og pris på ilt/pH måler er indhentet fra OxyGuard A/S. Udgifter til installation (container, el, pumpe m.m.) på nyt hhv. eksisterende anlæg er vurderet af Dansk Akvakultur.

Vedligehold m.m. vil skulle outsources til en professionel aktør som fx Aquasense. Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at udarbejde et

kvalificeret bud på denne omkostning, da det bl.a. vil afhænge af antallet af anlæg, der overgår til on-line måleprogrammer.

Endelig er der udgifter til IT m.m. som heller ikke kan vurderes på det foreliggende grundlag. Det forventes dog, at udgifter til vedligehold vil være ganske betydelige, men at udgifter til IT vil være relativt marginale.

Omkostningerne ex vedligehold og IT er som følger for et nyt anlæg

Måleudstyr	
Fosfat analysator (Bran & Luebbe)	130.000
Automatisk prøvetager (ISCO, 24 prøver, køl m.m.)	36.000
Ammoniumsensoren (S::CAN)	30.000
Nitrat/nitrit sensor (S:CAN)	144.000
Ilt/pH m.m. (PACIFIC)	40.000
Sum	380.000
Installation: Nyt anlæg	36.000
Installation: Eksisterende anlæg	100.000
I alt: Nyt anlæg	416.000
I alt: Eksisterende anlæg	480.000

Tabel 1 omkostninger til udstyr og installation

Omregnes investeringen til en ydelse (30 % tilskud EFF, 8 % i rente, 10 år) svarer beløbene til hhv. ca. 43.000 kr. og 49.000 kr. per år.

Udgifterne til et stikprøveprogram (26 prøver udløb og 12 prøver indløb) er af Dansk Akvakultur anslået til ca. 44.000 kr. per år.

Udgifter til måleudstyr og installation vil derfor være på niveau med udgifter til et konventionelt stikprøveprogram, og merudgiften ved on-line måleprogrammer udgør på den baggrund udgifter til løbende vedligehold og IT.

Det vurderes, at det formodentlig vil være en forudsætning, at myndighederne accepterer, at resultater fra on-line målinger vil kunne erstatte resultater fra stikprøver, at on-line målinger vil være dyrere end stikprøver, men at dette skal ses i forhold til de yderligere fordele, som dambruget opnår med realtids data og deraf følgende bedre muligheder for driftsoptimering.

Sammenfattende konkluderes det derfor, at økonomien ikke umiddelbart vurderes som prohibitiv, men at markedet for on-line målinger vil – i hvert fald på kort sigt - være begrænset til større modeldambrug (over 500 tons).

4 Konklusion

Der er gennemført on-line målinger med sensor/sonde på et modeldambrug type 3 mhp. at undersøge, om det kan bidrage til bedre driftsoptimering og/eller styrket monitoring af udledninger.

On-line målinger af nitrat og nitrit er gennemført med en optisk UV-VIS sensor, temperatur, pH og ammonium er målt med en multiparameter målesonde, udledning af total fosfor er bestemt med en skabs-analysator og iltindholdet i anlægget er målt med sensor.

Til måling, overvågning og datalogning af opløst ilt (DO), temperatur, pH samt flow i ind- og udløb anvendes et OxyGuard Commander system.

Projektet er gennemført på Løjstrup Dambrug (modeldambrug type 3) i perioden 2010 til 2011.

Resultaterne for udledninger er sammenholdt med resultater fra analyser af stikprøver fra et traditionelt stikprøveprogram.

Alle målinger er samlet i en database ved anvendelse af softwareprogrammet DIMS, der er udviklet af DHI.

Det må konstateres, at sonde/sensorer og analysator ikke var installeret optimal. Det må ligeledes konstateres, at løbende vedligehold af udstyret ikke er forløbet optimal. Dette - samt en meget kold vinter - har betydet, at der ikke er indsamlet et komplet data materiale.

Resultaterne giver anledning til følgende konklusioner.

Det vurderes overordnet, at det er muligt at monitorere udledninger af ammonium, kvælstof og fosfor fra et modeldambrug type 3 med on-line metoder med høj validitet. Det vurderes ligeledes, at et sådant program på sigt vil kunne erstatte den nuværende stikprøvekontrol, og det vil kunne bidrage til øget driftsoptimering. Der er behov for yderligere udredninger af de økonomiske konsekvenser, men økonomien kan vise sig prohibitiv.

Konklusionerne bygger på fem forudsætninger.

1. Installation af udstyr skal tænkes ind i designet af dambruget, før det bygges. Efterfølgende montering på eksisterende anlæg kan være problematisk og kan nødvendige større anlægsmæssige ændringer.
2. Der skal etableres faste procedurer for løbende vedligehold og kalibrering af udstyret, og denne del skal - i det mindste på kort sigt - outsources til en professionel aktør.
3. Økonomisk lønsomhed kræver som minimum, at resultater fra on-line målinger kan erstatte resultater fra stikprøvetagningen, så der ikke skal afholdes udgifter til både on-line målinger og analyser af stikprøver.
4. Der skal etableres en IT arkitektur, hvor måleresultater opsamles, bearbejdes og præsenteres således, at både myndigheder og opdrætter

kan gøre brug af dem. Det anbefales, at der opbygges en fælles IT platform, og at denne del outsources.

5. Det følger af krav til vedligehold og opbygning af IT arkitektur, at der skal opbygges et vist minimumsmarked for systemet. Det vil således være nødvendigt, at programmet anvendes på flere anlæg.

Der er behov for yderligere afklaringer og optimeringer, og det anbefales derfor, at der gennemføres yderligere undersøgelser på området.

5 Litteraturliste

1. www.mst.dk/NR/rdonlyres/CF23236F-3FBC-4E99-8AC8-42E39F9F8ACD/106594/Anbefalingerfraakvakulturudvalgetmaj2010.pdf (31. juli 2011)
2. "Måle- og dokumentationsprojektet for modeldambrug", DTU-Aqua rapport nr. 193-08, side 206-212, Svendsen et al (2008) og "Notat vedrørende tilpasning af udlederkrav ved overgang fra tilstandskontrol til transportkontrol", Danmarks Miljøundersøgelser, Larsen S.E. og Svendsen, L.M. 2002