



Danmarks Miljøundersøgelser
Aarhus Universitet

Faglig rapport fra DMU nr. 699, 2008

Omsætning af formalin i danske dambrug

[Tom side]



Danmarks Miljøundersøgelser
Aarhus Universitet

Faglig rapport fra DMU nr. 699, 2008

Omsætning af formalin i danske dambrug

Ole Sortkjær¹

Lars-Flemming Pedersen²

Niels Bering Ovesen¹

¹Danmarks Miljøundersøgelser

²DTU-Aqua

Datablad

Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 699
Titel:	Omsætning af formalin i danske dambrug
Forfattere:	Ole Sortkjær ¹ , Lars-Flemming Pedersen ² , Niels Bering Ovesen ¹
Institutioner, afdelinger:	¹ Afdeling for Ferskvandsøkologi, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet ² DTU-Aqua, Sektion for Akvakultur, Hirtshals
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Aarhus Universitet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsesår:	December 2008
Redaktion afsluttet:	December 2008
Faglig kommentering:	Susanne Boutrup, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet
Finansiell støtte:	Den Europæiske Unions Fiskeriprogram, FIUF og Fødevareministeriet
Bedes citeret:	Sortkjær, O., Pedersen, L-F & Ovesen, N.B. 2008: Omsætning af formalin i danske dambrug. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 122 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 699. http://www.dmu.dk/Pub/FR699.pdf
Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse	
	<p>Formålet med undersøgelsen er at dokumentere omsætningen af formaldehyd på 9 dambrug fordelt på 3 forskellige typer. Kendte mængder af formalin blev doseret til traditionelle dambrug, model 1 dambrug og model 3 dambrug, og formaldehydkoncentrationen blev efterfølgende målt i forskellige dele af dambruget: 1) dammen eller produktionsenheden; 2) bagkanal og fældningsbassiner i traditionelle dambrug og 3) plantelagunerne i model 1 og 3 dambrug. Den umiddelbare tilbageholdelse i produktionsenheden er for de traditionelle dambrug og for model 1 dambrug under 10 % og for model 3 dambrugene op til 30 % af den tilsatte startmængde. Den mikrobielle omsætning er fundet umiddelbart efter dosering af formalin at forløbe koncentrationsuafhængigt for derefter ved lave koncentrationer af formaldehyd på under 2 mg/l at foregå koncentrationsafhængigt. Den koncentrationsuafhængige mikrobielle omsætningsrate er for de tre dambrugstyper beregnet til at være relativ ens (ca. 800 mg/m³ pr. time). I model 1 dambrugene reduceres 10-30 % af den tilsatte formalin i produktionsenheden, og for de traditionelle dambrug reduceres formalinen med 7-16 % i dammen. Omsætningsraterne for fældningsbassinerne er beregnet til ca. 120 mg/m³ pr. time og ca. 450 mg/m³ pr. time for plantelagunerne. For de traditionelle dambrug kan bagkanal og fældningsbassiner fjerne 24-46 % af den doserede formalin, mens ca. 40 % føres videre til vandløbet. For model 1 dambrugene kan plantelagunerne reducere formalinmængden med 38-48 %, og 27-42 % føres til vandløbet. Model 3 dambrugene adskiller sig fra de to andre typer dambrug ved at mindre end 2 % af den tilsatte mængde formalin føres videre til vandløbet.</p>
Emneord:	Dambrug, formalin, formaldehyd, omsætningsrater, produktionsenheder, plantelaguner
Layout og illustrationer:	Grafisk værksted, DMU Silkeborg
ISBN:	978-87-7073-077-8
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	122
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/Pub/FR699.pdf

Indhold

Forord 5

Sammenfatning 6

1 Projektets formål 8

- 1.1 Baggrund 8

2 Indledning 10

- 2.1 Formaldehyds omsætning 10
- 2.2 Omsætningsrater fra tidligere forsøg 12

3 Metoder 14

4 Beskrivelse af dambrugene 17

- 4.1 Model 1 anlæg 17
- 4.2 Model 3 anlæg 17
- 4.3 Traditionelle anlæg 18
- 4.4 Forsøgsbetingelser 18

5 Resultater 19

- 5.1 Omsætning af formalin i produktionsenhederne 19
- 5.2 Omsætning af formalin i plantelaguner, bagkanal og fældningsbassin 22
- 5.3 Omsætningsrater og plantelagunernes dækningsgrad 26
- 5.4 Temperaturens indflydelse på omsætningsraten 27

6 Omsætningsrater 28

- 6.1 Den umiddelbare reduktion 28
- 6.2 Den mikrobielle omsætning 29
- 6.3 Omsætning i plantelagunen 34

7 Konklusion 37

8 Referencer 39

Bilag 1 Model 3 Dambrug A 41

- 1.1 Beskrivelse af dambruget 41
- 1.2 Forsøg 42
- 1.3 Formaldehydomsætning 49

Bilag 2 Model 3 Dambrug B 52

- 1.1 Beskrivelse af dambruget 52
- 1.2 Forsøg 53
- 1.3 Formaldehydomsætninger 57

Bilag 3 Model 3 Dambrug C 59

- 1.1 Beskrivelse af dambruget 59
- 1.2 Forsøg 60
- 1.3 Formaldehydomsætning 69

Bilag 4 Model 1 Dambrug A 72

- 1.1 Beskrivelse af dambruget 72
- 1.2 Forsøg 73
- 1.3 Formaldehydomsætning 77

Bilag 5 Model 1 Dambrug B 81

- 1.1 Beskrivelse af dambruget 81
- 1.2 Forsøg 82
- 1.3 Formaldehydomsætninger 86

Bilag 6 Model 1 Dambrug C 89

- 1.1 Beskrivelse af dambruget 89
- 1.2 Forsøg 90
- 1.3 Formaldehydomsætninger 96

Bilag 7 Traditionelt Dambrug A 98

- 1.1 Beskrivelse af dambruget 98
- 1.2 Forsøg 99
- 1.3 Formaldehydomsætning 103

Bilag 8 Traditionelt Dambrug B 105

- 1.1 Beskrivelse af dambruget 105
- 1.2 Forsøg 106
- 1.3 Formaldehydomsætning 110

Bilag 9 Traditionelt Dambrug C 113

- 1.1 Beskrivelse af dambruget 113
- 1.2 Forsøg 114
- 1.3 Formaldehydomsætning 118

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

Forord

Projektet "Udledninger af formalin fra 3 typer dambrug under behandling, herunder at bestemme reduktionsfaktorerne i produktionsenheder og plantelaguner (Medicin og hjælpestoffer – Fase 4)", er en opfølgning af tidligere projekter. Efter et literaturstudium i fase 1, blev der i fase 2 beregnet omsætningsrater for hjælpestoffer på et dambrug. I Fase 3 blev der sat fokus på minimering af forbrug og udledning af formalin og brintoverilte, samtidig med at der fandt en optimering sted af behandlingseffekten i akvakultur. Miljøstyrelsen og Miljøklagenævnet fandt i foråret 2008, at der skulle yderligere dokumentation til for at kunne anvende generaliserede omsætningsrater på alle dambrug. Miljøstyrelsen vurderede i 2007, at såfremt generelle omsætningsrater skal anvendes i sagsbehandlingen, så skal raterne dokumenteres på mindst 3 anlæg af samme dambrugstype.

Nærværende rapport beregner omsætningsrater for formalin i produktionsenhederne og plantelaguner/fældningsbassiner, hvor dambrugene behandles med formalin som efter anbefalingerne i fase 3 med recirkulering og koncentrationer på ca. 20 mg/l for 3 typer dambrug: Traditionelle dambrug, model 1 dambrug og model 3 dambrug.

Rapporten er opbygget med en samlerapport, hvor data er samlet fra de 9 individuelle dambrugsundersøgelser, der enkeltvis er rapporteret i bilagene til denne rapport.

Projektet er finansieret af den Europæiske Unions Fiskeriprogram, FIUF og Fødevareministeriet.

Projektet har kun kunnet lade sig gøre, fordi en række dambrugere har stillet sig til rådighed. Da dambrugene i denne rapport er anonymiseret, kan vi ikke takke individuelt.

En stor tak til kollegaer på Danmarks Miljøundersøgelser og Dansk Akvakultur i Silkeborg for kontakt til dambrugere, prøvetagning, analyser i felt og laboratorium og for grafik og opsætning af rapporten.

Forfatterne

Sammenfatning

Formålet er at dokumentere omsætning og reduktionsrater for formaldehyd på 9 dambrug fordelt på følgende 3 dambrugstyper: traditionelle dambrug, type 1 dambrug og type 3 dambrug. Kendte mængder formalin blev tilsat de 3 typer dambrug, og formaldehyd-koncentrationen blev efterfølgende målt i forskellige dele af dambrugene: 1) Dammen i traditionelle dambrug eller produktionsenheden i model 1 og 3 dambrug; 2) Bagkanal og fældningsbassiner i traditionelle dambrug; 3) Plantelagunerne i model 1 og 3 dambrug.

Tre processer er vigtige for den resulterende koncentration af formaldehyd i dambrug: en umiddelbar sorption (tilbageholdelse) på faste overflader, en mikrobiel nedbrydning og en fortynding på grund af vandindtaget. De tre former for koncentrationsændringer finder sted overalt i dambrugene uanset dambrugstype. Den umiddelbare tilbageholdelse i produktionsenheden er for de traditionelle dambrug og for model 1 dambrug under 10 %, mens den for model 3 dambrugene er op til 30 % af den tilsatte startmængde. Den mikrobielle omsætning er umiddelbart efter dosering koncentrationsuafhængig for derefter ved lave koncentrationer af formaldehyd på under 2 mg/l at foregå koncentrationsafhængigt. Den koncentrationsuafhængige mikrobielle omsætningsrate, som sætter ind umiddelbart efter doseringen af formalin, er for de tre dambrugstyper beregnet til at være relativt ens (ca. 800 mg formaldehyd/m³ pr. time).

For de traditionelle dambrug reduceres den tilsatte formaldehyd med 7-16 % i dammen, resten føres videre til bagkanal og fældningsbassin. For model 1 dambrugene reduceres 10-30 % af den tilsatte formaldehyd i produktionsenheden, resten føres videre til plantelagunen, mens omkring 90 % reduceres i produktionsenheden for model 3 dambrug.

Det er ikke muligt at adskille den umiddelbare sorption og den tidsafhængige mikrobielle omsætning af formaldehyd i plantelaguner og fældningsbassiner. Omsætningsraterne for fældningsbassinerne er ca. 120 mg formaldehyd/m³ pr. time og ca. 450 mg formaldehyd/m³ pr. time for plantelagunerne ved doseringer på ca. 20 mg/l formaldehyd i produktionsenhederne. Omsætningsraterne stiger med øget dosering.

Den mikrobielle omsætning ved lave koncentrationer af formaldehyd kan kun beregnes for model 3 dambrugene. Det er beregnet, at koncentrationen af formaldehyd i produktionsenheden vil være tæt på nul efter 24 timers recirkulering. Kun meget små mængder formaldehyd skal efterfølgende behandles i plantelagunen.

For de traditionelle dambrug kan bagkanal og fældningsbassiner fjerne 24-46 % af den doserede formaldehyd, mens ca. 40 % føres videre til vandløbet. For model 1 dambrugene kan dambruget reducere formaldehydmængden med 38-48 %, og 27-42 % føres til vandløbet. Model 3 dambrugene adskiller sig fra de to andre typer dambrug ved at mindre end 2 % af den tilsatte mængde formalin føres videre til vandløbet. Usikkerhe-

der i målingerne betyder, at der ikke kan gøres rede for en mindre del af den tilsatte formaldehyd.

En forudsætning for de fundne tilbageholdelser og omsætninger af formaldehyd i dambrug er, at startkoncentrationen er på ca. 20 mg/l formaldehyd. Derudover skal de traditionelle og model 1 dambrugene recirkulere vandet i produktionsenhederne i ca. 4-5 timer, og model 3 dambrugene recirkulere i 5-12 timer.

1 Projektets formål

Miljøstyrelsen vurderede i 2007, at generelle omsætningsrater for formaldehyd skulle dokumenteres på mindst 3 anlæg af samme dambrugstype. Formålet var at dokumentere omsætning og reduktionsrater for formaldehyd på 9 dambrug fordelt på 3 dambrugstyper. Kendte mængder formalin blev tilsat opmålte traditionelle dambrug, model 1 dambrug og model 3 dambrug, og formaldehydkoncentrationen blev efterfølgende målt i dambrugets kanaler, plantelaguner og udløb.

1.1 Baggrund

I forbindelse med den danske miljøgodkendelsesprocedure skal der for at sandsynliggøre overholdelse af de gældende vandkvalitetskrav beregnes hvilke koncentrationer af medicin og hjælpestoffer, der kan forventes i vandløb i forbindelse med medicinsk behandling af fisk eller desinfektion af vand i dambrug. Efter offentliggørelsen af projektet *”Undersøgelse af biologiske halveringstider, sedimentation og omdannelse af hjælpestoffer og medicin i dam- og havbrug, samt parameterfastsættelse og verifikation af udviklet dambrugsmodel”* (Pedersen et al., 2004) udarbejdede Danmarks Miljøundersøgelser og Danmarks Fiskeri Undersøgelser på anmodning fra Skov- og Naturstyrelsen et notat, der på baggrund af projektets resultater fremsatte forslag til generaliserede reduktionsrater. Skov- og Naturstyrelsen anbefalede i brev af 5. januar 2005, at dambrugere, konsulenter og myndigheder efterfølgende anvendte notatet ”som fælles referenceramme” i sagsbehandlingen. I brev af 27. oktober 2007 til dambrugskommunerne underkendte Miljøstyrelsen dog denne praksis, hvilket senere blev understøttet af Miljøklagenævnet i foråret 2008. Styrelsen og Klagenævnet fandt, at der skal yderligere dokumentation til for at kunne anvende generaliserede omsætningsrater på alle dambrug. Miljøstyrelsen vurderede i 2007, at såfremt generelle omsætningsrater skal anvendes i sagsbehandlingen, så skal raterne dokumenteres på mindst 3 anlæg af samme dambrugstype. På denne baggrund blev de danske dambrug opdelt i tre typer:

Traditionelle dambrug

Gennemstrøms anlæg med jorddamme/kanaler + simpel bundfældning.

Model 1 dambrug

Jord eller beton damme/kanaler, ofte med en vis recirkulering af vandet, + plantelagune.

Model 3 dambrug

Stor grad af recirkulering, biofilter, slamkegler + plantelaguner.

Projektet følger op på tidligere undersøgelser (Pedersen et al., 2004; Sortkjær et al., 2008), hvoraf sidstnævnte viste, at det i nogle behandlingssituationer var muligt at behandle med lavere koncentrationer af formalin, og at reducere mængderne, i forhold til gængs praksis. Derfor blev opdrætsenhederne på de 9 dambrug, der deltog i denne undersøgelse, som

udgangspunkt behandlet med en reduceret formaldehyd koncentration på ca. 20 mg/l.

I denne undersøgelse indgik der plantelaguner, som har relativt store arealer med mange vandplanter, hvilket resulterer i et betydeligt overfladeareal og opsamling af store mængder organisk stof. Vandets opholdstid i plantelaguner er betydeligt længere set i forhold til opholdstiden i traditionelle fældningsbassiner. Disse forhold har betydning for omsætningen af formaldehyd, og derfor undersøges omsætning af formaldehyd i plantelagunerne for model 1 og model 3 dambrug.

2 Indledning

De 9 involverede dambrug er benævnt hhv. traditionelle dambrug A, B og C, Model 1 dambrug A, B og C og Model 3 dambrug A, B og C. Forud for hvert forsøg blev dambrugene opmålt med henblik på bestemmelse af massebalancer (volumen, hydraulik og strømning). Plantelagunernes plantedækningsgrad og artsfordeling blev vurderet for model 1 og model 3 dambrug. I forbindelse med formaldehyddoseringen blev der tilsat salt for at bestemme pulsforløb og fortyndingsraten gennem de enkelte dambrug. Forud for salt og formalin tilsætningsforsøg blev automatiske prøvetagere opstillet, og der blev udtaget vandprøver med faste intervaller. Tilsætningen af formalin svarede til en startkoncentration af formaldehyd på ca. 20 mg/l. I begyndelsen af behandlingsforløbet var der lukket for ind- og udløb til produktionsenheden med samtidig beluftning, så fiskene ikke manglede ilt. For de traditionelle dambrug og model 1 dambrugene blev det anbefalet at lukke i 4-5 timer og for model 3 dambrugene i 12 timer, dog skulle dambrugeren åbne for ind- og udløb, hvis det blev nødvendigt af hensyn til fiskene.

Hovedparten af alle forsøgene blev afviklet ved temperaturer på mellem 12 og 14 °C, mens der kun var et enkelt tilfælde hvor temperaturen nåede op på mellem 15 og 16 °C.

2.1 Formaldehyds omsætning

Formalin er en vandig opløsning af formaldehyd ($H_2-C=O$). Fra det tidspunkt, hvor formalin tilføres en dam til det tidspunkt, hvor en eventuel restmængde udledes til recipienten, foregår der en række fysisk-kemiske og biologiske processer. Flere af disse processer kan bestemmes som rater, mængde stof omsat pr. tid, hvorved opholdstiden får en afgørende betydning for den udledte koncentration. I tabel 2.1 ses eksempler på de processer, der påvirker formaldehydomsætningen.

Tabel 2.1. Udvalgte faktorer der påvirker formaldehyds skæbne. Abiotiske forhold som temperatur og pH påvirker især den mikrobielle omsætning.

Faktorer der påvirker formaldehyd omsætning	Effekt på den samlede omsætning
Adsorption	Betydelig fjernelse umiddelbart efter tilsætning (<i>Eiroa et al., 2005</i>)
Mikrobiel omsætning	Omsætning proportional med mikrobiel forekomst kontaktoverflade og aktivitet (<i>Pedersen et al., 2007</i>)
Opholdstid	Direkte proportional med omsætningen af formaldehyd (<i>Sortkjær et al., 2008</i>)
Fortynding	Proportional med omsætningen af formaldehyd (<i>Masters, 2004</i>).
Biomasse	Ingen eller beskedent effekt (<i>Wienbeck & Koops, 1990</i>)
Kemisk omsætning	Begrænset effekt, (<i>Gearheart et al., 2004, Lofty & Rached, 2002</i>)
Mekanisk fjernelse	Begrænset effekt
Sedimentation	Begrænset effekt
Fordampning	Begrænset effekt, (<i>Heinen et al., 1996</i>)

I indeværende undersøgelse skelnes der mellem 3 overordnede processer, der indvirker på koncentrations- og massebalancerne for formaldehyd, når formalin tilsættes en produktionsenhed.

Der sker:

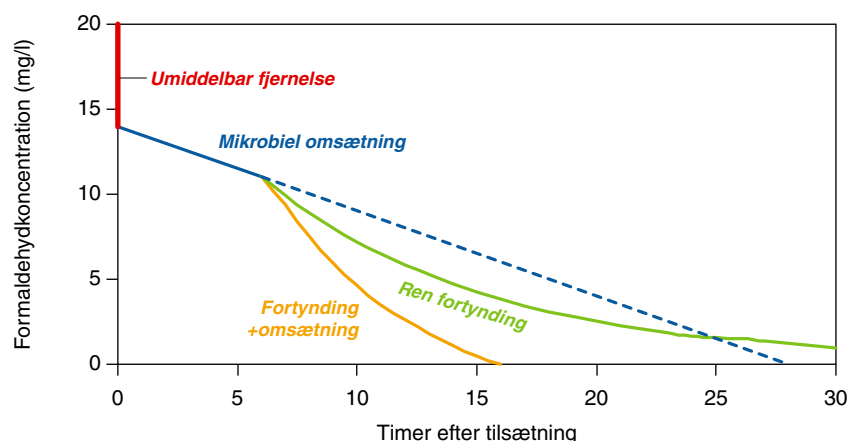
1. en umiddelbar reduktion af den tilsatte formaldehyd, herefter
2. en konstant mikrobiel omsætning af formaldehyd og
3. en reduktion i formaldehyd koncentrationen, som følge af fortynding/udvaskning.

Figur 2.1 illustrerer de 3 processer, der styrer omsætningen af formaldehyd i en dam.

Ad 1. Umiddelbar reduktion

Den umiddelbare reduktion skyldes overflade adsorption og er et fænomen, som er beskrevet i flere undersøgelser (Eiroa et al., 2005; Sortkjær et al., 2008).

Figur 2.1. Eksempel på koncentrationsforløbet af formaldehyd i en dam hvor der doseres formalin svarende til en startkoncentration på 20 mg/l formaldehyd. Den mikrobielle omsætning i en lukket dam er konstant og estimeres ved lineær regression på måledata.



Ad 2. Mikrobiel omsætning

Med baggrund i danske og udenlandske undersøgelser er det dokumenteret, at formaldehyd er biologisk nedbrydeligt, stoffet kan derfor ikke betragtes som et konservativt stof. Formaldehyd er et naturligt forekommende aldehyd, som indgår i en række metabolismer, hvor en række mikroorganismer kan udnytte det som kulstofkilde.

Når formaldehyd i lave koncentrationer tilsættes aktivt spildevand, procesvand fra dambrug eller passerer renseforanstaltninger som biologiske filtre og plantelaguner, fjernes en del heraf som følge af en mikrobiel omsætning. Hastigheden af denne omsætning, omsætningsraten, er styret af den aktive og tilgængelige mikrobielle biomasse, temperaturen, substrat, ilt og diffusionsforhold og vil tillige afhænge af en mikrobiel tilvæning til formaldehyd. (Sortkjær et al., 2008).

Ad 3. Fortynding

Når der åbnes for ind- og udløb til en produktionsenhed, vil fortyndingen reducere stofkoncentrationen eksponentielt, men samtidig sker der en fortsat mikrobiel omsætning (figur 2.1) (Sortkjær et al., 2008, Sortkjær et al., Masters, 2004).

2.2 Omsætningsrater fra tidligere forsøg

Fra tidligere undersøgelser med akvakultur og spildevandsrensning foreligger der værdier på omsætningsrater af formaldehyd i vandfasen. Det fremgår af tabel 2.2, at der i stort set alle tilfælde sker en reduktion af formaldehyd over tid. Kun i de tilfælde, hvor der er anvendt pasteuriseret eller destilleret vand, sker der ingen omsætning. Dog kan der i tilfælde af betydelig mængde partikulært materiale ske en spontan adsorption. Den mikrobielle forekomst øges betragteligt, når vandet genanvendes/recirkuleres, idet mikroorganismene og næringsstofferne ikke fortyndes i samme grad. Omsætningsraterne for formaldehyd i dambrugsvand ligger under 0,1 mg/l pr. time for procesvand, i recirkulerende anlæg med biofiltre på 0,1-0,25 mg/l pr. time, og for vand i aktivt slam større end 2 mg/l pr. time.

Tabel 2.2. Reduktionsrater af formaldehyd i vandfasen

Reduktionsrate	Vandfasen	Temp.	Reference
0	Destilleret vand	20 °C	Wienbeck & Koops, 1990
0	Pasteuriseret procesvand	20 °C	Sortkjær et al., 2008
< 0,1 mg·l ⁻¹ ·t ⁻¹	Dambrugsvand (kajakrør)	15-20 °C	Pedersen et al., 2004
< 0,1 mg·l ⁻¹ ·t ⁻¹	Dambrugsvand feltforsøg	15-20 °C	Sortkjær et al., 2008; Ribe Amt, 2002.
< 0,1 mg·l ⁻¹ ·t ⁻¹	Procesvand fra åleanlæg	20-22 °C	Wienbeck & Koops, 1990
0,09-0,12 mg·l ⁻¹ ·t ⁻¹	Procesvand fra recirc. ørredanlæg	16-18 °C	Pedersen et al., 2008
0,2-0,25 mg·l ⁻¹ ·t ⁻¹	Procesvand med recirc. anlæg	20-22 °C	Sortkjær et al., 2008
~ 0,5 mg·l ⁻¹ ·t ⁻¹	Procesvand med fisk fra åleanlæg	16-18 °C	Wienbeck & Koops, 1990
> 2 mg·l ⁻¹ ·t ⁻¹	Procesvand + aktivt slam	20-22 °C	Wienbeck & Koops, 1990
>> 10 mg·l ⁻¹ ·t ⁻¹	Aktivt slam		Eiroa et al., 2005

På faste overflader, hvor bakterierne findes i høje koncentrationer i form af biofilm, sker langt den største omsætning (tabel 2.3). Kontaktfladernes relative areal i forhold til vandmasserne bliver derved afgørende for den mikrobielle omsætning. I biologiske filtre er der fra litteraturen angivet omsætningsrater på op til 50 mg/m² pr. time (Wienbeck & Koops, 1990). Formaldehydomsætningen foregår med en konstant rate, så længe formaldehydkoncentrationen er tilpas høj, og substratet ikke er begrænsende. I de tidligere undersøgelser af akvakultursystemer skal formaldehydkoncentrationer være under 1 mg/l, før der kan observeres nedsatte omsætningsrater.

Tabel 2.3. Reduktionsrater af formaldehyd i biofilter

Reduktionsrate	Biofilter	Temp.	Reference
~ 2-6 mg·m ⁻² ·t ⁻² ~ 10-30 g·m ⁻³ ·d ⁻¹	Dykket biofilter Expo-net 200	5-16 °C	Pedersen et al. 2007
~ 5-25 mg·m ⁻² ·t ⁻² ~ 18-90 g·m ⁻³ ·d ⁻¹	Dykket biofilter Expo-net 150HD	16-18 °C	Sortkjær et al., 2008
~ 50 g/m ³ /d	Rislefilter	15-20 °C	Dickerson, 1959
~ 45 mg·m ⁻² ·t ⁻² ~ 220 g·m ⁻³ ·d ⁻¹	Dykket biofilter Expo-net 200	20-22 °C	Wienbeck & Koops, 1990
~ 330 g·m ⁻³ ·d ⁻¹	Fluidized bed sand filter		Heinen et al. 1996

Nyere undersøgelser har dokumenteret, hvad dambrugene erfaringsmæssigt har observeret, nemlig at omsætningen af formaldehyd øges betydeligt, hvis anlægget tidligere er blevet behandlet med formalin (Pedersen et al., 2008). Denne tilvænnings-effekt kan forøge reduktionsraterne med 2-300 %, men det er ikke dokumenteret, hvor længe denne effekt kan opretholdes. Dette understreger, at fastlæggelsen af reduktionsraterne for formaldehyd i dambrug er kompleks. Ved øget mikrobiel forekomst i form af biofilm på faste overflader eller øget kintal og bioflokke i vandfasen, stiger omsætning af formaldehyd. Opholdstiden i renseforanstaltninger på dambrug med øget mikrobiel forekomst, eksempelvis biofiltre og plantelaguner, vil således være meget styrende for omsætningen af formaldehyd.

Desuden foregår der nedbrydning af formaldehyd under anaerobe forhold i forbindelse med denitrifikationsprocessen (Eiroa et al., 2006). Størrelsesordenen heraf er ikke fastlagt under dambrugsforhold.

For plantelagune/fældningsbassin er det ikke muligt at adskille den umiddelbare reduktion og den mikrobielle omsætning, for det ville kræve, at man kunne lukke for ind- og udløb og lade vandet recirkulere.

Omsætningsraterne for formaldehyd kan indlægges i dambrugsmodellen, hvorved modellen kan bruges til beregning af den tid, vandet i produktionsenheden skal recirkulere og til dimensionering af plantelaguner for at reducere formaldehydkoncentrationen så meget, at udlederkravværdierne kan overholdes.

3 Metoder

Bestemmelse af formaldehyd i vand:

Modificeret efter Nash, T., 1953. Modificeringen består i, at prøverne står mørkt ved stuetemperatur i 20 timer \pm 1 time, før de måles i spectrofotometer ved 412 nm.

Ledningsevne og temperatur:

I felten: Til måling rundt på dambruget er anvendt WTW Mutti 350i/set og til logning i udløbet af plantelagunen, YSI Professional Plus

I laboratoriet: Radiometer CDM 210

Flowmålingerne er foretaget med 3 forskellige metoder:

- Kontinuerlig måling af flow med et flowmeter, der er monteret på rørsystem. Her måles flow og samlet vandmængde, svarende til et vandur. Både elektromagnetisk og ultralyds måler er anvendt. Usikkerheden på disse målinger er 1 – 2 % jf. producenterne.
- Vandføringsmåling med vingeinstrument, der måler det aktuelle flow. Usikkerheden på disse målinger er ca. 5 %, men i visse tilfælde er usikkerheden op til 10 %, da det ikke ved alle målesteder har været muligt at finde optimale måleprofiler uden turbulens mv.
- Måling ved overløbsbygværk der er konstrueret specifikt til registrering af flow. Her er opstillet en relation mellem vandstand og flow, og flowet målet således i forbindelse med aflæsning af en vandstandsskala. Usikkerheden på disse målinger er ca. 5 %, men i visse tilfælde er usikkerheden op til 10 - 15 %. Det skyldes, at bygværkerne ikke er konstrueret optimalt, men f.eks. er for brede i forhold til vandmængden eller overløbskanten ikke er skarp og lige.

På de 3 model 3 dambrug er ind- og udløb fra produktionsenhederne foretaget med elektromagnetisk flowmåler, der er installeret i rørsystemerne. Både de sektioner, hvor formalinforsøgene er foretaget, og det samlede tilløb til plantelagunerne er målt. I udløbene fra plantelaguner til vandløb er flowet på et dambrug registreret med elektromagnetisk flowmåler og ved de 2 øvrige ved et overløbsbygværk.

På de 3 model 1 dambrug er målinger af vandindtag og udløb fra plantelaguner til vandløb overvejende foretaget ved overløbsbygværk, enkelte steder suppleret med vingemålinger. Delmængder til sektioner, hvor forsøgene er foretaget, er målt med enten vingeinstrument eller overfaldsbygværk.

På de traditionelle dambrug er målingerne i afløbsmængden fra de enkelte damme foretaget med ultralydsflowmeter, der blev monteret direkte på afløbsrøret. Vandindtag og udløbsmængder fra dambrugene er enten foretaget ved overløbsbygværk eller ved målinger med vingeinstrument i afløbskanalen.

Prøvetagning:

Vandprøverne blev taget med en automatisk prøvetager (ISCO). Prøvetagerne blev opstillet i produktionsenhederne i bagkanaler og fældningsbassin på de traditionelle dambrug og i ind- og udløb af plantelagunerne på modeldambrugene. Intervallet mellem prøvetagningerne varierede fra dambrug til dambrug og er specifikt beskrevet for de enkelte dambrug i bilagene.

Bestemmelse af formaldehyd i vand:

Modificeret efter Nash, T., 1953. Modificeringen består i at prøverne står mørkt ved stuetemperatur i 20 timer \pm 1 time, før de måles i spectrofotometer ved 412 nm. Denne metode blev kvalitetssikret og sammenholdt med den oprindelige forsøgsprotokol og gav meget høj grad af overensstemmelse.

Ledningsevne og temperatur:

I felten: Til måling rundt på dambruget er anvendt WTW Mutti 350i/set og til logning i udløbet af plantelagunen, YSI Professional Plus

I laboratoriet: Radiometer CDM 210

Flowmålingerne er foretaget med 3 forskellige metoder:

- Kontinuerlig måling af flow med et flowmeter, der er monteret på rørsystem. Her måles flow og samlet vandmængde, svarende til et vandur. Både elektromagnetisk og ultralyds måler er anvendt. Usikkerheden på disse målinger er 1 – 2 % jf. producenterne.
- Vandføringsmåling med vingeinstrument, der måler det aktuelle flow. Usikkerheden på disse målinger er ca. 5 %, men i visse tilfælde er usikkerheden op til 10 %, da det ikke ved alle målesteder har været muligt at finde optimale måleprofiler uden turbulens mv.
- Måling ved overløbsbygværk der er konstrueret specifikt til registrering af flow. Her er opstillet en relation mellem vandstand og flow, og flowet måles således i forbindelse med aflæsning af en vandstandsskala. Usikkerheden på disse målinger er ca. 5 %, men i visse tilfælde er usikkerheden op til 10 - 15 %. Det skyldes, at bygværkerne ikke er konstrueret optimalt, men f.eks. er for brede i forhold til vandmængden eller overløbskanten ikke er skarp og lige.

På de tre model 3 dambrug er ind og udløb fra produktionsenhederne foretaget med elektromagnetisk flowmåler, der er installeret i rørsystemerne. Både de sektioner, hvor formalinforsøgene er foretaget, og det samlede tilløb til plantelagunerne er målt. I udløbene fra plantelaguner til vandløb er flowet på et dambrug registreret med elektromagnetisk flowmåler og ved de 2 øvrige ved et overløbsbygværk.

På de tre model 1 dambrug er målinger af vandindtag og udløb fra plantelaguner til vandløb overvejende foretaget ved overløbsbygværk, enkelte steder suppleret med vingemålinger. Delmængder til sektioner, hvor forsøgene er foretaget, er målt med enten vingeinstrument eller overfaldsbygværk.

På de traditionelle dambrug er målingerne i afløbsmængden fra de enkelte damme foretaget med ultralydsflowmeter, der blev monteret direkte på afløbsrøret. Vandindtag og udløbsmængder fra dambrugene er enten foretaget ved overløbsbygværk eller ved målinger med vingeinstrument i afløbskanalen.

4 Beskrivelse af dambrugene

De 3 typer dambrug er i denne undersøgelse karakteriseret af en lang række parametre som arealet/volumen på produktionsenheden, recirkuleringsgrad, internt flow, opholdstid og tilsvarende for plantelagunen/fældningsbassin (tabel 4.1-4.4). Alle variable har betydning for omsætning af formaldehyd på det enkelte dambrug.

4.1 Model 1 anlæg

Tabel 4.1. Volumen (m³) af produktionsenheder og plantelaguner, hydraulisk opholdstid (t) og fiskebestand (tons) i model 1 dambrug.

Model 1 Dambrug	Produktionsenhed		Plantelagune		Fiskebestand (tons)
	Volume (m ³)	Opholdstid (timer)	Volume (m ³)	Opholdstid (timer)	
Dambrug A	2685	2,6	8265	8	50
Dambrug B	2210	2,4	12600	20	100
Dambrug C	352	0,9	3800	12	7 (+40)

Model 1 dambrugene er karakteriseret af store plantelaguner i forhold til produktionsenhederne, og vandets opholdstid i produktionsenhederne er på få timer.

4.2 Model 3 anlæg

Tabel 4.2. Volumen (m³) af produktionsenheder, plantelaguner og biofiltre, hydraulisk opholdstid (t) og fiskebestand (tons) i model 3 dambrug.

Model 3 Dambrug	Produktionsenhed		Plantelagune		Biofilter	Fiskebestand pr. prod (tons)
	Volume (m ³)	Opholdstid (timer)	Volume (m ³)	Opholdstid (timer)	Type. (m ³ /m ²)	
Dambrug A	2790	38	13400	8	Bionet 308/154000	110
Dambrug B	2248	31	2639	19,5	Bionet 272/150400	65
Dambrug C	2895	63	7245	90,5	Bionet 308/154000	90

Model 3 dambrugene afviger fra model 1 dambrugene ved at have en lang opholdstid i såvel produktionsenhederne (1,5 til 3 døgn) som i plantelagunen. Til hver produktionsenhed på model 3 dambrugene er der et biofilter.

4.3 Traditionelle anlæg

Tabel 4.3. Volumen (m³) af produktionsenheder og bagkanal / fældningsbassin, hydraulisk opholdstid (t) og fiskebestand (tons) i traditionelle dambrug.

Traditionelle dambrug	Prod. enhed (m ³)	Opholdstid (t) Prod.	Bagkanal/fældning (m ³)	Opholdstid (t)	Fiskebestand (tons) Dam/ bagkanal
Dambrug A	117	2	220 / 370	0,2 / 0,3	2,5 / 5
Dambrug B	93 -104	3	748 / 114	1,5 / 0,2	2 / 9
Dambrug C	65 – 74	1,7	300 / 165	0,4 / 0,2	1,1 / 13

De traditionelle dambrug har mange små produktionsenheder, damme på 65-120 m³. Den gennemsnitlige opholdstid i dammen er på ca. 2 - 3 timer lige som produktionsenhederne for model 1 dambrugene. I bagkanal og fældningsbassin er opholdstiden endnu kortere.

4.4 Forsøgsbetingelser

Tabel 4.4. Oversigt over formalinforsøg på dambrugene. Dato, doseringssted og mængde formaldehyd og vandtemperatur (°C) i produktionsenhederne (Prod-enheder) i plantelaguner (Lagune) eller i fældningsbassin (Fæld).

Dambrug	Dato for Feltforsøg 2008	Tilsat mængde Formaldehyd (kg)		Temp. (°C) Prod. enhed	Temp. (°C) Lagune/ fæld
		Prod. enhed	Lagune		
Model 1 Dambrug A	23 juni	51,9		13,5	13,9
Model 1 Dambrug B	16 juni.	50		12,1	13,9
Model 1 Dambrug C	30 juni.	5,6		12,5	15
Model 1 Dambrug C	01 juli		15,4		14,4
Model 3 Dambrug A	05 maj.	53,2		12	12,9
Model 3 Dambrug A	13 maj		11,9		13,4
Model 3 Dambrug B	19-15 maj	40,3		11,3	11
Model 3 Dambrug C	02 juni	40		16	15,8
Model 3 Dambrug C	08 juli		40		16,7
Model 3 Dambrug C	08 sep.		50		13,4
Trad. dambrug A	05 aug.	2,4		12,8	14
Trad. dambrug B	18 aug.	2		13,5	14,2
Trad. dambrug C	25 aug.	1,4		13,9	14

Forsøgene er udført i perioden fra 5. maj til 8. september 2008. Vandtemperaturen i såvel produktionsenheden og plantelagunen/fældningsbassinet har ligget inden for et meget snævert interval på 11-14 °C med en undtagelse for model 3 dambrug C, hvor vandtemperaturen i plantelagunen den 2. juni var på 16,7 °C. De tilsatte mængder formaldehyd varierer med produktionsenhedens størrelse, idet det var hensigten at have en startkoncentration på ca. 20 mg/l i alle dambrug.

5 Resultater

5.1 Omsætning af formalin i produktionsenhederne

Formaldehydkoncentrationen ændres som følge af en række fysisk-kemiske og biologiske processer: 1) en umiddelbar og kortvarig binding/absorption; 2) en vedvarende mikrobiel omsætning hvor formaldehyd optages og indgår i organismernes stofskifte; 3) en reduktion af koncentrationen ved fortynding.

5.1.1 Umiddelbar reduktion af formalin

Absorptionen af formalin til partikler og overflader sker umiddelbart, og i praksis sker det mens formaldehyd bliver opblandet i produktionsenheden.

Den umiddelbare reduktion er beregnet ud fra den reelle (teoretiske) startkoncentrationen minus den koncentration, der er tilgængelig for mikrobiel omsætning på starttidspunktet. Den reelle startkoncentrationen er den mængde (g) formalin, der blev tilsat, divideret med produktionsenhedens volumen (m^3), mens den mikrobielle koncentration er fundet ud fra regressionsligningernes skæring med y-aksen for den mikrobielle nedbrydning.

Model 3 dambrugene havde med værdier på gennemsnitlig $5 \text{ g}/m^3$ omkring 6-8 gange større umiddelbar fjernelse af formaldehyd i forhold til de øvrige dambrugstyper (tabel 5.1). På to dambrug, henholdsvis et traditionelt og et Model 1 dambrug, blev der ikke fundet nogen umiddelbar reduktion af formaldehydkoncentrationen (tabel 5.1).

Tabel 5.1. Umiddelbar reduktion (mg/m^3) af formaldehyd i produktionsenheder. Gennemsnittet, standard afvigelse. (Std) og varianskoefficienten (CV %) er beregnet.

Dambrug	Traditionel (mg/m^3)	Model 1 (mg/m^3)	Model 3 (mg/m^3)
A	1980	1358	5190
B	0	0	2468
C	564	551	7391
Gennemsnit	848	636	5016
Std. afv.	1020	683	2466
CV %	120	107	49

Den teoretiske startkoncentration kan variere som følge af en vis usikkerhed med volumenberegningen. Volumenberegningens usikkerhed er bestemt af ledningsevne målerens nøjagtighed, og af at der i produktionsenheden ikke er andre forhold, der har indflydelse på ledningsevnen, end det tilsatte salt. Startkoncentrationen for den mikrobielt nedbrydelige formaldehydfraktion er kun afhængig af formaldehydanalysernes usikkerhed.

5.1.2 Den mikrobielle omsætning

I produktionsenhederne blev der tilsat en kendt mængde formalin og salt, som blev opblandet på samme måde. Saltkoncentrationen vil være

stabil, så længe der ikke bliver tilført eller fraført vand fra produktionsenheden. Eventuelle ændringer i saltkoncentrationen afspejler formaldehyds opblandingsforløb i produktionsenheden. Fuldstændig opblanding tog fra en ½ time i traditionelle damme til 5-6 timer i store produktionsenheder på modeldambrugene.

Formaldehyd er tilsat sammen med saltet, og det vil tage ligeså lang tid at få formaldehyd opblandet, som det tager for det tilsatte salt. Fra tidspunktet med total opblanding og frem til der igen bliver åbent for ind- og udløb til produktionsenheden kan den mikrobielle omsætning beregnes. Det blev gjort ved, med faste intervaller, at tage prøver ud og analysere for formaldehydkoncentrationen. Ud fra koncentrationsændringerne over tid, blev omsætningsraterne beregnet. Omsætningsraten er beregnet ud fra en lineær 0.orden regression, hvor hældningskoefficienten angiver omsætningsraten. Skæringsværdien på y-aksen på det tidspunkt, hvor formalinen blev tilsat, angiver den teoretisk tilgængelige mængde (tilsat minus bundet).

Den mikrobielle omsætning fortsætter så længe, der er formaldehyd i vandet, men efter at der igen er åbnet for ind- og udløb i produktionsanlægget, sker der samtidig en fortynding (grøn linje i figur 2.1). Således falder koncentrationen hurtigt som en sum af omsætningen og fortyndingen af formaldehyd (gul linje i figur 2.1).

Tabel 5.2. Mikrobielle omsætningsrater (mg/m³ pr. time) for formaldehyd i produktionsenheder. Gennemsnittet (gns), standard afv. (Std. afv.) og varianskoefficienten (CV %) er beregnet.

Dambrug	Trad. (mg/m ³ .t)	Model 1 (mg/m ³ .t)	Model 3 (mg/m ³ .t)
A	195	886	1520
B	1114	868	595
C	942	753	340
Gns.	750	836	818
Std. afv.	489	72	621
CV %	65	9	76

De mikrobielle omsætningsrater for Model 1 dambrugene varierer ganske lidt med et gennemsnit på 836 ± 9 % mg/ m³ pr. time (tabel 5.2). Der er større variation inden for de traditionelle og model 3 dambrugene. Det traditionelle dambrug A afveg ved først at blive taget i brug umiddelbart forud for selve forsøget, hvilket kan forklare den betydeligt lavere omsætningsrate pga. lav eller manglende mikrobiel biomasse. For alle 9 dambrug blev der i gennemsnit omsat 0,8 g formaldehyd/m³ pr. time. Omsætningsraten er tilsyneladende uafhængig af produktionsenhedernes størrelse.

Model 3 dambrugene har et biofilter knyttet til hver produktionsenhed. Biofilteret øger den mikrobielle omsætning betydeligt med sit meget store areal. Relateres den mikrobielle formaldehydomsætning pr. time i produktionsenhederne udelukkende til biofilternes overflade (mg/m² pr. time) ses af tabel 5.3, at omsætningsraten er 3-4 gange større i model 3 dambrug A end for de 2 andre dambrug.

Tabel 5.3. Omsætningsraten (mg/m² pr. time) i biofiltre på model 3 dambrugene. Den samlede mikrobielle omsætning i produktionsenheden er relateret til biofilterets areal

Model 3 dambrug	A	B	C
Biofilter areal (m ²)	154000	150400	154000
Omsætningsrate (mg/m ² t ⁻¹)	27,5	8,9	6,4

Hvor lang tid går der til formaldehydkoncentration er nul?

I tabel 5.4 er beregnet, hvor lang tid det vil tage at fjerne al den tilsatte formaldehyd, hvis fjernelsen udelukkende foregår som mikrobiel omsætning efter de fundne omsætningsrater under recirkulering. Det teoretiske tidspunkt for hvornår koncentrationen i produktionsenheden er 0, er beregnet ved at dividere den tilsatte mængde formaldehyd med den fundne rate for den mikrobielle omsætning (se tabel 5.2).

Tabel 5.4. Den tid (timer) der går til at omsætte al formaldehyd i produktionsenheden under 100 % recirkulation med de fundne omsætningsrater for mikrobiel omsætning. Gennemsnittet, standarddeviationen (Std) og varianskoefficienten (CV %) er beregnet.

Dambrug	Trad. (mg/m ³)	Model 1 (mg/m ³)	Model 3 (mg/m ³)
A	95,1	21	13
B	19,6	26,5	26
C	22,8	22	18
Gennemsnit	45,8	23	19
Std	42,7	2,9	6,6
CV %	93	13	35

Ses bort fra det traditionelle dambrug A, der havde en betydelig lavere omsætningsrate, ligger gennemsnittet fra 19 til 23 timer uanset dambrugstypen (tabel 5.4). Som vist ovenfor er der i flere dambrug en betydelig umiddelbar reduktion, hvorfor den mængde, der skal omsættes, mikrobielt i virkeligheden er lavere. Dermed vil det tage kortere tid end de beregnede 19-23 timer for at omsætte den tilsatte mængde formaldehyd i produktionsenheden, under den forudsætning at omsætningsraten er uafhængig af koncentrationen.

Den mikrobielle omsætningsrate er udelukkende bestemt ud fra koncentrationsmålinger, som er bestemt med en nøjagtighed på mindre end 1 %. I nogle tilfælde er vandvolumenet ændret under behandlingen på grund af utætheder. Volumenændringen er målt ud fra vandspejlsforskydninger eller som koncentrationsændring af saltet og beregnet på samme måde som for formalin. Koncentrationsændringen for salt er modregnet i koncentrationsændringen for formaldehyd.

5.1.3 Omsætningskapaciteten for en dosering

Model 1 og de traditionelle dambrug skulle forsøge at recirkulere vandet 4-5 timer og model 3 dambrugene i 12 timer efter behandlingen med formalin. Det blev tilstræbt, at startkoncentrationen for formaldehyd i vandet kom til at ligge tæt på 20 mg/l. Det lykkedes i det store og hele, på nær for model 3 dambrug C, hvor startkoncentrationen var knap 14 mg/l. Omsætningskapaciteten for en dosering er bestemt ved at måle og beregne den tilbageholdte mængde formaldehyd fra produktionsenheden og dividere den med produktionsenhedens volumen (mg/m³). I omsætningskapaciteten indgår tiden ikke direkte som enhed, men den indgår indirekte, da en del af den samlede omsætningskapacitet fremkommer ved den mikrobielle omsætning af formaldehyd, og den proces

er tidsafhængig. Omsætningskapaciteter for en dosering på de forskellige typer og enkeltdambrug er vist i tabel 5.5.

Tabel 5.5. Omsætningskapacitet for en dosering af formaldehyd (mg/m^3) i produktionsenheden. Gennemsnittet, standard-afvigelse (Std) og varianskoeficienten (CV %) er beregnet.

Dambrug	Trad. (mg/m^3)	Model 1 (mg/m^3)	Model 3 (mg/m^3)
A	2600	1737	17928
B	3340	2434	15014
C	1337	4249	13743
Gennemsnit	2426	2807	15562
Std	1013	1297	2146
CV %	42	46	14

Omsætningskapaciteten for en formalin dosering er for de traditionelle dambrug gennemsnitligt lidt lavere ($2,43 \text{ g}/\text{m}^3$), end for model 1 dambrug ($2,8 \text{ g}/\text{m}^3$). Begge viser næsten den samme statistiske usikkerhed målt som variationskoeficienten (CV) (tabel 5.5). Modeldambrugenes omsætningskapacitet var derimod ca. 6 gange større med et gennemsnit på godt $15,5 \text{ g}/\text{m}^3$ og med en meget lille indbyrdes variation.

5.2 Omsætning af formalin i plantelaguner, bagkanal og fældningsbassin

På model 1 og model 3 dambrug udledes vandet fra produktionsenhederne i en plantelagune, inden det løber ud i vandløbet. På de traditionelle dambrug ledes vandet fra dammene til en bagkanal og herfra videre til et fældningsbassin inden udledning til vandløb. Da omsætningen i produktionsenhederne på model 3 dambrug af formaldehyd er konstateret at være stor, kunne det forventes, at der ikke ville være ret meget formaldehyd, der blev udledt til vandløbet. Derfor blev der også gennemført kontrollerede forsøg, hvor formaldehyd blev tilsat direkte i plantelagunen. Det blev gjort for at være sikker på, at der var formaldehyd nok til at kunne måle og beregne en omsætning i plantelagunen. Plantelagunernes størrelse er oplyst af dambrugeren. For de traditionelle dambrug blev bagkanaler og fældningsbassin opmålt.

5.2.1 Hydraulisk opholdstid i plantelaguner

Den gennemsnitlige hydrauliske opholdstid er beregnet ved at dividere det opmålte volumen af plantelagunen (m^3) med vandføringen gennem plantelagunen (l/s). En formaldehydudledning fra produktionsenheden vil blive omsat, tilbageholdt og fortyndet i plantelagunen og vil i udløbet kunne registreres som et koncentrationsstop. Hvornår og hvor længe toppen i koncentrationen kan registreres i udløbet fra plantelagunen bestemmes af den hydrauliske opholdstid. Det har i forsøgene med salttilsætning og måling af ledningsevne i plantelagunerne vist sig, at den hydrauliske opholdstid i plantelagunerne på både model 1 og model 3 er betydelig kortere end forventet. Vandet løber efter al sandsynlighed ikke uniformt gennem plantelagunen. I tabel 5.6 er beregnet det forventede volumen, der er nødvendig for at opnå de reelle opholdstider. Det reelle volumen udgør for flere dambrug mindre end 50 % af den opmålte volumen af plantelagunen.

Tabel 5.6. Den gennemsnitlige hydrauliske opholdstid og den reelle opholdstid i plantelagunerne fra model 1 og 3 dambrugene. Ud fra passagetiden for koncentrationsstoppene for salt og formaldehyd er beregnet hvor stor en del af plantelagunen der deltager i passagen gennem plantelagunen og hvor stor en procent af volumen det afviger fra det oplyste.

Dambrug	Plantelagune vol. (m ³)	Gennemsnitlig hydraulisk opholdstid (h)	Toppens passagetid (t)	Reelle volumen (m ³)	Procent afvigelse
Model 1 A	8265	7,8	6,5	6887	17
Model 1 B	12600	19,4	12	7794	38
Model 1 C	3800	11,6	3	983	74
Model 3 A	13400	46	8	2575	81
Model 3 B	2639	19,5	7	947	64
Model 3 C	7245	90,5	45	3602	50

5.2.2 Omsætningskapacitet for en dosering i plantelagunen

Omsætningskapaciteten for en formalin dosering (mg/m³) i plantelagunen kan opgøres på samme måde som for produktionsenheden (se afsnit 5.1.1). Mængden af formaldehyd, der løber ud af plantelagunen til vandløbet, skal fratrækkes det tilførte til plantelagunen, og derefter divideres med det reelle beregnede volumen for plantelagunen (tabel 5.6). Omsætningskapaciteten indeholder såvel den umiddelbare reduktion i form af sorption, som den mikrobielle omsætning.

Tabel 5.7. Omsætningskapacitet for formaldehyd i plantelaguner på model 1 og model 3 dambrug. Gennemsnittet, standardafv. (Std) og varianskoefficienten (CV %) er beregnet. Plantelagunerens volumen (m³) for de enkelte dambrug er vist.

Dambrug	Volumen (m ³)	Model 1 (mg/m ³)	Volumen (m ³)	Model 3 (mg/m ³)
A	6887	3593	2575	1219
A			2575	4571
B	7794	2431	947	5100
C	983	2285	3602	10902
C	983	6957		
Gennemsnit		3817		5448
Std		2174		4022
CV %		57		74

Både for Model 1 dambrug A og model 3 dambrug C er der udført dobbeltforsøg med dosering i produktionsenheden eller i plantelagunens indløb. I gennemsnit er omsætningskapaciteten på ca. 3,8 og 5,5 g/ m³ for henholdsvis model 1 og model 3 dambrugene. Forskellen skyldes formentlig hovedsageligt den længere opholdstid på model 3 dambrugene end på model 1 dambrugene. De største værdier fremkommer, hvor der er doseret direkte i plantelagunen, men her er doseringen, og dermed koncentrationen, også væsentlig større end i de forsøg, hvor formaldehyd kommer fra produktionsenheden.

5.2.3 Omsætningsraten for en dosering i plantelagunen

Omsætningsraten er omsætningen udtrykt pr. tidsenhed. I opgørelsen er anvendt koncentrations toppens passagetid i plantelagunen (tabel 5.8). I den beregnede omsætningsrate indgår derfor både den umiddelbare reduktion og den mikrobielle omsætning.

Tabel 5.8. Omsætningsrater (mg/m^3 pr. time) for plantelagunen i model 1 og model 3 dambrugene. Gennemsnittet, standardafv. (Std) og varianskoefficienten (CV %) er beregnet. Den gennemsnitlige hydrauliske opholdstid for de enkelte dambrug er vist.

Dambrug	Hydraulisk opholdstid (t)	Model 1 ($\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{t}$)	Hydrayulisk opholdstid (t)	Model 3 ($\text{mg}/\text{m}^3\cdot\text{t}$)
A	6,5	553	8	152
A			8	571
B	12	203	7	729
C	3	762	45	242
C	3	2319		
Gen		959		424
Std		936		272
CV %		98		64

I gennemsnit er omsætningsraten for model 1 dambrug på $959 \text{ mg}/\text{m}^3$ pr. time og dermed mere end dobbelt så stor som for model 3 dambrug. Der er dog konstateret store forskelle inden for samme type dambrug, ikke mindst for dobbeltforsøget på model 1 dambrug C. Hvis der ses bort fra forsøget med dosering direkte i plantelagunen for model 1 dambrug C, var gennemsnittet for model 1 dambrug på $506 \text{ mg}/\text{m}^3$ pr. time tættere på gennemsnittet for model 3 dambrug.

5.2.4 Omsætningskapacitet for formaldehyd i bagkanal og fældningsbassin

For de traditionelle dambrug er omsætningskapaciteten opgjort på samme måde som for modeldambrugene, nemlig som forskellen mellem indløb og udløb for de enkelte bassiner. Det var kun muligt at opgøre omsætningskapaciteten for bagkanalen i det traditionelle dambrug A. Her var omsætningskapaciteten på samme niveau som de målte omsætninger i fældningsbassinet (tabel 5.9).

Tabel 5.9. Omsætningskapacitet (mg/m^3 pr. time) i bagkanal og fældningsbassin på traditionelle dambrug. Gennemsnittet, standardafv.(Std) og varianskoefficienten (CV %) er beregnet. Bagkanalernes og fældningsbassinernes volumen (m^3) for de enkelte dambrug er vist.

Dambrug	Bagkanal		Fældningsbassin	
	vol (m^3)	(mg/m^3)	vol (m^3)	(mg/m^3)
A	220	901	370	893
B	748		114	1158
C	299		165	679
Gennemsnit				910
Std				240
CV %				26

5.2.5 Omsætningsraten for formaldehyd i bagkanal og fældningsbassin

Divideres omsætningskapaciteten (mg/m^3) med den hydrauliske opholdstid i timer fås omsætningsraten (mg/m^3 pr. time). I gennemsnit er den for fældningsbassinet på $119 \text{ mg}/\text{m}^3$ pr. time) (tabel 5.10). For det traditionelle dambrug A er den herved beregnede omsætningsrate den samme for bagkanal som for fældningsbassin. Anvendes den fundne rate for fældningsbassin på bagkanalen for de to øvrige dambrug, passer det med den forsvundne mængde formaldehyd i bagkanalerne. Den bereg-

nede omsætningsrate i dambrug A ser således ud til at gælde for både bagkanal og fældningsbassin.

Tabel 5.10. Omsætningsrater ($\text{mg/m}^3\cdot\text{t}$) i bagkanal og fældningsbassin på traditionelle dambrug. Gennemsnittet, standarddeviationen (Std) og varianskoefficienten (CV %) er beregnet. Den gennemsnitlige hydrauliske opholdstid for bagkanalen og fældningsbassinet for de enkelte dambrug er vist.

Dambrug	Bagkanal		Fældningsbassin	
	Hyd (h)	($\text{mg/m}^3/\text{t}$)	Hyd (t)	($\text{mg/m}^3/\text{t}$)
A	2	168	0,3	162
B	3		0,2	83
C	1,7		0,2	113
Gennemsnit				119
Std				40
CV %				34

5.2.6 Udløbskoncentrationer

I 8 af de 9 dambrug blev der i afløbet fra dambruget målt en formaldehydtop efter en dosering på ca. 20 mg/l i produktionenheden. I tabel 5.11 er angivet den maksimale koncentration og gennemsnitskoncentrationen i den tid toppen passerede udløbet fra plantelagunen eller fældningsbassinet. Toppens længde er defineret fra det tidspunkt den kunne erkendes til der første gang igen måles en koncentration mindre end detektionsgrænsen (detektionsgrænse $<10 \mu\text{g/l}$).

Tabel 5.11. Udløbskoncentrationer fra 3 typer dambrug. Udledningens maksimale og gennemsnitlige koncentration, samt varigheden af udledningens passage ud af plantelagunen eller fældningsbassin.

Dambrug	Max konc. (mg/l)	Gennemsnits konc. (mg/l)	Udledningens varighed (timer)
Model 1 A	7,420	2,131	13
Model 1 B	3,838	1,078	25
Model 1 C	0,640	0,300	15
Model 3 A	0,019	0,011	41
Model 3 B	0,280	0,067	23
Model 3 C	-	-	-
Traditionel A	0,741	0,187	6
Traditionel B	0,220	0,101	12
Traditionel C	0,333	0,075	9

Undersøgelserne viste, at koncentrationen af formaldehyd i vandet, der forlader plantelagunen er mindre i model 3 dambrugene, end hvad der er konstateret i model 1 dambrug og traditionelle dambrug. De højeste målte udledningsskoncentrationer (maksimale koncentrationer) blev registreret blandt model 1 dambrugene med værdier over 7 mg/l (tabel 5.11). Der er dog stor spredning inden for de enkelte typer af dambrugene. Koncentrationsniveauet af formaldehyd i udledningen fra de traditionelle dambrug ligger mellem de højeste værdier for model 3 dambrugene og de laveste for model 1 dambrugene. Forskellene mellem de tre dambrugstyper er markant, når der fokuseres på de beregnede gennemsnitskoncentrationer af formaldehyd i udledningerne. Således er koncentrationen for den højeste værdi for type 1 dambrugene ca. 32 gange højere end den højeste gennemsnitskoncentration beregnet for model 3 dambrugene. For de traditionelle dambrug er den højeste gennemsnitskoncentration 11 gange mindre end den højeste gennemsnitskoncentration

beregnet for model 1 dambrugene. Udløbsvandet fra dambrugene bliver efterfølgende fortyndet i vandløbet hvorfor koncentrationen er lavere efter udledning.

5.3 Omsætningsrater og plantelagunernes dækningsgrad

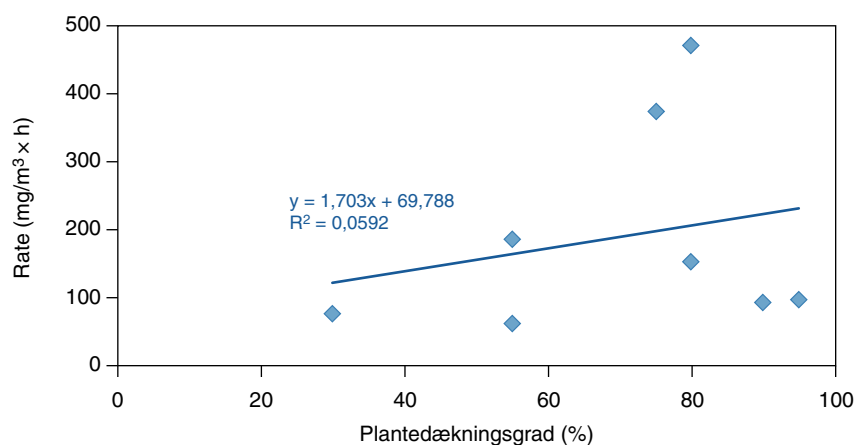
Plantelagunernes plantedække (dækningsgrad) varierede fra 30 til 95 procent (tabel 5.12) med lavere dækningsgrader for model 1 dambrug end for model 3 dambrugene. Model 3 dambrugenes plantelaguner bestod af gamle damme og kanaler fra det tidligere traditionelle dambrug, og planterne har hurtigt kunnet etableret sig. For to af model 1 dambrugene bestod plantelaguner af store opgravede "søer", hvor det tog længere tid at etablere et plantedække og for model 1 dambrug C, hvor plantelagunen består af nedlagte damme og kanaler var en 1/3 del af dammene for nylig blevet oprenset og planterne dermed fjernet.

Tabel 5.12. Plantedækningsgrad (%) i plantelagunerne for model 1 og 3 dambrug. Plantedækningsgraden er skønnet på undersøgelsesdagen og er sat op mod den fundne omsætningsrate for formaldehyd.

Dambrug	Plantedække (%)	Omsætningsrate (mg/m ³ ·t)
Model 1 A	75	374
Model 1 B	30	77
Model 1 C	55	186
Model 1 C	55	61
Model 3 A	80	152
Model 3 A	80	471
Model 3 B	90	94
Model 3 C	95	97

Plantedækket i lagunerne bestod overvejende af sødgræsser, mens de sidste dele af plantelagunen var domineret af andemad. I bilagsdelen af rapporten er beskrevet hvilke plantearter, der er fundet i de enkelte laguner.

Figur 5.1. Omsætningsraten (mg/m³ pr. time) i relation til plantedækningsgraden i plantelagunerne for model 1 og 3 dambrug. Regressionsligningen er indlagt.

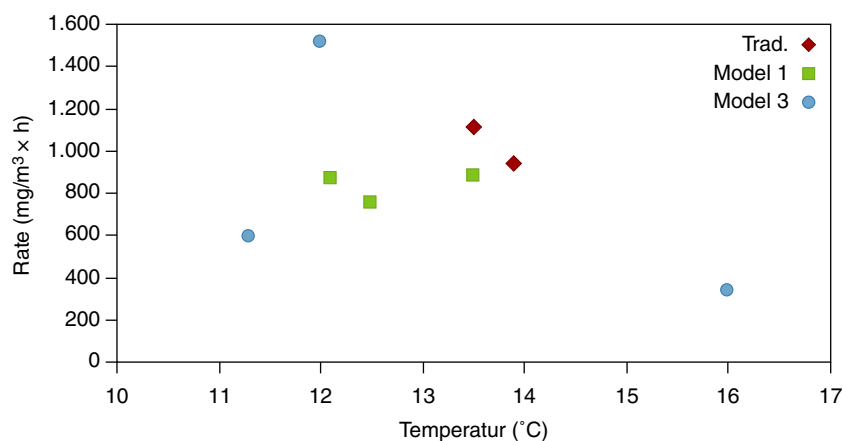


Der blev ikke konstateret nogen statistisk signifikant sammenhæng mellem omsætningsraten af formaldehyd i plantelaguner og dækningsgraden af planter. (figur 5.1).

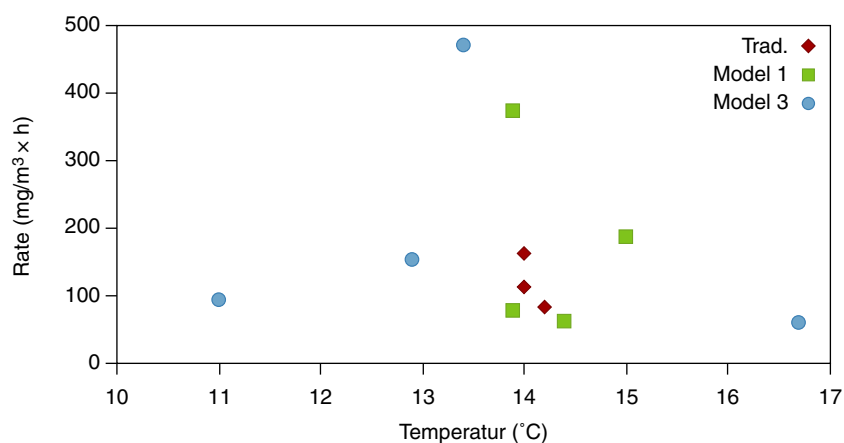
5.4 Temperatures indflydelse på omsætningsraten

Temperaturintervallet fra de 9 dambrugsforsøg er snævert, hvilket vanskeliggør en beregning af temperatures indflydelse på omsætningsraten i produktionsenhederne, plantelagunerne og fældningsbassinerne (tabel 4.4). I figur 5.2 og 5.3 ses temperatur og omsætningsrater for formaldehyd i produktionsenheden, plantelaguner og fældningsbassiner for de 3 dambrugstyper. Der er ikke konstateret nogen statistisk signifikant sammenhæng mellem omsætningsraten af formaldehyd og vandtemperaturen i hverken produktionsenheden eller i plantelaguner/fældningsbassiner.

Figur 5.2. Omsætningsrater (mg/m^3 pr. time) ved forskellige forsøgstemperaturer ($^{\circ}\text{C}$) i produktionsenhederne for 3 typer dambrug.



Figur 5.3. Omsætningsrater (mg/m^3 pr. time) ved forskellige forsøgstemperaturer ($^{\circ}\text{C}$) i plantelaguner og fældningsbassiner for 3 typer dambrug.



6 Omsætningsrater

Formaldehydkoncentrationen styres af flere processer i et dambrug: 1) en kortvarig umiddelbar reduktion ved adsorption af formaldehyd på overflader af partikler; 2) en vedvarende mikrobiel omsætning; og 3) en fortynding via indtag af vand. De tre processer som påvirker formaldehyd koncentrationen finder sted overalt i de enkelte dambrug, hvad enten det er på de traditionelle dambrug med damme og bagkanaler, eller på modeldambrugene med store produktionsenheder og plantelaguner.

6.1 Den umiddelbare reduktion

Den umiddelbare reduktion skyldes overfladeadsorption og er et fænomen, som er beskrevet i flere sammenhænge, hvor den målte koncentration af formaldehyd ofte er fundet til at være ca. 10 % lavere end den beregnede koncentration ud fra de doserede mængder og vandvolumenet (Eiroa et al., 2005; Sortkjær et al., 2008). I damme på traditionelle dambrug har vi tidligere fundet en umiddelbar reduktion på ca. 20-25 % (Pedersen et al., 2008). Det samme blev konstateret i de indledende forsøg til "Optimering af behandlingseffekten i akvakultur", hvorfra resultaterne dog er upubliceret (Sortkjær et al., unpubl.).

I indeværende forsøg har det kun været muligt at opgøre den umiddelbare reduktion for produktionsenhederne de steder, hvor det har været muligt at lukke for ind og udløb og recirkulere alt vandet. Disse forsøg viser, at den umiddelbare reduktion i formaldehydkoncentrationen for de traditionelle dambrug og model 1 dambrugene ligger på 10 % af det tilførte og derunder. I to af dambrugene kunne den umiddelbare reduktion ikke erkendes ud fra målingerne. For Model 3 dambrugene er den umiddelbare reduktion i formaldehydkoncentrationen betydeligt større, idet den udgør fra 14 - 54 % af den tilsatte mængde formalin. Beregnes den umiddelbare reduktion pr. volumen produktionsenhed (mg/m^3) er reduktionen næsten 7 gange større for model 3 dambrugene sammenlignet med model 1 dambrugene (tabel 6.1).

Tabel 6.1. Den umiddelbare reduktion af formaldehyd i procent af den tilsatte mængde til produktionsenhederne for traditionelle, model 1 og 3 dambrug.

Dambrug	Trad. (%)	Model 1 (%)	Model 3 (%)
A	10	7	29
B	-	-	14
C	3	3,5	54

Forskellen mellem model 1 og model 3 dambrugene er, at model 3 dambrug har tilknyttet et biofilter til hver produktionsenhed, et filter som har meget store arealer. Model 3 dambrug A og C har installeret samme filtertype og størrelse, og i disse var den umiddelbare reduktion af formaldehyd på henholdsvis 15,4 kg og 21,4 kg. At den umiddelbare reduktion for model 3 dambrug C er på hele 54 % skyldes, at startdoseringen var væsentlig mindre (13,8 mg/l) for dette dambrug end for model 3 dambrug A (19,1mg/l).

Konklusionen er, at for de traditionelle dambrug og for model 1 dambrugene er den umiddelbare reduktion under 10 %, og for model 3 dambrugene op til 30 % ved beregnede startkoncentrationer for formaldehyd på omkring 20 mg/l. De konstaterede umiddelbare reduktionsniveauer er i overensstemmelse med, hvad der er fundet i tidligere undersøgelser (Sortkjær et al., 2008).

Den forholdsvis store umiddelbare reduktion i model 3 dambrugene bør indgå i overvejelser af, om den anvendte dosis er korrekt. Såfremt 30 % eller mere af formaldehydet forsvinder umiddelbart efter tilsætning, mangler samme andel til behandlingen af parasitter, bakterier og svampe. Den forholdsvis lange opholdstid i model 3 anlæggene kan dog måske kompensere for den reducerede formaldehyd koncentration.

6.2 Den mikrobielle omsætning

Den mikrobielle omsætning i produktionsenhederne er bestemt af forekomsten af de rette mikroorganismer, mikroorganismernes aktivitet og af temperaturen. Formaldehydens tilgængelighed for mikroorganismerne øges med det tilgængelige overfladeareal og omfanget af recirkulering. Mikroorganismerne kan endvidere tilvænes at anvende formaldehyd som kulstofkilde og dermed øge omsætningsraterne med 200-300 %. Omsætningsraterne fra litteraturen og tidligere forsøg er angivet i tabel 2.2 og viser, at den er under 0,1 mg/l pr. time ($< 100 \text{ mg/m}^3$) i dambrugsvand og i aktiv slam er den på ca. 2 mg/l pr. time.

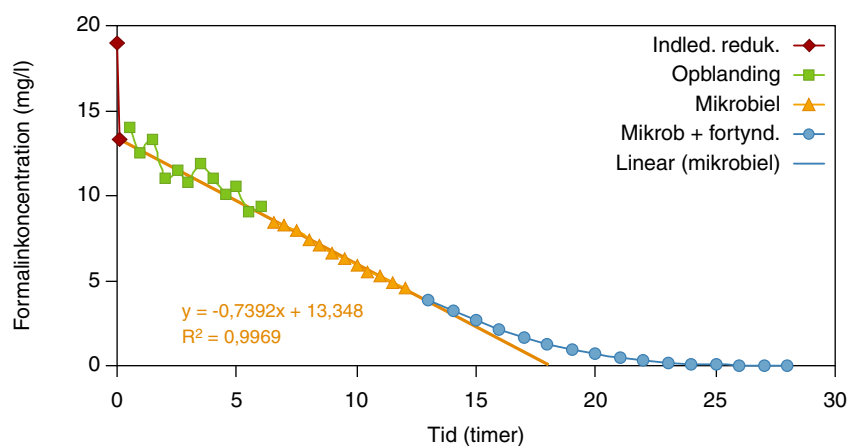
Resultaterne for de 3 dambrugstyper er vist i tabel 5.2. For de traditionelle dambrug er den gennemsnitlige omsætningsrate på 750 mg/m^3 pr. time. Et af dambrugene afveg dog betydeligt fra gennemsnittet med en rate på 195 mg/m^3 pr. time. Den målte lave omsætningsrate på dette dambrug kan sandsynligvis tilskrives det forhold, at forsøgsdammen først lige inden forsøget blev fyldt med vand og tilsat fisk. Der var således ingen 'gammelt' organisk materiale i dammen udover de nyligt udsatte fisk. Ses der bort fra dette dambrug, var gennemsnittet for de to andre på godt 1000 mg/m^3 pr. time. For de to typer af modeldambrug er konstateret en stor overensstemmelse mellem model 1 og model 3 i omsætningsraten af formaldehyd, idet gennemsnittet er på henholdsvis 836 og 818 mg/m^3 pr. time. Den indbyrdes variation de tre model 1 dambrug var kun på 9 %, hvilket viser, at omsætningsraterne er meget ens for denne type dambrug. Det er derimod mere overraskende, at der blev konstateret en omsætningsrate af formaldehyd på samme niveau i model 3 dambrugene som på model 1 dambrugene, selvom model 3 dambrugene har installeret store biofiltre. Desuden var variationen mellem model 3 dambrugene meget større end for model 1 dambrugene (tabel 5.2). I model 3 dambrug A blev der konstateret den største omsætning blandt alle modeldambrugene på 1520 mg/m^3 pr. time, mens den laveste rate på 340 mg/m^3 pr. time blev konstateret på model 3 dambrug C. Det skal tilføjes, at for dette dambrug var usikkerheden i bestemmelsen af omsætningsraten betydeligt større end for de to andre model 3 dambrug. Det skyldes, at det kun var muligt at holde 100 % recirkulering i ca. 5 timer i modsætning til de 2 andre dambrug, hvor det var i 12 timer.

Det er for nyligt dokumenteret ved forsøg i biofilteranlæg i Hirtshals, at anlæg med dagligt formalin dosering omsatte op mod 1900 mg/m^3 pr.

time i forhold til kontrolanlæg, der var doseret en gang om ugen, var omsætningen 5-6 lavere (Pedersen et al., 2008). Omsætningsraten for model 3 dambrug A er af samme størrelsesorden som den fundne i forsøgsanlægget i Hirtshals. En mulig årsag til den store variation i model 3 dambrugenes omsætningsrate for formaldehyd kan ligge i biofilternes tilvænnning til formaldehyd. I projektet har vi dog ikke fået kendskab til behandlingshyppigheden i detaljer, hvorfor dette emne ikke kan nærmere belyses i denne rapport.

Formaldehydkoncentrationen over tid i et model 3 dambrug er gengivet i figur 6.1. I det øjeblik, der tilsættes formalin til produktionsenheden, sker der en umiddelbar reduktion som følge af fysisk adsorption til overflader og partikler (den røde lodrette linje). Næste fase er opblandingen, og under denne sker der samtidig en reduktion (den grønne linje). Efter at formaldehyd er totalopblandet i vandfasen, kan der måles en reduktion forårsaget af en mikrobiel omsætning (den blå linje med trekanter i figur 6.1).

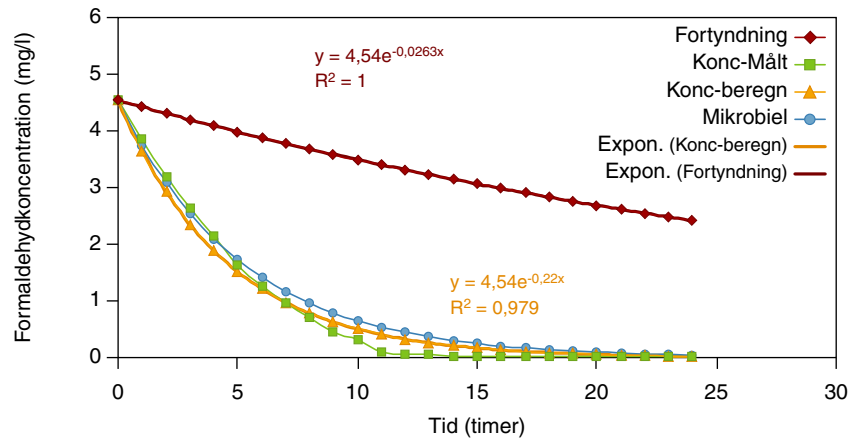
Figur 6.1. Omsætning af formaldehyd i et eksemplificeret model 3 dambrug.



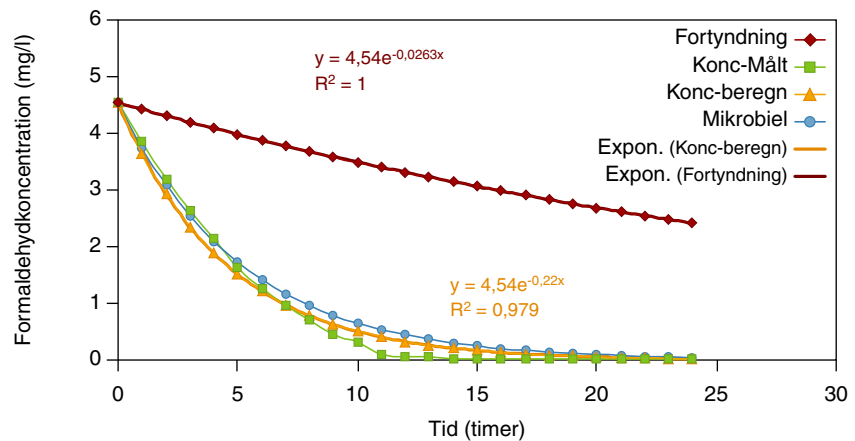
Omsætningen af formaldehyd er lineær og hældningskoefficienten er lig med den mikrobielle omsætningsrate, hvilket betyder, at omsætningsraten over en stor del af koncentrationsintervallet ikke er koncentrationsafhængig. Af eksemplet i figuren ses også, at den reduktion, der blev fundet under opblandingsfasen, er den samme som for den mikrobielle fase. Den mikrobielle lineære omsætning fortsætter i dette eksempel ned til en koncentration på ca. 3 mg/l, der er opnået efter 13 timer. Derefter aftager koncentrationskurven eksponentielt, hvilket viser at i dette koncentrationsinterval falder omsætningsraten med tiden. Hvis raten havde været den samme som i de første 13 timer, ville koncentrationen være 0 efter ca. 18 timer (den lineære trendlinje i figur 6.1), men koncentrationen er først 0 efter 23 timer. Som det blev illustreret i figur 2.1 i indledningen, ville man forvente en øget formaldehydreduktion efter 12 timer, da der på dette tidspunkt blev åbnet for ind- og udløb på produktionsenheden, og fortynding af formaldehyd derfor også finder sted. Koncentrationen af formaldehyd skulle således nå en 0 værdi før de 18 timer. Eksemplet viser, at den mikrobielle omsætningsfase indledes fra starten af tilsætningen og fortsætter, til der ikke er mere formaldehyd.

I figur 6.2–6.4 er formaldehyds koncentrationsforløb vist fra det øjeblik, der åbnes op for flowet igen i ind- og udløb af produktionsenhederne på model 3 dambrugene.

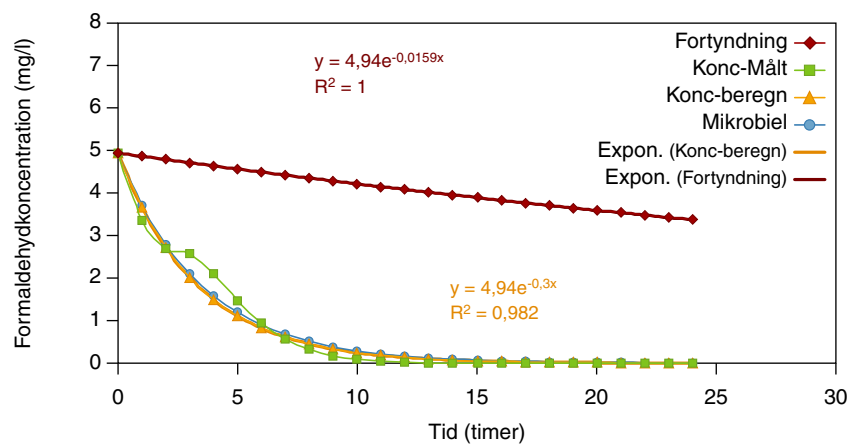
Figur 6.2. Den mikrobielle omsætning i produktionsenheden af formaldehyd ved lave koncentrationer i model 3 dambrug A. Den mikrobielle omsætning er differensen mellem den målte (regressionsligning nederst på grafen) og fortyndingen (regressionsligningen øverst på grafen).



Figur 6.3. Den mikrobielle omsætning i produktionsenheden af formaldehyd ved lave koncentrationer i model 3 dambrug B. Den mikrobielle omsætning er differensen mellem den målte (regressionsligning nederst på grafen) og fortyndingen (regressionsligningen øverst på grafen).



Figur 6.4. Den mikrobielle omsætning i produktionsenheden af formaldehyd ved lave koncentrationer i model 3 dambrug C. Den mikrobielle omsætning er differensen mellem den målte (regressionsligning nederst på grafen) og fortyndingen (regressionsligningen øverst på grafen).



Hvis der kun er tale om en fortynding, som for stoffer der ikke kan omsættes (salt) kan koncentrationsændringen beskrives med en eksponentiel funktion. $Y = a \cdot e^{-bx}$, hvor a er startkoncentrationen, b er hældningskoefficienten, og x er tiden (formel angivet øverst på graferne). Det målte koncentrationsforløb, der både indeholder fortyndingen og den mikrobielle omsætning, kan ligeledes beskrives med en eksponentiel funktion

(angivet nederst på graferne). Den mikrobielle omsætning er differensen mellem det beregnede koncentrationsforløb og fortyndingen. Det ses af de tre grafer, at den mikrobielle omsætning følger det målte koncentrationsforløb meget tæt.

Tabel 6.2. Hældningskoefficienten i eksponentialfunktionerne for den målte, fortyndingen og den mikrobielle omsætning af formaldehyd i produktionsenhederne for model 3 dambrug. Den mikrobielle omsætning er beregnet som differensen i eksponenterne for den målte og fortyndingen.

Model 3 dambrug	Målte konc.	Fortynding	Mikrobiel omsætning	Halveringstid ($t_{1/2}$) i timer
A	-0,220	-0,026	-0,194	3,5
B	-0,147	-0,032	-0,115	6
C	-0,300	-0,016	-0,284	2,5

I tabel 6.2 er eksponenterne i den eksponentielle funktion, som beskriver den beregnede mikrobielle omsætning vist for model 3 dambrugene. I de tre model 3 dambrug omsættes formaldehyd ved koncentrationer under 2 mg/l efter følgende eksponentielle ligninger:

$$\text{Model 3 dambrug A : } Y = 4,54 \cdot e^{-0,194x}$$

$$\text{Model 3 dambrug B : } Y = 7,84 \cdot e^{-0,115x}$$

$$\text{Model 3 dambrug C : } Y = 4,94 \cdot e^{-0,284x}$$

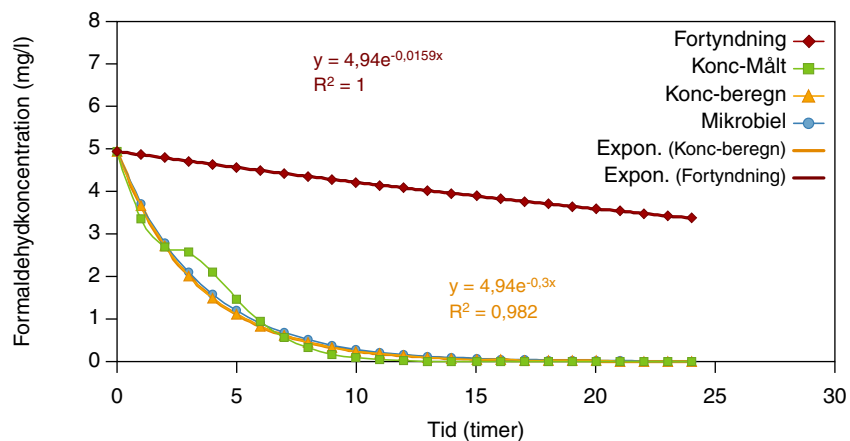
Tabel 6.3. Hældningskoefficienterne i eksponentialfunktionerne for formaldehydsomsætning i produktionsenhederne ved lave koncentrationer i model 3 dambrug. Gennemsnit, standard-afvigelse (Std) og varianskoefficient (CV%) er beregnet.

Model dambrug	Hældningskoefficient
A	-0,194
B	-0,115
C	-0,284
Gennemsnit	-0,1977
Std	0,0846
CV%	42,779

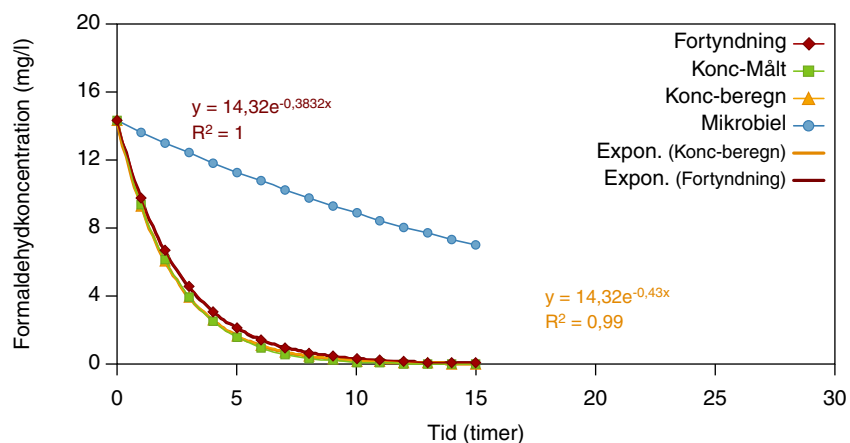
I gennemsnit var hældningskoefficient på -0,2 med en varianskoefficient på 43 %. Generelt kan formaldehydsomsætningen ved koncentrationer under 2 mg/l i model 3 dambrug beskrives ved følgende udtryk: $Y = a \cdot e^{-0,2x}$, hvor a er koncentrationen ved tiden 0 og x er timer.

Tilsvarende beregninger kan udføres for model 1 dambrug (figur 6.5-6.6). Men i disse dambrug er fortyndingsraten meget høj, da der so godt som ikke recirkuleres. Koncentrationsforløbet i produktionsenheden er styret af fortyndingen. Det ses også af, at på det tidspunkt, hvor formaldehydkoncentrationen er 0, ville den, hvis det var muligt at recirkulere vandet i større grad, være henholdsvis 4 og 8 mg/l i model 1 dambrug A og B, hvis omsætningen udelukkende var bestemt af den mikrobielle omsætning. I model 1 dambrug A følger den beregnede mikrobielle omsætning det samme forløb som for model 3 dambrugene. Koncentrationerne i produktionsenheden på model 1 dambrugene er større, end hvor den eksponentielle omsætning sætter ind, hvorfor den heller ikke er blevet beregnet. For model 1 dambrugene beregnes omsætningen ud fra den lineære omsætningsrate.

Figur 6.5. Den mikrobielle omsætning i produktionsenheden af formaldehyd ved lave koncentrationer i model 1 dambrug A. Den mikrobielle omsætning er differensen mellem den målte (regressionsligning nederst på grafen) og fortyndingen (regressionsligningen øverst på grafen).



Figur 6.6. Den mikrobielle omsætning i produktionsenheden af formaldehyd ved lave koncentrationer i model 1 dambrug B. Den mikrobielle omsætning er differensen mellem den målte (regressionsligning nederst på grafen) og fortyndingen (regressionsligningen øverst på grafen).



Den væsentligste forskel mellem model 1 og model 3 dambrugene er, at sidstnævnte har tilknyttet biofiltre med meget store overfladearealer. I de undersøgte modeldambrug kunne slamkegler, der opsamler fra bunden en stor del af det potentielle substrat for mikroorganismer, mens biofilterne i model 3 dambrugene har en filterfunktion, der gør, at organisk substrat tilbageholdes i filterne og derved øger omsætningen af formaldehyd i biofilterne. Denne hypotese er ikke blevet undersøgt, men omregnes den mikrobielle omsætning til overfladearealet for model 3 dambrugene fås en omsætningsrate fra 6,4 til 27,5 mg/m² pr. time (tabel 5.3). Det er en rate som er i god overensstemmelse med, hvad der tidligere er fundet i litteraturen (tabel 2.2).

Den mikrobielle fase indledes fra starten af tilsætningen og beskrives bedst med en koncentrationsuafhængig 0. ordensligning, hvor der omsættes den samme mængde pr. time. Ved koncentrationer under 2 mg/l kan omsætning statistisk bedst beskrives med en eksponentiel 1. ordens funktion, der angiver en procentuel omsætning af startkoncentrationen. Den mikrobielle omsætning ved lave koncentrationer kan kun beregnes for model 3 dambrugene og er på $Y = a \cdot e^{-0,20x}$ med stor variation. (~20 % fjernelse/time).

6.3 Omsætning i plantelagunen

Med udløbsvandet fra produktionsenhederne føres formaldehyden videre til plantelagunen for model 1 og 3 dambrugene og for de traditionelle dambrug til bagkanal og fældningsbassin. Her forløber de samme processer sig i forhold til reduktion af formaldehydkoncentrationen.

For de traditionelle og model 1 dambrugene starter den mikrobielle omsætning og fortynding af formaldehyd i plantelagunerne ved koncentrationer på 12 -14 mg/l i modsætning til model 3 dambrugene, hvor koncentrationen ved indløbet til plantelagunerne vil være nede på omkring 4 mg/l.

I plantelagunen og fældningsbassinet er det ikke muligt at adskille de to processer vedrørende den umiddelbare reduktion af formaldehyd (sorptionen) og den mikrobielle omsætning. Hvis en kvantificering af de to processer enkeltvis skal kunne lade sig gøre, skal vandet recirkuleres 100% over adskillelige timer for at få opblandet formaldehyden i vandet, og dernæst over en periode på 4-5 timer til målinger af den mikrobielle omsætning. I plantelagunerne er man henvist til at beregne den totale tilbageholdelse af formaldehyd som den tilførte mængde i indløbet til plantelagunen minus den udledte mængde fra plantelagunen til vandløbet.

Tabel 6.4. Omsætning af formaldehyd i procent i produktionsenheder, plantelagune eller fældningsbassiner og tilførslen til dambruget i 3 typer dambrug efter en tilsætning i produktionsenheden. For 2 model 3 dambrug blev der også lavet forsøg med tilsætning direkte i plantelagunen. Den tilsatte mængde er sat til 100 %. * For model 1 dambrug C er tallet i parentes omsætningen i gennem 3 serieforbundne produktionsenheder. Det skal anføres at værdierne lagt sammen ikke nødvendigvis giver 100 % - som følge af tab/usikkerheder i massebalancerne.

Dambrug	Produktions Enhed	Plantelagune /fældning	Udløb vand- løb	Plantelagune (formalin tilført direkte til lagunen.)	Udløb vandløb
Model 1 A	9	47,6	40,7		
Model 1 B	11,2	37,9	42,3		
Model 1 C	30,1 (36,1*)	40,2	27,4		
Model 3 A	94,1	5,6	0,3	98,9	1,1
Model 3 B	83,8	12	1,8		
Model 3 C	98,9	1,1		98,3	1,7
Traditionel A	8	24	39		
Traditionel B	16	47	38		
Traditionel C	7	46	46		

Omsætning af formaldehyd efter en tilsætning af formalin i produktionsenheden er meget forskellig i de 3 typer dambrug (tabel 6.3). I produktionsenheden omsættes 7-30 % for de traditionelle og model 1 dambrugene, hvorimod der er tale om et interval på 84- 99 % i model 3 dambrugene. Formaldehyd, som tilledes plantelagunen i model 3 dambrugene, omsættes i langt overvejende grad, således at mindre end 2 % løber videre ud i vandløbet. Det gælder også selv om, der bliver doseret store mængder direkte i plantelagunen (se tabel 6.3). For de traditionelle og model 1 dambrugene omsættes ca. halvdelen af det tilførte formaldehyd i plantelagunen/bagkanal-fældningsbassin, og den anden halvdel bliver ført til vandløbet. Der er dog den væsentlige forskel på de to typer dambrug, at på model 1 dambrugene er det hele produktionsapparatet, der blev behandlet, hvorimod det på de traditionelle dambrug kun er en enkelt dam af ofte 20 -30 damme, der er blevet behandlet i dette forsøg.

Som det fremgår af resultaterne fra produktionsenhederne, er den mikrobielle omsætning størrelse afhængig af opholdstiden (tabel 5.2). Det samme må gælde for plantelaguner og fældningsbassiner. Som vist i tabel 5.8 er den reelle hydrauliske opholdstid væsentlig mindre end den gennemsnitlige hydrauliske opholdstid beregnet ud fra det oplyste volumen for plantelagunerne, hvorfor formaldehyd løber hurtigere igennem. Vandet finder åbenbart den korteste vej gennem plantelagunen. Til beregning af omsætningsraten for plantelagunen er valgt den opholdstid det i virkeligheden tager for en koncentrationstop at passere fra indløbet til udløbet i plantelagunen. Dambrugene kunne opnå en bedre omsætning af formalin og fx organisk stof og næringssalte ved at sikre, at vandet ved dets passage af plantelagunen strømmer over hele plantelagunens areal. Det ville betyde, at de aktuelle opholdstider nærmede sig den teoretisk beregnede hydrauliske opholdstid.

Omsætningsraten for formaldehyd i plantelagunen varierede betydeligt i dobbeltforsøgene, ikke mindst for model 1 dambrug C og model 3 dambrug A. Her er den konstateret til at være 4-5 gange større ved dosering af store mængder formaldehyd direkte i plantelagunen. Omsætningskapaciteten målt i mg/m^3 er ca. 3 gange større i disse situationer. Det kan skyldes, at en væsentlig del af omsætningen af formaldehyd sker i området for den koncentrationsafhængige omsætning (lavere koncentrationer). Ved normal dosering i produktionsenheden er omsætningsraten for model 1 dambrugene i gennemsnit på $506 \text{ mg}/\text{m}^3$ pr. time og for model 3 dambrugene i gennemsnit på $374 \text{ mg}/\text{m}^3$ pr. time. I fældningsbassinet i de traditionelle dambrug er omsætningsraten på ca. $120 \text{ mg}/\text{m}^3$ pr. time, altså 4-5 gange mindre end for en plantelagune. Det skyldes, at der ikke er planter i fældningsbassinet, som giver et stort overfladeareal til den mikrobielle omsætning. Som det fremgår, er der en positiv relation mellem plantedækningsgraden og omsætningsraten af formaldehyd. Der er dog en stor spredning i resultaterne, hvilket kan skyldes, at vandet i nogle plantelaguner lettere kan danne "kanaler" gennem plantelagunen.

Der er fortaget enkelte undersøgelser af formaldehyds skæbne i traditionelle danske dambrug tidligere. På et dambrug fandt vi omsætningsrater af formaldehyd i sedimentet på godt $100 \text{ mg}/\text{m}^2$ pr. time og i vandfasen på $< 100 \text{ mg}/\text{m}^3$ pr. time (Pedersen et al., 2004) Når disse værdier blev sat ind i dambrugsmodellen og beregnet med PoolSim (Pedersen et al., 2004) var der overensstemmelse mellem de målte værdier og de beregnede for de enkelte damme, kanaler og fældningsbassin. Vandbalancen blev kontrolleret med salt som konservativt sporstof. Ribe Amt lavede en mindre undersøgelse på et dambrug og fandt kun en minimal omsætning af formaldehyd (Ribe Amt, 2002). Undersøgelsen blev imidlertid ikke udført med brug af salt som tracer til bestemmelse af opholdstid og massebalancer, og følgelig kan den umiddelbare reduktion af formaldehyd ikke vurderes. De målte koncentrationer ligger en smule over indeværende undersøgelse og viser, at formalinbehandling i anlæg med en kort opholdstid resulterer i en begrænset intern reduktion og dermed betydelig udledning af formaldehyd. I denne undersøgelse var den gennemsnitlige omsætningsrate i produktionsenhederne på ca. $750 \text{ mg}/\text{m}^3$ pr. time for de traditionelle dambrug og i fældningsbassinerne på ca. $120 \text{ mg}/\text{m}^3$ pr. time. Det er lidt højere end, hvad der blev fundet i vandfasen i den tidligere undersøgelse af (Pedersen et al., 2004).

Temperaturens indflydelse på omsætningsraten ved lav og høje temperaturer i såvel produktionsenheden og i plantelelagunen kan ikke fastslås af denne undersøgelse, da temperaturspredningen i undersøgelsesperioden var meget lille.

Den gennemsnitlige omsætningsrate for fældningsbassinerne er ca. 120 mg/m³ pr. time og ca. 450 mg/m³ pr. time for plantelelagunerne ved doseringer på ca. 20 mg/l formalin i produktionsenhederne. Omsætningsraterne stiger med øget dosering. Plantelelagunernes fulde kapacitet udnyttes ikke i flere af de undersøgte dambrug.

7 Konklusion

Formaldehydkoncentrationen i et dambrug efter tilsætning af formalin kan blive reduceret på flere måder som en følge af tre overordnede processer:

- 1) En kortvarig umiddelbar reduktion som følge af sorption af stoffet til overflader på fx organiske partikler, sediment, mv.
- 2) En vedvarende mikrobiel omsætning i hele dambruget.
- 3) En fortynding via indtag af vand på dambruget.

De tre processer og dermed reduktioner i koncentrationen af formaldehyd finder sted overalt i dambruget, hvad enten det er på de traditionelle dambrug med damme og bagkanaler eller på modeldambrugene med store produktionsenheder og plantelaguner.

Den umiddelbare reduktion af formaldehyd koncentrationen i produktionsenheden er for de traditionelle dambrug og for model 1 under 10 %, og for model 3 dambrugene op til 30 %, alle målt ved startkoncentrationer på ca. 20 mg/l formaldehyd.

Den mikrobielle omsætning i produktionsenhederne kan statistisk bedst beskrives ud fra to faser. Første fase indledes fra starten af formalintilsætningen med en koncentrationsuafhængig 0. ordens ligning, hvor der omsættes den samme mængde pr. time (mg/m^3 pr. time). For de 3 dambrugstyper omsætningsraten fundet til at være relativ ens og på godt 800 mg/m^3 pr. time.

Ved koncentrationer af formaldehyd på under 2 mg/l starter anden fase, og her kan omsætningen bedst beskrives med en eksponentiel 1. ordens funktion, der angiver en procentuel omsætning af startkoncentrationen. Den mikrobielle omsætning ved lave koncentrationer kan kun beregnes for model 3 dambrugene, og er på $Y = a \cdot e^{-0,20x}$ men med en relativ stor variation omkring en omsætning på ~20 % pr. time). I model 3 dambrugene ville koncentrationen i produktionsenheden være tæt på nul efter 24 timers recirkulering og kun meget små mængder formaldehyd skal efterfølgende omsættes i plantelagunen. For model 1 dambrugene reduceres 10-30 procent af den tilsatte formalin i produktionsenheden, resten føres videre til plantelagunen. For de traditionelle dambrug reduceres 7-16 % af den tilsatte formalin i dammen, resten føres videre til bagkanal og fældningsbassin.

Det er ikke muligt at adskille den tidsuafhængige umiddelbare reduktion og den tidsafhængige mikrobielle omsætning i plantelaguner og fældningsbassiner. Derfor indgår begge elementer i omsætningsraten (mg/m^3 pr. time) for plantelaguner og fældningsbassiner. Omsætningsraterne for fældningsbassinerne er i gennemsnit ca. 120 mg/m^3 pr. time og ca. 450 mg/m^3 pr. time for plantelagunerne ved doseringer på ca. 20 mg/l formalin i produktionsenhederne. Omsætningsraterne stiger med øget dosering. For de traditionelle dambrug kan bagkanal og fældnings-

bassiner fjerne fra 24-46 % af den doserede formalin, mens ca. 40 % føres videre til vandløbet. For model 1 dambrugene kan plantelagunerne reducere formalinmængden med 38-48 % og 27-42 % føres videre til vandløbet. Model 3 dambrugene adskiller sig fra de to andre typer dambrug ved, at mindre end 2 % af den tilsatte mængde formalin føres videre til vandløbet.

En forudsætning for de fundne reduktioner af det tilsatte formalin er, at de traditionelle dambrug og model 1 dambrugene recirkulerede vandet i produktionsenhederne i ca. 4-5 timer og at model 3 dambrugene recirkulerer i 5-12 timer.

8 Referencer

Eiroa, M., Kennes, C., & Veiga, M. C. 2004. Formaldehyde biodegradation and its inhibitory effect on nitrification. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 79, 499-504.

Eiroa, M., Kennes, C., & Veiga, M. C. 2005. Simultaneous nitrification and formaldehyde biodegradation in an activated sludge unit. *Biore-source Technology* 96, 1914-1918.

Eiroa, M. A. Vilar, C. Kennes, and M. C. Veiga. 2006. Formaldehyde biodegradation in the presence of methanol under denitrifying conditions. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 81 (3):312-317.

Gearheart, J.M., Masters, A.L., Bebak-Williams, J., 2006. Application of methods for the detoxification and neutralization of formalin in fish hatchery effluents. *North American Journal of Aquaculture* 68, 256-263.

Heinen, J.M. A.L. Weber, A.C. Noble and J.D. Morton, Tolerance to formalin by a fluidized-bed biofilter and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* in a recirculating culture system. *Journal of World Aquacultural Society*. 26(1995), pp. 65-71.

Hohreiter, D.W., and Rigg, D.K., 2001. Derivation of ambient water quality criteria for formaldehyde. *Chemosphere* 45, 471-486.

Keck, N. & Blanc, G. 2002. Effects of formalin chemotherapeutic treatments on biofilter efficiency in a marine recirculating fish farming system. *Aquatic Living Resources* 15, 361-370.

Lofty, H.R and Rached, I.G. 2002. A method for treating wastewater containing formaldehyde. *Water Research* 36:633-637.

Masters, A.L., 2004. A review of methods for detoxification and neutralization of formalin in water. *North American J. Aquacul.* 66 (4), 325-333.

Noble, A.C and Summerfelt, S.S.. Diseases encountered in rainbow trout cultured in recirculating systems. *Annual Review of Fish Diseases* 6:65-92, 1996.

Pedersen, L.-F., Pedersen, P.B. & Sortkjær. 2007. Temperature-dependent and surface specific formaldehyde degradation in submerged biofilters. *Aquacultural Engineering* Vol. 36 pp 127-136.

Pedersen, L-F, Pedersen, P.B. Nielsen, J.L. & Nielsen, P.H. 2008. Formaldehyde induced variation in biofilter performance and microbial composition. *Proceedings from the Seventh International Conference on Recirculation Aquaculture*, Roanoke, Virginia, p. 430-439.

Pedersen, L-F, Pedersen, P.B. Nielsen, J.L. & Nielsen, P.H.. Long term/low dose formalin exposure to small-scale recirculation aquaculture systems (*In review*).

Ribe Amt, 2002. Notat vedr. formaldehydudledning fra et dambrug i Ribe Amt, 6 sider + bilag.

Schwartz, M.F., G.L. Bullock, J.A. Hankins, S.T. Summerfelt and J.A. Mathias, Effects of selected chemotherapeutants on nitrification in fluidized-sand biofilters for coldwater fish production. *Int. J. Recirc. Aquacult.* 1 (2000), pp. 61–81.

Sortkjær, O., Henriksen, N.H., Heinecke, R.D. & Pedersen, L-F. 2008: Optimering af behandlingseffekten i akvakultur. Minimering af forbrug og udledning af hjælpestoffer. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 124 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 659. <http://www.dmu.dk/Pub/FR659.pdf>

Wienbeck, H., Koops, H., 1990. Untersuchungen zum Formalinabbau in Kreislaufanlagen [Decomposition of formaldehyde in a recirculation fish farming system]. *Archives für Fischereiwissenschaft*, 40, 153–166.

Bilag 1

Model 3 Dambrug A

1.1 Beskrivelse af dambruget

1.1.1 Produktionsanlægget

Model 3 dambrug A består af et betonkummeanlæg med 3 produktionsenheder. Vandet tages ind fra grundvandsboringer og dræn og fordeles til de 3 produktionsenheder. I forbindelse med hver enhed er der et biofilter. Biofilteret har et areal på 154000 m². Vandet recirkulerer under daglig drift med mere end 95 %, hvorefter det ledes til en plantelagune. Plantelagunen er på 14800 m² (13400 m³) og består af 52 nedlagte damme og 4 kanaler. Derfra bliver det ført til to serieforbundne laguner, før det løb ud i vandløbet. Det er ikke entydigt hvordan vandet forløber gennem plantelagunen. Under forsøgene var vandflowet mellem 70 og 89 l/s svarende til en gennemsnitlig opholdstid på 2 døgn. Under behandlingen i produktionsenheden kan vandet recirkuleres 100 %. Hver produktionsenhed har 110 tons fisk.

1.1.2 Plantelagunens dækningsgrad

Plantelagunens dækningsgrad blev i begyndelsen af maj 2008 skønnet til 80 % og bestod hovedsageligt af mannasødgræs. I de sidste bassiner af plantelagunen bestod plantedækket hovedsageligt af andemad.

1.1.3 Prøvetagning og feltmålinger

Der blev på model 3 dambrug A udført 3 forsøg med varierende prøvetagningssteder. Almindeligvis blev der opsat 3 automatiske prøvetagere, en i udløbet af produktionsenheden, som blev anvendt til forsøget, og en i indløbet til lagunen samt en i udløbet af dambruget. Prøvetageren i udløbet af produktionsenheden tog prøver hver halve time frem til midnat, hvorefter der blev taget prøver med 1 times interval, som det også var tilfældet med de øvrige prøvetagere.

Temperatur, iltindhold og ledningsevne blev målt manuelt rundt på dambruget. I udløbet fra dambruget blev ledningsevne og temperatur målt med en automatisk ledningsevne måler med 15 minutters intervaller i mindst 3 døgn.

1.1.4 Vandføring gennem dambruget

Tabel 1.1 Vandføring under forsøgene på Model 3 dambrug A

Dato	Fra prod.	Fra sættefisk	Indløb pl	Udløb pl
5. maj 2008	20,3		80,8	89,4
15. maj 2008			80	93,6
7. juli 2008		16,04	76,9	76,6

1.2 Forsøg

Der blev udført tre forsøg henholdsvis den 5. maj 2008 i produktionsenhed 3, den 13. maj 2008 i sættefisk anlæget og den 17. juli 2008 i plantelagunen. To af forsøgene blev udført med formalin og salt og forsøget i sættefiskeanlægget kun med salt.

Samtidig med at der blev doseret med formalin, blev der tilsat salt, da salt i modsætning til formalin ikke bliver omsat i dambruget. Målingerne af saltkoncentrationen er brugt til at følge fortyndingen gennem dambruget og til beregning af vandvolumenet i produktionsenheden. Saltkoncentrationen blev målt indirekte ved måling af ledningsevnen. Registreringen af ændringer i saltkoncentrationen blev vanskeliggjort af, at baggrundsledningsevnen kan variere i forbindelse med omsætning af foder i fisk og biofilter, idet der sker en mineralisering.

1.2.1 Volumenberegning ud fra saltmetoden

Vandvolumenet i produktionsenheden er beregnet ud fra den tilsatte saltmængde og den øgning i ledningsevnen, dette gav anledning til.

Ledningsevne målt i dambrugsvand	458 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Ledningsevne målt i dambrugsvand tilsat 50 mg/l salt	630 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Beregnet ledningsevne bidrag pr. 50 mg/l salt	96 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Klokken 14 blev ledningsevnen målt til	554 $\mu\text{S}/\text{cm}$
250 kg salt giver en stigning i ledningsevnen på (630-458)	172 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Saltkoncentrationen er da $(172 \cdot 50 / 96)$	89,58 mg/l
Volumen er $(250000 / 89,58)$	2790 m^3

1.2.2 Forsøg med formalin og salt

Forsøg den 5. maj 2008

Formalinbehandlingen fandt sted i to omgange. Første gang den 5. maj kl. 12:03, hvor produktionsenhed 3 blev behandlet med 143,7 kg formalin (37 % formaldehyd) der svarer til 53,173 kg formaldehyd. Der blev lukket for ind og udløb til produktionsenhed 3, og der var en 100 % recirkulering fra kl. 12 til kl. 24, hvorefter der blev åbnet for normalt flow med et vandskifte på 20,3 l/s. Sammen med formalinen blev der tilsat 250 kg opløst salt. Ved tilsætningen blev salt og formalin fordelt langs siderne på produktionsenheden for at sikre en hurtig opblanding. Udløbet blev spærret med et vandstandsbræt, hvorved vandniveauet øgedes, men der flød alligevel de første timer efter stoftilsætningen vand ud i plantelagunen med et flow på 4 l/s.

Der var opsat prøvetagere i udløb af produktionsenhed 3 og i starten og i udløbet af plantelagunen.

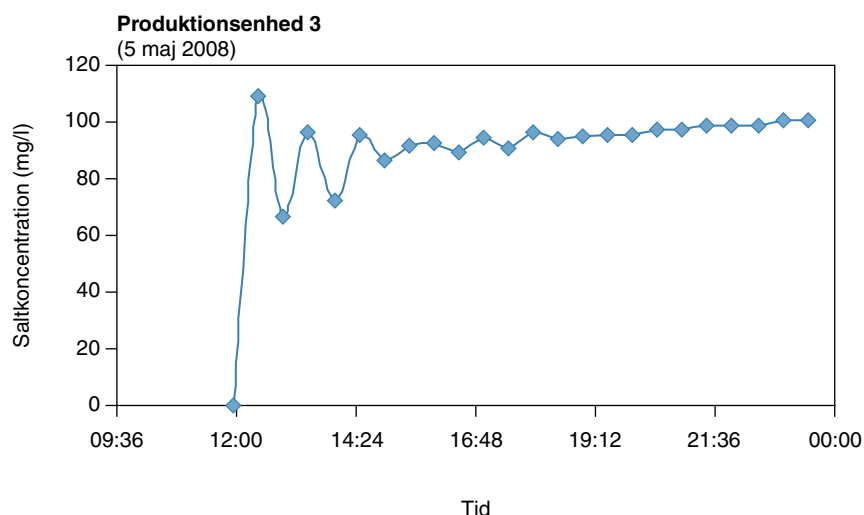
Af ledningsevнемålingerne, der er et udtryk for saltkoncentrationen, fremgår det, at det tog 5-6 timer før der var total opblanding og dermed en indsvingning af koncentrationen, som derefter fortsatte med at stige (figur 1.1). At ledningsevnen fortsat steg skyldes sandsynligvis opløst foder og den deraf følgende mineralisering, der øgede ledningsevnen. Først ved åbningen af ind og udløb til produktionsenheden Kl. 24 faldt

ledningsevnen, og dette fortsatte det næste døgn (figur 1.2). Volumen i produktionsenhed 3 blev beregnet til 2790 m³ ifølge saltmetoden,

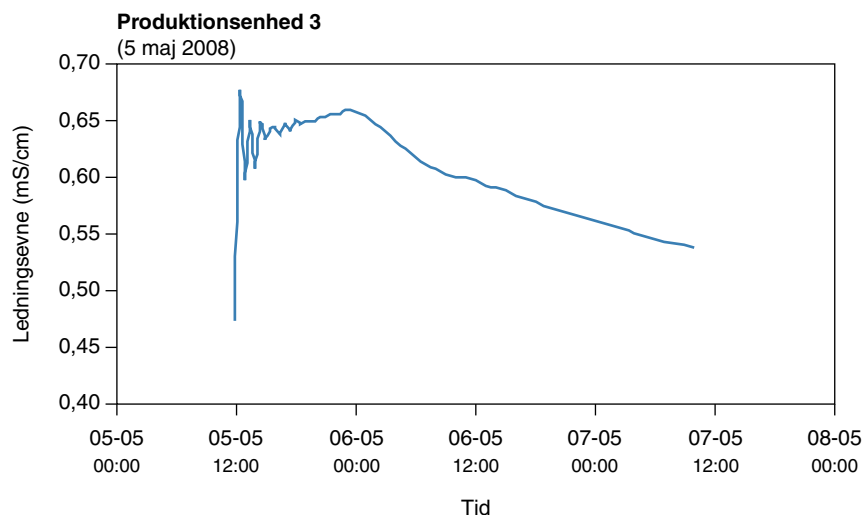
Temperaturen i produktionsenheden og plantelagunen blev målt flere gange fra kl. 11-14 den 5. maj og om formiddagen frem til den 8. maj 2008. Temperaturen lå mellem 12 °C - 12.9 °C.

Formaldehydkoncentrationen faldt umiddelbart efter tilsætningen og opblandingen og frem til genåbning af flowet gennem produktionsenheden som følge af en omsætning. Derefter faldt formaldehydkoncentration som følge af en kombination af omsætning og fortynding (figur 1.3).

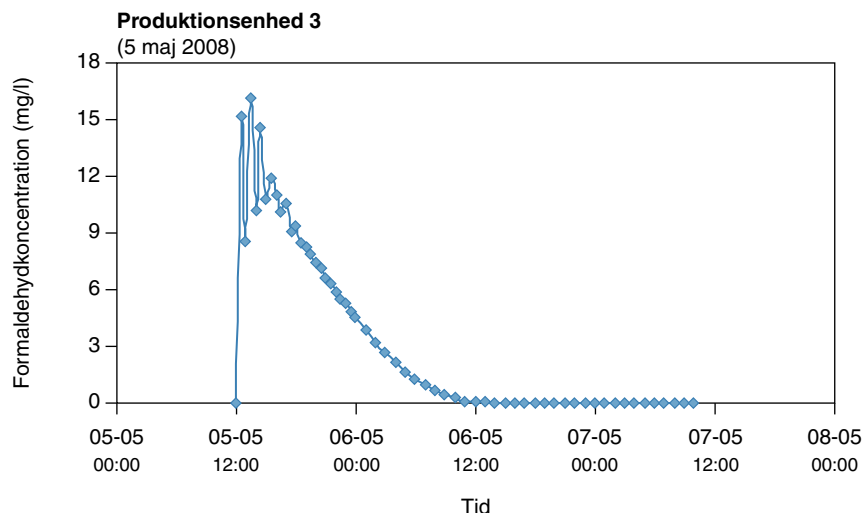
Figur 1.1. Saltkoncentrationen (mg/l) blev fulgt i 12 timer efter tilsætning af 250 kg salt kl. 12 i produktionsenhed 3 på model 3 dambrug A den 5. maj 2008. Der blev taget prøver hver halve time.



Figur 1.2 Ledningsevnen (mS/cm) blev fulgt i 2 døgn efter tilsætning af 250 kg salt kl. 12 i produktionsenhed 3 på model 3 dambrug A den 5. maj 2008.

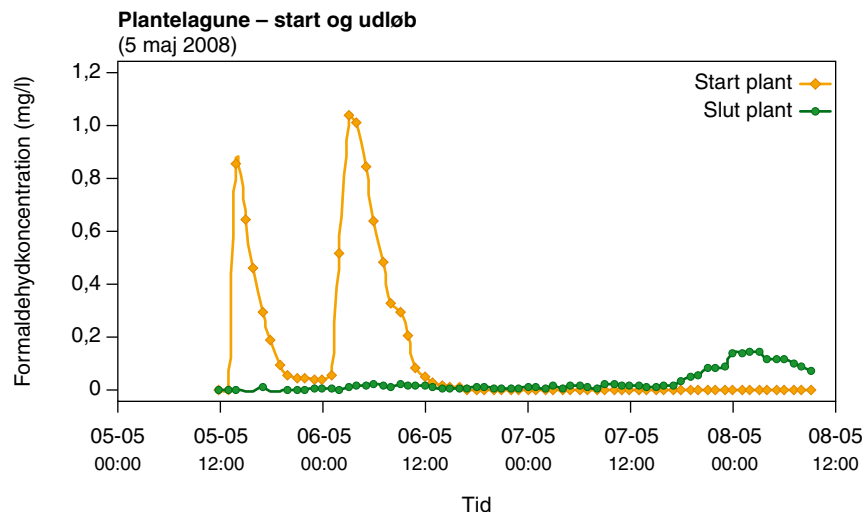


Figur 1.3 Formaldehydkoncentration (mg/l) blev fulgt et døgn i produktionsenheden efter tilsætning af 53,2 kg formaldehyd kl. 12 i produktionsenhed 3 på model 3 dambrug A den 5. maj 2008.



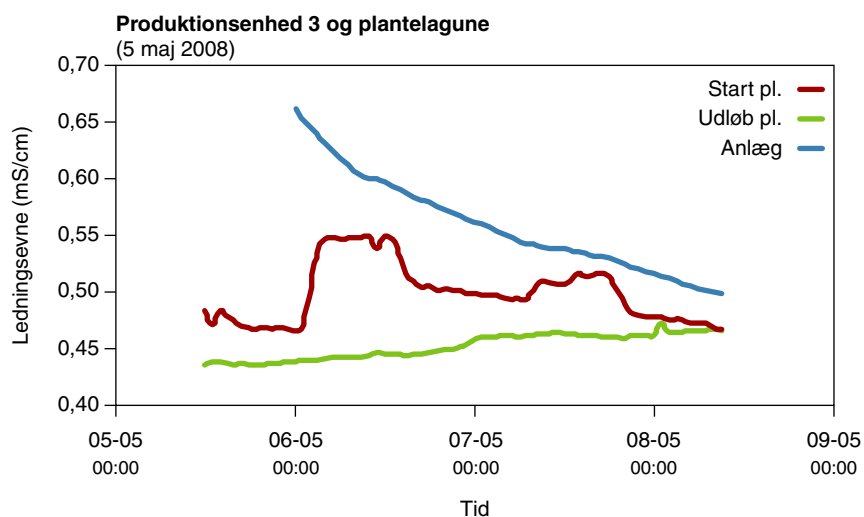
Formaldehydomsætningen i plantelagunen blev fulgt fra start til udløb af plantelagunen over 3 døgn (figur 1.4). I de første timer efter tilsætningen af formalin til produktionsenheden løb der vand ud over vandstandsbrættet og ud i plantelagunen. Da formaldehydkoncentrationen umiddelbart efter tilsætningen var høj i produktionsenheden og dårligt nok opblandet, slog overløbet til plantelagunen igennem i målingerne i starten af plantelagunen (figur 1.4). Tilsvarende steg formaldehydkoncentrationen til godt 1 mg/l, da der blev genåbnet for flowet gennem produktionsenheden (kl. 24). Koncentrationen faldt til næsten 0 på 24 timer.

Figur 1.4 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i start (St pl) og udløb af plantelagunen (Slut pl) på model 3 dambrug A. Der blev tilsat 53,2 kg formaldehyd kl. 12 den 5. maj 2008 i produktionsenhed 3. Koncentrationen blev fulgt i 3 døgn.

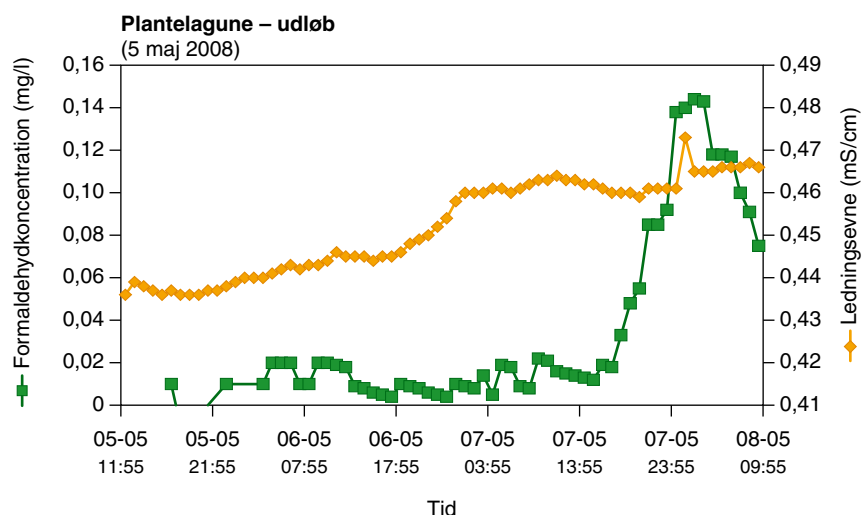


I udløbet fra plantelagunen var der en top på kurven over formaldehydkoncentrationen med maksimum 2 døgn efter, at der blev åbnet for flowet gennem produktionsenheden (figur 1.4). Da den gennemsnitlige opholdstid i plantelagunen var ca. 2 døgn kunne toppen i udløbet være en følge af formaldehydtilsætningen i produktionsenhed 3.

Figur 1.5 Ledningsevne (mS/cm) i produktionsenhed (Anlæg) og start og udløb af plantelagunen efter tilsætning af formalin og salt. Saltet blev tilsat den 5. maj kl. 12 til produktionsenheden og flowet gennem produktionsenheden blev åbnet kl. 24.



Figur 1.6 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) (Form) og ledningsevnen (mS/cm) (Led) i udløb af plantelagunen. Stofferne blev tilsat den 5. maj kl. 12 til produktionsenheden og flowet gennem produktionsenheden blev åbnet kl. 24.

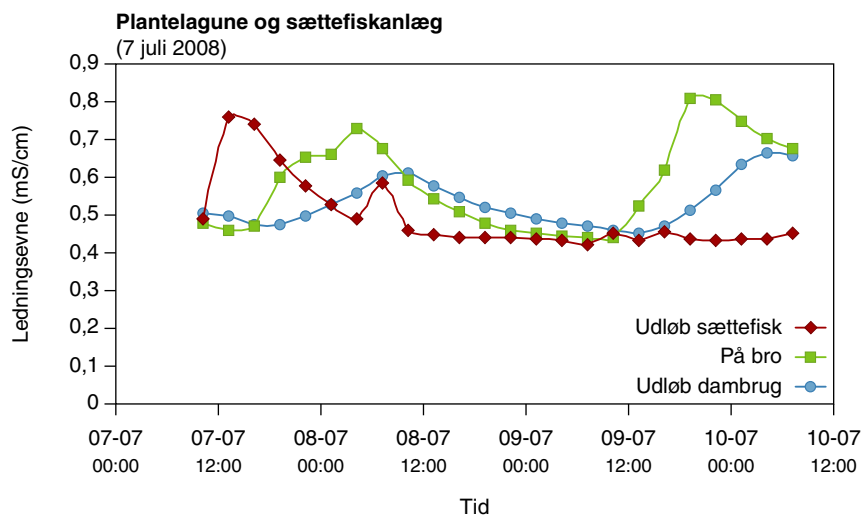


Der var imidlertid ikke en tilsvarende stigning i ledningsevnen i udløbet fra plantelagunen (figur 1.6). Det konkluderes derfor, at formaldehydtoppen ikke var en følge af formalintilsætningen til produktionsenhed 3 den 5. maj 2008. Under dette forsøg var vandføringen i indløbet til plantelagunen på 89 l/s, hvilket svarer til en gennemsnitlig opholdstid i plantelagunen på ca. 42 timer. Ved tidligere forsøg (Faglig rapport nr. 659, 2008) blev der fundet en udledning efter 8 timer. I udledningen fra plantelagunen var der to toppe med et maksimum på knap 0,019 mg/l og et gennemsnit på 0,01 mg/l over 41 timer (figur 1.6). Den første top startede 8 timer efter indløbet i plantelagunen, og begge toppe er forbundet med en stigning i ledningsevnen. Lige inden den anden top var nede igen startede en ny stor top (figur 1.6).

I et stort anlæg som model 3 dambrug A med 3 produktionsenheder samt sættefiske- og leverdamme bliver der brugt hjælpestoffer ind i mellem. Dambruget har oplyst, at indenfor perioden 3. -15. maj 2008 blev sættefiskeanlægget den 7. maj 2008 behandlet med 20 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 7,992 kg formaldehyd. Udløbet fra sættefiskeanlægget til plantelagunen er i en kanal ud for sættefiskeanlægget, og der lukkes ikke af for sættefiskeanlægget under behandlingen, hvorfor

formaldehyd lige efter behandlingen kan løbe ud i plantelagunen. Vandet fra sættefiskeanlægget har en kortere vej til udløbet af plantelagunen end vandet fra produktionsenhederne. Der blev derfor udført et saltforsøg i sættefiskeanlægget for at fastslå, hvornår vand med salt kan være ved udløbet af plantelagunen. Et sådant forsøg blev sat op den 7. juli 2008.

Figur 1.7 Ledningsevnen (mS/cm) i sættefiskeanlæg og i kanal (ved bro) inden vandet løber til de 2 sidste bassiner i plantelagunen og i udløbet fra plantelagunen i model 3 dambrug A den 7. juli 2008.



Forsøg i sættefiskeanlæg den 7. juli 2008

Ledningsevnen blev fulgt i plantelagunen, og der blev taget prøver med en automatisk prøvetager 3 steder: i udløbet af sættefiskeanlægget, inden vandet løb ind i de 2 sidste bassiner (ved bro) og i udløbet af plantelagunen (figur 1.7). Vandindtaget til plantelagunen var på 76,9 l/s, hvilket var ca. 25 % mindre end i forsøget den 5. maj. Dette forlængede opholdstiden i plantelagunen med en tilsvarende procent.

Ledningsevnetoppen i udløbet fra plantelagunen kom ca. 21 timer efter at saltet kom til plantelagunen. Opholdstiden på 21 timer ville være reduceret til 16 timer med et vandindtag på 89 l/s, som det var tilfældet med forsøget den 5. maj. Det er overvejende sandsynligt, at den top i formalinkoncentrationen, der blev fundet i udløbet af plantelagunen i "5. maj forsøget", stammede fra behandlingen med 20 l formalin i sættefiskeanlægget den 7. maj, og ikke fra doseringen i produktionsenhed 3. Stofmængden, der løb ud af plantelagunen, er beregnet til ca. 650 g formaldehyd ved integration under kurven.

Den store top i udløbet med maksimum ledningsevne den 10. juli kl. 10 skyldes en salttilsætning på 1750 kg, hvoraf de 250 kg blev tilsat til sættefiskeanlægget den 9. juli (figur 1.7). Tilsætningen bekræftede tidsforløbet i forsøget fra den 7. juli. Allerede kl. 14:20 den 9. juli begyndte ledningsevnen at stige, ca. 6-7 timer efter tilsætningen om morgenen.

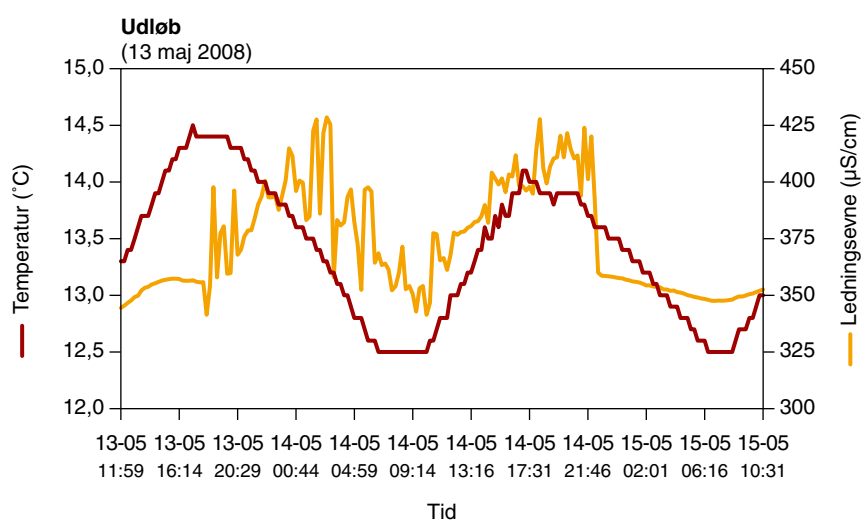
Forsøg den 13. maj 2008

Et nyt formalin forsøg blev sat i værk med direkte tilsætning af formalin i starten af plantelagunen. Der blev tilsat 32,15 kg formalin (37 % formaldehyd) svarende til 11,896 kg formaldehyd. Desuden blev der tilsat 100 kg salt. Vandindtaget til plantelagunen fra de 3 produktionsenheder blev fra den 13. til 15. maj målt til 64,8 l/s, dertil kommer ca. 16 l/s fra sættefiskeanlægget og levérdamme, der leder til plantelagunen tættere på ud-

løbet. I alt var vandflowet på ca. 80 l/s, hvilket gav en gennemsnitlig opholdstid i plantelagunen på ca. 46 timer.

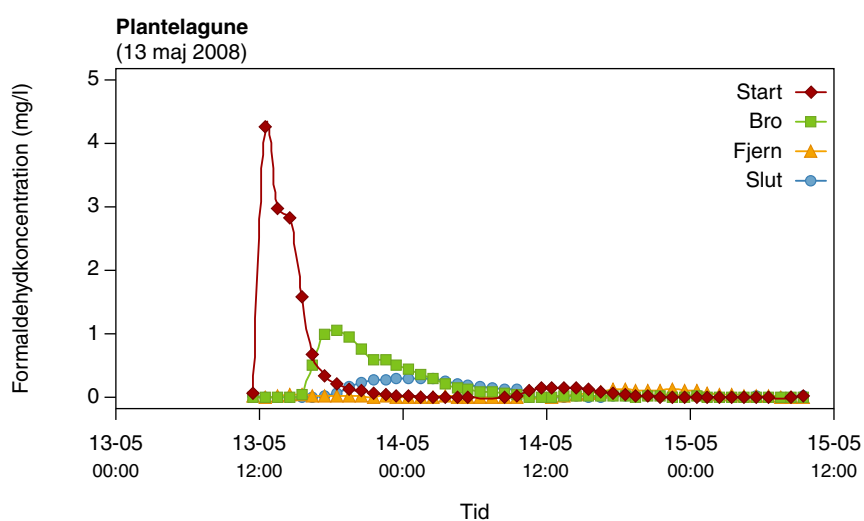
Der blev opstillet 4 automatiske prøvetagere, en i starten af plantelagunen (Start) nedstrøms opblandingsstedet, en i udløbet af plantelagunen (Slut), en i kanalen fjernest fra opblandingsstedet (Fjern), og endelig en ved udløbet fra kanal ved udløb fra sektionen med de 17 gamle damme (Bro). Der blev taget prøver hver time. Der blev også opsat en sonde i udløbet af plantelagunen til måling af ledningsevne og temperatur hvert kvarter.

Figur 1.8 Ledningsevne ($\mu\text{S/cm}$) og temperatur ($^{\circ}\text{C}$) i udløbet fra plantelagunen på model 3 dambrug A den 13. maj 2008 og halvanden døgn frem. Ledningsevnen blev målt ved den aktuelle temperatur.



Temperaturen varierede i udløbet fra plantelagunen over døgnet fra $12,5^{\circ}\text{C}$ om morgenen til $14,4^{\circ}\text{C}$ om aftenen (figur 1.8). Temperaturen var i starten af plantelagune på ca. $13,3^{\circ}\text{C}$ kl. 11-12:30.

Figur 1.9 Formaldehydkoncentrationer (mg/l) i plantelagunen efter tilsætning af 11,9 kg formaldehyd direkte i plantelagunen efter udløbene fra produktionsenhederne den 13. maj 2008 kl. 11:40 i model 3 dambrug A. Der blev målt følgende steder: i starten af plantelagune (Start) nedstrøms opblandingsstedet, i udløbet af plantelagunen (Slut), i en kanal fjernest fra opblandingsstedet (Fjern), og endelig i udløbet fra kanal med de 17 gamle damme (Bro).

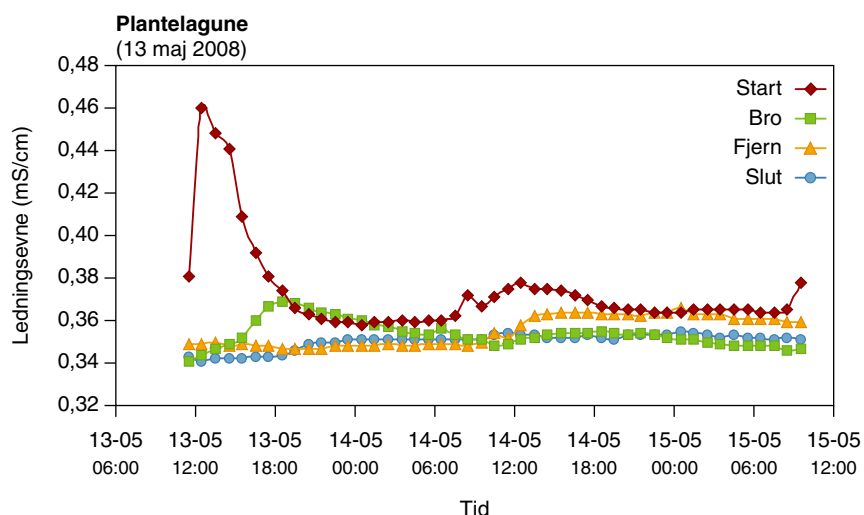


Formaldehyd blev tilsat i starten af plantelagune kl. 11:40. Det gav en maksimumsværdi ved bro allerede den 13. maj kl. 18 og i udløbet kl. 24 (figur 1.9). Toppen i udløbet startede 6-7 timer efter dosering. De tilsva-

rende ledningsevne målinger er vist i figur 1.10, hvor der ligeledes var en top ved bro den 13. maj kl. 18.

Om morgenen den 14. maj var der i starten af plantelagunen en stigning i ledningsevnen af et par timers varighed. Stigningen kan hænge sammen med, at fodring og spuling af kegler og biofiltre har givet anledning til forhøjelser i ledningsevnen.

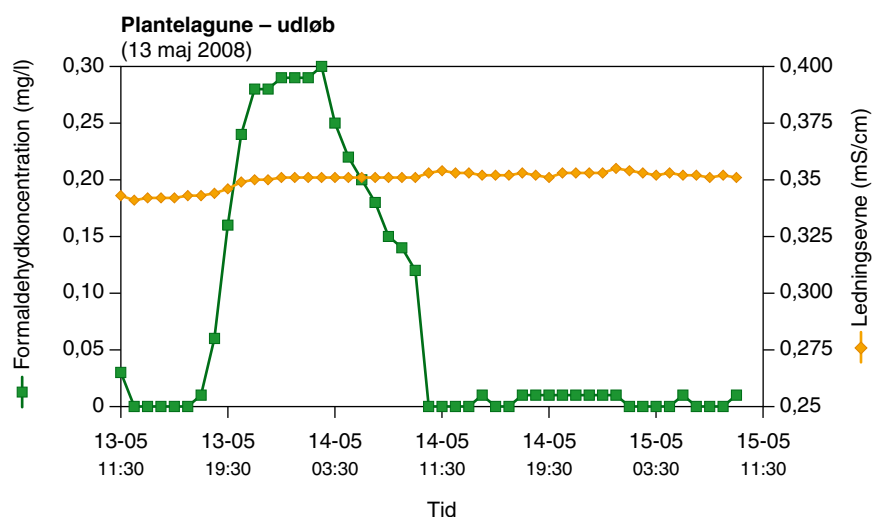
Figur 1.10. Ledningsevnen (mS/cm) i plantelagunen efter tilsætning af 100 kg opløst salt direkte i plantelagunen efter udløbene fra produktionsenhederne den 13. maj 2008 kl. 11:40 på model 3 dambrug A. Der blev målt følgende steder: i starten af plantelagune (Start) nedstrøms opblandingsstedet, i udløbet af plantelagunen (Slut), i en kanal fjernest fra opblandingsstedet (Fjern), og endelig i udløbet fra kanal med de 17 gamle damme (Bro).



Det mest markante udtryk for tilsætning af salt var ved målestation Fjern, hvor ledningsevnen steg 0,015 mS/cm fra ca. 0,345 til 0,360 mS/cm et døgn efter salttilsætningen.

100 kg salt i plantelagunen svarer til en saltkoncentration på 7,5 mg/l og en ledningsevne forøgelse på 0,016 mS/cm (figur 1.10). Samtidig med denne stigning i ledningsevnen var der ved samme målested en top af formaldehyd, der gav en maksimumkoncentration på 0,3 mg/l og en gennemsnitskoncentration på 0,18 mg/l over 17 timer (figur 1.9). Fra stationen "Fjern" blev vandet ledt til de to sidste bassiner i plantelagunen, og i udløbet fra denne blev der ikke fundet formaldehyd (figur 1.11). Der blev alene genfundet den udledning, der kom allerede 6-7 timer efter tilsætningen.

Figur 1.11 Formaldehydkoncentrationer (mg/l)(Form) og ledningsevne (mS/cm) (Led) i udløb af plantelagunen efter tilsætning af 11,9 kg formaldehyd og 100 kg opløst salt direkte i plantelagunen efter udløbene fra produktionsenhederne den 13. maj 2008 kl. 11:40 på model 3 dambrug A.



Alle tre forsøg har vist, at der kommer en formaldehydtop ca. 8 timer efter at der bliver åbnet for flowet gennem en formalinbehandlet produktionsenhed eller efter tilsætning af formalin direkte i starten plantelagunen. Det tilsvarende gælder også for ledningsevnetoppe som følge af salttilsætning. Der er flere veje vandet kan løbe til udløbet af plantelagunen. Fra startplantelagune kan noget af vandet nå udløbet efter 8 timer, mens en anden del må afspejle den gennemsnitlige opholdstid i hele systemet på ca. 42 - 46 timer. Doseres der i sættefiskeanlægget er opholdstiden reduceret til 16 - 20 timer, afhængig af flowhastigheden.

1.3 Formaldehydomsætning

Efter formaldehydtilsætning var det et fald i koncentrationen som følge af mikrobiel omsætning. Der var ikke nogen indledende reduktion ved dambrug model 3 A.

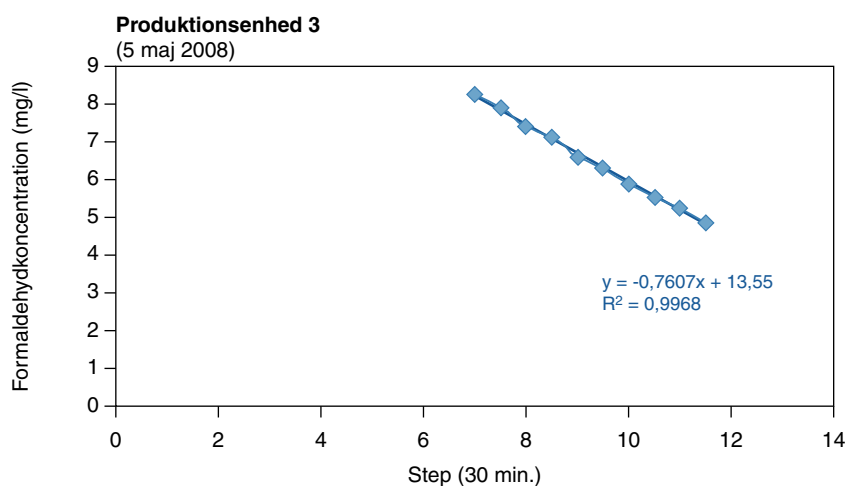
1.3.1 Produktionsenhed

Formaldehydomsætningen er beregnet ud fra forsøg den 5. maj 2008.

Der blev tilsat 143,7 kg formalin (37 % formaldehyd) svarende til 53173 g formaldehyd til et vandvolumen på 2790 m³. Det gav en startkoncentration på 19,05 mg/l.

Der løb vand ud af produktionsenheden til plantelagunen de første timer efter at der var lukket for flowet. Koncentrationen til et givet tidspunkt indenfor perioden, hvor der var lukket for flowet gennem produktionsenheden og opblandingen var gennemført, kan beregnes ud fra regressionsligningen, der er baseret på formaldehydkoncentrationerne målt indenfor perioden hvert 30. minut (figur 1.12).

Figur 1.12. Formaldehydomsætning i produktionsenhed 3 på model 3 dambrug A den 5. maj 2008 efter lukning af ind og udløb. Der er vist målte koncentrationer fra kl. 7-11 time efter tilsætningen af formaldehyd. Der blev tilsat 125 liter formalin (37 % formaldehyd) kl. 12.



Regressionsligningen for formaldehydkoncentrationen er

$Y = -0,76075x + 13,55$, hvor x er 30 minutter. Regressionskoefficienten (R^2) er 0,9968, hvilket betyder, at ligningen kan forklare 99,7 % af formalinomsætningen.

Indledende reduktion (adsorption/absorption)

Ifølge regressionsligningen var startkoncentrationen forskellig fra den koncentration, der blev beregnet ud fra den tilsatte mængde formaldehyd og vandvolumenet i produktionsenheden (figur 1.12). Startkoncentrationen var ifølge regressionsligningen 13,55 mg/l. Det ville svare til en startmængde på $2790 \text{ m}^3 \cdot 13,55 \text{ g/l} = 37804 \text{ g}$.

Indledende reduktion $53173 \text{ g} - 37804 \text{ g} = 15369 \text{ g}$

I denne opgørelse af den indledende reduktion indgår den mængde formaldehyd, der løb ud i starten som følge af forhøjet vandstand. Denne mængde er opgjort ved integration under den første top på kurven over formaldehydkoncentrationen i starten af plantelagunen i figur 1.4. Mængden blev opgjort til 880g formaldehyd.

Indledende reduktion korrigeret $(15369 - 880) = 14489 \text{ g}$

Indledende reduktion pr. volumen $14489 \text{ g} / 2790 \text{ m}^3 = 5,19 \text{ g} / \text{m}^3$

Indledende reduktion svarer til $14489 \cdot 100 / 53173 = 27 \%$.

Mikrobiel omsætning

Koncentrationsændringen af formaldehyd var ifølge regressionsligningen pr. time $(0,76075 \cdot 2) = 1,52 \text{ mg/l}$ ($1,52 \text{ g} / \text{m}^3 \cdot \text{h}$)

Omsætningsraten i produktionsenheden $(2790 \text{ m}^3) / \text{t} = 4240 \text{ g/t}$

Under forudsætning af at al formaldehyd blev omsat mikrobielt og omsætningsraten var den samme kan det beregnes, at koncentrationen teoretisk ville være 0

efter 13 timer $(13,55 / (0,7608 \cdot 2)) = 13 \text{ timer}$.

Hvis omsætningen fuldt ud foregik i biofilter ville omsætningsrate pr biofilterareal være: $4240 \text{ g} / 154000 \text{ m}^2 = 27,5 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}$.

1.3.2 Plantelagunen

Omsætningen fra den 5. maj forsøget

På basis af koncentration og flowhastigheden kan stofmængderne, der forlod produktionsenheden, eller mængden der løb ind eller ud af plantelagunen beregnes pr. time. Summeres op svarer det til at integrere under kurverne.

Omsætninger	Formaldehyd	Procent af tilført
Produktionsenhed tilført	53173 g	100 %
Til plantelagunen	2704 g	5,1 %
Til mikrosigten	450 g	0,8 %
Omsat i produktionsenheden	50019 g	94,1 %
Tilført lagunen efter genåbning	2704 g	5,1 %
Fra mikrosigten	450 g	0,8 %
Tilført plantelagune i alt	3154 g	5,9%
Udløb fra plantelagunen	151 g	0,3 %

Vandets gennemsnitlige opholdstid = $13400 \text{ m}^3 / 89,4 \text{ l/s} = 41 \text{ timer } 38 \text{ min}$

Men i virkeligheden kom toppen ud efter 8 timer. Derfor er der kalkuleret med 8 timer som gennemsnitlig opholdstid og et "aktivt" volumen på $(8 \text{ h} / 41 \text{ h } 38 \text{ min}) * 13400 = 2575 \text{ m}^3$. Den gennemsnitlige dybde er 0,9 m, og det giver et areal på 2861 m^2 .

Omsætningsrate i plantelagunen		Omsætning pr. time
Omsat formaldehyd	3139 g	392 g/t
Omsat pr volumen (2575 m^3)	1,219 g	152 mg/t* m^3
Omsat pr areal (2861 m^2)	1,0971 g	137 mg/t* m^2

Beregningsusikkerhed

Der var opsat en prøvetager ved udløbet fra produktionsenheden og en anden lige nedstøms start plantelagunen. Differensen mellem de to mængder er på 122 g hvilket svarer til ca. 6 %, og repræsenterer usikkerheden såvel ved prøvetagning som integrationen.

Omsætning i plantelagune fra den 13 maj

Omsætninger	Formaldehyd	Procent af tilført
Tilført plantelagune	11896 g	100 %
Udløb fra plantelagunen	126 g	1,1 %
Omsat i plantelagunen	11770 g	98,9 %

Vandets gennemsnitlige opholdstid er sat til 8 timer (se forsøg fra den 5. maj 2008)

Omsætningsrate i plantelagunen		Omsæt pr. time
Omsat formaldehyd	11770 g	1471 g/t
Omsat pr volumen (2575 m^3)	4,571 g/ m^3	471 mg/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}$
Omsat pr areal (2861 m^2)	4,114 g/ m^2	514 mg/ $\text{m}^2 \cdot \text{h}$

Vandet løber ad flere veje til udløbet af plantelagunen på model 3 dambrug A, men vi ved ikke hvor stor en del af plantelagunens volumen på 13400 m^3 , der tage del i omsætningen. Vi ved kun, at omsætningen fra 10825 m^3 ($13400 - 2575$) plantelagune bidrager med en formaldehydomsætning, der er tilstrækkelig stor til, at der ikke blev ledt formaldehyd til udløbet af plantelagunen for ellers ville der også være en formaldehydtop senere end den fundne efter 8 timer.

Bilag 2

Model 3 Dambrug B

1.1 Beskrivelse af dambruget

1.1.1 Produktionsanlægget

Model 3 dambrug B består af et kummeanlæg med 2 produktionsenheder, der hver er opdelt i 2 sektioner. Dambruget tager vand ind fra grundvandsboringer, vandet fordeles til de 2 produktionsenheder. Under daglig drift er der mere end 95 % recirkulering af vandet.

I forbindelse med hver sektion er der et biofilter, og herfra ledes vandet til en plantelagune på 4060 m² (2639 m³), der består af 7 nedlagte damme og 4 kanaler samt en større lagune. Derfra løber vandet til vandløbet. Vandpassagen gennem plantelagunen er ret kompliceret.

Under behandling i produktionsenhederne kan der recirkuleres 100 %. Der tages løbende vand fra produktionsenheden til mikrosigten (1 l/s), og spulevandet herfra afledes midt i plantelagunen.

Der var 65 tons fisk i hver af produktionsenhederne.

1.1.2 Plantelagunens dækningsgrad

Plantelagunens dækningsgrad blev i midten af maj 2008 skønnet til 90 % og bestod hovedsageligt af mannasødgræs og i en mindre del af plantelagunen også af en del andemad.

1.1.3 Prøvetagning feltmålinger

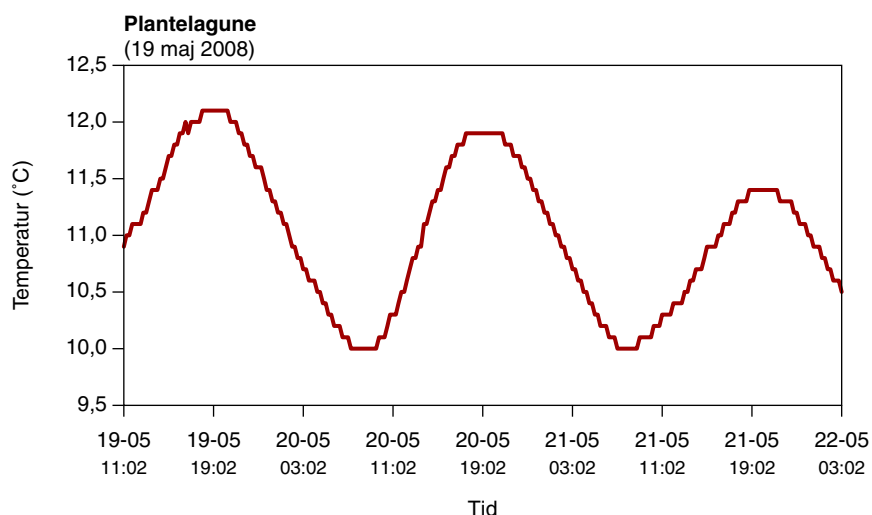
Der blev opsat 5 automatiske prøvetagere. En blev opsat i udløbet af produktionsenheden, en i indløbet til plantelagunen, to i midten af plantelagunen, og endelig blev en placeret i udløbet fra plantelagunen. Prøvetagerne tog prøver med 1 times intervaller.

Temperatur, iltindhold og ledningsevne blev målt rundt på dambruget. I udløbet fra dambruget blev temperaturen desuden målt med en automatisk termometer med 15 minutters interval i 3 døgn.

1.1.4 Vandtemperaturen

I produktionsenheden var temperaturen 11 -11,6 °C den 19. og 20. maj 2008, og de følgende dage faldt den 1 grad °C. Temperaturen blev målt fra kl. 11- 13. I plantelagunen var der en døgnsvingning med de laveste temperaturer på 10 °C om morgenen (kl. 8-9) og de højeste på 12 °C om aftenen (kl. 20-21) (figur 2.1). Der var en tilsvarende døgnsvingning i produktionsenhederne men med mindre udsving, da temperaturen i indtagsvandet til produktionsenhederne fra vandboringen var 9,7 °C.

Figur 2.1 Temperaturen (°C) i udløbet fra plantelagunen på model 3 dambrug B den 19. maj og 3 døgn frem. En sonde registrerede temperaturen hver 15. min.



1.1.5 Vandføring gennem dambruget

Tabel 1.1 Vandføring under forsøgene på Model 3 dambrug b målt med vandur.

Dato	Fra produktions-enhederne (l/s)	Indløb til plantelagunen (l/s)	Udløb fra plantelagunen (l/s)
19. maj 2008	19,4	36,7	38,7

1.2 Forsøg

Samtidig med at der blev doseret med formalin, blev der tilsat salt, da salt i modsætning til formalin ikke bliver omsat i dambruget. Målingerne af saltkoncentrationen er brugt til at følge fortyndingen gennem dambruget og til beregning af vandvolumenet i produktionsenheden. Saltkoncentrationen blev målt indirekte ved måling af ledningsevnen. Registreringen af ændringer i saltkoncentrationen blev vanskeliggjort af, at baggrundsledningsevnen kan variere med omsætning af foder i fisk og biofilter, idet der ved omsætningen sker en mineralisering.

1.2.1 Volumenberegning ud fra saltmetoden

Vandvolumenet blev beregnet efter saltmetoden. Efter tilsætning af 200 kg salt var saltkoncentrationen på 88,96 mg/l i produktionsenheden efter 4 timer, hvor saltet var blevet totalt opløst (figur 2.2). På baggrund heraf beregnes vandvolumenet til 2248 m³. Vandvolumenet omfattede produktionsenheden, biofilter og forbindelseskanaler i produktionsenhed 1.

Saltkoncentrationen efter opblanding (kl. 16)	88,96 mg/l
Volumen er $200000 / 88,96 =$	2248 m ³

1.2.2 Forsøg med formalin og salt

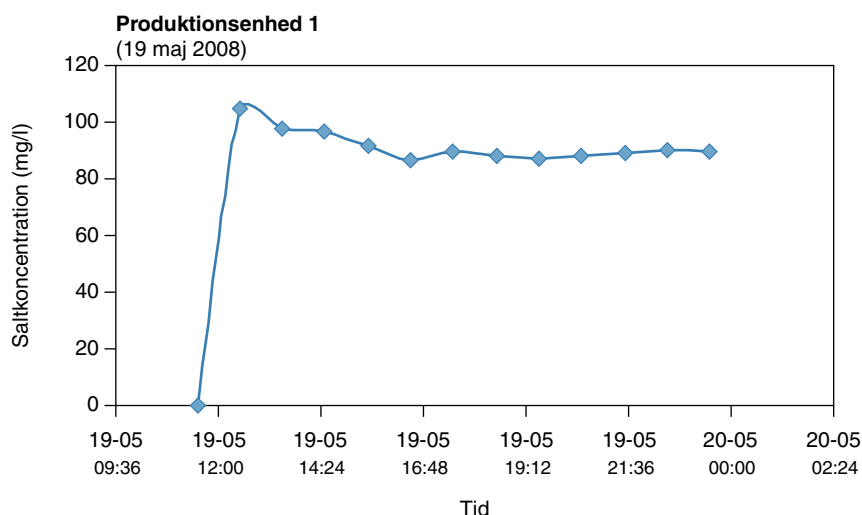
Forsøg den 19. maj 2008

Formalinbehandlingen fandt sted den 19. maj kl. 11:34, hvor produktionsenhed 1 blev behandlet med 108,8 kg formalin (37 % formaldehyd) svarende til 40,256 kg formaldehyd. Der blev recirkuleret 100 % fra kl. 12 til kl. 24, hvorefter der blev åbnet for normal recirkulering med et vandskifte på ca. 20 l/s. Sammen med formalin blev der tilsat 200 kg op-

løst salt. Formalin og salt blev fordelt langs siderne på produktionsenheden for at sikre en hurtig opblanding. I plantelagunen løber der ca. 5 % mere vand ud end ind.

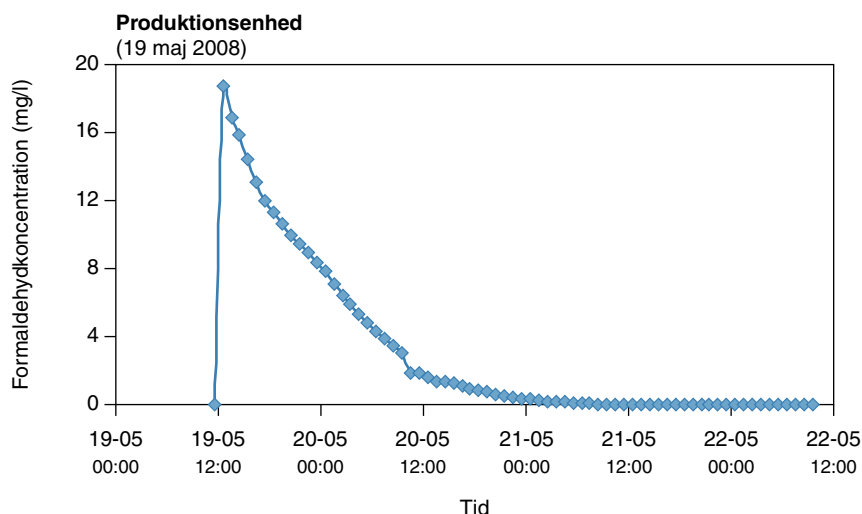
Saltkoncentration indstillede sig på ligevægt efter 5 timer, hvorefter den var konstant, indtil der igen blev åbnet for flowet gennem produktionsenheden kl. 24 (figur 2.2).

Figur 2.2. Saltkoncentrationen (mg/l) beregnet ud fra ledningsevneforøgelsen i produktionsenhed 1 på model 3 dambrug B. Der blev tilsat 200 kg opløst salt kl. 11:34 den 19. maj 2008.



Formaldehydkoncentrationen faldt hurtigt de 5 første timer som følge af omsætning samt koncentrationsudjævning i forbindelse med opblandingen. Bidraget til faldet i formaldehydkoncentration fra koncentrationsudjævningen vil være den samme som koncentrationsudjævningen for salt (figur 2.3). Efter opblandingen var der lineær omsætning frem til der igen blev åbnet for ind- og udløb i produktionsenheden kl. 24. Koncentrationen var på dette tidspunkt på ca. 8 mg/l.

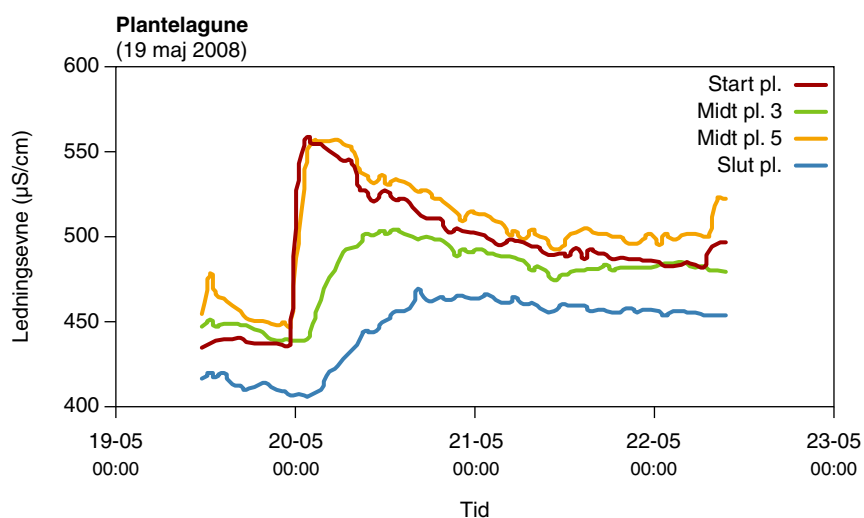
Figur 2.3 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) målt i produktionsenhed 1 på model 3 dambrug B. Der blev tilsat 108,8 kg formalin (37 % formaldehyd) kl. 11:34 den 19. maj 2008. Klokket 24 blev der åbnet for ind- og udløb i plantelagunen med et flow på 20,7 l/s.



Der var en kraftig stigning i ledningsevnen i starten af plantelagunen umiddelbart efter midnat, hvor der blev åbnet for udløbet fra produktionsenheden. Stigningen blev fundet samtidig ved Station midt pl. 5, som lå tæt på prøvetagningsstedet tæt på starten af plantelagunen (figur 2.4). Ved prøvetagningsstederne, som vandet passerede senere gennem plan-

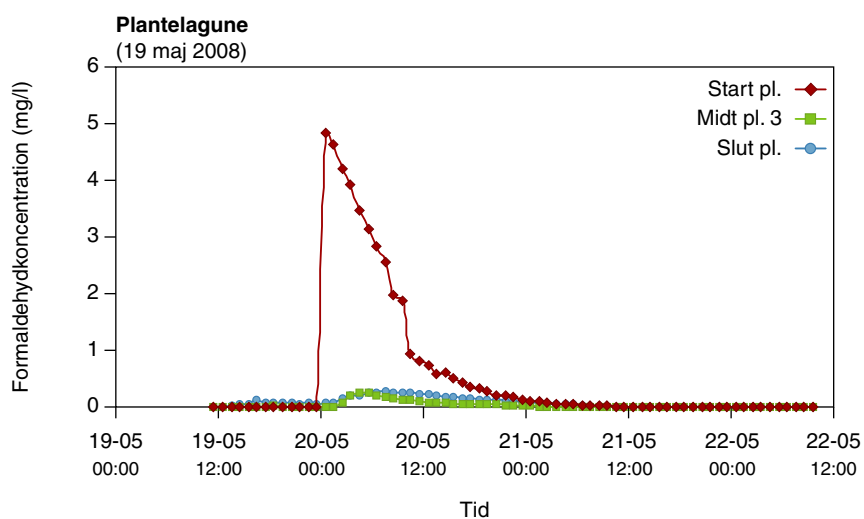
telagunen, var toppen af ledningsevnen aftagende, og toppen lå senere jo senere prøvetagningsstedet lå i plantelagunen.

Figur 2.4 Ledningsevnen på 4 stationer i plantelagunen på model 3 dambrug B over 3 døgn. Der blev tilsat 200 kg opløst salt i produktionsenhed 1 den 19. maj kl. 11:34. Stationerne var start plantelagune, midt plantelagune 3 og 5 samt slut plantelagune.



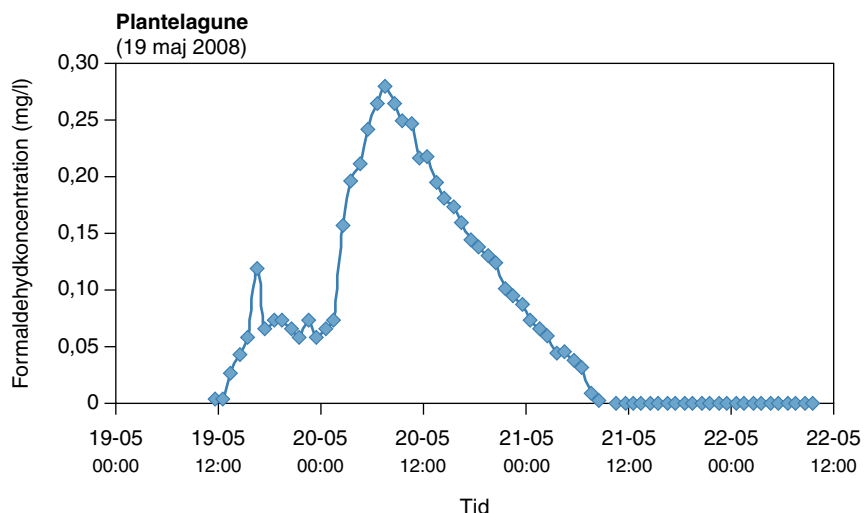
Ligesom for ledningsevnen faldt formaldehydkoncentrationen igennem plantelagunen, og den maksimale top kom senere jo længere væk fra plantelagunens start prøvetagningsstedet lå (figur 2.5). Det meget store fald i koncentrationen fra starten af plantelagunen til midten af plantelagunen skyldes primært omsætning af formaldehyd.

Figur 2.5 Formaldehydkoncentrationen på 3 stationer i plantelagunen på model 3 dambrug B over 3 døgn. Der blev tilsat 108,8 kg formalin (37 % formaldehyd) i produktionsenhed 1 den 19. maj kl. 11:34. Stationerne var start plantelagune, midt plantelagune 3 og slut plantelagune.



Efter tilsætningen af formalin til produktionsanlægget kom der hurtigt en stigning i formaldehydkoncentrationen i udløbet af plantelagunen (figur 2.6). Denne koncentrationsstigning skyldtes sandsynligvis ikke formaldehydtilsætningen til produktionsanlægget, men spulevand fra mikrosigten, hvor vandet blev taget fra produktionsenheden og ledt ud i plantelagunen ret tæt ved udløbet af plantelagunen.

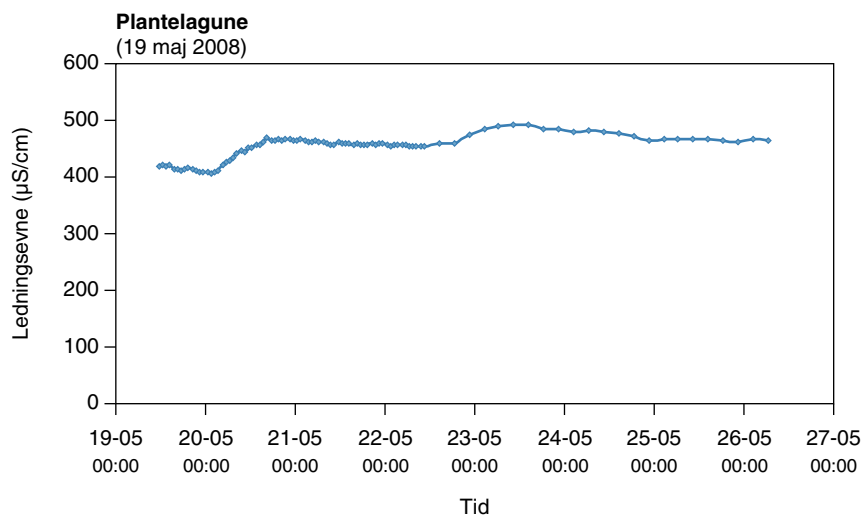
Figur 2.6 Formaldehydkoncentrationen i udløbet fra plantelagunen på model 3 dambrug B over 2 døgn. Der blev tilsat 108,8 kg formalin (37 % formaldehyd) i produktionsenhed 1 den 19. maj kl. 11:34.



Den top, som skyldtes tilsætningen til produktionsenheden, havde sit maksimum på 0,28 mg/l klokken 7:30 den 20. maj, det vil sige 7-8 timer efter genåbning af flowet gennem produktionsenheden. Gennemsnitskoncentrationen for hele udledningstoppen var på 0,67 mg/l formaldehyd og målt over 23 timer.

Ledningsevnen i udløbet af plantelagunen blev fulgt over 7 døgn. Ledningsevnen begyndte at stige få timer efter at der blev for åbnet for flowet gennem produktionsanlægget. Den højeste koncentration blev fundet den 20. maj kl. 22:30, ca. 22 timer efter genåbningen af produktionsenhed 1 (figur 2.7). Den 22. maj kl. 15:30 blev der åbnet for flowet gennem produktionsenhed 2 efter at der her var tilsat 200 kg salt. Ledningsevnetoppen som følge af denne tilsætning kom den 23. maj kl. 10:30, 19 timer efter at der var åbnet for flowet gennem produktionsenhed 2.

Figur 2.7 Ledningsevnen i udløbet fra plantelagunen på model 3 dambrug B over 7 døgn. Der blev tilsat 200 kg salt i produktionsenhed 1 den 19. maj kl. 11:34. og 200 kg salt til produktionsenhed 2 den 22. maj kl. 7:45. De første 3 døgn blev der taget prøver hver time og i de sidste 4 døgn hver 3. time.



1.3 Formaldehydomsætninger

Efter formaldehydtilsætningen var der som følge af mikrobiel omsætning et fald i koncentrationen mens der var 100 % recirkulering i den behandlede produktionsenhed.

1.3.1 Produktionsenheden

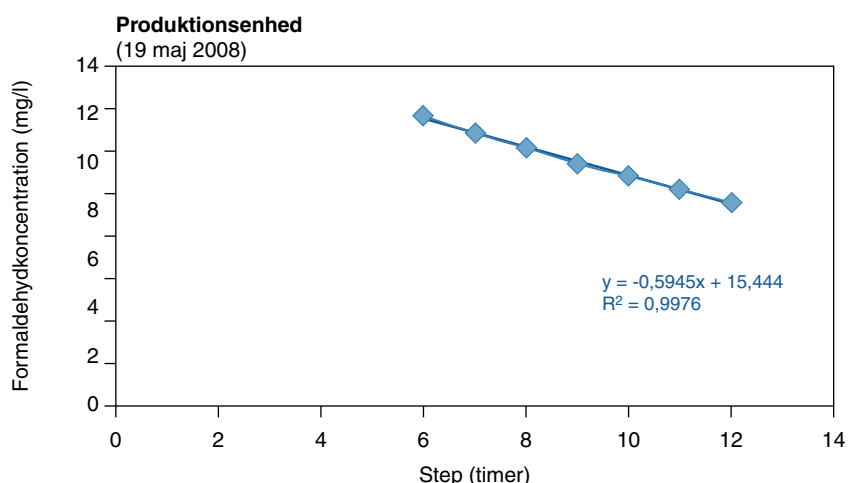
Der blev tilsat 108,8 kg formalin (37 % formaldehyd) svarende til 40256 g formaldehyd til et vandvolumen på 2248 m³. Det gav en startkoncentration på 17,91 mg/l.

Koncentrationen til et givet tidspunkt indenfor perioden hvor der var 100 % recirkulering af vandet i den behandlede produktionsenhed, og opblandingen gennemført, kan beregnes ud fra regressionsligningen, der er baseret på formaldehydkoncentrationerne, der er målt hver time indenfor perioden (figur 2.8).

Regressionsligningen for formaldehydkoncentrationen er:

$Y = -0,5945x + 15,444$, hvor x er timer. Regressionskoefficienten (R^2) er 0,9976, hvilket betyder at ligningen kan forklare 99,8 % af formaldehydomsætningen.

Figur 2.8 Formaldehydomsætning i produktionsenheden 1 på model 3 dambrug B den 19. maj 2008, mens der er 100 % recirkulering. Regressionsligningen er beregnet fra det tidspunkt, hvor der er total opblanding (6 timer efter tilsætning af 108,8 kg 37 % formaldehyd) og inden der igen bliver åbnet for flowet kl. 24.



Indledende reduktion (adsorption/absorption)

Ifølge regressionsligningen var startkoncentrationen forskellig fra den koncentration, der blev beregnet ud fra den tilsatte mængde formaldehyd og vandvolumenet. Startkoncentrationen var ifølge regressionsligningen 15,44 mg/l. Det ville svare til en startmængde på $2248 \cdot 15,44 \text{ g} = 34709 \text{ g}$. Differensen mellem de to mængder repræsenterer den indledende reduktion.

Indledende reduktion ($40256 \text{ g} - 34709$) = 5547 g.

Indledende reduktion pr. volumen ($5547 \text{ g} / 2248 \text{ m}^3$) = 2,468 g/m³.

Indledende reduktion svarer til $5547 \cdot 100 / 40256 = 14 \%$ af den tilsatte mængde.

Mikrobiel omsætning

Koncentrationsændringen af formaldehyd var ifølge regressionsligningen pr. time

0,5945 mg/l (0,5945 g/m³*h).

Omsætningsraten pr. time i produktionsenheden (2248 m³) = 1336,4 g/t.

Under forudsætning af at alt formaldehyd blev omsat mikrobielt og omsætningsraten var den samme, kan det beregnes at koncentrationen teoretisk vil være 0 efter 26 timer ($15,444/0,5945 = 25,98$ timer).

Hvis omsætningen fuldt ud foregik i biofilteret ville omsætningsraten pr. biofilterareal være: $1336,4 \text{ g}/150400 \text{ m}^2 = 8,9 \text{ mg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$.

1.3.2 Plantelagunen, omsætning og udledning

Der var opsat en prøvetager i udløbet fra produktionsenheden og en anden lige nedstrøms starten af plantelagunen. Mængderne ind og ud af plantelagunen er bestemt ved at integrere over koncentrationerne i de opsamlede prøver.

Omsætninger	Formaldehyd	% af tilført
Produktionsenhed tilført:	40256 g	100 %
Til plantelagune		5390 g
Til mikrosigte	130 g	0,3 %
Omsat i produktionsenheden	33752g	83,8 %
Tilført plantelagunen fra prod	5412 g	13,4 %
Fra mikrosigten	130 g	0,3 %
Tilført plantelagune i alt	5542 g	13,8%
Udløb fra plantelagunen	712 g	1,8 %

Vandets gennemsnitlige opholdstid i plantelagunen ($2639 \text{ m}^3 / 37,35 \text{ l/s}$) = 19 timer 38 min. Nedenfor er kalkuleret med 19,5 time.

Omsætningsrate i plantelagunen		Omsæt pr time
Omsat formaldehyd	4830 g	247,6 g/t
Omsat pr volumen (2639 m ³)	1,832 g	93,9 mg/ m ³ *h
Omsat pr areal (4060 m ²)	1,190 g	61,0 mg/m ² *h

Beregningsusikkerhed

Differensen mellem de to integrerede mængder beregnet som henholdsvis mængden ud af produktionsenheden og mængden ind i plantelagunen var på $5542 \text{ g} - 5390 \text{ g} = 152 \text{ g}$. Differensen svarede til ca. 0,4 % og repræsenterede usikkerheden såvel ved opblandingen i vandet og integrationen.

Bilag 3

Model 3 Dambrug C

1.1 Beskrivelse af dambruget

1.1.1 Produktionsanlægget

Model 3 dambrug C består af et betonkummeanlæg med 2 produktionsenheder, der hver er opdelt i 4 sektioner. Vandet tages fra grundvandsboringer og fordeles til de 2 enheder. I forbindelse med hver enhed er der et biofilter. Vandet recirkulerer under daglig drift med mere end 95 %, hvorefter det ledes til en plantelagune på 8050 m², der består af 21 nedlagte damme og flere kanaler. Derfra bliver det ført til 2 serieforbundne laguner og til sidst ud i vandløbet. Det er ikke entydigt, hvordan vandet forløber gennem plantelagunen. Under behandling i produktionsenhederne kan vandet recirkuleres 100 %.

1.1.2 Plantelagunens dækningsgrad

Plantelagunens dækningsgrad blev i begyndelsen af juni 2008 skønnet til 90 % og bestod hovedsageligt af mannasødgræs og høj sødgræs. I juli 2008 var det vanskeligt at se blankt vand, da dækningsgraden var tæt på 100 %.

1.1.3 Prøvetagning og feltmålinger

Der blev på dambruget udført 4 forsøg med varierende prøvetagningssteder. Som udgangspunkt blev der opsat automatiske prøvetagere i udløbet af doseringsenheden og i indløbet til næste bassin, samt i udløbet af dambruget. Der er en nærmere beskrivelse af prøvetagningsstederne under de enkelte forsøg.

Temperatur, iltindhold og ledningsevne blev målt rundt på dambruget. I udløbet fra dambruget blev ledningsevne og temperatur desuden målt med en automatisk ledningsevнемåler hver 15. minut i mindst 3 døgn.

1.1.4 Vandføring gennem dambruget

Tabel 1.1. Vandføring under forsøgene på Model 3 dambrug C målt med vandur.

Dato	Fra produktionsanlæg (l/s)	Indløb plantelagune (l/s)	Udløb plantelagune (l/s)
2. juni 2008	12,8	25,2	18,5
8. juli 2008		21,6	
1. sep 2008		22,0	13,6
8. sep. 2008		22,2	14,2

1.2 Forsøg

De fire forsøg, der blev gennemført på model 3 dambrug C, omfattede et forsøg den 2. juni, hvor der blev foretaget en behandling med tilsætning af formalin i produktionsenheden. De tre øvrige forsøg blev foretaget den 8. juli, 1. sept. og den 8. sept. 2008 med tilsætning af salt og formalin direkte til indløbet af plantelagunen for udelukkende at følge omsætningen i plantelagunen.

Samtidig med at der blev doseret med formalin blev der tilsat salt, da salt i modsætning til formalin ikke bliver omsat i dambruget. Målingerne af saltkoncentrationen er brugt til at følge fortyndingen gennem dambruget og til beregning af vandvolumenet i produktionsenheden. Saltkoncentrationen blev målt indirekte ved måling af ledningsevnen. Registreringen af ændringer i saltkoncentrationen blev vanskeliggjort af, at baggrundsledningsevnen kan variere med omsætning af foder i fisk og biofilter, idet der sker en mineralisering.

1.2.1 Volumenberegning ud fra saltmetoden

Vandvolumenet i den behandlede produktionsenhed blev beregnet efter saltmetoden. Efter tilsætning af 250 kg salt opnåedes en koncentration på 86,4 mg/l i produktionsenheden efter 4 timer, hvor saltet var blevet totalt opblandet i vandvolumenet (figur 3.2). På baggrund heraf blev vandvolumenet beregnet til 2895 m³, hvilket inkluderer produktionsenheden, biofiltrene og forbindelseskanaler i produktionsenhed 2.

Ledningsevne målt i dambrugsvand	470 µS/cm
Ledningsevne målt i dambrugsvand tilsat 50 mg/l salt	587 µS/cm
Beregnet ledningsevne bidrag pr. 50 mg/l salt	117 µS/cm
Kl 14.55 blev ledningsevnen målt til	672 µS/cm
250 kg salt gav en stigning i ledningsevnen på 672-470 =	202 µS/cm
Saltkoncentrationen er da $201 \cdot 50 / 11786,35$ mg/l	
Volumen er $250000 / 86,35 =$	2895 m ³

1.2.2 Behandling med formalin og salt

Forsøg den 2. juni 2008

I forsøget den 2. juni 2008 blev der anvendt fem automatiske prøvetage-re, hvor en blev anbragt ved vandindtaget, en i udløb af produktionsenhed 2, en i udløb af produktionsenhed 1 og desuden en i henholdsvis ind- og udløb af plantelagunen. Prøverne blev udtaget med 1 times intervaller på nær i produktionsenheden, hvor der var 30 minutter mellem prøverne de første 12 timer og derefter 1 time.

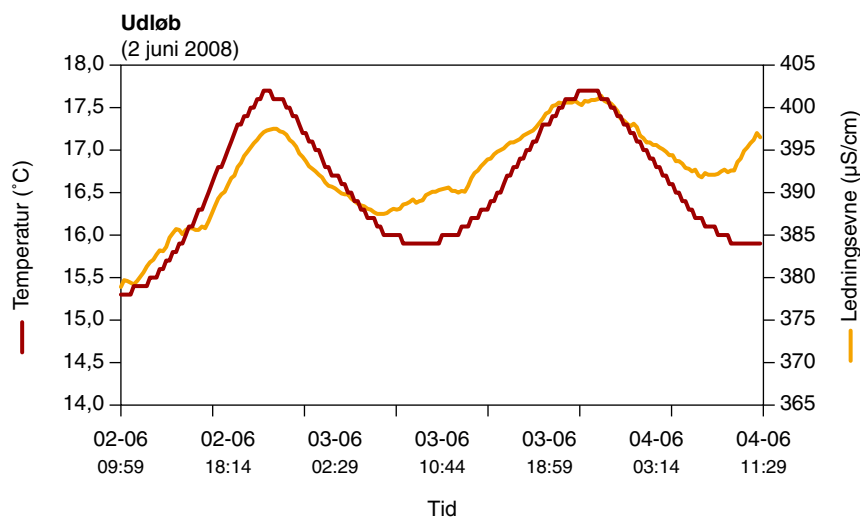
Formalinbehandlingen startede den 2. juni kl. 10:10, hvor der til produktionsenhed 2 blev tilsat 100 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 39,96 kg formaldehyd og 250 kg opløst salt. Ved tilsætningen blev salt fordelt langs begge sider af produktionsenhedens 4 sektioner og formalinen blev fordelt og tilsat de 4 belufterbrønde.

Der blev recirkuleret 100 % fra kl. 10 til kl. 15, hvorefter der blev åbnet for normal recirkulering med et vandskifte på 12,8 l/s.

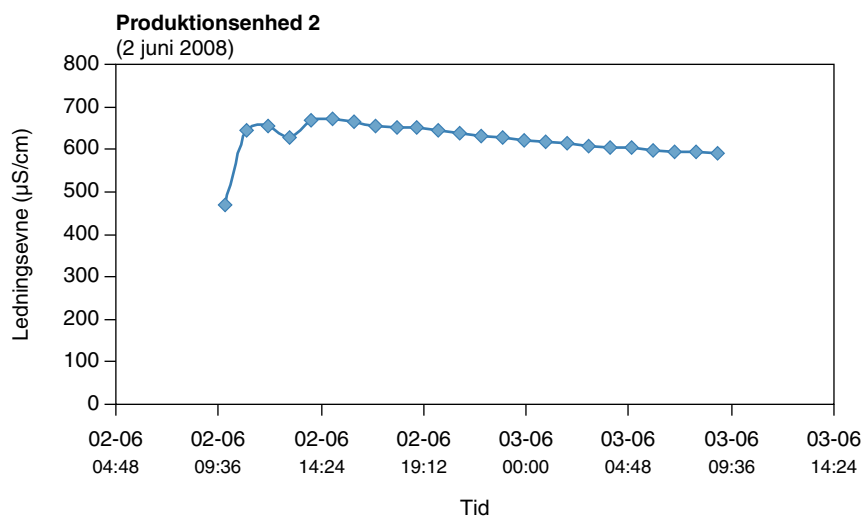
Vandtemperaturen i produktionsenheden var 16 grader +- 0,5 °C over 2 dage. I plantelagunens udløb svingede vandtemperaturen mellem 15 °C og 17,7 °C med de højeste temperaturer kl. 22 og de laveste kl. 9 (figur 3.1).

Saltet, som var tilsat til produktionsenheden, var lige netop opblandet efter 5 timer hvor der blev åbnet for ind- og udløb i produktionsenheden. Ledningsevnen begyndte derefter at falde med fortyndingen resten af døgnet (figur 3.2).

Figur 3.1 Ledningsevne ($\mu\text{S/cm}$) og vandtemperatur ($^{\circ}\text{C}$) i udløbet fra plantelagunen i model 3 dambrug C fra den 2. juni 2008 og 3 døgn frem. Ledningsevne ($\mu\text{S/cm}$) blev målt med sonde hver 15 min. ved den aktuelle temperatur ($^{\circ}\text{C}$).

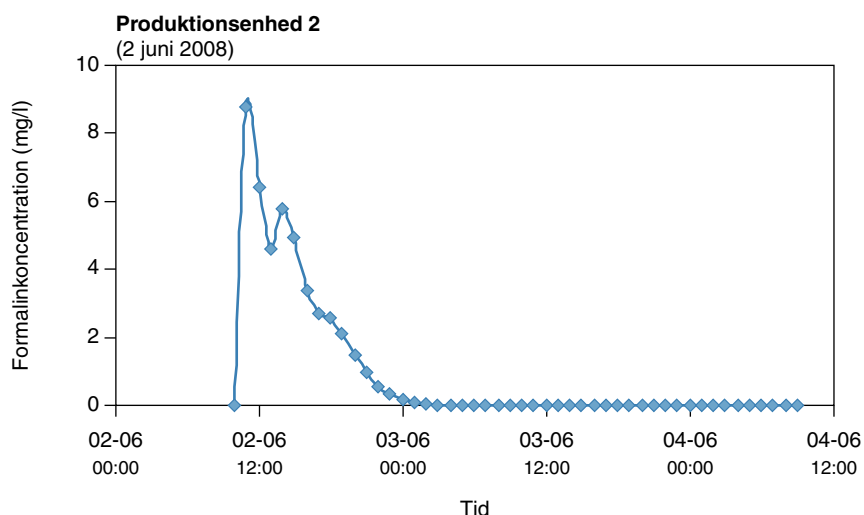


Figur 3.2 Ledningsevnen ($\mu\text{S/cm}$) målt i produktionsenhed 2 på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 250 kg opløst salt kl. 10:10 den 2. juni 2008.



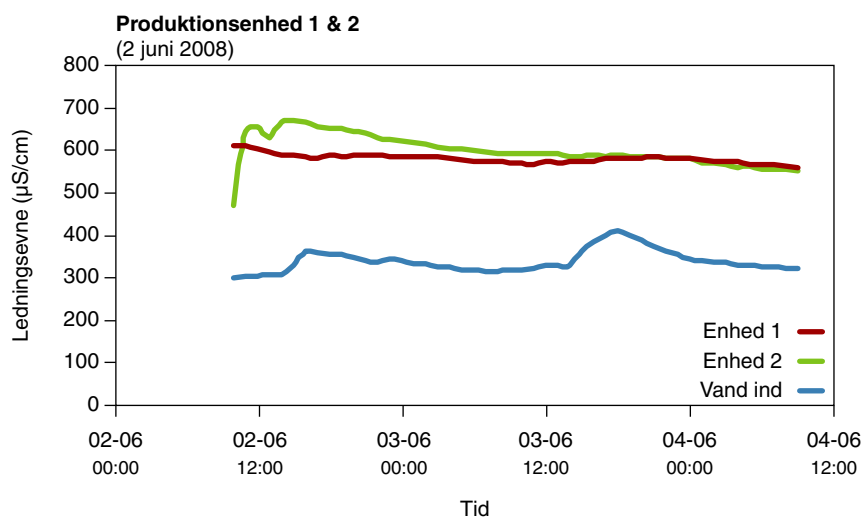
Målingerne af ledningsevnen i indtagstvandet til dambruget og i udløbet fra de to produktionsenheder viste, at der var markant forskel mellem ledningsevnen på de 2 produktionsenheder. Ledningsevnen var ca. 150 $\mu\text{S/cm}$ højere i produktionsenhed 1 end i produktionsenhed 2 (figur 3.3). Dette tilskrives, at der var brugt forskelligt foder i de 2 produktionsenheder. Ledningsevnen i indtagstvandet var ca. det halve af ledningsevnen i produktionsenhed 1 og med store svingninger over perioden. Vandet fra den behandlede produktionsenhed 2 blev i plantelagunen blandet med vand fra produktionsenhed 1 med en højere ledningsevne og samtidig fortyndet med indtagstvandet.

Figur 3.3 Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) blev målt i indtagsvandet til produktionsenhederne og i udløbet af produktionsenhed 1 og 2 på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 250 kg opløst salt til produktionsenhed 2 kl. 10:10 den 2. juni 2008.



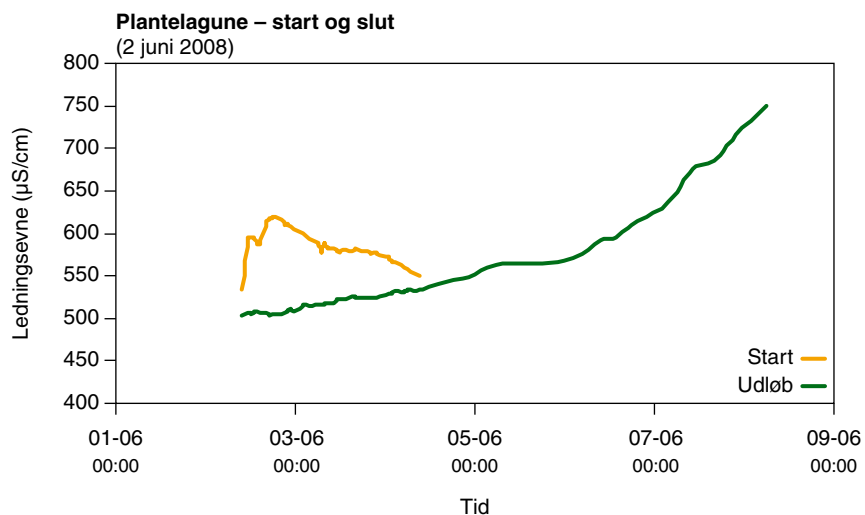
I udløbet fra plantelagunen blev der ved måling af ledningsevnen i 7 døgn fundet en stigning fra ca. 500 til 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figur 3.4). Den tilsatte saltmængde ville i en totalopblandet plantelagune give en forhøjelse på ca. 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Målingerne bekræftede, at der var en væsentlig større stigning i ledningsevnen end den stigning, der ville være som følge af salttilsætningen. Saltet kunne derfor ikke bruges som indikator for udløbningen af formalin på dette dambrug.

Figur 3.4 Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) målt i start og i udløbet af plantelagune på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 250 kg opløst salt til produktionsenhed 2 kl. 10:10 den 2. juni 2008 og ledningsevne blev fulgt i 3 døgn i starten af plantelagunen og 8 døgn i udløbet. Ledningsevne er blevet justeret til samme temperaturreference.



Ud fra den tilsatte mængde formalin skulle startkoncentrationen af formaldehyd være $39960 \text{ g} / 2895 \text{ m}^3 = 13,8 \text{ mg}/\text{l}$, men den højeste koncentration, der blev målt, var på 8,3 mg/l (figur 3.5). Det fremgår af figuren, at der var et meget kraftigt fald i formaldehydkoncentrationen umiddelbart efter tilsætningen. Den store differens i starten skyldes især en indledende reduktion som følge af absorption/adsorption. Dette mønster blev også fundet på andre dambrug.

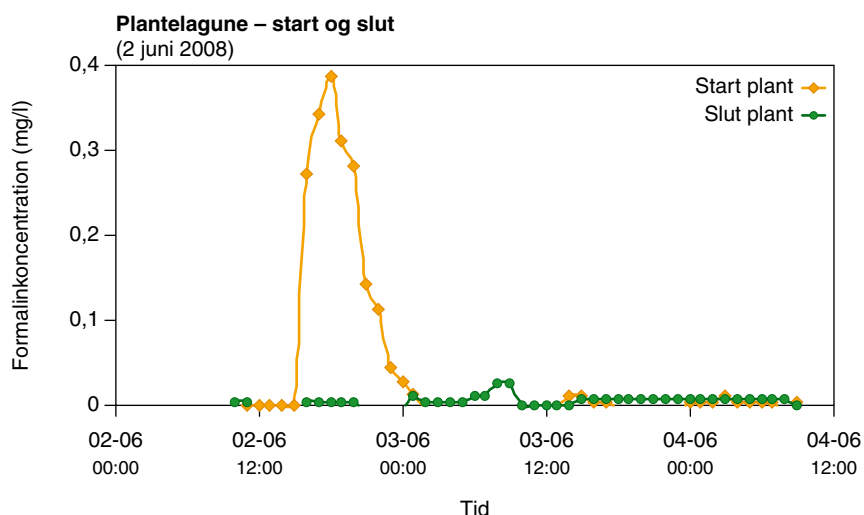
Figur 3.5 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) blev målt i produktionsenhed 2 på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 100 liter 37 % formaldehyd kl. 10:10 den 2. juni 2008.



Det var planlagt, at der skulle være 100 % recirkulering i 12 timer, men på grund af fiskenes tilstand, blev der åbnet for ind og udløb efter 5 timer med et flow på 12,8 l/s. Formaldehydkoncentrationen faldt hurtigt, og omkring midnat var koncentrationen nede på 0 mg/l som følge af både omsætning og fortynding. Det kunne ikke ud fra kurven over koncentrationsforløbet af formaldehyd registreres, hvornår der blev åbnet for flowet igen (figur 3.3).

Formaldehydkoncentrationen i indløbet og udløbet af plantelagunen blev fulgt i 3 døgn (figur 3.6). I indløbet blev der fundet en enkelt top med op til 0,4 mg/l formaldehyd og i udløbet blev der efter 1 døgn fundet en lille formaldehydtop. Denne top kom for tidligt i forhold til doseringen ved forsøget, og den antages derfor at stamme fra en formalintilsætning, der fandt sted 2 dage tidligere end forsøget. På baggrund heraf konkluderes det, at alt den formaldehyd der blev tilsat under forsøget er blevet omsat, og kun 174 g formaldehyd (integration under kurven med koncentration i indløb multipliceret med flow) blev ført videre til plantelagunen og omsat i denne.

Figur 3.6 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) målt i indløb og udløb af plantelagunen på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 100 liter 37 % formaldehyd kl. 10:10 den 2. juni 2008 til produktionsenhed 2, mens der var lukket for ind og udløb af enheden. 5 timer senere blev der åbnet for flowet (19,3 l/s) i produktionsenheden.



Forsøg den 8. juli 2008

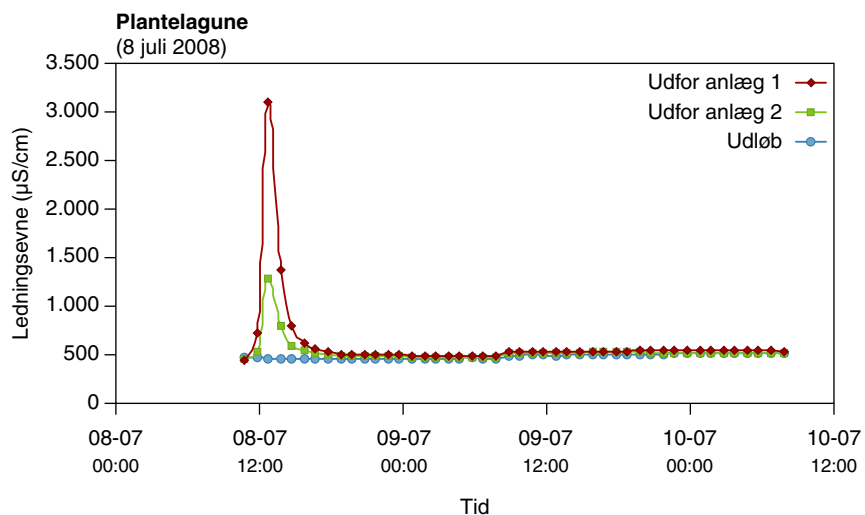
For at optimere muligheden for at måle formaldehyd i udløbet af plantelagunen og dermed beregne en omsætningsfaktor for formaldehyd i plantelagunen blev formalin og salt doseret direkte i indløbet af plantelagunen. Forsøget blev udført den 8. juli 2008, hvor der kl. 11:30-12:00 blev tilsat 200 kg opløst salt og 100 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 39,96 kg formaldehyd. Tilsætningen fandt sted på et meget lille areal, hvor vandet kom ud fra de 2 produktionsenheder med et flow på 21,6 l/s, og vandet fordelte sig i en lang kanal til begge sider.

Der var opsat 2 prøvetagere ca. 50 m fra tilledningen i begge retninger ud for henholdsvis produktionsenhed 1 og enhed 2. Der blev taget prøver med 1 times interval.

Temperaturen svingede mellem 16- 17, 4 °C i produktionsenhederne og i start og udløb af plantelagune kl. 11-12. Formodentlig var temperaturen steget et par grader i løbet af eftermiddagen, ligesom det var tilfældet med forsøget den 2. juni.

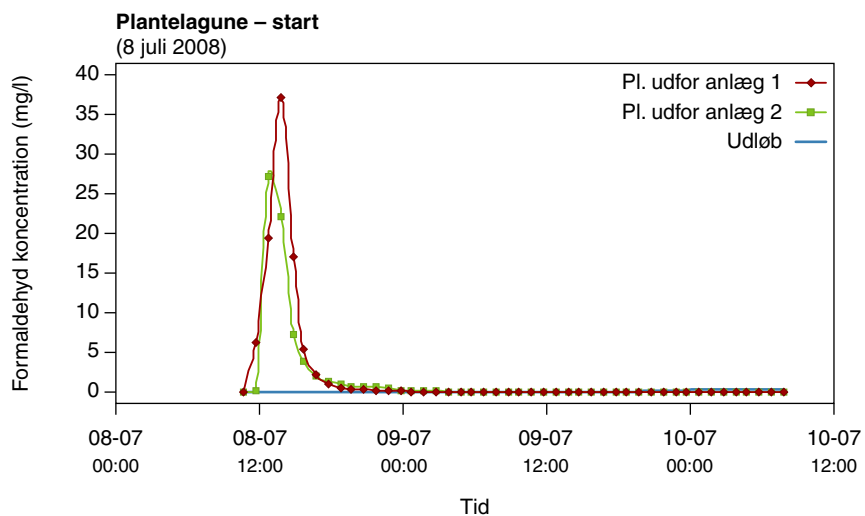
Ledningsevnen var før tilsætningen på 466 µS/cm i kanalen ud for produktionsenhed 1 og den steg til over 3000 µS/cm efter salttilsætningen, og ud for anlæg 2 steg den til ca. 1500 µS/cm (figur 3.7).

Figur 3.7. Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) blev målt i begyndelsen af fordelerkanalen til plantelagunen ud for produktionsenhed 1 og 2, samt i udløbet af plantelagune på model 3 dambrug. Der blev tilsat 200 kg opløst salt til indløbet af fordelerkanalen kl. 11:30-12:00 den 8. juli 2008, og ledningsevne blev fulgt i 2 døgn.

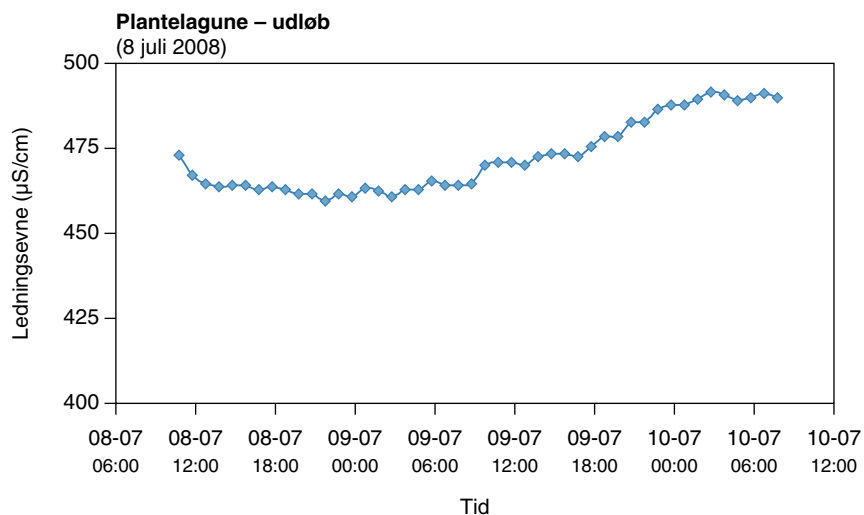


Målingerne af ledningsevnen viste, at vandet løb begge veje i fordelerkanalene. Efter 4 timer var niveauet fortsat højt på henholdsvis 600 og 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ på de to målesteder (figur 3.7). Ledningsevnen varierede før salttilsætningen fra 454 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i kanalen til 471 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i udløbet af plantelagunen. Ledningsevnen i udløbet fra plantelagunen var stigende fra midnat den 9. juli og det følgende døgn, hvor den stabiliserer sig på et højere niveau end før salttilsætning (figur 3.8).

Figur 3.8. Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) målt i udløbet af plantelagunen på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 200 kg opløst salt til indløbet af fordelerkanalene kl. 11:30-12:00 den 8. juli 2008, og ledningsevnen blev fulgt i 2 døgn.

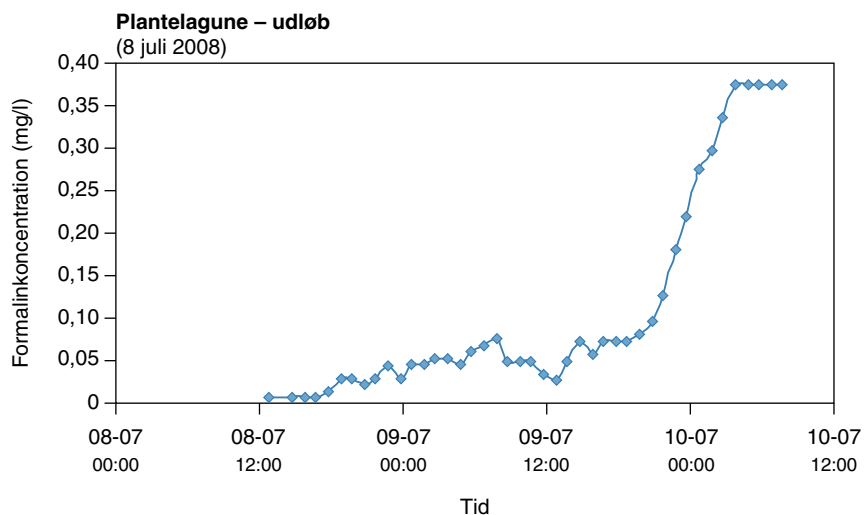


Figur 3.9 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) målt i begyndelsen af fordelerkanalens til plantelagunen ud for produktionsenhed 1 og 2 samt i udløbet af plantelagunen på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 100 liter 37 % formalin til indløbet af fordelerkanalens kl. 11:30-12:00 den 8. juli 2008, og koncentrationsforløbet blev fulgt i 2 døgn.



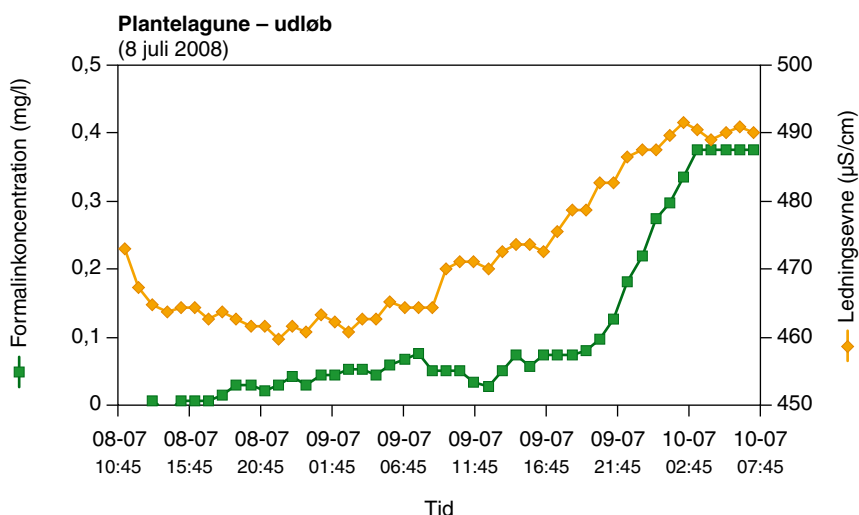
Formaldehydkoncentrationen fulgte samme mønster som ledningsevnen i fordelerkanalens, hvor salt og formalin var blevet tilsat. Først 20-22 timer efter tilsætningen var formaldehyd væk fra kanalens (figur 3.9).

Figur 3.10 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) målt i udløbet af plantelagunen på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 100 liter formalin (37 % formaldehyd) til indløbet af fordelerkanalens kl. 11:30-12:00 den 8. juli 2008, og koncentrationsforløbet blev fulgt i 2 døgn.



Formaldehydkoncentrationen i udløbet af plantelagunen steg efter 6 timer og dannede en top med maksimum ca. 20 timer efter forsøgets start, hvorefter koncentrationen atter faldt (figur 3.10). 25 timer efter forsøgets start var der en kraftig stigning i formaldehydkoncentrationen med et maksimum på 0,37 mg/l formaldehyd 40 timer efter forsøgets start.

Figur 3.11. Formaldehydkoncentrationen (mg/l) og ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) målt i udløbet af plantelagune på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 100 liter 37 % formalin og 200 kg opløst salt til indløbet af fordelerkanaalen kl. 11:30-12:00 den 8. juli 2008, og koncentrationsforløbet blev fulgt i 2 døgn.



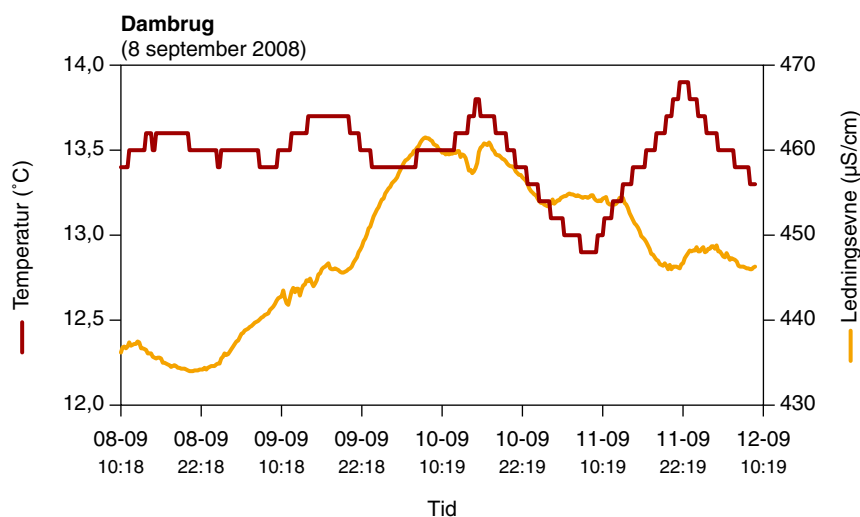
Der var en god overensstemmelse mellem udviklingen i formaldehydkoncentrationen og ledningsevnen i udløbet af plantelagunen (figur 3.11). Den gode overensstemmelse ved dette forsøg i modsætning til forsøget den 2. juni 2008 skyldes, at der kun var en lille forskel mellem ledningsevnen i de 2 produktionenheder, at der var opblanding i fordelingskanalen, og at saltet blev tilsat direkte i plantelagunens indløb, og ikke i produktionenheden som det var tilfældet med forsøget den 2. juni 2008. Da forsøget blev planlagt var det forventede flow i plantelagunen det dobbelte af det aktuelle flow, og derfor vil den gennemsnitlige opholdstid også være halveret. Dermed ville formaldehyd og salt have været ude af plantelagunen indenfor den periode, der indgik i forsøget. Desværre blev forsøget ikke fulgt op på tredjedagen.

Formalin og saltforsøg den 8. sep. 2008

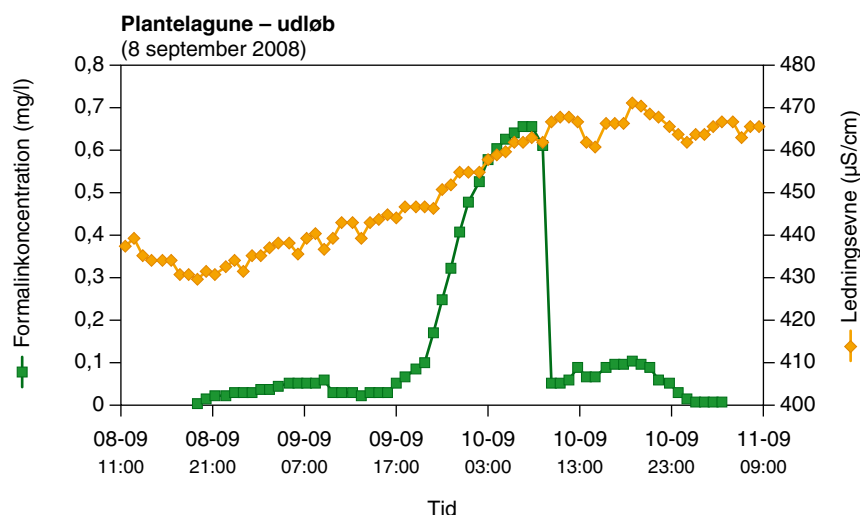
Formalin og salt blev doseret direkte i indløbet af plantelagunen på samme måde som ved forsøget den 8. juli. Der blev kl. 10:45-11:15 tilsat 250 kg opløst salt og 125 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 49,95 kg formaldehyd. Tilsætningen fandt sted på et meget lille areal, hvor vandet kom ud fra de 2 produktionenheder med et flow på 22,2 l/s og vandet fordelte sig i en lang fordelerkanal til begge sider. Der blev opsat 1 automatisk prøvetager i udløbet fra plantelagunen, og der blev taget prøver med 1 times interval. Vandflowet ud af plantelagune var under forsøget på 14,2 l/s. Der var således et betydeligt tab af vand i plantelagunen på 36 %.

Den specifikke ledningsevne i udløbet fra plantelagunen blev målt med sonde. Ledningsevnen var nogenlunde konstant på ca. 435 $\mu\text{S}/\text{cm}$ den 8. sep 2008, og temperaturen var ca. 13,5 $^{\circ}\text{C}$ (figur 3.12).

Figur 3.12 Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$) og vandtemperatur ($^{\circ}\text{C}$) i udløbet fra plantelagunen i model 3 dambrug C fra den 8. sep 2008 og 4 døgn frem. Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) er den specifikke relateret til 25°C , der blev målt med sonde hver 15. minut ved den aktuelle temperatur.



Figur 3.13 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) og ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) målt i udløbet af plantelagunen på model 3 dambrug C. Der blev tilsat 125 liter formalin (37 % formaldehyd) og 250 kg opløst salt til indløbet af fordelerkanaalen kl. 10:45-11:15 den 8. sept. 2008, og koncentrationsforløbet blev fulgt i 2 døgn.



Formalintilsætningen den 8. sep. gav i udløbet af plantelagunen en formaldehydtop, der startede 36 timer efter tilsætningen (figur 3.13). Den højeste koncentration på $0,66 \text{ mg}/\text{l}$ blev målt den 10. sep. kl. 8. Toppen havde passeret udløbet den 10. sep. kl. 24, hvilket var 2,5 døgn efter tilsætningen i plantelagunen.

Ledningsevnen steg i udløbet af plantelagunen allerede 6 timer efter tilsætningen af salt. Denne stigning skyldtes ikke salttilsætningen i forbindelse med forsøget, men at ledningsevnen i vandet fra produktionenhederne var på ca. $490\text{-}504 \mu\text{S}/\text{cm}$ mens forsøget blev gennemført, hvilket var ca. $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ højere end ledningsevnen i vandet i plantelagunen. Fra den 9. sep. kl. 21 steg ledningsevnen yderligere samtidig med at formaldehydtoppen kom. Ledningsevnen faldt ikke igen ligeså hurtigt som formaldehydkoncentrationen. Det skyldes, at vandet i plantelagunen blev opblandet med vand fra produktionenhederne med relativ høj ledningsevne.

1.3 Formaldehydomsætning

Efter tilsætning af formaldehyd var der et fald i koncentrationen som følge af en indledende reduktion i forbindelse med bl.a. absorption af formaldehyd og derefter mikrobiel omsætning

1.3.1 Produktionsenheden

Formaldehydomsætningen er beregnet ud fra forsøget den 2. juni 2008.

Der blev tilsat 39960 g formaldehyd (100 liter 37 % formaldehyd), der gav en startkoncentration på 13,8 mg/l.

Vandvolumenet i produktionsenhed 2 samt biofilter og forbindingskanal i produktionsenhed 2 blev beregnet til 2895 m³ efter saltmetoden. Volumen kan være svagt overestimeret på grund af, at saltkoncentrationen først nåede sit maksimum umiddelbart inden der blev genåbnet for ind og udløb til produktionsenhed2

Indledende reduktion (adsorption/absorption)

Ifølge regressionsligningen var startkoncentrationen 6,242 mg/l. Det svarede til en startmængde på (2895 m³* 6,242 mg/l) =18071 g.

Indledende reduktion 39960g -18071g = 21889 g

Indledende reduktion pr. volumen = 21889 g/2895 m³ = 7,56 mg/l

Indledende reduktion svarer til (21889*100/39960) = 55 % af den tilsatte mængde.

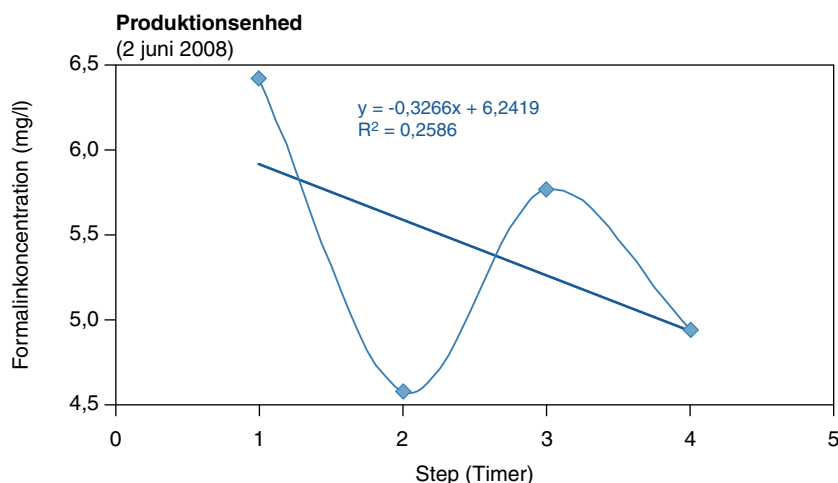
Mikrobiel omsætning

Koncentrationen til et givet tidspunkt indenfor perioden, hvor der var 100% recirkulering af vandet i den behandlede produktionsenhed, kan beregnes ud fra regressionsligningen, der er baseret på de målte formaldehydkoncentrationer i 1. til 4. time efter tilsætningen (figur 3.15).

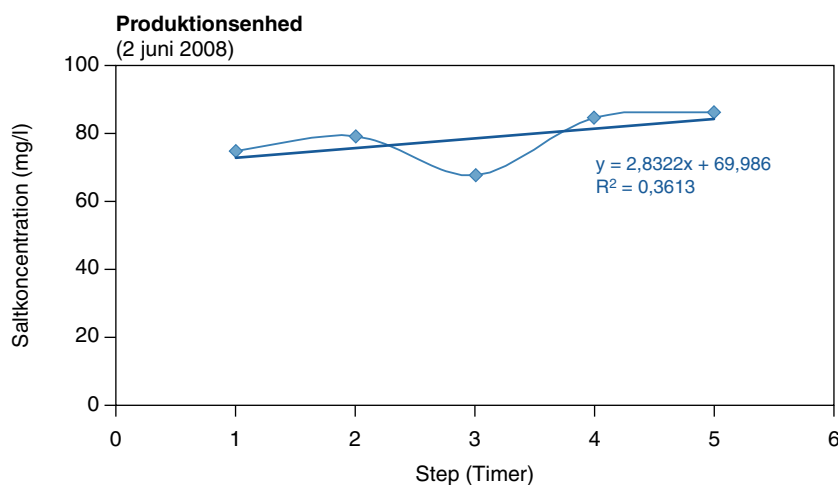
Regressionsligningen for formaldehydkoncentrationen er

$y = -0,3266x + 6,2419$, hvor x er timer. Da regressionskoefficienten er lav ($R^2 = 0,2586$) kan ligningen kun forklare 26 % af omsætningen.

Figur 3.15 Formaldehydkoncentrationen i produktionsenhed 2 efter lukning af ind og udløb på model 3 dambrug C den 2. juni 2008. Der blev tilsat 125 liter 37 % formalin kl. 11.



Figur 3.16 saltkoncentrationen i produktionsenhed 2 efter lukning af ind og udløb på model 3 dambrug C den 2. juni 2008. Der blev tilsat 250 kg salt kl. 11.



Formaldehydomsætningen fandt sted samtidig med at stofferne blev opblandet.

Saltkoncentrationen var fortsat stigende som følge opblandingen frem til 5. time efter tilsætningen. Ud fra målingerne af ledningsevnen (figur 3.16) steg saltkoncentrationen efter følgende regressionsligning:

$$Y = 2,8322x + 69,986, \text{ hvor } x \text{ er timer.}$$

Hvis formaldehyd ikke blev omsat, ville formaldehydkoncentrationen stige på samme måde som for saltet. Ligningen for formaldehydomsætningen er derfor korrigeret i forhold hertil.

Dermed var koncentrationsændringen af formaldehyd pr. time $0,3266 \cdot ((69,986 + 2,8322) / 69,986) = 0,340 \text{ mg/l}$ eller $(0,34 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h})$.

Omsætningen i produktionsenheden (2895 m^3) beregnes til $984,3 \text{ g/t}$.

Under forudsætning af at alt formaldehyd blev omsat mikrobielt og omsætningsraten var den samme kan det beregnes, at koncentrationen teoretisk ville være 0 efter 18 timer ($6,2419 / 0,340 = 18,4$ timer).

For model 3 dambrug C var bestemmelsen af omsætningsraten ud fra regressionsligningen med 5 timers lukning af flowet væsentlig mere usikker end for de to andre model 3 dambrug, hvor der var 100 % recirkulering i 12 timer. Antages det, at hele den mikrobielle omsætning foregik i biofilterne, var omsætningsraten pr. biofilter areal ($984,3 \text{ g}/154000 \text{ m}^2$) = $6,39 \text{ mg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

1.3.2 Plantelagunen

Omsætningen fra den 8. sep. 2008 forsøget.

Omsætninger	Formaldehyd	% af tilført
Tilført plantelagunen direkte	49950 g	100 %
Udløb plantelagune (14,2 l/s)	443 g	0,9%
Omsat i plantelagunen	49507 g	99,1%
Udløb plantelagune beregnet med indtagsvand (22,2 l/s)	692 g	1,4 %
Omsat i plantelagune	49258 g	98,6 %

Da der var et vandtab over plantelagunen på (22,2-14,2 l/s) 8 l/s ville udløbsmængden til plantelagunen blive underestimeret med mindre der anvendes indtagsvandet til plantelagunen som beregningsgrundlag.

Vandets gennemsnitlige opholdstid = $7245 \text{ m}^3 / 22,2 \text{ l/s} = 90 \text{ timer } 39 \text{ min}$ baseret på indløb i plantelagunen. Nedenfor er kalkuleret med 90,5 timer.

Omsætningsrate i plantelagunen	Omsat	Omsætning pr. time
Omsat formaldehyd (90,5 h)	49258 g	433,9 g/t
Omsat pr. volumen (7245 m ³)	6,8 g/m ³	75,1 mg/m ³ *h
Omsat pr. areal (8050 m ²)	6,1 g/m ²	67,6 mg/m ² *h

Bilag 4

Model 1 Dambrug A

1.1 Beskrivelse af dambruget

1.1.1 Produktionsanlæg

Model 1 dambrug A består af et betonkummeanlæg med 15 større og 10 mindre kummer. Der var 50 tons fisk i produktionsenheden. Vandet tages ind fra vandløb via en brønd med sandfang, og den væsentligste del af vandet føres ind i produktionsanlægget. Fra kummerne ledes vandet til en tredelt plantelagune hvor den midterste del er den største og udgør ca. halvdelen af det samlede areal på 8700 m² og et volumen på 8265 m³.

Inden vandet løber til plantelagunen passerer det en mikrosigte. Fra et slamdepot løber der vand (ca. 1 l/sek.) til den midterste del af plantelagunen. Fra plantelagunen ledes vandet tilbage til vandløbet.

1.1.2 Plantelagunens dækningsgrad

Dækningsgrader for plantelagunen:

Del 1: 90 % Arter: Pindsvineknop, mærke, høj og sød mannagræs

Del 2: 50 % Arter: Vandstjerne, høj og sød mannagræs og mærke

Del 3: 80 % Arter: Vandstjerne, høj og sød mannagræs pindsvineknop og andemad

1.1.3 Prøvetagningssteder

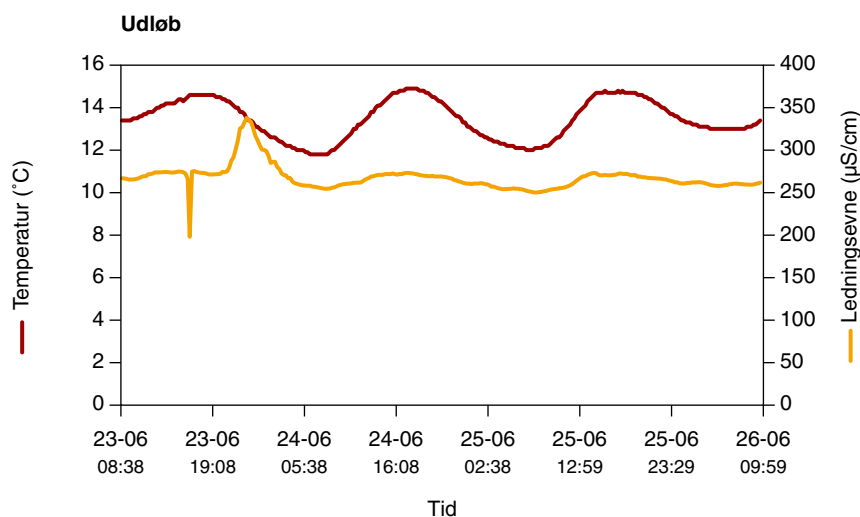
Der blev opsat 6 automatiske prøvetagere. To blev opsat inde på produktionsanlægget i bagkanalen tæt på vandindtaget (Isco 2) og ved udløbet (Isco 1), da vandet i bagkanalen deler sig og løber hver sin vej. Langt den største vandmængde løber forbi Isco 2 prøvetageren. I plantelagunen blev der opstillet 4 prøvetagere, en ved indløb til plantelagune del 1, en ved indtag til del 2, en ved tilløb til del 3 og den sidste ved udløb fra del 3. Prøvetager Isco 1 inde på anlægget tog prøver med 30 minutters interval i 11 timer for at følge opblandingen af salt og formalin, mens den anden prøvetager i produktionsenheden (Isco 2) og prøvetagerne i plantelagunen tog prøver med 1 times intervaller.

Temperatur, iltindhold og ledningsevne blev målt rundt på dambruget. I udløbet fra dambruget blev ledningsevne og temperatur målt med en automatisk ledningsevнемåler med 10 minutters intervaller i 3 døgn.

1.1.4 Vandtemperaturen

I produktionsenheden lå temperaturen omkring 13,5 °C. I plantelagunen lå temperaturen mellem 13,1 °C og 14,8 °C med de højeste temperaturer sidst på eftermiddagen og højest i plantelagunens 3. afsnit (figur 4.1).

Figur 4.1 Ledningsevne og vandtemperatur i udløbet fra plantelagunen i model 1 dambrug A fra den. 23. juni 2008 og 3 døgn frem. Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$) er målt med sonde hver 10 min. ved den aktuelle temperatur ($^{\circ}\text{C}$).



1.1.5 Vandføring gennem dambruget

Indtagstvands flow blev den 23. juni 2008 målt med vingemåler til 392 l/s. Målingen er foretaget før brønden med sandfang, hvor der tabes vand. Vandføringen i udløbet blev målt 4 gange og lå mellem 283-297 l/s med et gennemsnit på 293 l/s. En vandføring på 392 l/s til produktionsenheden ville føre til langt større udledning af både salt og formaldehyd fra produktionsenheden, end der blev tilsat. Vandtabet i brønden var ca. 100 l/s, og de beregninger er derfor gennemført med denne antagelse, hvilket betyder, at flowet i indtagstvandet til produktionsenheden var 293 l/s.

I plantelagunens del 1 faldt vandstanden med ca. 10 cm, mens der var lukket for udløbet, og sandsynligvis mindre gennem de andre afsnit af plantelagunen, da det tager tid for vandet at løbe ud. Det betyder, at efter åbningen af flowet gennem dambruget kl. 16:10 skulle plantelagunen atter fyldes op, mens der hele tiden også løb vand ud. Det tog nogen tid inden flowet ud af plantelagunen nåede op på samme flow, som før der blev lukket for flowet (ca. 295 l/s).

1.2 Forsøg

Samtidig med at der blev doseret formalin, blev der tilsat salt, da salt i modsætning til formalin ikke bliver omsat i dambruget. Målingerne af saltkoncentrationen er brugt til at følge fortyndingen gennem dambruget og til beregning af vandvolumenet i produktionsenheden. Saltkoncentrationen blev målt indirekte ved måling af ledningsevnen. Ændringer i saltkoncentrationen blev vanskeliggjort af, at baggrundsledningsevnen kan variere i forbindelse med omsætning af foder i fisk, idet der sker en mineralisering, som vil påvirke saltkoncentrationen.

1.2.1 Volumenberegning ud fra saltmetoden

Vandvolumenet blev beregnet ud fra saltmetoden. Efter tilsætning af 250 kg salt opnåedes en koncentration på 93,1 mg/l, og på baggrund heraf blev volumenet beregnet til 2685 m³. I volumenet indgik også forbindelseskanaler. Dette samlede vandvolumen indgår i efterfølgende beregninger.

Volumenberegning ud fra salttilsætningen:

Ledningsevne målt i dambrugsvand	327 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Ledningsevne i dambrugsvand tilsat 50 mg/l salt	429 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Beregnet ledningsevnebidrag pr. 50 mg/l salt	102 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Klokken 14 blev ledningsevnen målt i 15 kummer med et gennemsnit på	517 $\mu\text{S}/\text{cm}$
250 kg salt gav en stigning i ledningsevnen på 517- 327=	190 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Saltkoncentrationen er da $190 \cdot 50 / 102$	93,1 mg/l
Volumen beregnes til $250000 / 93,1 =$	2685 m^3

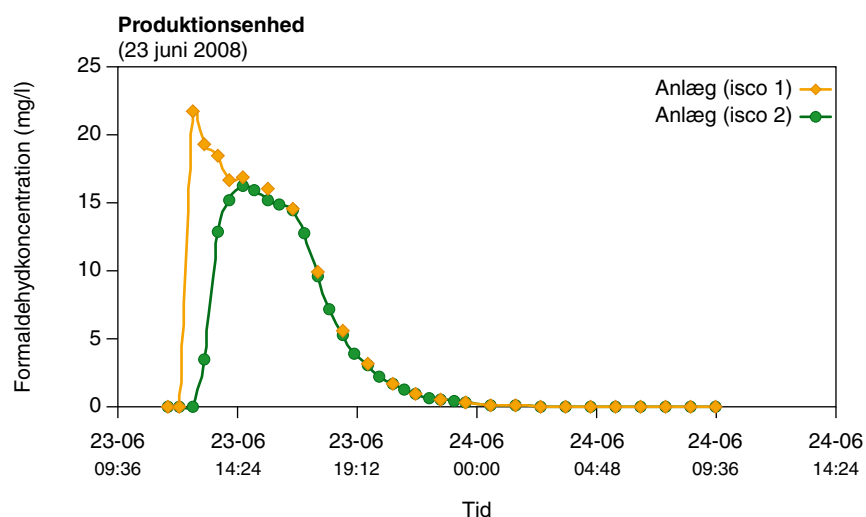
1.2.2 Behandling med formalin og salt

Forsøg den 23. juni 2008

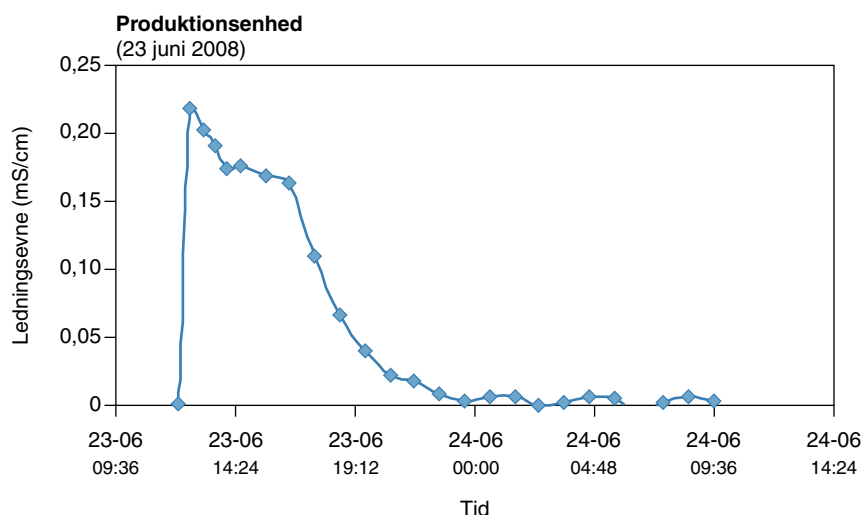
Formalinbehandlingen startede klokken 12:00-12:09, hvor 130 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 51,948 kg blev fordelt i 13 kummer af dambrugets 15 store kummer. Samtidig med formalintilsætningen blev der tilsat 250 kg salt. Inden tilsætningen af formalin og salt blev der lukket for vandindtag og udløb fra produktionsenheden, hvorved der blev etableret 100 % recirkulering. Da fiskene ret hurtigt fik iltproblemer, blev der klokken 12:50 åbnet en smule for vandindtag (kunne beregnes til ca. 14/s), mens vandet forsat recirkulerede i hele produktionsenheden. Klokken 16:10 blev der atter åbnet for flowet gennem anlægget med et flow på ca. 300 l/s

I produktionsenheden var der total opblanding af formalin og salt efter ca. 2 timer, hvorefter kurveforløbet for formaldehyd var ens for prøverne udtaget ved de 2 prøvetagningssteder Isco 1 og Isco 2 med en maksimal koncentration på 16,8 mg/l (figur 4.2). Faldet i koncentrationen umiddelbart efter total opblanding skyldtes omsætning af formaldehyd og en mindre fortynding i produktionsenheden.

Figur 4.2 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i produktionsenheden på model 1 dambrug A den 23. juni 2008 og et døgn frem efter tilsætning af 130 liter formalin (37 % formaldehyd) kl. 12. Begge stationer er i bagkanalen. Isco 1 var tættest på udløb, men vandet løb hovedsageligt den anden vej rundt og passerede station Isco 2 (se tekst).

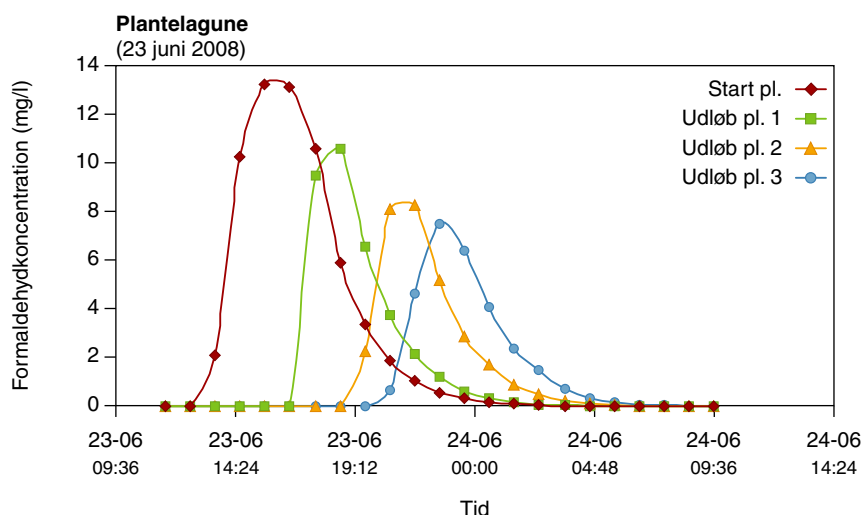


Figur 4.3 Ledningsevne (mS/cm) i produktionsenhed på model 1 dambrug A den 23. juni 2008 og et døgn fremefter tilsætning af 250 kg opløst salt kl. 12. Stationen isco 1 var placeret i bagkanalen tæt på udløb.



Ledningsevnen i produktionsenheden fulgte det samme mønster som koncentrationen af formaldehyd med en totalopblanding efter ca. 2 timer. Faldet i ledningsevne fra 2. til 4. time før der blev åbnet op for fuld flow skyldtes alene fortynding som følge af, at der fra klokken 12:50 blev åbnet for vandtilførslen med et flow på ca. 14 l/s.

Figur 4.4 Formaldehydkoncentrationen i de 3 dele af plantelagune på model 1 dambrug (a) den 23. juni 2008. og et døgn frem, efter tilsætning af 130 l (37 % formaldehyd) kl. 12. i produktionsenheden. Der blev åbnet for flow (14 l/s) kl. 12:50 og fuldt flow (300 l/s) kl. 16. Der blev taget prøver i indløb til plantelagunen (Start pl), i udløbet af første del af plantelagunen (Udl pl. 1) og i udløbet fra anden del af plantelagunen (Udl pl 2) samt i udløbet af 3 del af plantelagunen (Udl pl 3).



I plantelagunen forekom formaldehydkoncentrationen som en top med en tidsmæssig forskydning gennem plantelagunen (figur 4.4). De faldende koncentrationer skyldtes fortynding og omsætning. Den højeste koncentration blev fundet i starten af plantelagunen kl. 16:35 umiddelbart efter, at der var genåbnet for flowet. Toppen med maks. koncentrationen passerede udløbet af første del af plantelagunen kl. 18:35, anden del kl. 21 og tredje del af plantelagune kl. 22:35, hvilket var 6 timer efter formaltilsætningen til produktionsenheden. Formaldehyden var ude af plantelagune dagen efter kl. 6:35 svarende til 16 timer efter tilsætningen. Den maksimale koncentration i udløbet fra plantelagunen (udløb del 3) var 7,42 mg/l med en gennemsnitskoncentration på 2,13 mg/l målt over 6 timer.

Formaldehydmængderne, der passerede de enkelte afsnit af plantelagunen, er beregnet ved integration under kurverne for formaldehydkoncentrationerne i plantelagunen. Det var ved beregningerne forudsat, at

der løb lige meget vand gennem de enkelte dele af lagunen, og at det var total opblanding i udløbene, da prøverne blev udtaget. På baggrund af de beregnede formaldehydmængder er det beregnet hvor store procentdele af den tilsatte formaldehydmængde, der blev genfundet i de enkelte afsnit af plantelagunen (tabel 4.1).

Tabel 4.1 Passagetid (h) for formaldehyd og genfinding i plantelagunen af det tilsatte formaldehyd på model 1 dambrug A den 23. juni 2008. Genfindingsprocenten er beregnet ud fra, at den tilførte startmængde i produktionsenheden var sat til 100 %.

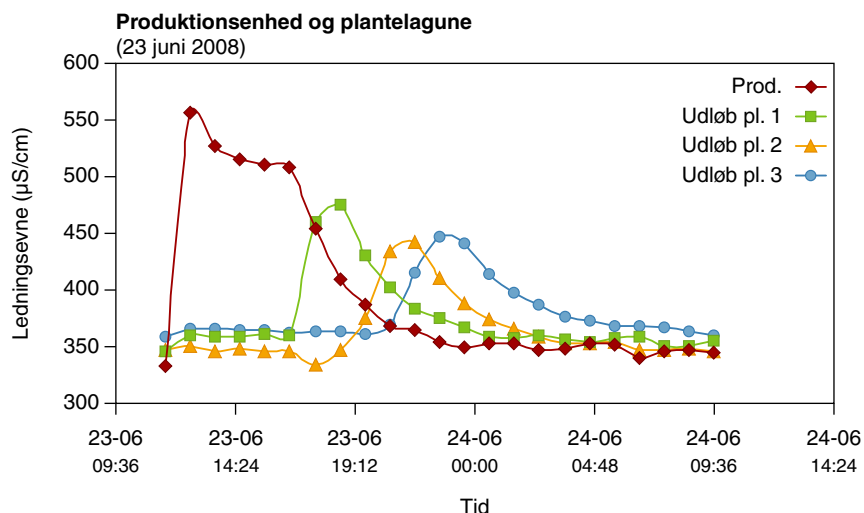
Del af plantelagunen	Procent genfundet formaldehyd	Passage tid (h)
Start pl	97,1	0
Udløb pl 1	77,6	2
Udløb pl 2	67,3	4,5
Udløb pl 3	31,1	6

Saltkoncentrationen målt som ledningsevne er vist i figur 4.5. Ca. 80 % af de 250 kg salt, der blev tilsat til produktionsenheden, blev genfundet i udløbet af plantelagunen. Ved beregningen var det anslået, at toppen strakte sig over ca. 16 timer ligesom toppen for formaldehyd. Der er nogen usikkerhed på opgørelsen af genfindingen af salt, da målingerne af ledningsevnen var påvirket af flere faktorer, herunder indtagsvandets ledningsevne, foderomsætning og forskellene i ledningsevnen i plantelagunens enkelte dele før salttilsætningen.

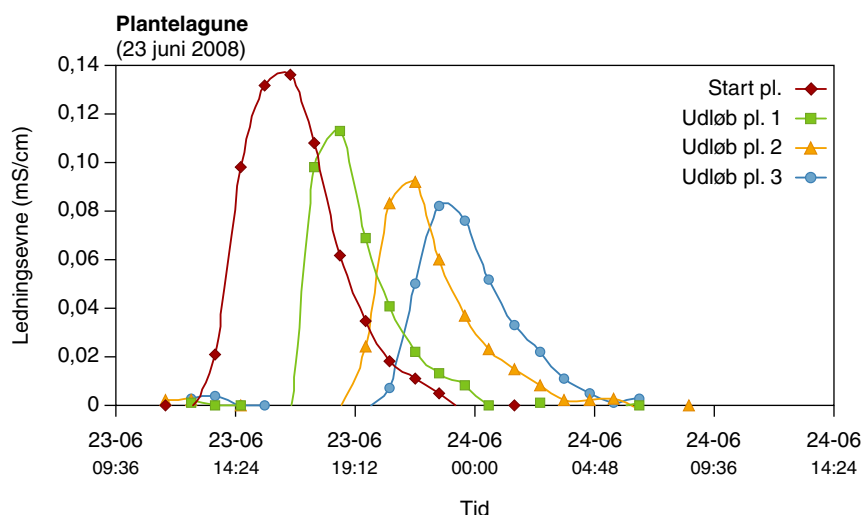
Ledningsevnetoppene i plantelagunen, som skyldtes salttilsætningen (figur 4.6), var sammenfaldende med toppene for formaldehydkoncentrationerne (figur 4.5). Ved målingerne af ledningsevnen i udløbet fra plantelagunen hver 10. minut (figur 4.1) blev der fundet en top den 23. juni fra kl. 20:38 til 5:58 dagen efter med et maksimum kl. 22:53. Saltet kunne spores i udløbet 7,5 time efter at der blev åbnet svagt for flowet gennem anlægget og 4, 5 time efter at der blev åbnet for fuldt flow. Alt saltet var ude af plantelagunen 16 timer efter at der blev åbnet fuldt ud for vandgennemstrømningen kl 16.

Der var i plantelagunen en gennemsnitlig opholdstid på $(8265 \text{ m}^3/300 \text{ l/s}) = 7$ timer og 40 minutter, hvilket var i overensstemmelse med saltforløbet i plantelagunen.

Figur 4.5 Ledningsevnen i produktionsanlægget og de 3 dele af plantelagune på model 1 dambrug A den 23. juni 2008 og et døgn frem efter tilsætning af 250 kg opløst salt kl. 12. i produktionsenheden. Der blev taget prøver i indløb til plantelagunen (Prod), i udløbet af første del af plantelagunen (Udl pl 1), i udløbet fra anden del af plantelagunen (Udl pl 2) samt i udløbet af tredje del af plantelagunen (Udl pl 3). Der blev åbnet for et mindre flow (14 l/s) kl. 12:50 og fuldt flow (300 l/s) kl. 16.



Figur 4.6 Ledningsevnen der skyldes salttilsætningen i de 3 dele af plantelagune på model 1 dambrug (a) den 23. juni 2008 og et døgn frem efter tilsætning af 250 kg opløst salt kl. 12. i produktionsenheden. Den målte ledningsevne er fratrukket ledningsevnen før salttilsætning. Der blev udtaget prøver i indløb til plantelagunen (Start pl), i udløbet af første del af plantelagunen (Udl pl. 1), i udløbet fra anden del af plantelagunen (Udl pl 2) samt i udløbet af tredje del af plantelagunen (Udl pl 3). Der blev åbnet for et mindre flow (14 l/s) kl. 12:50 og fuldt flow (300 l/s) kl. 16.



1.3 Formaldehydomsætning

Efter formaldehydtilsætningen var der ingen fortynding mens der var 100 % recirkulering, men der var et fald i koncentrationen som følge af mikrobiel omsætning.

1.3.1 Produktionsenheden

Indledende reduktion (adsorption/absorption)

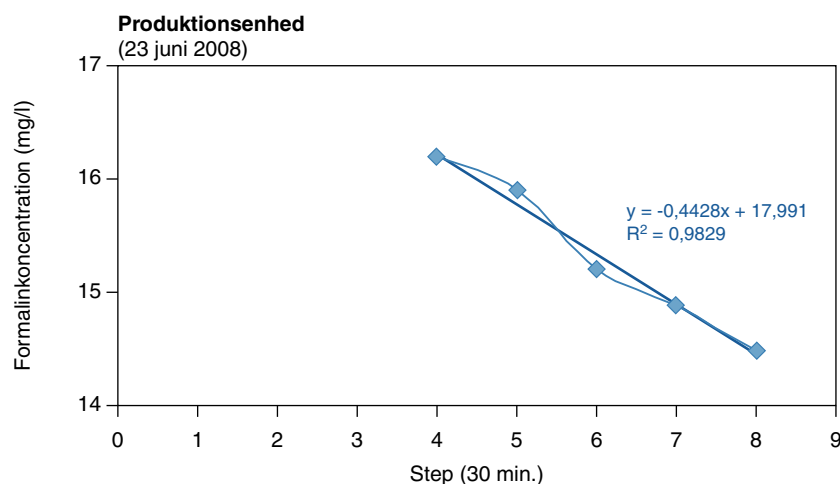
Vandvolumenet i produktionsenheden blev beregnet til 2685 m³. Der blev tilsat 130 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 51948 g formaldehyd, hvilket gav en startkoncentration på $51948 \text{ m}^3 / 2385 \text{ m}^3 = 19,34 \text{ mg/l}$.

Koncentrationen til et givet tidspunkt indenfor perioden, hvor der er lukket for ind og udløb, og efter at opblandingen var blevet total, kan beregnes ud fra regressionsligningen der er baseret på målinger af formaldehydkoncentrationerne målt hver halve time indenfor denne perioden (figur 4.7).

Regressionsligningen for formaldehydkoncentrationen er:

$y = -0,4428x + 17,991$, hvor x er 0,5 timer. Regressionskoefficienten (R^2) er på 0,9829, hvilket betyder, at ligningen kan beskrive 98,3 % af formalin-omsætningen.

Figur 4.7 Formaldehydomsætning i produktionsanlæg på model 1 dambrug A den 23. juni 2008 efter tilsætning af 130 l formalin (37 % formaldehyd) kl. 12 i produktionsanlæg. Formalinkoncentrationen fra 2. til 4. time er vist. Regressionsligningen er beregnet.



Indledende reduktion

Ifølge regressionsligningen var startkoncentrationen forskellig fra den koncentration, der blev beregnet ud fra den tilsatte mængde formaldehyd og vandvolumenet.

Startkoncentrationen var ifølge regressionsligningen 17,99 mg/l. Det ville svare til en startmængde på $2685 \text{ m}^3 \cdot 17,99 \text{ g} = 48303 \text{ g}$.

Indledende reduktion $51948 \text{ g} - 48303 \text{ g} = 3645 \text{ g}$.

Indledende reduktion pr volumen ($3645 \text{ g} / 2685 \text{ m}^3$) = $1,358 \text{ g} / \text{m}^3$.

Indledende reduktion svarer til $3645 \cdot 100 / 51948 = 7 \%$ af den tilsatte mængde.

Mikrobiel omsætning

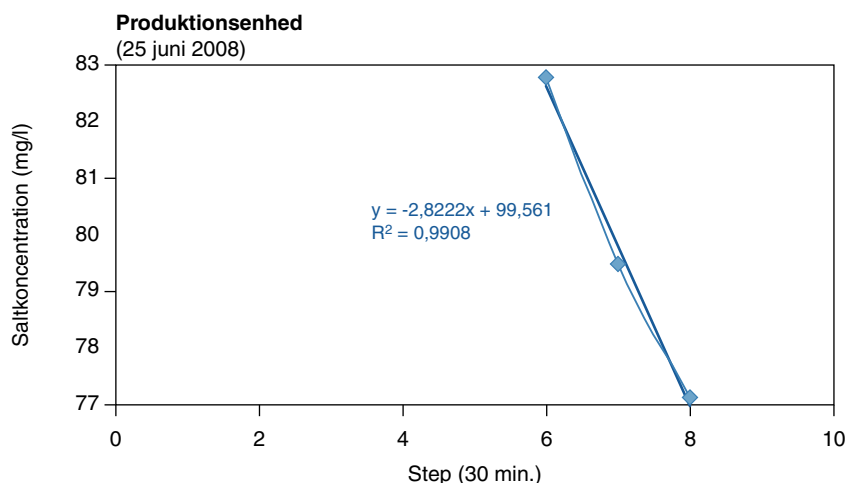
Koncentrationsændringen af formaldehyd som følge af omsætning, dvs. efter at der var korrigeret for fortynding, var ifølge regressionsligningerne pr time ($0,4428 \cdot 2$) = $0,8856 \text{ mg/l}$ ($0,8856 \text{ g} / \text{m}^3 / \text{t}$).

Da der efter ca. en time blev åbnet lidt for flowet, vil der være et bidrag til koncentrationsændringen som følge af fortynding. Fortyndingen kan beregnes ud fra regressionsligningen for saltkoncentrationen i figur 4.8.

Regressionsligningen for fortyndingen er

$Y = -2,82228x + 99,561$ hvor x er 30 minutter.

Figur 4.8 Saltfortynding i produktionsanlæg på model 1 dambrug A den 23. juni 2008 efter tilsætning af 250 kg opløst salt kl. 12 i produktionsanlæg. Saltkoncentrationen fra 2. til 4. time er vist. Regressionsligningen er beregnet.



Koncentrationsændring pr time efter korrektion for fortynding: $0,8856 * ((99,561 - 2,8222 * 2) / 99,561) = 0,7852 \text{ mg/l}$ ($0,7852 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$).

Under forudsætningen af at al formalin omsættes mikrobielt og omsætningsraten er den samme kan det beregnes, at koncentrationen teoretisk vil være 0 efter 21 timer ($17,991 / 0,7852 = 22,9$ timer).

Omsætningsrate i produktionsenheden (2685 m^3)/t = 2108 g/t

1.3.2 Plantelagunen

Mængderne ind og ud af plantelagunen er bestemt ved at integrere over koncentrationerne af de opsamlede prøver.

Omsætninger	Formaldehyd	% af tilført
Produktionsenhed tilført:	51948 g	100 %
Til plantelagune	46888 g	90,3 %
Til mikrosigten	397 g	0,8 %
Omsat i produktionsenheden	4663g	9,0 %
Start plantelagune fra prod.enhed	45483 g	87,6 %
Mikrosigte	397 g	0,8 %
Tilført plantelagune	45880 g	88,3 %
Udløb fra plantelagunen	21136 g	40,7 %
Omsat i plantelagunen	24744 g	47,6 %

Vandets gennemsnitlige opholdstid i plantelagune var ($8265 \text{ m}^3 / 293 \text{ l/s}$) = 7 timer og 40 min. I nedenstående beregninger er anvendt en opholdstid på 8 timer

Omsætningsrate i plantelagunen	Omsætning pr. time	
Omsat formaldehyd	24744 g	3093 g/t
Omsat pr volumen (8265 m^3)	$2,994 \text{ g/m}^3$	$374 \text{ mg/t} * \text{m}^3$
Omsat pr areal (8700 m^2)	$2,844 \text{ g/m}^2$	$355 \text{ mg/t} * \text{m}^2$

Beregningsusikkerhed

Differensen mellem den beregnede mængde transporteret ud af produktionsanlægget til plantelagunen og den beregnede mængde tilført til plantelagunen fra produktionsanlægget blev ud fra målingerne ved to

forskellige prøvetagere bestemt til $(46880 \text{ g} - 45483 \text{ g}) = 1397 \text{ g}$. Dette afspejler usikkerheden ved analyse og prøvetagning samt integration under koncentrationskurverne. De 1397 g udgør 2,7 % af den tilsatte mængde af formaldehyd på 51948 g.

Bilag 5

Model 1 Dambrug B

1.1 Beskrivelse af dambruget

1.1.1 Produktionsanlægget

Model 1 dambrug (B) består af et betonkummeanlæg med 16 større kummer og et sættefiskeanlæg. I produktionsenheden var der 100 tons fisk. Vandet tages ind fra vandløb og ledes til produktionsanlægget og et sorteringsanlæg. Fra produktionsanlægget ledes vandet til en todelt plantelagune, hvor den første del er den største. De to dele er adskilt af en dæmning med en 2-3 m bred åbning. Det samlede areal af plantelagunen er på 14.000 m² med en gennemsnitsdybde på 0,9 m svarende til 12.600 m³. Vandet fra sorteringsanlæg løber gennem sættefiskeanlægget og ledes direkte til vandløbet.

1.1.2 Plantelagunens dækningsgrad

Dækningsgraden er skønnet.

Del 1: 30 %, arter: Vandranunkel, vandstjerne og pindsvineknop.

Del 2: 30 %, arter: Vandranunkel, vandstjerne og pindsvineknop.

1.1.3 Prøvetagning og feltmålinger

Der blev udført et forsøg på dambruget den 16. juni 2008. Der blev opsat 5 automatiske prøvetagere, en i udløb af produktionsanlægget, en i henholdsvis indløb og udløb af plantelagunens del 1, en i udløb af plantelagunens del 2 (udløb af plantelagunen) og en i udløb fra kummehus. Der blev udtaget prøver med 1 times interval.

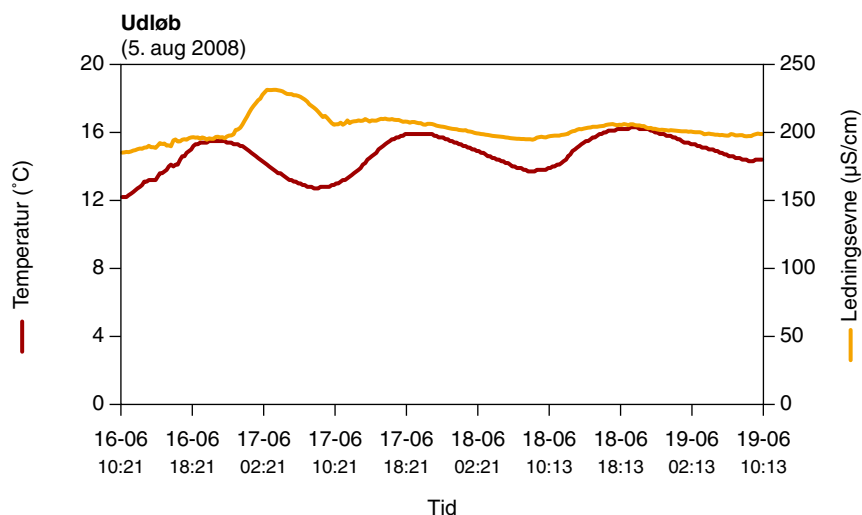
Med passende intervaller blev der manuelt målt temperatur, iltindhold og ledningsevne rundt på dambruget. I udløbet fra dambruget blev ledningsevne og temperatur målt med en automatisk ledningsevnemåler med 15 minutters interval i 3 døgn.

Vandet løber fra produktionsenheden (ca. 228 l/s) gennem en mikrosigte, og deler sig med en vandstrøm på ca. 30-40 l/s til et yngelanlæg, hvorfra det bliver ledt direkte til vandløbet. Til plantelagunen er der et flow på ca. 180 l/s, og der er samme flow ud af plantelagunen. Der er således ikke noget vandtab over plantelagunen. Spulevandet (1 l/s) tages fra anlægget og ledes uden om plantelagunen. Vandniveauet i plantelagunen er bestemt af et vandstandsbræt. Vandstandsbrættet bevirker, at plantelagunens volumen ikke ændrer sig, når der lukkes af for vandindtag til produktionsforsøget.

1.1.4 Vandtemperaturen

Vandtemperaturen i produktionsanlægget var den 16. juni 11,9-12,2 °C, og i plantelagunens udløb varierede temperaturen mellem 12,6 og 15,5 (figur 5.1). Gennemsnits temperaturen det første døgn var 13,9 °C.

Figur 5.1 Ledningsevne og vandtemperatur i udløbet fra plantelagunen i model 1 dambrug B den 16. juni 2008 og 3 døgn frem. Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$) blev målt med sonde hver 15 minut ved den aktuelle temperatur (°C).



1.1.5 Vandføring gennem dambruget

Tabel 5.1 Vandføring på Model 1 dambrug B

Dato	Indløb prod.anlæg l/sek	Udløb prod.anlæg, afløbskanal l/sek	Afløb sorterings- anlæg l/sek	Udløb dambrug l/sek
17-06-2008	252,2	227,7 l"	3,6 27	210
18-06-2008	227,9	179,1		170
19-06-2008	226,4	179,9		170

Vandet løb til produktionsanlægget fra vandløbet med 250-225 l/s. Fra produktionsanlægget delte det sig, således at ca. 180 l/s løb til plantelagunen, resten løb gennem sorteringsanlægget og sættefiskeanlægget og derfra direkte ud i vandløbet.

1.2 Forsøg

Samtidig med at der blev doseret med formalin blev der også tilsat salt, da salt i modsætning til formalin ikke blev omsat i dambruget. Målingerne af saltkoncentrationen er brugt til at følge fortyndingen gennem dambruget og til at beregning af vandvolumenet i produktionsanlægget. Saltkoncentrationen blev målt indirekte ved måling af ledningsevnen. Registreringen af ændringer blev vanskeliggjort af, at baggrundsledningsevnen kan variere med omsætning af foder i vandet og i fiskene, idet der sker en mineralisering.

1.2.1 Volumenberegning ud fra saltmetoden

Vandvolumenet i produktionsanlægget blev beregnet ud fra saltmetoden. Efter tilsætning af 250 kg salt opnåedes en koncentration på 113 mg/l, og på baggrund heraf blev vandvolumenet beregnet til 2210 m³.

Ledningsevne målt i dambrugsvand	238 µS/cm
Ledningsevne målt i dambrugsvand tilsat 50 mg/l salt	341 µS/cm
Beregnet ledningsevnebidrag pr. 50 mg/l salt	103 µS/cm
Kl. 13 blev ledningsevnen målt i 15 kummer med et gennemsnit på	471 µS/cm
250 kg salt gav en stigning i ledningsevnen på (471-238) =	233 µS/cm
Saltkoncentrationen var da (233*50/103)	113,1 mg/l
Volumen beregnes til (250000/113,1) =	2210 m ³

1.2.2 Behandling med formalin og salt

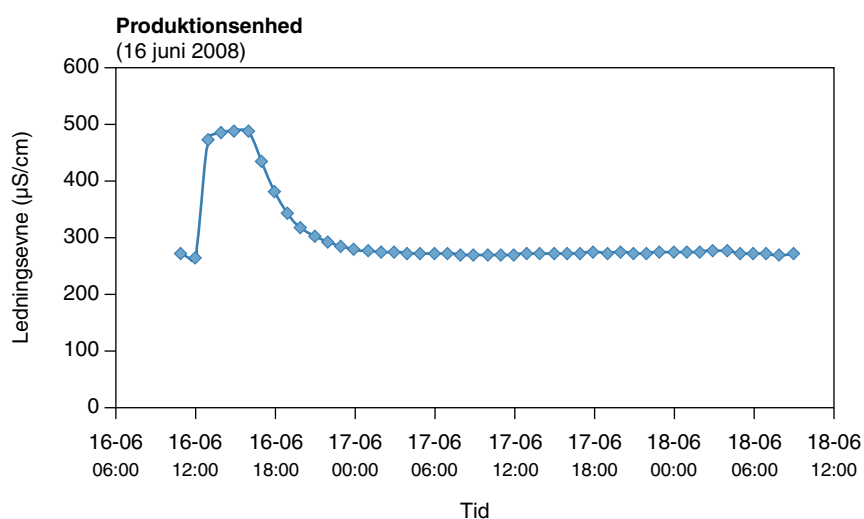
Forsøg den 16. juni 2008

Det var ikke muligt at behandle en enkelt kumme over længere tid, uden at der først skulle skabes recirkulering og lufttilførsel til kummen. Derfor omfattede behandlingen hele produktionsanlægget undtagen en enkelt kumme, der var ude af drift. Der blev tilsat 125 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 49,950 kg formaldehyd. Samtidig blev der tilsat 250 kg opløst salt, som blev ligeligt fordelt i hver 3. kumme med en forventet startkoncentration på 22,6 mg/l.

Formalin og salt blev tilsat kl.12, inden da blev der lukket for vandindtag og udløb og recirkuleret internt i anlægget i 5 timer. Det var ikke muligt at lukke fuldstændigt til kummehuset, hvor der derfor var et flow på ca. 5-10 l/s. Klokkeren 17 blev der åbnet helt for vandet og derfor også med fuld flow til sorteringsanlæg.

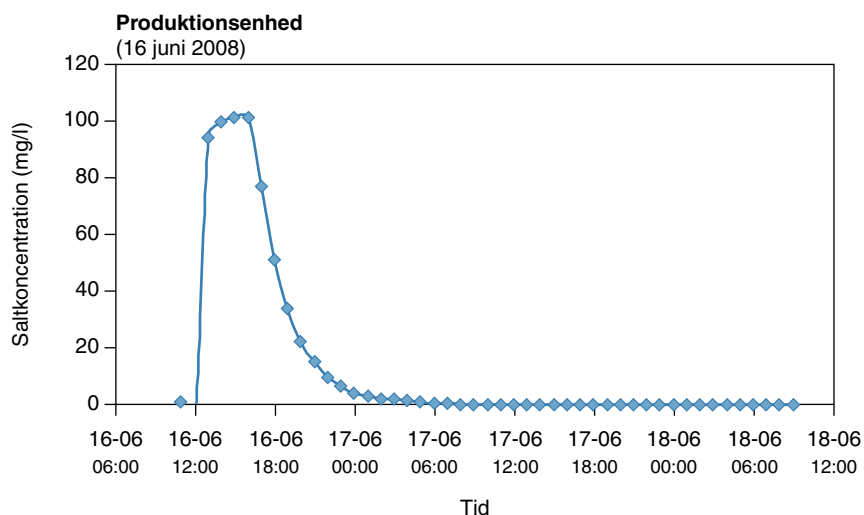
Ledningsevnen i produktionsenheden var stigende frem til det tidspunkt, hvor der igen blev åbnet for ind og udløb (figur 5.2). Det betyder at salt og formalin ikke nåede at blive fuldt opblandet inden der blev genåbnet for flowet.

Figur 5.2 Ledningsevne (µS/cm) i produktionsenhed på model 1 dambrug B den 16. juni 2008 efter tilsætning af 250 kg opløst salt kl. 12. Der blev taget prøver med 1 times intervaller.

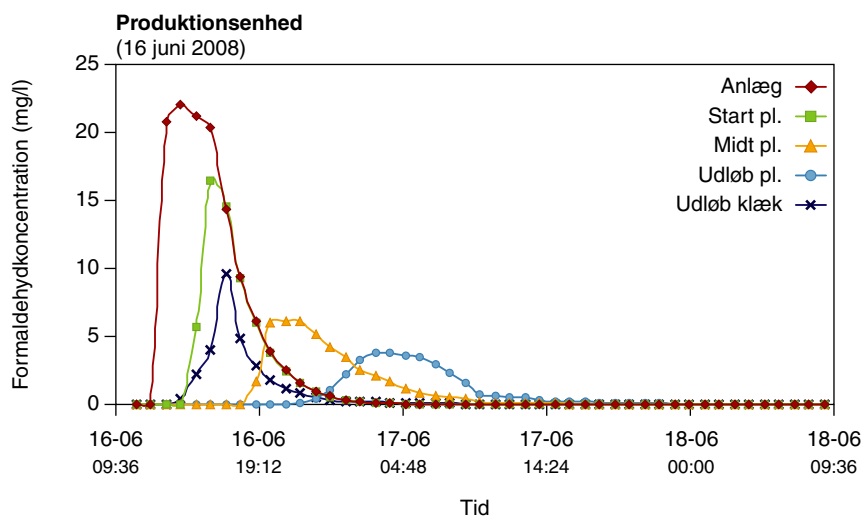


Under recirkuleringen faldt formaldehydkoncentrationen i produktionsanlægget fra kl. 14 til 16 på grund af omsætning (figur 5.3). Omsætningen er i virkeligheden større, da den blev modvirket af koncentrationsstigningen som følge af stofopblandingen. Den højeste koncentration blev målt 2 timer efter tilsætningen og var på 22 mg/l. Efter genåbningen af flowet i produktionsanlægget faldt formaldehydkoncentrationen som følge af omsætning og fortynding, og kl. 3:55 eller 12 timer efter genåbningen var koncentrationen 0 mg/l.

Figur 5.3 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i produktionsenheden på model 1 dambrug B den 16. juni 2008 efter tilsætning af 125 liter formalin (37 % formaldehyd) kl. 12. Der blev taget prøver med 1 times interval.



Figur 5.4 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) på model 1 dambrug B den 16. juni 2008 efter tilsætning af 125 liter formalin (37 % formaldehyd) kl. 12. Der blev målt i produktionsanlæggets udløb (Anlægget), i udløb fra sorteringsanlæg (Udl sort) og i kanal til indløb til plantelagunes del 1 (Start PI) og i dens udløb (Midt PI) samt i udløbet fra del 2 (Udløb PI). Der blev taget prøver med 1 times interval.

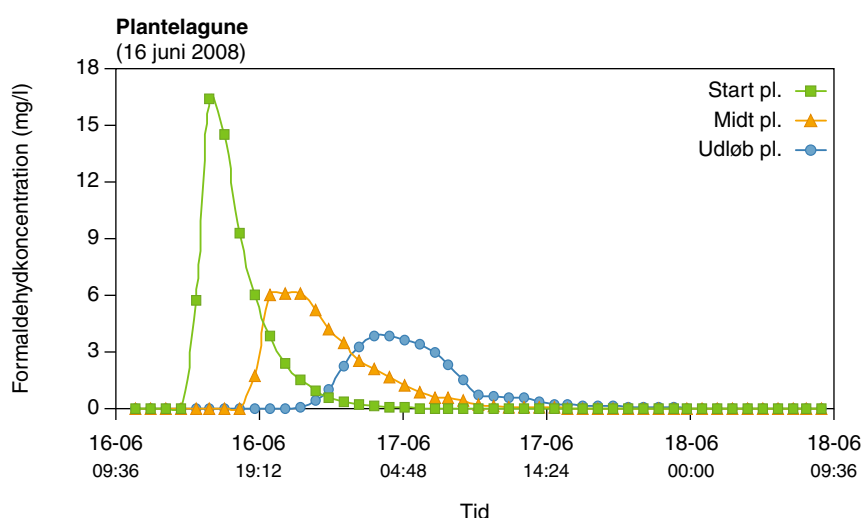


Formaldehydkoncentrationen målt i alle prøver fra de fem prøvetagningssteder er vist i figur 5.4. Det viste sig at efter 2 timer, kunne der måles formaldehyd i indløbet til plantelagunen og koncentrationen var en time senere på ca. 17 mg/l. Det skyldtes, at udløbet fra produktionsanlæg til plantelagunen under recirkuleringen blev lukket med brædder og tætnet med sand, men sandet blev delvist skyllet bort, og der kunne sive vand ud fra produktionsenheden, formodentlig med et flow under 5 l/s og dermed mængdemæssigt uden betydning. I sorteringsanlægget kom formaldehydkoncentrationen op på ca. 10 mg/l, og her blev koncentrationen bygget op med et flow på 10 l/s, da det ikke var muligt at

lukke helt for vandet under recirkuleringen. Koncentrationen aftog efter åbning af fuldt flow kl. 17 med et vandflow på 40 l/s.

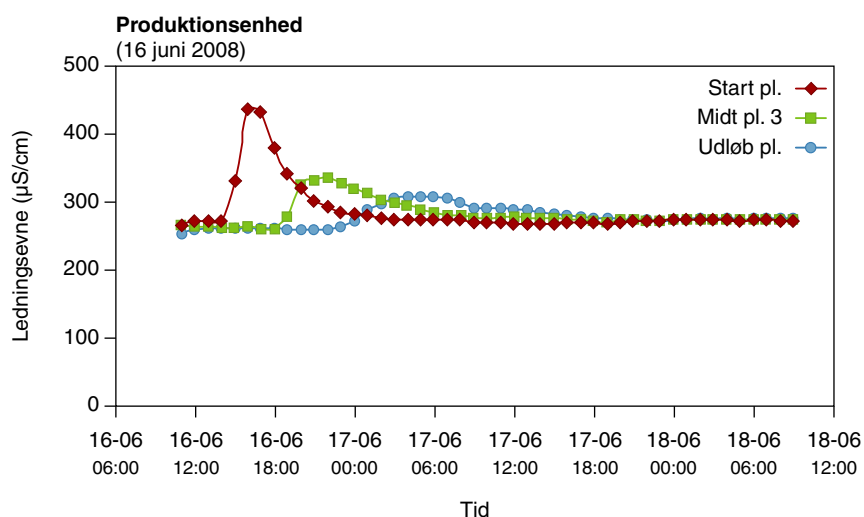
Formaldehydkoncentrationen i plantelagunen er vist i figur 5.5. Den maksimale koncentration i indløbet til plantelagunens første del blev opnået umiddelbart før åbning af ind og udløb i produktionsanlægget. Toppen passerede udløbet af plantelagunens første del 5 timer senere, og udløbet af plantelagunens anden del yderligere efter 6 timer (kl. 2:55). Koncentrationen faldt gennem dambruget som følge af fortynding og omsætning. Den højeste koncentration målt i udløbet af plantelagunen var på 3,85 mg/l og gennemsnitskoncentrationen over 5 timer er 1,08 mg/l.

Figur 5.5 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i plantelagunen på model 1 dambrug B den 16. juni 2008 efter tilsætning af 125 liter formalin (37 % formaldehyd) kl. 12. Der blev målt i indløb til plantelagunes del 1 (Start PI) og i dens udløb (Midt PI) samt i udløbet fra del 2 (Udløb PI). Der blev taget prøver med 1 times intervaller.



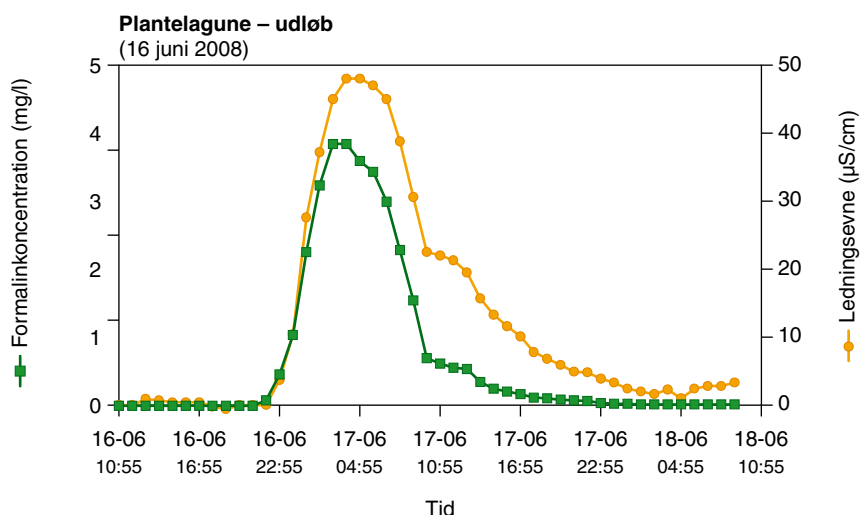
Der var et tilsvarende forløb for ledningsevnen, idet toppen af ledningsevnen passerede på samme tid som toppene af formaldehydkoncentrationerne (figur 5.6).

Figur 5.6 Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) målt indløbet til plantelagunes del 1 (Start pl) i udløbet fra dette (Midt pl) samt i udløbet af plantelagune del 2 (Udløb pl) på model 1 dambrug B den 16. juni 2008 efter tilsætning af 250 kg opløst salt kl. 12 i produktionsenheden. Der blev genåbnet for flowet (180 l/s) kl. 15:55. Der blev taget prøver med 1 times intervaller.



I figur 5.7 er vist formaldehydkoncentrationen og ledningsevnen forårsaget af salttilsætningen i udløbet fra plantelagunen. Der var tidsmæssig overensstemmelse mellem toppene, men arealet under kurven væsentlig mindre for formaldehyd, da der sker en omsætning gennem plantelagunen.

Figur 5.7 Formaldehydkoncentration (mg/l) og ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i udløb fra plantelagunen på model 1 dambrug B den 16. juni 2008 efter tilsætning af 125 l formalin (37 % formaldehyd) og 259 kg opløst salt til produktionsanlægget kl. 12. Der blev genåbnet for flowet 5 timer senere.



Målingerne af ledningsevnen med sonde hver 15. minut i udløbet fra plantelagunen viste en top som følge af salttilsætningen fra den 16. juni kl. 22:51 til kl. 10:06 næste dag med et maksimum kl. 03:21 (figur 5.1). Saltet kunne spores i udløbet 7 timer efter at der blev åbnet helt for vandet i produktionsenheden. Alt saltet var ude af plantelagunen 18 timer. Koncentrationsforløbet for saltet var en markant top med en lang hale. Integreres under kurven fås ca. 230 kg salt, og der var blevet tilsat 250 kg salt til produktionsanlægget. Da der også var løbet salt ud fra sorteringsanlæg direkte til vandløbet, vurderes det, at alt det tilsatte salt blev genfundet.

1.3 Formaldehydomsætninger

Efter tilsætning af formaldehyd var der et fald i formaldehydkoncentrationen som følge af en indledende reduktion og som følge af mikrobiel omsætning.

1.3.1 Produktionsenheden

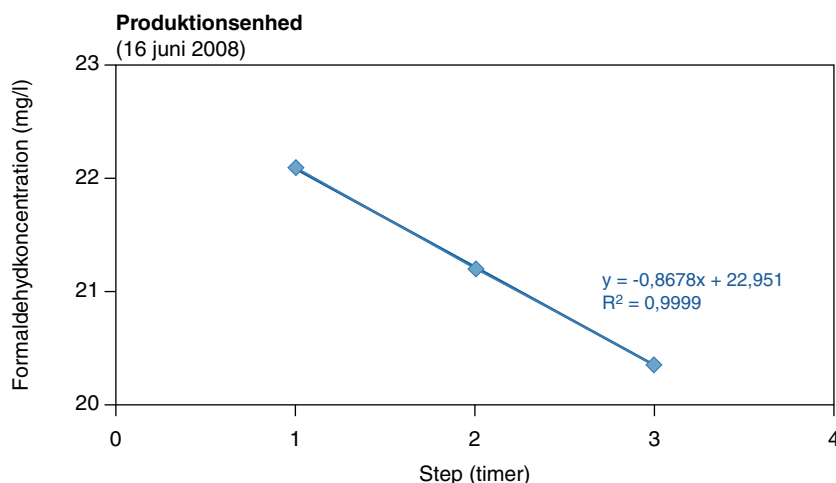
Der blev tilsat 125 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 49950 g formaldehyd. Det gav en startkoncentration på $49950 \text{ m}^3 / 2210 \text{ m}^3 = 19,60 \text{ mg}/\text{l}$.

Koncentrationen til et givet tidspunkt mens der var lukket for ind og udløb af produktionsanlægget fra kl. 14 til kl. 16 kan beregnes ud fra regressionsligningen baseret på de målte formaldehydkoncentrationer indenfor perioden (figur 5.8).

Regressionsligningen for formaldehydkoncentrationer er:

$y = -0,8678x + 22,951$, hvor x er timer. Regressionskoefficienten er $R^2 = 0,9999$, hvilket betyder at ligningen kan beskrive 99 % af omsætningen.

Figur 5.8 Formaldehydomsætning i produktionsanlæg på model 1 dambrug B den 16. juni 2008 efter tilsætning af 125 liter (37 % formalinaldehyd) kl.12 i produktionsanlæg. Formalinkoncentrationen fra de to sidste timer før der igen blev åbnet for fuld flow er indlagt. Regressionsligningen er beregnet.



Indledende reduktion (adsorption/absorption)

Ifølge regressionsligningen var startkoncentrationen forskellig fra den koncentration, der blev beregnet ud fra den tilsatte mængde formaldehyd og vandvolumenet. Startkoncentrationen var ifølge regressionsligningen beregnet til 22,95 mg/l. Umiddelbart var startkoncentrationen mindre end den beregnede, hvilket kan skyldes en overestimering af vandvolumenet. Det var således ikke muligt at bestemme en indledende reduktion af formaldehyd.

Mikrobiel omsætning

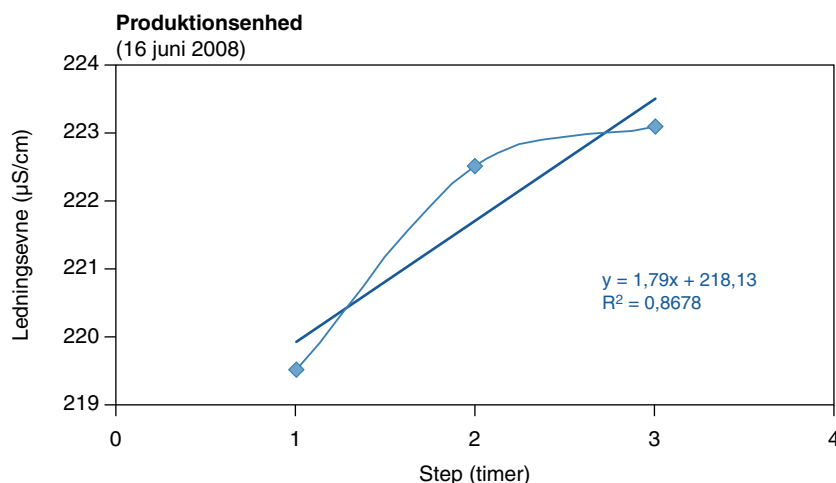
Koncentrationsændring af formaldehyd som følge af omsætning pr. time = 0,8678 mg/l (0,8678 g/ m³*h).

Forudsættes at alt formaldehyd blev omsat med denne omsætningshastighed ville koncentrationen være 0 efter 26,4 timer ($22,951/0,8678 = 26,44$ timer).

Omsætningsrate i produktionsanlægget (2210 m³/t) = 1918 g/t.

Imidlertid var omsætningsraten lidt højere, da saltkoncentrationen fortsat steg helt frem til åbningen af flowet 4 timer efter tilsætningen (figur 5.9). Hvis formaldehyd ikke var blevet omsat ville formaldehydkoncentrationen være øget tilsvarende.

Figur 5.9 Ledningsevne i produktionsanlæg på model 1 dambrug B den 16. juni 2008 efter tilsætning af 250 kg salt kl. 12 i produktionsanlæg. Ledningsevnen, der skyldes salttilsætningen fra de to sidste timer før der igen blev åbnet for fuld flow, er vist. Regressionsligningen er beregnet. Prøverne blev analyseret i laboratoriet.



Koncentrationsændringen efter korrektion for stigningen som følge af opblanding er ud fra regressionsligningen i figur 5.9 beregnet til pr. time = $0,8747 * ((218,13 + 1,79) / 218,13) = 882 \text{ mg/l}$ ($0,882 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$)

Omsætningsrate pr. time i produktionsanlæg (2210 m^3) = 1949 g/t

Under forudsætningen af at al formalin omsættes mikrobielt, og omsætningsraten er den samme, kan det beregnes, at koncentrationen teoretisk vil være 0 efter $(49950 / 1949) = 25,6$ timer

1.3.2 Plantelagunen

Omsætninger	Formaldehyd	% af tilført
Produktionsenhed tilført:	49950 g	100 %
Udledt fra produktionsenheden	46927 g	
Til plantelagune	40281 g	80,3 %
Til sorteringsanlæg	4290 g	8,6 %
Omsat i produktionsenheden	5379 g	11,2 %
Tilført plantelagunen fra prod.	40281 g	80,6%
Udløb fra plantelagunen	21136 g	42,3 %
Omsat i plantelagunen	18949 g	37,9 %

Vandets gennemsnitlige opholdstid i plantelagune = $12600 \text{ m}^3 / 180 \text{ l/s} = 19$ timer og 27 min. I nedenstående beregninger er anvendt 19,5 timer

		Omsætning pr. time
Omsat formaldehyd	18949 g	971,7 g/t
Omsat pr volumen (12600 m^3)	$1,504 \text{ g/m}^3$	$77,1 \text{ mg/t} \cdot \text{m}^3$
Omsat pr areal (14000 m^2)	$1,354 \text{ g/m}^2$	$69,4 \text{ mg/t} \cdot \text{m}^2$

Beregningsusikkerhed

Differensen mellem udledt fra produktionsanlægget og tilført plantelagunen plus tilført sorteringsanlæg er bestemt ud fra 3 forskellige prøvetagere $(46927 - (40281 + 4290)) = 2356 \text{ g}$, afspejler usikkerheden ved analyse og prøvetagning, i flowmålinger samt af integration under koncentrationskurverne. De 2356 g udgør 4,7 % den tilsatte formalinmængde på 49950 g.

Bilag 6

Model 1 Dambrug C

1.1 Beskrivelse af dambruget

1.1.1 Produktionsanlægget

Model 1 dambrug C består af et betonkummeanlæg med 3 sektioner. Vandet tages ind fra vandløbet i den første sektion, hvorefter det ledes videre gennem 2. sektion og derfra videre til 3. sektion. I første sektion var der 7 tons fisk og i de to næste var der 20 tons i hver. Den første sektion består af mange kummer, den kan lukkes af og vandet recirkuleres. Mens dette finder sted, løber vandet ind i 2. sektion og videre til tredje. Fra produktionsanlægget ledes vandet gennem et bundfældningsbassin til plantelagunen, der består af 19 tidligere fiskedamme med et volumen på 3800 m³. Vandet løber parallelt gennem dammene til en bagkanal og derfra ud i vandløbet.

1.1.2 Plantelagunens dækningsgrad

Plantedækningsgraden i de enkelte damme i plantelagunen blev opgjort og den varierede fra 18 til 100 %, hvor halvdelen havde over 50 % dækning. I gennemsnit var dækningen på 55 %. Brøndkarse og andemad dominerede, hvoraf brøndkarsen udgjorde 2/3 del af dækningsgraden.

1.1.3 Prøvetagning og feltmålinger

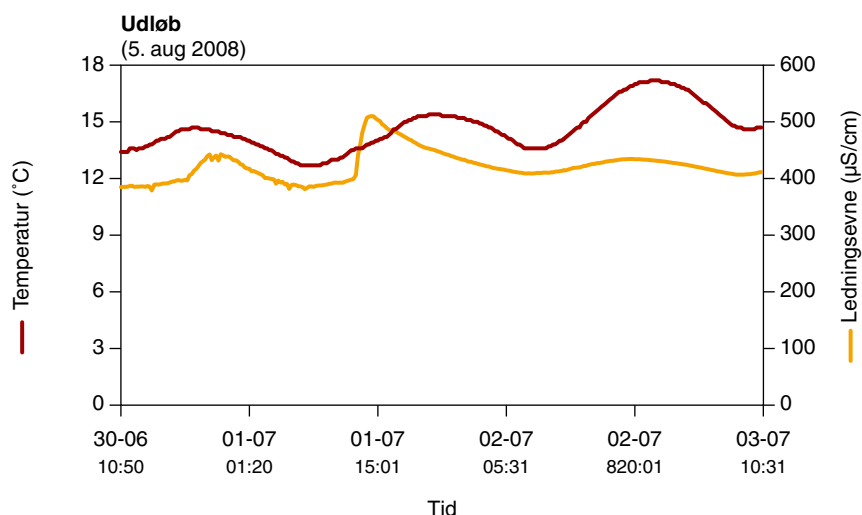
Der blev udført forsøg på dambruget den 30. juni og 1. juli 2008. Der blev opsat 4 automatiske prøvetagere, en i sektion 1, en i udløb fra produktionsanlægget og en lige efter bundfældningsbassinet, der således repræsenterer starten af plantelagunen. Den fjerde prøvetager blev opsat lige inden udløbet til vandløbet. Der blev udtaget prøver med 1 times interval.

Temperatur, iltindhold og ledningsevne blev målt rundt på dambruget. Ledningsevne og temperatur i udløbet fra dambruget blev målt med en automatisk ledningsevne med 15 minutters interval i 3 døgn.

1.1.4 Vandtemperaturen

Temperaturen lå mellem 12,2 °C og 12,9 °C i sektion 1. Temperaturen i plantelagunens udløb varierede gennem døgnet mellem 13,4 °C og 17,2 °C med de laveste temperaturer kl. 8-9 og de højeste kl. 21-22 (figur 6.1).

Figur 6.1 Ledningsevne og vandtemperatur i udløbet fra plantelagunen i model 1 dambrug C den 30. juni 2008 og 3 døgn frem. Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$) blev målt med sonde hver 15 minut ved den aktuelle temperatur.



1.1.5 Vandføring gennem dambruget

Tabel 6.1 Flow målinger i model 1 dambrug C.

Dato	Afløb prod. (l/s)	Udløb lagune (l/s)
30 juni	110,3	80
1 juli		75
2 juli	91	70
3 juli	98	70

Flowet i afløb fra produktionsanlæg blev målt med vingemåler med 5 % nøjagtighed. I udløb fra plantelagunen blev flowet målt over et vandstandsbræt, hvilket ikke var helt ideelt hvorved usikkerheden på målingen blev dobbelt så stor.

1.2 Forsøg

Samtidig med at der blev doseret med formalin blev der tilsat salt, da salt i modsætning til formalin ikke bliver omsat i dambruget. Målingerne af saltkoncentrationen er brugt til at følge fortyndingen gennem dambruget og til beregning af vandvolumenet i produktionsanlægget. Saltkoncentrationen er målt indirekte ved måling af ledningsevnen. Registreringen af ændringer i saltkoncentrationen blev vanskeliggjort af, at baggrundsledningsevnen kan variere i forbindelse med omsætning af foder i vand og i fisk, idet der sker en mineralisering, som vil påvirke saltkoncentrationen.

1.2.1 Volumenberegning ud fra saltmetoden

Vandvolumenet i sektion 1 blev beregnet ud fra salttilsætningen. Efter tilsætning af 100 kg salt opnåedes en saltkoncentration på 84,3 mg/l, og på baggrund heraf blev vandvolumenet beregnet til 352 m³.

Ledningsevne målt i dambrugsvand	472 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Ledningsevne målt i dambrugsvand tilsat 50 mg/l salt	571 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Beregnet ledningsevnebidrag pr. 50 mg/l salt	99 $\mu\text{S}/\text{cm}$

En halv time efter salttilsætning var ledningsevnen (gennemsnit) 1035 $\mu\text{S}/\text{cm}$

100 kg salt gav en stigning i ledningsevnen på $1035 - 472 = 563 \mu\text{S}/\text{cm}$
Saltkoncentrationen var da $(563 \cdot 50 / 99)$
Vandvolumenet beregnes til $(100000 / 284,3) = 352 \text{ m}^3$
I vandvolumenet indgår også volumenet i forbindelseskanaler.

1.2.2 Behandling med formalin og salt

Forsøg den 30. juni 2008

I første forsøg blev der til den første sektion kl. 11:30 tilsat 14 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 5,594 kg formaldehyd. Inden tilsætningen var der blevet lukket for ind og udløb, og der blev recirkuleret i 5 timer, før der blev genåbnet for flowet. Sammen med formalinen blev der tilsat 100 kg opløst salt. Formalin og salt blev fordelt i den første halvdel af forkanalen. Fra forkanalen løb vandet ind i 30 kummer. Udløbet blev spærret med et bræt, og vandstanden blev derved højere end under normal produktion.

Ledningsevnen som følge af salttilsætningen i sektion 1 viste, at saltet efter 3 timer var totalt opblandet i vandfasen. Da der blev genåbnet for flowet efter 5 timer, faldt ledningsevnen hurtigt som følge af fortyndingen (figur 6.2).

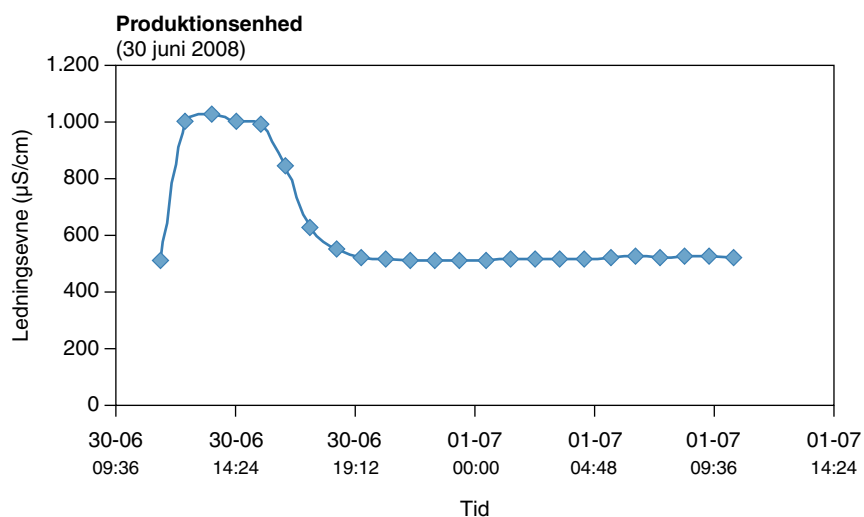
Formaldehydkoncentrationsforløbet i sektion 1 viste, at koncentrationen faldt umiddelbart efter tilsætningen og frem til det tidspunkt, hvor der igen blev åbnet for flowet. Indtil genåbningen af flowet skyldtes koncentrationsfaldet omsætning af formaldehyd, og derefter både omsætning og fortynding (figur 6.3).

Formaldehydmængden, der blev tilsat var kalkuleret til at skulle give en startkoncentration på 20 mg/l. Startkoncentrationen blev ud fra den tilsatte mængde og det beregnede vandvolumen 15,9 mg/l formaldehyd, hvilket var mindre end forventet på grund af det større volumen end forventet. Fem timer efter formaldehydtilsætningen blev der genåbnet for ind og udløb, og formaldehyden var ude af sektion 1 5 timer senere.

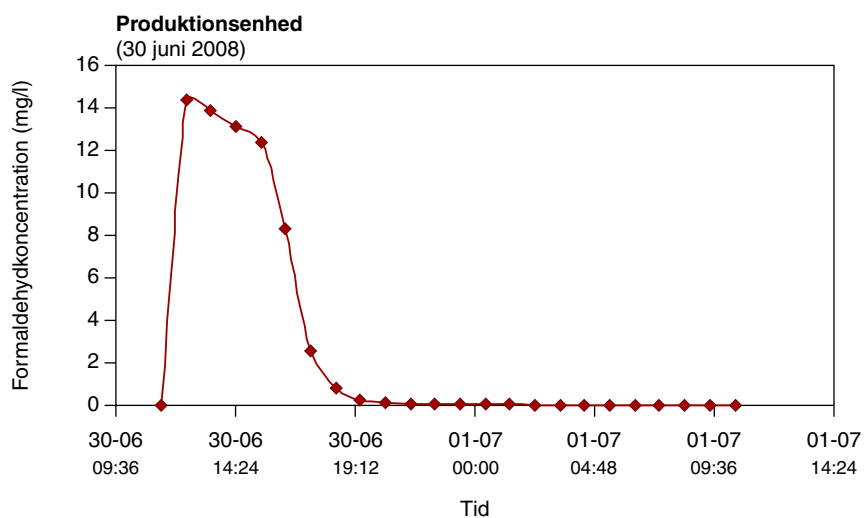
Ekstrapoleres formaldehydkoncentrationen til start tidspunktet ville den gennemsnitlige startkoncentration være på ca. 15,3 mg/l. Da der blev tilsat 5,6 kg formaldehyd er startvolumen i sektion 1 på 366 m^3 , der matcher det der blev fundet med saltmetoden på 352 m^3 .

En time efter genåbningen af flowet kunne der måles formaldehyd i såvel udløb af produktionsanlæg som i indløb til plantelagunen, mens der først kunne måles formaldehyd i udløb af plantelagunen tre timer efter åbningen. Vandet fra sektion 1 løb videre gennem sektion 2 og 3, og i udløbet fra produktionsanlægget kom der en top med en maksimal koncentration på 2,9 mg/l formaldehyd kl. 18:25 (figur 6.4). En time senere var toppen i starten plantelagunen, og 4 timer senere var den i udløbet af plantelagunen med en maksimal koncentration på 0,64 mg/l (figur 6.4). Toppen af formaldehydkoncentrationen i udløbet af plantelagunen begyndte kl. 18:25, det vil sige 2 timer efter åbning af flowet i sektion 1, og den var først ude igen kl. 9:25 den 1. juli eller 22 timer efter, at der blev åbnet for flowet. Gennemsnitskoncentrationen over de 15 timer var 0,3 mg/l.

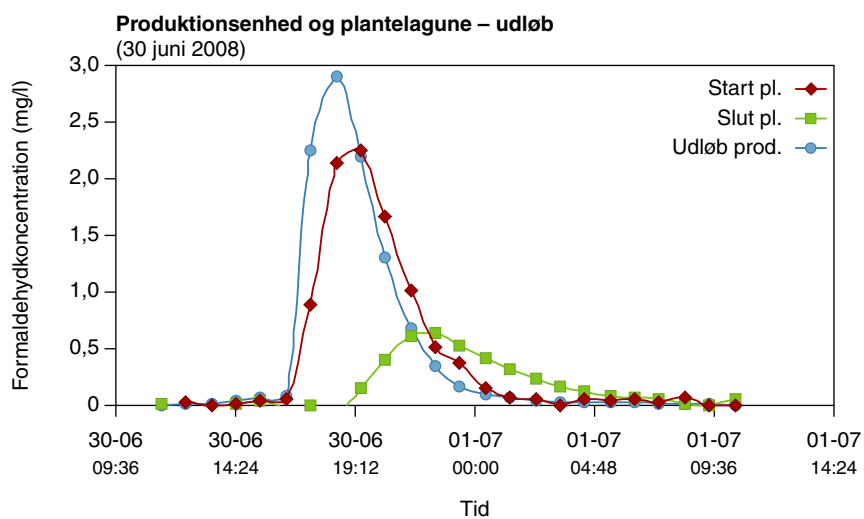
Figur 6.2 Ledningsevnen ($\mu\text{S/cm}$) i sektion 1 på model 1 dambrug C den 30. juni 2008 efter tilsætning af 100 kg opløst salt kl. 11:30. Der blev taget prøver med en automatisk prøvetager hver time.



Figur 6.3. Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i sektion 1 på model 1 dambrug C den 30. juni 2008 efter tilsætning af 14 liter 37 % formalin kl. 11:30. Der blev taget prøver med en automatisk prøvetager hver time.



Figur 6.4. Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i udløb fra produktionsanlæg (Ud prod) og i indløb (Start pl) og udløb fra plantelagunen (Slut pl) på model 1 dambrug C den 30. juni 2008 efter tilsætning af 14 liter formalin (37 % formaldehyd) kl. 11:30 i sektion 1. Der blev taget prøver med en automatisk prøvetager hver time.



Ledningsevnen er målt i prøverne fra produktionsenheden og plantelagunerne i laboratoriet og korreleret til 22,3 °C. Ledningsevnen viste det

samme kurveforløb som for formaldehydkoncentrationen med toppe, der havde sine maksimale værdier på samme tidspunkt (figur 6.5). 1/3 del af vandet, der løb til produktionsenheden kom fra en boring, hvor ledningsevnen var ca. 530 $\mu\text{S}/\text{cm}$, betydelig højere end i vandløbsvandet som udgjorde den resterende 2/3 af vandet og som havde en gennemsnitlig ledningsevne på ca. 480 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dette forhold havde betydning for fortyndingen gennem anlægget.

Basisledningsevnen var den gennemsnitlige ledningssevne før salttilsætning. Efter salttilsætning vil differencen mellem den målte ledningsevne og basisledningsevnen repræsentere ledningsevnen forårsaget af salttilsætningen, som derefter kan omsættes til saltkoncentration. I figur 6.6 er kurveforløbet vist for saltkoncentrationen fra udløbet af produktionsenheden og plantelagunen..

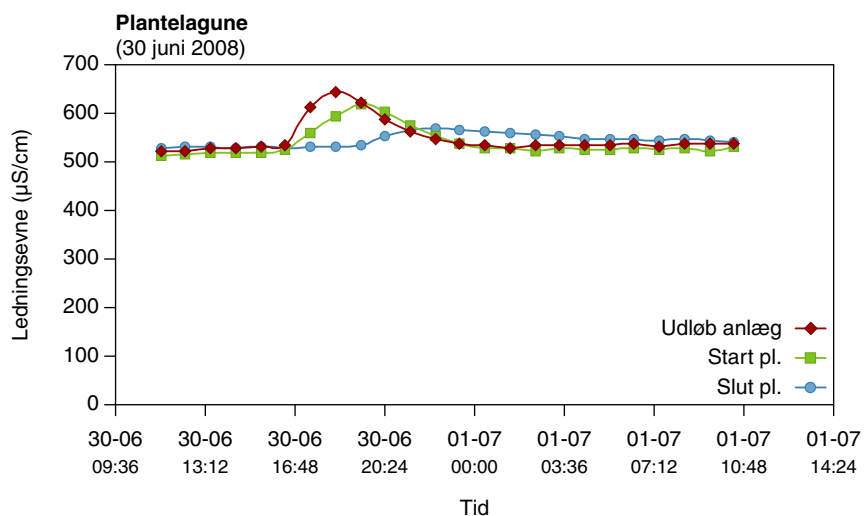
Der blev genfundet ca. 75 % af de 100 kg salt, der blev tilsat produktionsenheden i udløbet af plantelagunen. At der ikke blev genfundet en større andel af det tilsatte salt, skyldtes at det var vanskeligt at fastslå toppens længde, der trækker sig ud i en lang hale, og den var ikke nede i nul, da der igen blev tilsat salt ved det næste forsøg den 1. juli 2008 til næste forsøg.

Forsøg den 1. juli 2008

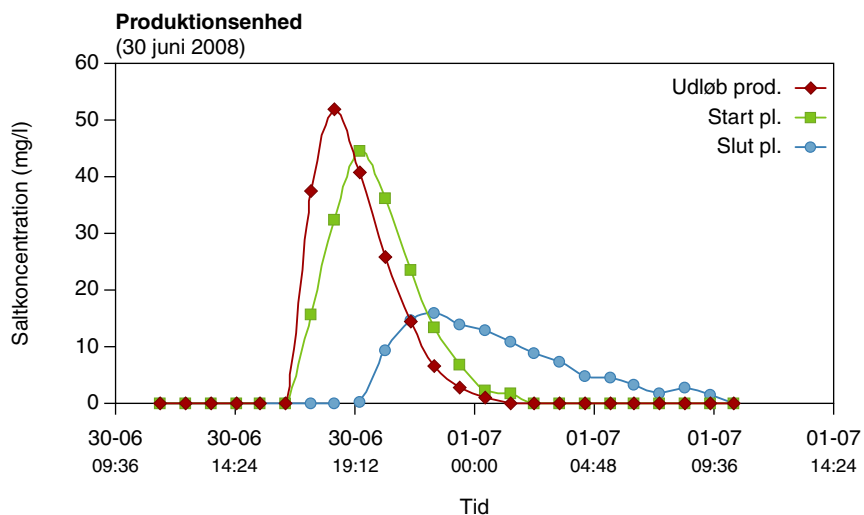
Den 1. juli 2008 fra kl. 11:15 til 12:25 blev der igen tilsat formalin og salt lige efter bundfældningsbassinet, og lige inden det løber ind i plantelagunen. Der blev tilsat 41,5 kg formalin (37 % formaldehyd), der svarer til 15,36 kg formaldehyd. Desuden blev der tilsat 200 kg opløst salt. Vandtemperaturen i udløbet af plantelagunen varierede fra 13,6 °C til 15,3 °C (figur 6.1)

Efter tilsætning af 200 kg opløst salt i kanalen, der fører til indløbet til plantelagunen, var ledningsevnen på 1130 mS/cm, eller mere end 2000 gange højere end før salttilsætningen. Toppen af denne "prop" løb ind i start plantelagunen inden den første prøve blev udtaget, og det var sandsynligvis kun halen af proppen der blev målt (figur 6.7).

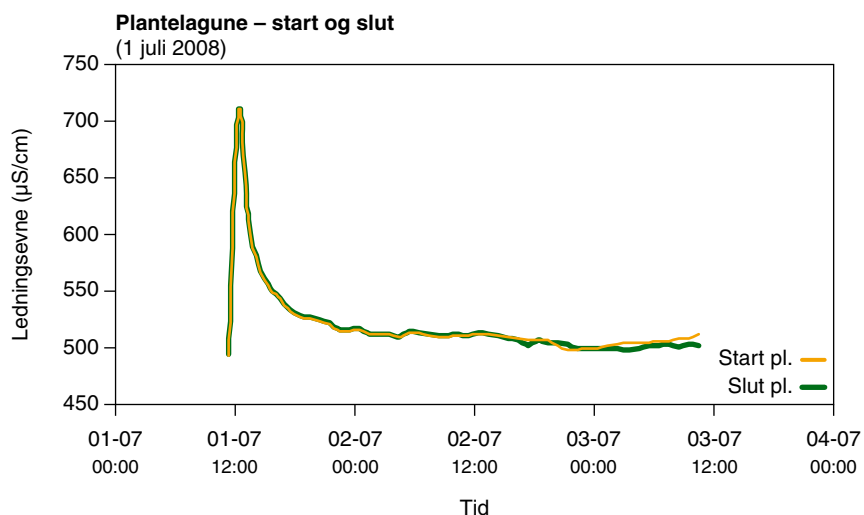
Figur 6.5. Ledningsevne i udløb fra produktionsanlæg (Udl anlæg) og i indløb (Start plant) og udløb (Slut plant) fra plantelagunen på model 1 dambrug C den 30. juni 2008 efter tilsætning af 100 kg opløst salt kl. 11:30 i sektion 1. Der blev taget prøver med en automatisk prøvetager hver time.



Figur 6.6 Saltkoncentration (mg/l) i udløb fra produktionsanlæg (Udløb prod) og i indløb (Start pl) og udløb (Slut pl) fra plantelagunen på model 1 dambrug C den 30. juni 2008 efter tilsætning af 100 kg opløst salt kl. 11:30 i sektion 1. Der blev taget prøver med en automatisk prøvetager hver time.

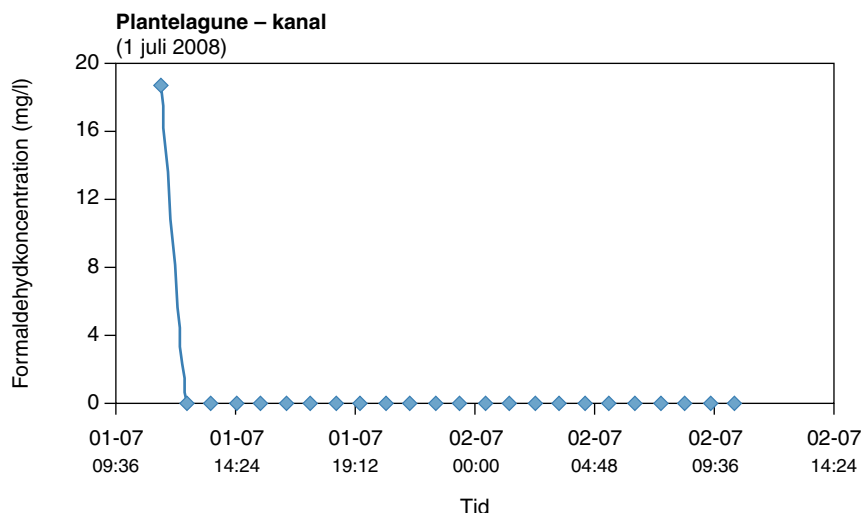


Figur 6.7. Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i indløb (Start pl) og udløb (slut pl) fra plantelagunen på model 1 dambrug C den 1. juli 2008 efter tilsætning af 200 kg opløst salt kl. 11:30 i kanalen, der løber til plantelagunen. Der blev taget prøver med en automatisk prøvetager hver time.



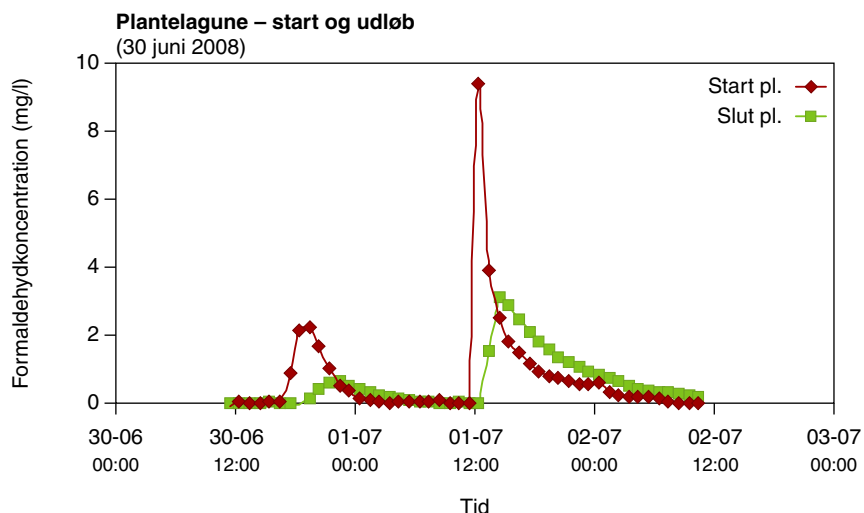
Formalinen blev tilsat samme sted som saltet, og målingerne viste, at al formaldehyd var væk efter en time (figur 6.8). Formaldehyd løb ind i plantelagunen med en meget høj koncentration, og i udløbet af plantelagunen blev toppen målt to timer efter tilsætningen af formalinen med en koncentration på 3,09 mg/l. Derefter fladede koncentrationen ud over et halvt døgn (figur 6.9). Forsøget viste således, at de tilsatte stoffer nåede hurtigt frem til udløbet af plantelagunen, men til gengæld tog det over 12 timer inden det var ude af plantelagunen igen.

Figur 6.8. Formaldehydkoncentrationen i kanalen der fører til plantelagunen på model 1 dambrug C den 1. juli 2008 efter tilsætning af 41,5 kg 37 % formalin kg kl. 11:30. Der blev taget prøver med en automatisk prøvetager hver time.



Formaldehydmængderne, der passerede de enkelte afsnit, kan beregnes ved at integrere under kurverne for koncentrationsforløbet og gange med flowet.

Figur 6.9. Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i indløb (Start pl) og udløb (Slut pl) fra plantelagunen på model 1 dambrug C efter tilsætning den 30. juni 2008 af 14 liter 37 % formalin kl. 11:30 i sektion 1 og tilsætning af 41,5 kg 37 % formalin den 1. juli kl. 11:30 til kanalen, der løber til plantelagunen. Der blev taget prøver med en automatisk prøvetager hver time.



I det andet forsøg den 1. juli kunne formaldehydkoncentrationen i indløbet til plantelagunen ikke anvendes til at integrere under, da tilsætningsstedet lå for tæt på indløbet til plantelagunen. Det ville kræve meget tætte målinger for at beskrive koncentrationsforløbet den første time. Udløbskoncentrationerne fra dambruget var derimod velegnede, så omsætningen i plantelagunen kunne bestemmes som differensen mellem den tilsatte mængde, og den mængde der løb ud af plantelagunen.

På kurven over ledningsevnen målt i udløbet af plantelagunen var der to toppe som følge af de to salttilsætninger. Den første top, som skyldtes udledningen fra sektion 1, hvor der blev genåbnet for flowet den 30. juni kl. 16:25, kom den 30. juni kl. 18:25 og havde maksimum kl. 22:05 (figur 6.1). Hele toppen havde passeret ca. 13 timer efter, at den viste sig.

Den anden top startede den 1. juli kl. 13:01 eller 1,5 time efter tilsætningen i indløbet til plantelagunen, og den havde sit maksimum kl. 14:31 eller tre timer efter tilsætningen. Toppen havde passeret dambruget den 2.

juli kl. 10 eller 22,5 timer efter tilsætningen. Ved begge forsøg var der sammenfald mellem toppene for ledningsevne og formaldehyd.

1.3 Formaldehydomsætninger

Efter formaldehydtilsætningen var der en umiddelbar reduktion og en mikrobiel omsætning, der forårsagede et fald i formaldehydkoncentrationen.

1.3.1 Produktionsenhed

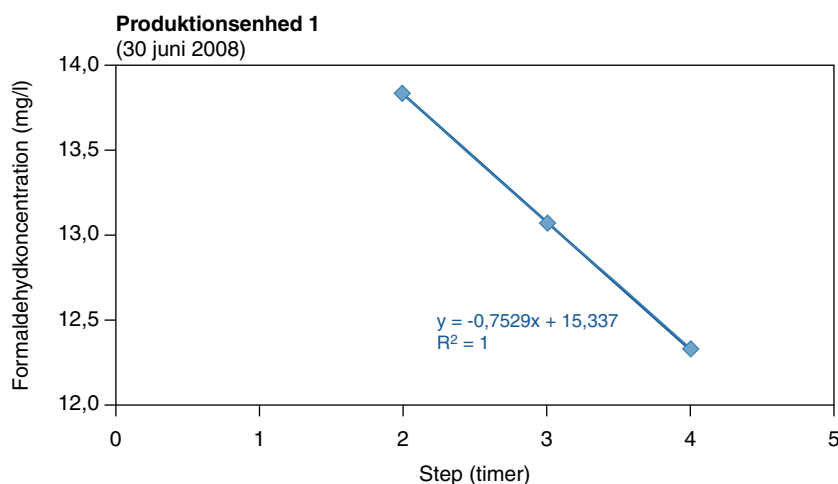
Der blev i første forsøg den 30. juni tilsat 14 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 5594 g formaldehyd, hvilket gav en startkoncentration på 16,76 mg/l.

Koncentrationen til et givet tidspunkt indenfor perioden hvor der var lukket for ind og udløb til produktionsenheden og efter at opblandingen var total kan beregnes ud fra regressionsligningen baseret på koncentrationmålingerne, der er målt hver time indenfor perioden (figur 6.10).

Regressionsligningen for formaldehydkoncentrationen er:

$y = -0,75294x + 15,337$, hvor x er timer. Regressionskoefficient (R) = 1, hvilket betyder at ligningen kan beskrive 100 % af omsætningen. Det må dog bemærkes, at beregningen baserer sig på kun 3 punkter.

Figur 6.10 Formaldehydomsætning i sektion 1 på model 1 dambrug C den 30. juni 2008 efter tilsætning af 14 liter 37 % formalin kl. 11:30 i sektion 1. Formalinkoncentrationen fra de to sidste timer før der igen blev åbnet for fuld flow er indlagt. Regressionsligningen er beregnet.



Indledende reduktion

Ifølge regressionsligningen var startkoncentrationen fra den koncentration, der blev beregnet ud fra den tilsatte mængde formaldehyd og det beregnede vandvolumen.

Volumen i produktionsenheden blev beregnet til 352 m³ og startkoncentrationen var ifølge regressionsligningen til 15,34mg/l. Det giver en startmængde på 352*15,34 g = 5400 g.

Indledende reduktion 5594g-5400 g = 194 g

Indledende reduktion pr. volumen (194 g/352 m³) = 0,551g/ m³

Indledende reduktion svarer til 3,5 % af den tilsatte mængde.

Mikrobiel omsætning

Koncentrationsændring af formaldehyd var ifølge regressionsligningen pr. time = 0,753 mg/l (0,753 g/m³*h).

Omsætningsrate i sektion 1 (352 m³)/t = 265g/t

Det kan beregnes, at koncentrationen teoretisk vil være 0 efter 22 timer ($x=15,088/(0,6784) = 20,37$ timer).

Det er under forudsætningen af at omsætningsraten er konstant og al den tilsatte formaldehyd blev omsat mikrobielt.

1.3.2 Plantelagunen

I plantelagunen var dam 19 og 20 ikke i drift, derfor reduceres det oplyste areal og volumen med 10 %.

Forsøg fra den 30. juni

Formalin tilsat sektion 1:

Omsætninger	Formaldehyd	% af tilført
Produktionsenhed tilført:	5594 g	100 %
Udløb fra behandlet sektion	4124 g	69,9 %
Omsat i sektion 1	1470 g	30,1 %
Omsat i sektion 2 og 3 (4124-3778)	346 g	6,2 %
Indløb plantelagune	3778 g	67,5 %
Udløb fra plantelagunen	1532 g	27,4%
Omsat i plantelagunen	2246 g	40,2 %

Vandets gennemsnitlige opholdstid i plantelagunen (3510 m³/91 l/s) = 10 timer og 43 min. I nedenstående beregninger er anvendt 10,5 timer

Omsætningsrate i plantelagunen		Omsætning pr. time
Omsat formaldehyd	2246 g	213 g/t
Omsat pr volumen (3510 m ³)	0,642 g/m ³	61 mg/t* m ³
Omsat pr areal (3870 m ²)	0,580 g/m ²	55 mg/t* m ²

Forsøg fra den 1. juli

Forsøg direkte før indløb til plantelagunen:

Indløb plantelagune	15355 g	100 %
Udløb fra plantelagunen	8516 g	55,5 %
Omsat i plantelagune	6839 g	44,5 %

Omsætningsrate i plantelagunen		Omsætning pr time
Omsat formaldehyd (15355-8516 g)	6839 g	651 g/t
Omsat pr volumen (3510 m ³)	1,948 g/m ³	186 mg/t* m ³
Omsat pr areal (3870 m ²)	1,767 g/m ²	168 mg/t* m ²

Beregningsusikkerhed

Der var ikke opsat ekstra prøvetagere til udtagning af prøver, som gjorde det muligt at beregne usikkerheden i beregningen af formalinmængderne på dette dambrug. Det antages, at usikkerheden var af samme størrelsesorden som for de øvrige dambrug i undersøgelsen.

Bilag 7

Traditionelt Dambrug A

1.1 Beskrivelse af dambruget

1.1.1 Produktionsenheden

Dambruget består af jorddamme med for- og bagkanal. Formalinforsøget blev udført i en dam i et afsnit af dambruget, hvor syv ud af i alt otte damme var i brug. Forkanalen leverede vand til 2 klækkehuse. Vandet fra det ene klækkehus blev udledt øverst i bagkanalen, og fra det andet nederst i bagkanalen lige inden det blev ledt ud i fældningsbassinet, hvorfra det løb ud i vandløbet.

Bagkanalen blev opmålt til ca. 220 m³ og fældningsbassinet til ca. 370 m³. Umiddelbart inden forsøget blev dammen fyldt med vand, og der blev tilført 2,5 tons fisk, i bagkanalen var der 5 tons fisk. Forsøgsdammens vandvolumen blev bestemt til 117 m³ efter saltmetoden. Efter formalin-tilsætningen var der lukket for forsøgsdammens indløb og udløb i ca. 5 timer. Vandvolumenet i dammen var i denne periode uforandret, da der ikke var nogen ændring i vandspejlshøjden.

Vandflow i indløbet til forkanalen blev med vingemåler målt til 289 l/s og i udløbet til bundfældningsbassinet til 306 l/s. Flowet fra forsøgsdammen til bagkanalen blev med vandur målt til 16,7 l/s. Det var ikke muligt at måle flowet efter fældningsbassinet, men det antages, at der var vandbalance over fældningsbassinet.

1.1.2 Prøvetagning og feltmålinger

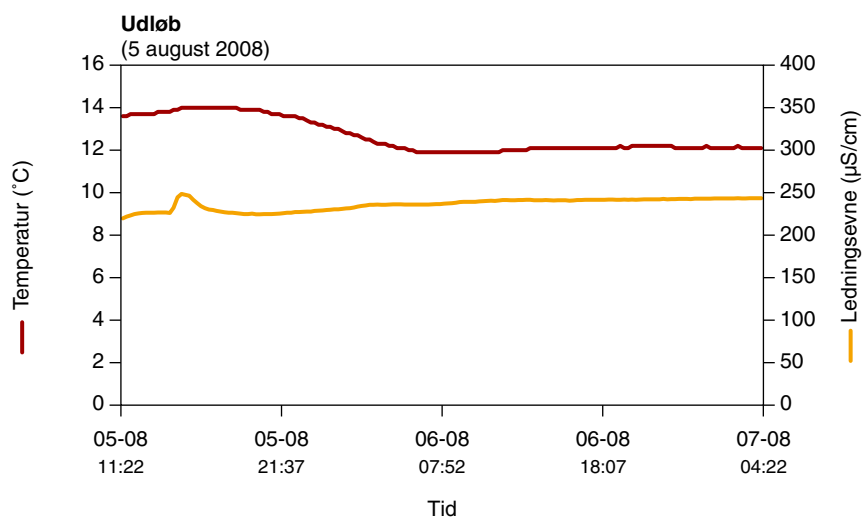
Der blev opstillet 4 automatiske prøvetagere, to i dammens udløb, en i udløbet af bagkanalen og en i fældningsbassinet. Der blev udtaget prøver med 1 times intervaller undtaget ved den ene prøvetager i dammen, hvor der blev udtaget prøver med 15 minutters intervaller.

Temperatur, iltindhold og ledningsevne blev målt manuelt rundt på dambruget. I udløbet fra dambruget blev ledningsevne og temperatur målt med en automatisk ledningsevne måler med 15 minutters intervaller.

1.1.3 Vandtemperatur

Vandtemperaturen i forsøgsdammen var mellem 12 - 13,7 °C, temperaturen var højest den første dag. I udløbet fra fældningsbassinet var temperaturen højest kl. 18:30 på 14 °C, hvorefter den faldt gennem natten og forblev på ca. 12 °C i resten af måleperioden (figur 7.1).

Figur 7.1 Ledningsevne ($\mu\text{S}/\text{cm}$) og vandtemperatur ($^{\circ}\text{C}$) i udløbet fra fældningsbassinet på traditionelt dambrug A fra den 5. august 2008 og 2 døgn frem. Ledningsevnen blev målt med sonde hver 15 minut og relateret til 25°C .



1.2 Forsøg

Samtidig med at der blev doseret med formalin, blev der tilsat salt, da salt i modsætning til formalin ikke bliver omsat i dambruget. Målingerne af saltkoncentrationen er brugt til at følge fortyndingen gennem dambruget og til beregning af vandvolumenet i forsøgsdammen. Saltkoncentrationen blev målt indirekte ved måling af ledningsevnen. Registreringen af ændringer i saltkoncentrationen blev vanskeliggjort af, at baggrundsledningsevnen kunne ændre sig i forbindelse med fodring, da der ved fiskenes omsætning af foder sker en mineralisering, som vil påvirke saltkoncentrationen.

1.2.1 Volumenberegning ud fra saltmetoden

Der blev tilsat 28 kg opløst salt til forsøgsdammen. Saltet antaget at være fuldt opblandet efter en halv time.

Ledningsevne målt i dambrugsvand	217 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Ledningsevne målt i dambrugsvand tilsat 50 mg/l salt	322 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Ledningsevne bidrag pr. 50 mg/l salt ($322 - 217$)=	105 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Ledningsevne målt i forsøgsdammen efter opblanding i vandvolumenet	720 $\mu\text{S}/\text{cm}$
--	-----------------------------

28 kg salt gav en stigning i ledningsevnen på ($720 - 217$) =	503 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Saltkoncentrationen var da ($503 \cdot 50 / 105$)	239,5 mg/l
Vandvolumen beregnes til ($28000 / 239,5$) =	117 m^3

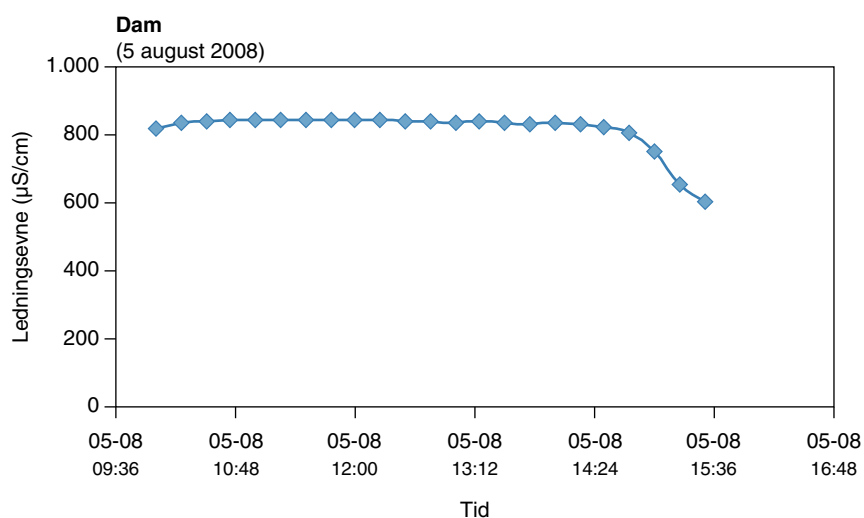
1.2.2 Forsøg med formalin og salt den 5. aug. 2008

28 kg salt blev tilført forsøgsdammen den 5. august kl. 9:20 og kl. 10:20 6 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 2397 g formaldehyd. Inden tilsætningen blev der lukket for ind- og udløb af dammen. Stofferne blev fordelt langs siderne af dambruget, og for at sikre en hurtig opblanding samt at fiskene havde tilstrækkelig ilt, blev der opsat en padlebelufter centralt i dammen. Vandflowet blev åbnet igen kl. 14.

Da formalin og salt var totalopblandet i dammen før det blev ledt ud igen, vil der være et tidsmæssigt sammenfald for formalin og salt i bagkanal og fældningsbassin.

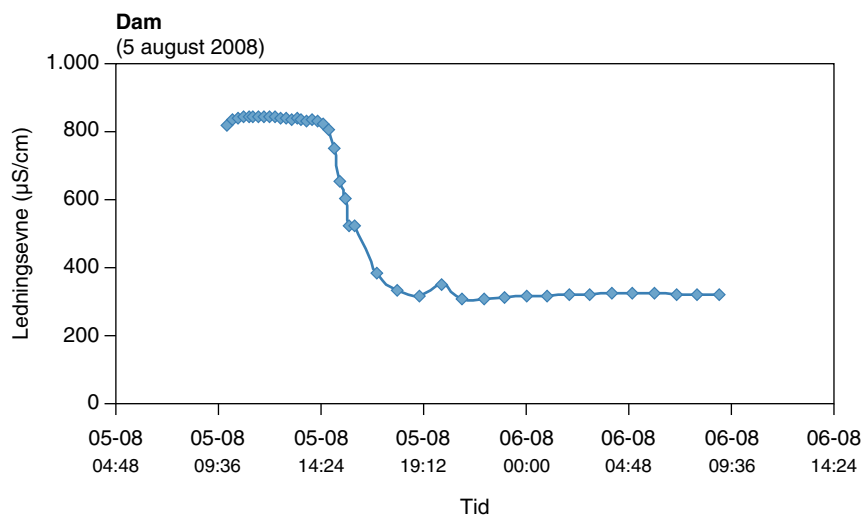
Saltet var opblandet efter 1 time. Ledningsevnen faldt meget lidt fra 845 til 832 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i løbet af de ca. 5 timer, der var lukket for ind og udløb af vand til dammen. Efter at der blev genåbnet for flowet, faldt ledningsevnen svagt den første halve time, inden der kom et kraftigt fald (figur 7.2). Det tog lidt tid før ledningsevnen i udløbet fra dammen blev påvirket af fortyndingen fra indtagsvandet.

Figur 7.2 Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i forsøgsdammen på traditionelt dambrug A den 5. aug. 2008. Dammen fik tilsat 28 kg opløst salt kl. 9:20. Der var lukket for flowet gennem dammen indtil kl. 14. Der blev taget en prøve hvert kvarter.



Ledningseven i dammen var faldet til samme niveau som indtagsvandets ledningsevne kl. 19, hvilket var 5 timer efter at blev genåbnet for flowet (figur 7.3).

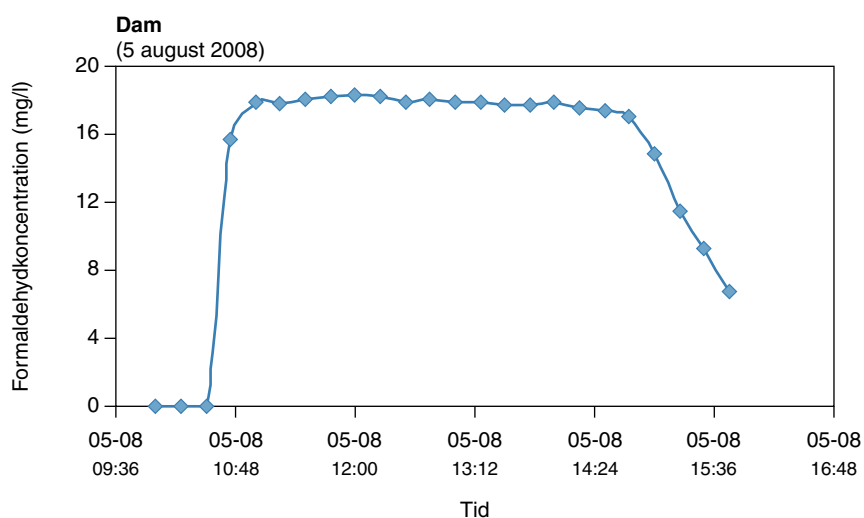
Figur 7.3 Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i forsøgsdammen på traditionelt dambrug A den 5. aug. 2008. Der blev tilsat 28 kg opløst salt kl. 9:20. Der blev åbnet for flowet igen kl. 14. Der blev taget en prøve hvert kvarter de første 6 timer og derefter hver time.



1.2.3 Formalinforsøg

Det var tilstræbt at startkoncentrationen af formaldehyd skulle være ca. 20 mg /l. Med et vandvolumen i forsøgsdammen på 117 m³ gav tilsætning af 6 liter 37 % formalin (2397 g formaldehyd) en formaldehydkoncentration på 20,5 mg/l. Formalin blev tilsat kl. 10:20 og var totalopblandet i vandvolumenet efter en time (figur 7.4). Der blev igen åbnet for ind og udløb til dammen kl. 14:00. Mens der var lukket for flowet gennem dammen, var der et svagt fald i koncentrationen som følge af omsætning.

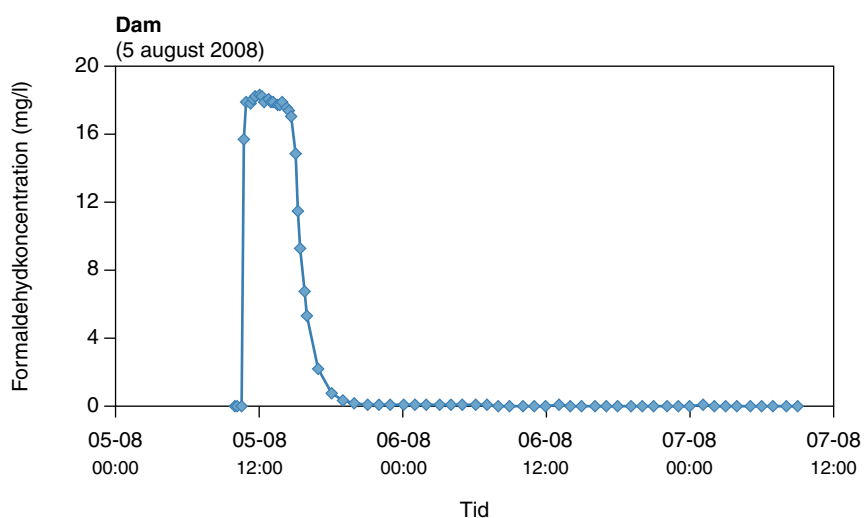
Figur 7.4 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i forsøgsdammen på traditionelt dambrug A den 5. aug. 2008. Dammen fik tilsat 6 liter formalin kl. 10:20. Klokket 14 blev der åbnet for flowet igen. Der blev taget en prøve hvert kvarter.



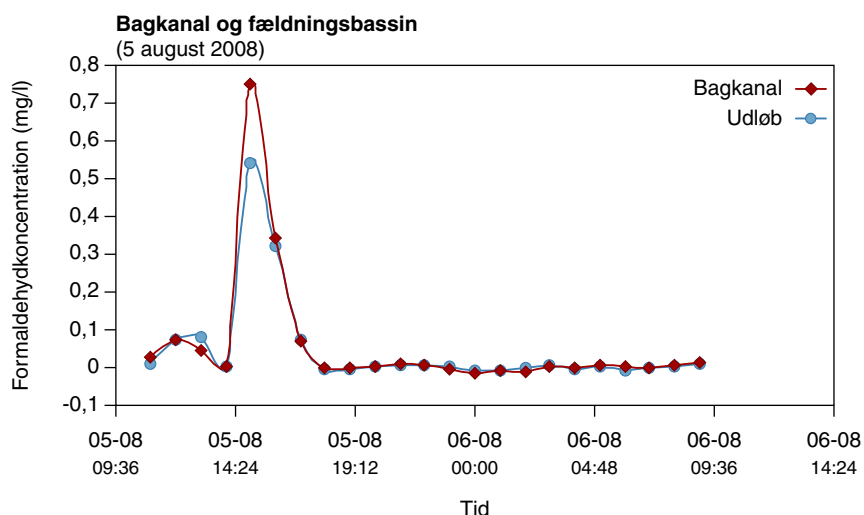
Formaldehydkoncentrationen i dammen fulgte forløbet for ledningsevnen (figur 7.2).

Formaldehyden blev fortyndet ud af dammen til koncentrationen var under detektionsgrænsen for formaldehyd på 40µg/l ca. kl. 20 eller ca. 5 timer efter genåbning af flowet, som det også var tilfældet med saltet. (figur 7.5). Samtidig med at formaldehyd blev fortyndet ud af dammen var der en svag omsætning af formaldehyd, som det også var tilfældet inden der blev åbnet op for flowet.

Figur 7.5 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i forsøgsdammen på traditionelt dambrug A den 5. aug. 2008 og halvanden døgn frem. Dammen fik tilsat 6 liter formalin kl. 10:20. Der blev der åbnet for flowet igen kl. 14. Der blev taget en prøve hvert kvarter de første 6 timer og derefter hver time.



Figur 7.6. Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i udløbet fra bagkanal og fældningsbassin (udløb) på traditionelt dambrug A den 5. aug. 2008 i halvanden døgn efter formalintilsætning. Dammen fik tilsat 6 liter formalin kl. 10:20. Der blev åbnet for flowet igen kl. 14. Der blev taget prøver hver time.

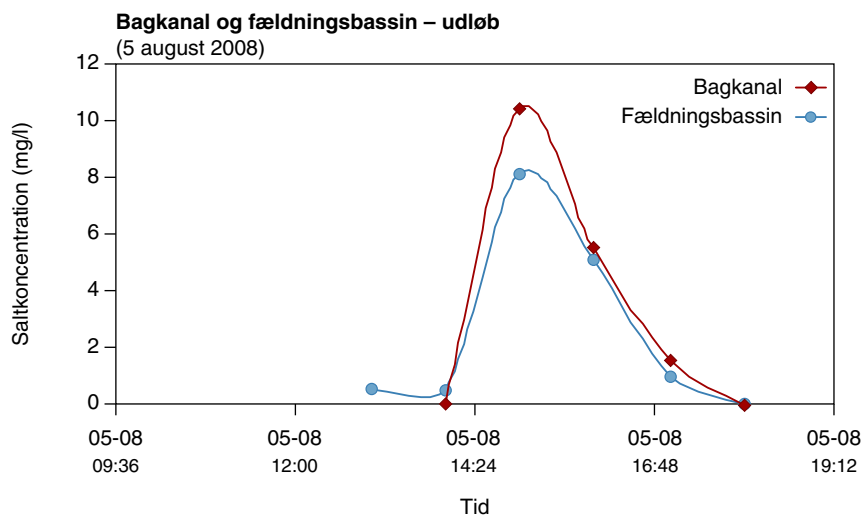


Vandet var meget uklart om morgenen den 5. aug. på grund af meget kraftig nedbør i løbet af natten. Den kraftige nedbør havde medført at fint patikulært materiale (svæv) var skyllet ud i vandløbet, hvorfra dambruget tager vand ind. Svævet betød, at der ved analysen af formaldehyd var en høj basisabsorption ved den spektrofotometriske analyse af formaldehyd. Denne "falske" koncentration blev trukket fra den målte formaldehydkoncentration for at få den rette koncentration. Dette er illustreret i figur 7.6 hvoraf det fremgår, at toppen for den rette formaldehydkoncentration startede lige efter kl. 14, og sluttede kl. 19 med maksimum kl. 15 på 0,75 mg/l i udløbet fra bagkanalen, og på 0,54 mg/l i udløbet fra fældningsbassinet. Gennemsnitskoncentrationen over 4 timer var på 0,19 mg /l i udløbet fra dambruget. Formaldehydkoncentrationen forløb parallelt i udløbet fra bagkanalen og i fældningsbassinet.

Saltkoncentration

De højeste saltkoncentrationer i udløbet fra bagkanalen og i fældningsbassinet var 10,4 og 8 mg/l (figur 7.7)

Figur 7.7 Saltkoncentrationen i udløbet af bagkanal og fældningsbassin på traditionelt dambrug A den 5. Aug. 2008. Forsøgsdammen fik tilsat 10 kg salt kl. 9:20. Der blev åbnet for flow igen kl. 14.



Målingerne af ledningsevnen med sonde i udløbet af fældningsbassinet viste (figur 7.1), at der kom en top der startede kl. 14:22, hvilket er 22 minutter efter at der blev genåbnet for flowet gennem dammen, og maksimum blev målt kl. 15:07. Toppen sluttede kl. 19:22. Alt saltet var ude af dambruget 5,5 timer efter genåbningen af flowet.

1.3 Formaldehydomsætning

Efter formaldehydtilsætning til forsøgsdammen var der et svagt fald i formaldehydkoncentrationen som skyldes dels en indledende reduktion og dels en mikrobiel omsætning i dammen.

1.3.1 Dammen

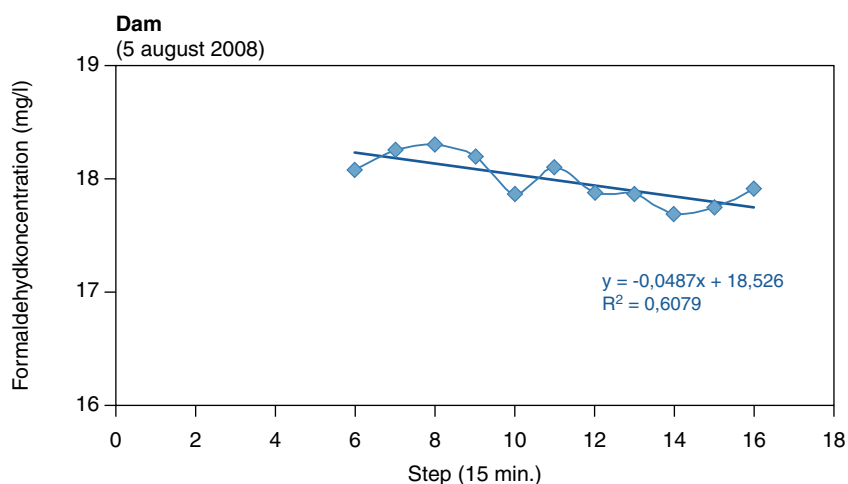
Der blev tilsat 6 liter formalin (37 % formaldehyd) til vandet i forsøgsdammen, hvilket svarer til 2397 g formaldehyd i et vandvolumen på 117 m³. Det gav en startkoncentration på 20,5 mg/l.

Koncentrationen til et givet tidspunkt indenfor de første fem timer efter formaldehydtilsætningen og efter total opblanding kan beregnes ud fra regressionsligningen (figur 7.8), der er baseret på formaldehydkoncentrationerne målt hvert 15. minut indenfor perioden.

Regressionsligningen for formaldehydkoncentrationen er

$Y = -0,0487X + 18,528$ hvor x er 15 minutter. Regressionskoefficienten (R^2) = 0,6079, hvilket betyder, at regressionsligningen kan forklare 61 % af formaldehydkoncentrationen.

Figur 7.8 Formaldehydomsætning i forsøgsdam på traditionelt dambrug A den 5. aug. 2008 efter tilsætning af 6 liter 37 % formaldehydopløsning kl. 10:20. Formaldehydkoncentrationen fra kl. 11:30 til kl. 14 er vist. Der var lukket for ind- og udløb fra kl. 10-14. Regressionsligningen er beregnet.



Indledende reduktion

Ifølge regressionsligningen var startkoncentrationen forskellig fra den koncentration, der blev beregnet ud fra den tilsatte mængde formaldehyd og vandvolumenet. Startkoncentrationen var ifølge regressionsligningen 18,5 mg/l. Differencen mellem de to koncentrationer skyldes en indledende reduktion.

Indledende reduktion: $(20,505 - 18,5280) = 1,98 \text{ mg/l}$ ($1,98 \text{ g/m}^3$)

Indledende reduktion i dam (117 m^3) = $117 * 1,98 \text{ g} = 232 \text{ g}$

Mikrobiel omsætning

Koncentrationsændringen af formaldehyd var ifølge regressionsligningen pr. time $(0,0487 \cdot 4) = 0,19 \text{ mg/l}$ ($0,19 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$).

Omsætningsraten pr. time i dammen (117 m^3) = $22,2 \text{ g}/\text{h}$

Under forudsætning af at al formaldehyd blev omsat mikrobielt og omsætningsraten var den samme kan det beregnes, at koncentrationen teoretisk ville være 0

efter $(18,526/0,1948) = 95,1$ time.

1.3.2 Bagkanal og fældningsbassin

Det valgte tidsrum mellem prøvetagningerne på 1 time var lige lang nok til at fange maksimum af toppen af salt og formaldehyd i udløbet. De mængder, der passerede udløbene i bagkanal og fældningsbassin, blev bestemt ved integration under kurverne over koncentrationsforløbet i forsøgsdammen og derefter gange med flowet.

Mængderne af formaldehyd og salt er underestimerede, men underestimeringen er den samme for både salt og formaldehyd. Omsætningen af formaldehyd skal derfor relateres til ændringen i saltkoncentrationen. Sættes de beregnede mængder i udløbet fra forsøgsdammen til 100 % for begge stoffer, blev 67 % af saltet genfundet i udløbet af bagkanalen og 54 % i udløbet af fældningsbassinet.

Figur 7.7 Saltkoncentrationen i udløbet af bagkanal og fældningsbassin på traditionelt dambrug A den 5. Aug. 2008. Forsøgsdammen fik tilsat 10 kg salt kl. 9:20. Der blev åbnet for flow igen kl. 14.

Sted	Formaldehyd (g)	Procent	Salt (g)	Procent
Tilsat forsøgsdam	2397		28000	
Udløb forsøgsdam	2203	100	28868	100
Udløb bagkanal	1280	58	19202	67
Udløb fældningsbassin/dambrug	859	39	15586	54

De tilsvarende tal for formaldehyd er 58 og 39 %. Det betyder at den egentlige omsætning af formaldehyd var i bagkanal på $(67-58) 9 \%$ og i fældningsbassin $(54-39) 15 \%$.

Omsætning i bagkanalen var 9 % af 2203 g = 198 g
Omsætning pr volumen $(198,3 \text{ g}/220 \text{ m}^3) = 901 \text{ mg/m}^3$
Omsætning pr time $(901 \text{ mg}/5,5 \text{ time}) = 168 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{h}$

Omsætning i fældningsbassinet var 15 % af 2203 g = 330,5 g
Omsætning pr volumen $(330,5 \text{ g}/370 \text{ m}^3) = 893 \text{ mg/m}^3$
Omsætning pr time $(893 \text{ mg}/5,5 \text{ timer}) = 162,4 \text{ mg/m}^3 \cdot \text{h}$

Beregningsusikkerhed

Differensen mellem den tilsatte mængde salt og den beregnede mængde ud af forsøgsdammen er $(28868-28000) = 868 \text{ g}$ der svarer til 3,1 % af den tilsatte mængde. Denne differens inkluderer usikkerhed ved måling, prøvetagning og flowmåling ud af dammen.

Bilag 8

Traditionelt Dambrug B

1.1 Beskrivelse af dambruget

1.1.1 Produktionsenheden

Dambruget består af jorddamme med for- og bagkanal. Formalinforsøget blev udført i den øverste dam i et afsnit af dambruget, hvor der er 21 damme. Vandet til fødekanalen kommer fra en opstemning i vandløbet. Fra forsøgsdammen ledes vandet til bagkanalen længst væk fra udløbet til fældningsbassin, og fra fældningsbassinet ledes vandet ud i vandløbet.

Bagkanalen blev opmålt til ca. 748 m³ og fældningsbassinet til ca. 114 m³. Forsøgsdammens vandvolumen blev bestemt til 92,3 m³ efter saltmetoden. Efter formalintilsætningen var der lukket for ind og udløb af dammen i ca. 4 timer. Vandvolumenet i forsøgsdammen ændrede sig i denne periode og viste sig ved rekalkulering at være steget til 104,4 m³, hvilket er en stigning på 11,2 m³ eller 2,8 m³/t.

Vandflow blev målt over vandstandsbræt i indløb til fødekanal og i udløb fra bundfældningsbassin. Målestederne var ikke optimale, hvilket øger usikkerheden på målingerne. Flowet ud af forsøgsdammen blev målt med vandur.

Dato	18 aug.	19 aug.	20 aug.
Indløb dambrug	119 l/s	119 l/s	108 l/s
Udløb bagkanal	143 l/s	151 l/s	
Ud af forsøgsdam	8,7 l/s		

Der løber således betydeligt mere vand ud af dambruget end ind.

Forsøgsdammen indeholdt under forsøget 2 tons fisk og bagkanalen 9 tons fisk.

1.1.2 Prøvetagning og feltmålinger

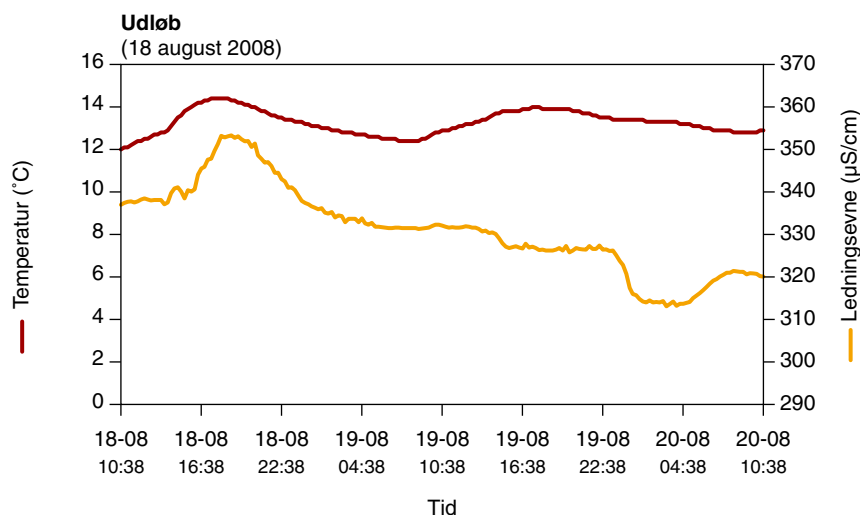
Der blev opstillet 4 automatiske prøvetagere, to i dammens udløb, en i udløbet til bagkanalen og en i fældningsbassinet. Der blev udtaget prøver med 1 times intervaller, undtaget ved den ene prøvetager i dammen, hvor der blev udtaget prøver med 15 minutters intervaller. Der blev taget prøver i 2 døgn. Prøverne blev analyseret for ledningsevne og formaldehyd.

Temperatur, iltindhold og ledningsevne blev målt rundt på dambruget. I udløbet fra dambruget blev ledningsevne og temperatur målt med en automatisk måler med 15 minutters intervaller.

1.1.3 Vandtemperatur

Vandtemperaturen i forsøgsdammen var mellem 13,2 °C og 13,8 °C ved middagstid med de højeste temperaturer den første dag. I udløbet fra fældningsbassin var temperaturen højest kl. 19 - 20 med 14 - 14,4 °C, og lavest kl. 9 med 12 - 12,2 °C med de højeste temperaturer den første dag (figur 8.1).

Figur 8.1 Ledningsevne (µS/cm) og vandtemperatur (°C) i udløbet fra fældningsbassin på traditionelt dambrug B fra den 18. august 2008 og 2 døgn frem. Ledningsevnen blev målt med sonde hver 15 minut og relateret til 25 °C.



1.2 Forsøg

Samtidig med at der blev tilført formalin til forsøgsdammen, blev der tilsat salt, da salt i modsætning til formalin ikke bliver omsat i dambruget. Målingerne af saltkoncentrationen er brugt til at følge fortyndingen gennem dambruget og til beregning af vandvolumenet. Saltkoncentrationen er målt indirekte ved måling af ledningsevnen. Registreringen af ændringer i saltkoncentrationen blev vanskeliggjort af, at baggrundsledningsevnen kunne ændre sig i forbindelse med fodring, da der ved fiskenes omsætning af foder sker en mineralisering, som vil påvirke saltkoncentrationen.

1.2.1 Volumenberegning ud fra salttilsætning

Der blev tilsat 50 kg salt til forsøgsdammen. Saltet antages at være fuldt opblandet i dammen efter en time.

Ledningsevne målt i dambrugsvand	344 µS/cm
Ledningsevne målt i dambrugsvand tilsat 50 mg/l salt	448 µS/cm
Ledningsevne bidrag pr. 50 mg/l salt	104 µS/cm

Ledningsevne målt i forsøgsdammen efter opblanding 1460 µS/cm

50 kg salt gav en stigning i ledningsevnen på (1460-344) =	1116 µS/cm
Saltkoncentrationen var da (1116*50/104)	536,5 mg/l
Vandvolumenet beregnes til (50000/536,5) =	93,2 m ³

Vandvolumenet øgedes mens der var lukket for ind og udløb til forsøgsdammen. Det betød, at vandspejlet blev hævet med 2 cm på 3,5 time. Vandvolumenet blev genberegnet kl. 14:40 lige før genåbning. Lednings-

evnen var da 1340 $\mu\text{S}/\text{cm}$, og volumen blev beregnet til 104,4 m^3 , hvilket svarer til en stigning på 11,2 m^3 eller 2,8 m^3/t .

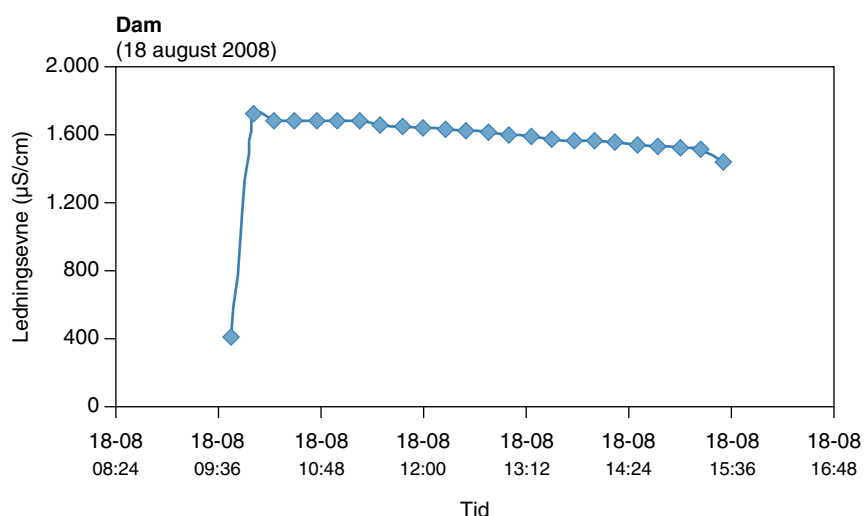
1.2.2 Forsøg med formalin og salt den 18. aug. 2008

50 kg salt blev tilført forsøgsdammen den 18. august 2008 kl. 9:45 og kl. 11 8 liter formalin (23,4 % formaldehyd), der svarer til 1984 g formaldehyd. Inden tilsætningen af salt blev lukket for ind og udløb til forsøgsdammen. Stofferne blev fordelt langs siderne af dammen, der var meget aflang, og for at sikre en hurtig opblanding samt at fiskene havde ilt nok blev der opsat 2 padlebelufter i dammen. Vandflowet blev åbnet igen kl. 14 efter ca. 4 timer.

Da formalin og salt var totalopblandet i dammen, før det blev ledt ud igen, vil der være tidsmæssigt sammenfald for formalin og salt i bagkanal og fældningsbassin.

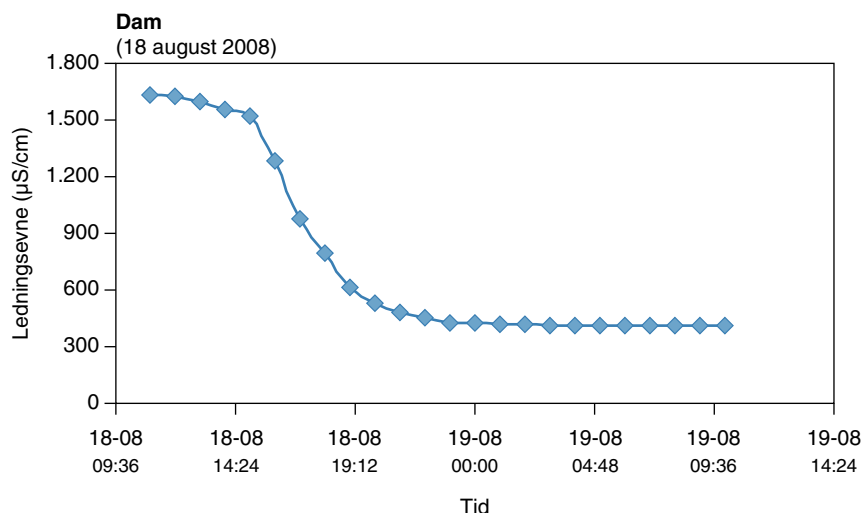
Ledningsevnen stabiliserede sig hurtigt i dammen som følge af den effektive omrøring med 2 padlepiskere og dermed hurtig opblanding af saltet (figur 8.2). Efter lidt over en time (kl. 11:15) faldt ledningsevnen lineært frem til kl. 15, hvor der igen blev åbnet for flowet ind og ud af dammen (figur 8.2). Da der samtidig blev registreret en stigning i vandspejlet, tyder det på, at indløbet ikke har været lukket helt således som planlagt, og at der efter kl. 11:15 er sivet vand ind gennem indløbet.

Figur 8.2 Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i forsøgsdammen på traditionelt dambrug B den 18. aug. 2008. Dammen fik tilsat 50 kg opløst salt kl. 9:45. Klokkeren 15 blev der åbnet for flowet igen. Der blev taget en prøve hvert kvarter.



Ledningsevnen faldt hurtigt efter genåbningen af flowet gennem forsøgsdammen kl.15. Fra kl. 24:00 var ledningsevnen nede på samme niveau som i indtagsvandet (figur 8.3). Det tog således 9 timer at tømme forsøgsdammen for salt.

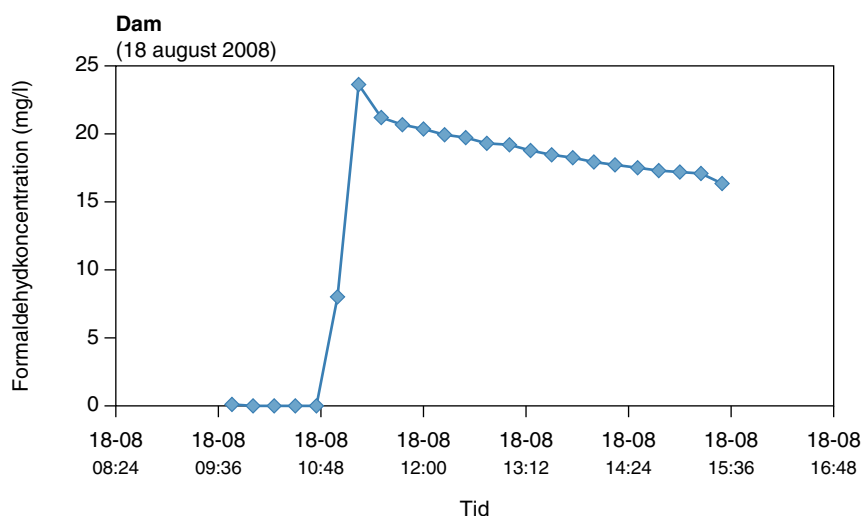
Figur 8.3 Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i dammen på traditionelt dambrug B den 18. aug. 2008. Dammen fik tilsat 50 kg opløst salt kl. 9:45. Der blev åbnet for flowet igen kl. 15. Der blev taget en prøve hver time.



Formalinforsøg

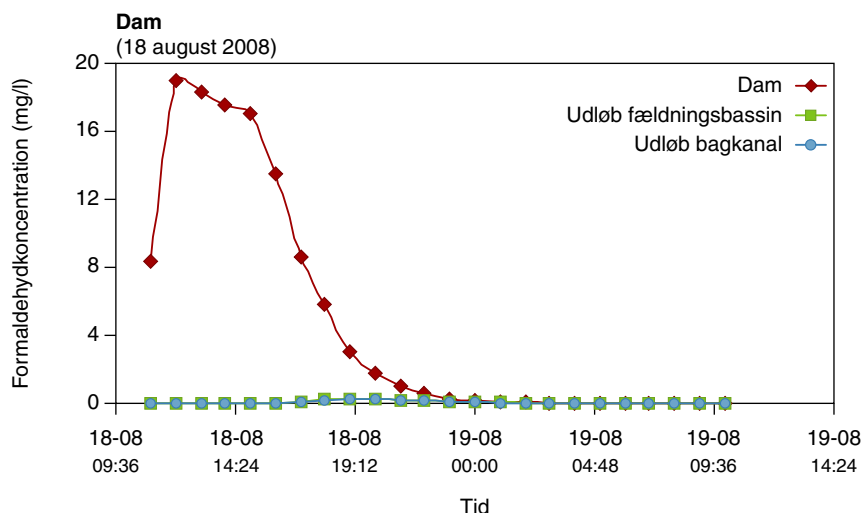
Det var tilstræbt, at startkoncentrationen af formaldehyd skulle være ca. 20 mg/l. Med et vandvolumen i forsøgsdammen på 93,2 m³ gav tilsætning af 8 liter formalin (23,4 % formaldehyd) en formaldehydkoncentration på 21,3 mg/l. Formalinen blev tilsat kl. 10:55 og var totalopblandet indenfor ca. en halv time (figur 8.4). Ligesom for ledningsevnen var der et fald i koncentrationen frem til der igen blev åbnet for flowet kl. 15:00. Det skyldes dels en omsætning af formaldehyd, og dels en fortynding som følge af vandindsivning til dammen.

Figur 8.4 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i forsøgsdammen på traditionelt dambrug B den 5. aug. 2008. Dammen fik tilsat 8 liter formalin (23,4 % formaldehyd) kl. 11. Der blev åbnet for flowet igen kl. 15. Der blev taget en prøve hvert kvarter.



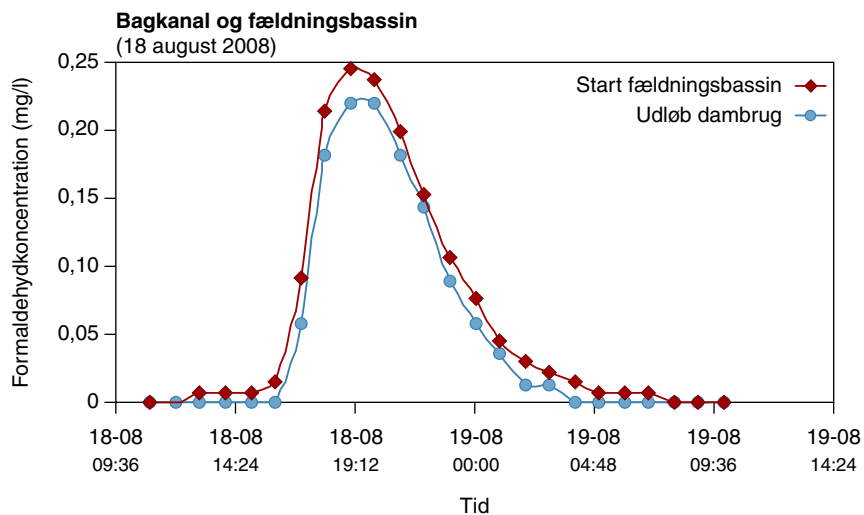
Formaldehydkoncentrationen faldt hurtigt efter genåbningen af flowet, og var helt ude af dammen 8 timer senere, dvs. en time hurtigere end saltet (figur 8.5). Årsagen hertil er, at formaldehyd ud over fortyndingen også omsættes, hvorimod saltet kun fortyndes ud af dammen.

Figur 8.5 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i forsøgsdammen og udløbet fra bagkanal og fældningsbassin på traditionel dambrug B den 18. aug. 2008. Dammen fik tilsat 8 liter 23,4 % formalin kl. 11. Der blev åbnet for flowet igen kl. 15. Der blev taget en prøve hvert kvarter.



Formaldehyden nåede frem til udløbet af bagkanalen kl. 16, det vil sige en time efter at der blev genåbnet for flowet gennem dammen, og nåede maksimumkoncentration kl. 19 for helt at være ude af bagkanalen kl. 5 næste morgen (figur 8.6). Koncentrationsforløbet var det samme i udløbet fra fældningsbassinet og dermed ud af dambruget. Der var en tendens til en lille forsinkelse af toppens maksimum i fældningsbassinet i forhold til bagkanalen. Det ret identiske forløb i bagkanal og fældningsbassin skyldes, at fældningsbassinet er meget lille (114 m³) i forhold til bagkanalen (748 m³). Den maksimale koncentration i udløbet fra fældningsbassinet var på 0,25 mg/l og havde over 13 timer et gennemsnit på 0,10 mg/l.

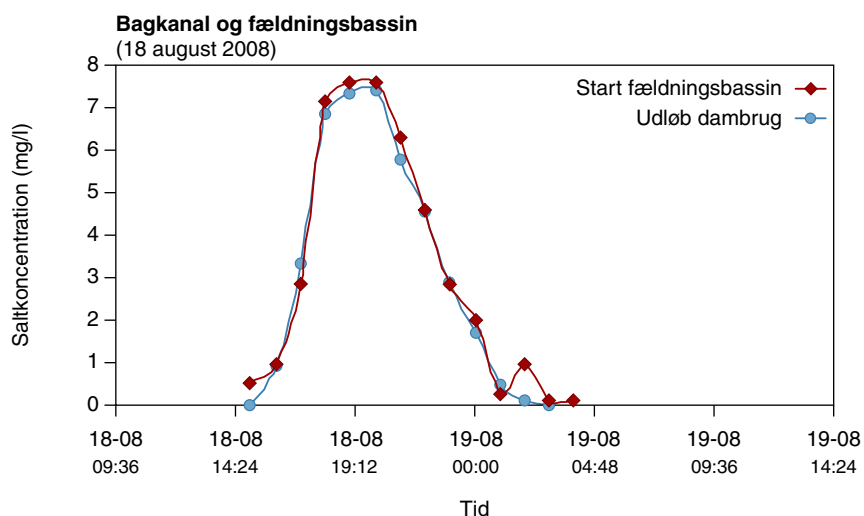
Figur 8.6 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i udløb fra bagkanal og fældningsbassin på traditionelt dambrug B den 18. aug. 2008. Dammen fik tilsat 8 liter 23,4 % formalin kl. 11. Der blev åbnet for flowet igen kl. 15. Der blev taget en prøve hvert time.



Saltkoncentration

Forløbet af saltkoncentrationen i bagkanalen og fældningsbassinet var det samme som forløbet af formalinkoncentrationen med en maksimumkoncentration kl. 19 (figur 8.7).

Figur 8.7 Saltkoncentration i udløbet fra bagkanal og fældningsbassin på traditionelt dambrug B den 18. aug. 2008. Dammen fik tilsat 50 kg opløst salt kl. 9:45. Der blev åbnet for flowet igen kl. 15. Der blev taget en prøve hvert kvarter.



Målingerne af ledningsevnen med sonde hvert 15. minut i udløbet fra fældningsbassinet viste, at der kom en top, der startede kl. 16:08 eller 68 minutter efter, at der var genåbnet for flowet gennem dammen (figur 8.1). Toppens maksimum målt kl. 18:53, og toppen sluttede kl. 5:53. Alt saltet var ude af dambruget 15 timer efter genåbningen af flowet.

1.3 Formaldehydomsætning

Efter formaldehydtilsætning til forsøgsdammen faldt formaldehydkoncentrationen de første timer, mens der var lukket for flowet gennem dammen. Det skyldes normalt en indledende reduktion samt mikrobiel omsætning og eventuel fortynding som følge af indsivning af vand til dammen.

1.3.1 Dammen

Der blev tilsat 8 liter formalin (23,4 % formaldehyd) til forsøgsdammen, hvilket svarede til 1984 g formaldehyd i et volumen på 93,2 m³ eller en startkoncentration på 21,29 mg/l.

Koncentrationen til et givet tidspunkt, mens der var lukket for flowet, og efter at opblandingen var fuldstændig, kan beregnes ud fra regressionsligningen, der er baseret på formaldehydkoncentrationen målt hvert 15. minut indenfor perioden (figur 8.8).

Regressionsligningen for formaldehydkoncentrationen er

$$Y = - 0,276x + 21,788, \text{ hvor } x \text{ er 15 minutter. Regressionskoefficientent } (R^2) = 0,9876,$$

hvilket betyder, at ligningen kan forklare 98,8 % af formalinomsætningen.

Indledende reduktion

Startkoncentrationen var ifølge regressionsligningen 21,788 mg/l.

Indledende reduktion (21,288-21,788 mg/l) = -0,5 mg/l.

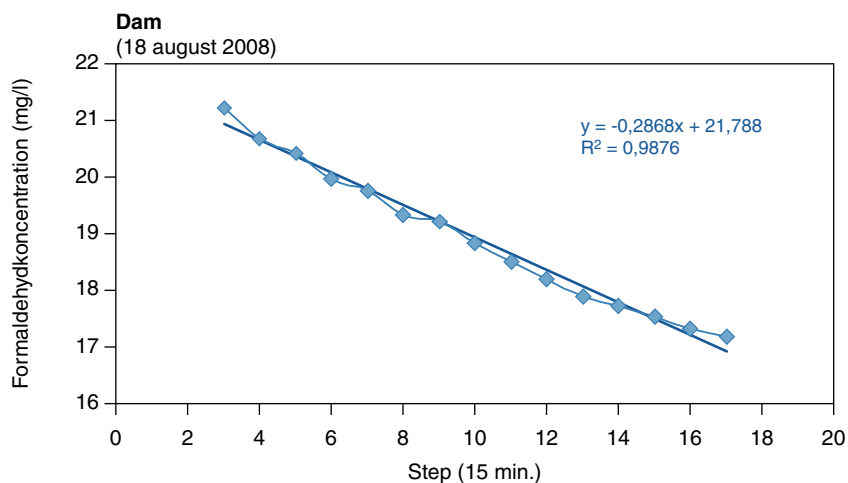
Der kunne således ikke registreres nogen indledende reduktion på dambruget.

Differensen på -0,5 mg/l udgør 2,4 % af startkoncentrationen og var inden for usikkerheden i bestemmelse af såvel volumen, regressionsligningen og startkoncentrationen af det benyttede formalin.

Mikrobiel omsætning

Koncentrationsændringen af formaldehyd var ifølge regressionsligningen pr. time ($0,2868 \cdot 4$) = 1,147 mg/l (1,15 g/m³ pr. time). Denne koncentrationsændring skyldes bidrag fra omsætning og fortynding som følge af indsivning af vand til forsøgsdammen.

Figur 8.8 Formaldehydomsætning i dam på traditionelt dambrug B den 18. aug. 2008 efter tilsætning af 8 liter 23,4 % formalin kl. 11 i forsøgsdammen. Formalinkoncentrationen fra kl. 11:30 til kl. 14 er indlagt. Der var lukket for ind- og udløb fra kl. 10:30-15. Regressionsligningen er beregnet.



Vandindsivningen til forsøgsdammen, mens der var lukket for ind og udløb, udgjorde 2,8 m³ pr. time. Fortyndingen af salt og formaldehyd som følge af indsivningen var den samme, og fortyndingsbidraget til "fjernelse" af formaldehyd kan således beregnes ud fra beregning af ændringen i saltkoncentrationen.

Regressionsligningen for fortyndingen er vist i figur 9.9 og er:

$$Y = -4,161x + 565,98, \text{ hvor } x \text{ er 15 minutter.}$$

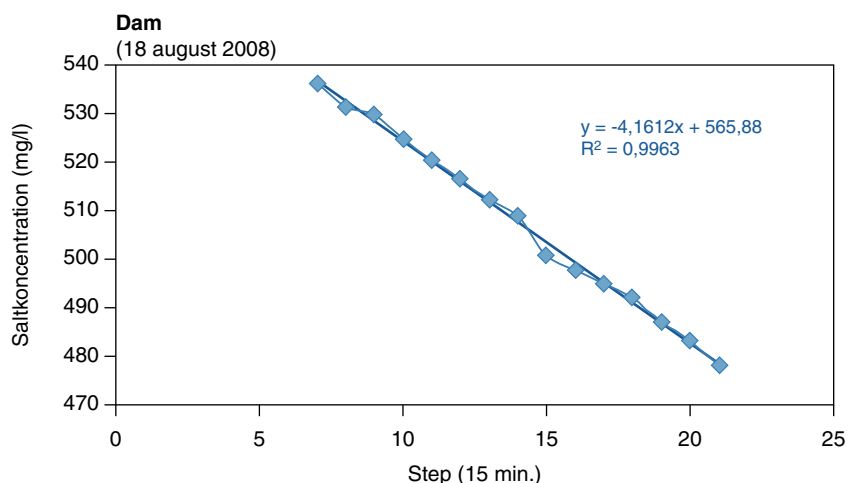
Fortyndingsfaktoren pr. time er således: $(565,98 - 4,161 \cdot 4) / 565,98$

Koncentrationsændringen af formaldehyd efter korrektion for indsivning var efter 1 time $1,147 \cdot ((565,98 - 4,161 \cdot 4) / 565,98) = 1,113$ mg/l svarende til 1,11 g/m³ pr. time.

Den totale omsætningshastighed i dammen med et vandvolumen på 93,2 m³ var således 103,8 g/ pr. time.

Under forudsætning af at alt formaldehyd blev omsat mikrobielt og omsætningsraten var den samme, kan det beregnes, at koncentrationen teoretisk vil være nul efter $(21,788 / 1,114) = 19,6$ time.

Figur 8.9 Saltfortynding i forsøgsdam på traditionelt dambrug C den 25. aug. 2008 efter tilsætning af 50 kg opløst salt kl. 9:45. Saltkoncentrationen fra kl. 11 til 15 er vist. Der var lukket for ind- og udløb fra kl. 9:30-15. Regressionsligningen er beregnet.



1.3.2 Bagkanal og fældningsbassin

Det valgte tidsrum mellem prøvetagningerne på 1 time var passende til at fange maksimum af toppen af koncentrationen af salt og formaldehyd i udløbet. De mængder, der passerede udløbene i bagkanalen og fældningsbassinet, blev bestemt ved integration under kurverne over koncentrationsforløbet i forsøgsdammen og gange med flowet.

Kraftig nedbør i løbet af aftenen medførte store ændringer i ledningsevnen, og det var derfor ikke muligt at beregne saltkoncentrationerne i bagkanalen og fældningsbassinet. Sættes den beregnede formaldehydmængde i udløbet af dammen til 100 %, viste det sig, at henholdsvis 47 % og 38 % blev genfundet i udløbet af bagkanalen og fældningsbassinet (tabel 8.1). Der var intet, der indikerede, at der ikke løb den samme mængde vand ind og ud af fældningsbassinet på de 13 timer, det tog for formaldehyd at passere. Med denne antagelse blev omsætningen i fældningsbassinet beregnet til 761-624 g = 137 g i fældningsbassinet, hvilket svarede til en omsætning på 18 %. I den væsentlig større bagkanal var den tilførte formaldehydmængde blevet reduceret med 47 %, omsætningen er ikke beregnet.

Tabel 8.1 Formaldehyd (g) i udløb af dam, bagkanal og fældningsbassin på traditionelt dambrug B.

Sted	Formaldehyd (g)	Procent	Salt (g)
Tilsat forsøgsdam	2110		50000
Udløb forsøgsdam på udløbstidspunkt	1780		49837
Udløb forsøgsdam	1630	100	46449
Udløb Bagkanal	761	46,7	-
Udløb dambrug	624	38,3	-

Omsætning i fældningsbassin er 137 g

Omsætning pr. volumen (137 g/114 m³) = 1202 mg/m³

Omsætning pr. time (1202 mg/13 h) = 92,4 mg/m³*h.

Beregningsusikkerhed

Differensen mellem den tilsatte mængde salt og den beregnede mængde ud af forsøgsdammen er (50000-46449) = 3331 g, der svarer til 6,7 % af den tilsatte mængde. Denne differens inkluderer usikkerhed ved prøvetagning, flowmåling og indsigning i dammen og mængdeberegning ved integration under kurverne.

Bilag 9

Traditionelt Dambrug C

1.1 Beskrivelse af dambruget

1.1.1 Produktionsenheden

Dambruget består af jorddamme med for- og bagkanal. Formalinforsøget blev udført i et afsnit af dambruget bestående af 12 damme, hvoraf de 10 var i brug. Forsøget blev gennemført i en dam, der munder ud næst øverst i bagkanalen. Dammen indeholdt 1,1 tons fisk ved forsøget og bagkanalen ca. 13 tons fisk. Vandet til fødekanalen kommer fra en opstemning på vandløbet, men tilføres ad flere veje. Bagkanalen leder vandet til fædningsbassinet og derfra ud til vandløbet.

Bagkanalen blev opmålt til 299 m³ og fædningsbassinet til 165 m³. Forsøgsdammens vandvolumen blev bestemt til 65,2 m³ efter saltmetoden. Efter formalintilsætningen var der i to timer lukket for indløb til og udløb fra forsøgsdammen. Vandvolumenet i dammen ændrede sig i denne periode, på grund af indsvivende vand gennem indløbet eller gennem bunden.

Vandflowet blev målt til 216 l/s over vandstandsbrættet i udløbet fra bundfædningsbassinet. Dagen efter var flowet øget til 231 l/s efter heftig regn igennem natten. Det var ikke muligt at måle indløbsflow til fødekanalen, da der var flere tilløb, plus der blev pumpet vand ind med en brandslange. Flowet ud af dammen blev målt med vandur til 10,8 l/s.

1.1.2 Prøvetagning og feltmålinger

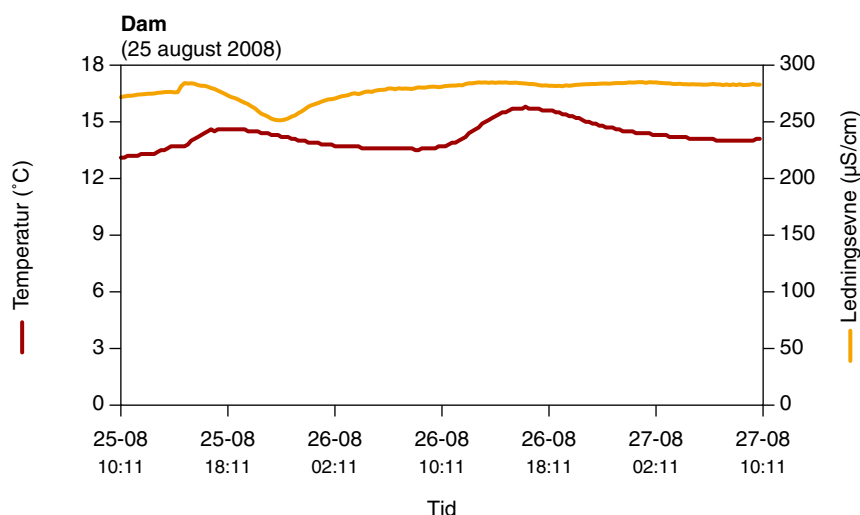
Der var opstillet 4 automatisk prøvetagere, to i dammens udløb, og en i udløbet fra henholdsvis bagkanalen og fædningsbassinet. Prøver blev udtaget med 1 times intervaller undtagen ved den ene af prøvetagerne i dammen, hvor prøver blev udtaget med 15 minutters intervaller. Prøverne blev analyseret for ledningsevne og formaldehyd. Der blev udtaget og analyseret prøver i 2 døgn.

Temperatur, iltindhold og ledningsevne blev målt manuelt rundt på dambruget. I udløbet fra dambruget blev ledningsevne og temperatur målt med en automatisk ledningsevne måler med 15 min. intervaller.

1.1.3 Vandtemperatur

I forsøgsdammen steg temperaturen fra 13,3 °C ved tidspunktet for formalintilsætningen kl. 10 til 14,6 °C kl.14. I udløbet fra fædningsbassinet var temperaturen højest sidst på eftermiddagen med 14,6 - 15,7 °C og lavest om morgenen med 13,2 - 13,6 °C. Temperaturen var højest på andendagen efter formalintilsætningen (figur 9.1).

Figur 9.1 Ledningsevne ($\mu\text{S/cm}$) og vandtemperatur ($^{\circ}\text{C}$) målt i udløbet fra fældningsbassin på traditionel dambrug C fra start af formalintilsætning den 25. august 2008 og 2 døgn frem. Ledningsevne er målt med sonde hver 15 min. og relateret til 25°C .



1.1.4 Flow i dambruget

Dato	25. aug.	26. aug.
Indløb dambrug	-	-
Udløb dambrug	216 l/s	231 l/s (efter kraftig regn om natten)
Forsøgsdam	10,75 l/s	

1.2 Forsøg

1.2.1 Volumenberegning ud fra saltmetoden

Samtidig med dosering af formalin blev der tilsat salt, da salt i modsætning til formalin ikke bliver omsat i dambruget. Målingerne af saltkoncentrationen er brugt til at følge fortyndingen gennem dambruget, til at beregne vandvolumen i forsøgsdammen og til at registrere eventuel ændring i vandvolumenet, mens der var lukket for ind- og udløb. Saltkoncentrationen blev målt indirekte ved måling af ledningsevnen og derfra omregnet til saltkoncentration. Registreringen af ændringer i saltkoncentrationen blev vanskeliggjort af, at baggrundsledningsevnen kan variere i forbindelse som følge af fodring og nedbør. Ved fiskenes omsætning af foder sker der en mineralisering, som vil påvirke saltkoncentrationen.

Beregning:

Ledningsevne målt i dambrugsvand	276 $\mu\text{S/cm}$
Ledningsevne målt i dambrugsvand tilsat 50 mg/l salt	381 $\mu\text{S/cm}$
Ledningsevne bidrag pr 50 mg/l salt (381-276) =	105 $\mu\text{S/cm}$
Ledningsevne målt en time efter tilsætning af 10 kg salt	608 $\mu\text{S/cm}$
10 kg salt giver en stigning i ledningsevnen på (608-276) =	332 $\mu\text{S/cm}$
Saltkoncentrationen beregnes til (332*50/105)	153,3 mg/l
Vandvolumen beregnes til (10000/153,3) =	65,2 m^3

Volumen ændrede sig i dammen, enten ved at der fortsat kom noget vand ind gennem indløbet, eller det tilføres gennem bunden, og vandspejlet hævedes med 2 cm på 3,5 time.

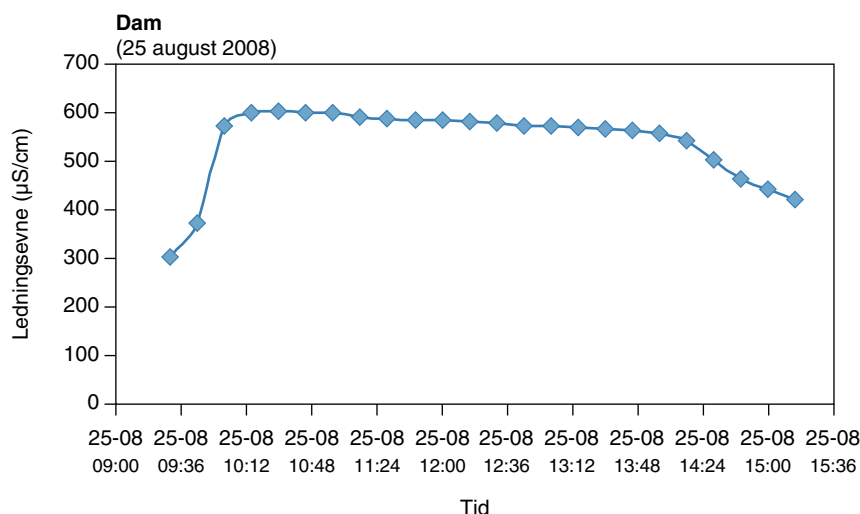
Volumen blev rekalkuleret kl. 13:55, lige før der atter blev åbnet for ind og udløb til dammen, hvor ledningsevnen var på 284 $\mu\text{S}/\text{cm}$ og volumen var på 73,9 m^3 en stigning på 8,7 m^3 på 3,5 time eller 2,5 m^3/t , mens der var lukket for ind og udløb.

1.2.2 Forsøg med formalin og salt den 25. aug. 2008

10 kg opløst salt og 3,5 l formalin (37 % formaldehyd) svarende til 1399 g formaldehyd blev tilsat til forsøgsdammen kl. 9:45. Inden tilsætningen blev der lukket for indløb til og udløb fra dammen. Stofferne blev fordelt langs siderne af dammen. For at sikre en hurtig opblanding, og for at sikre at fiskene havde ilt nok, blev der opsat en padlebelufter centralt i dammen.

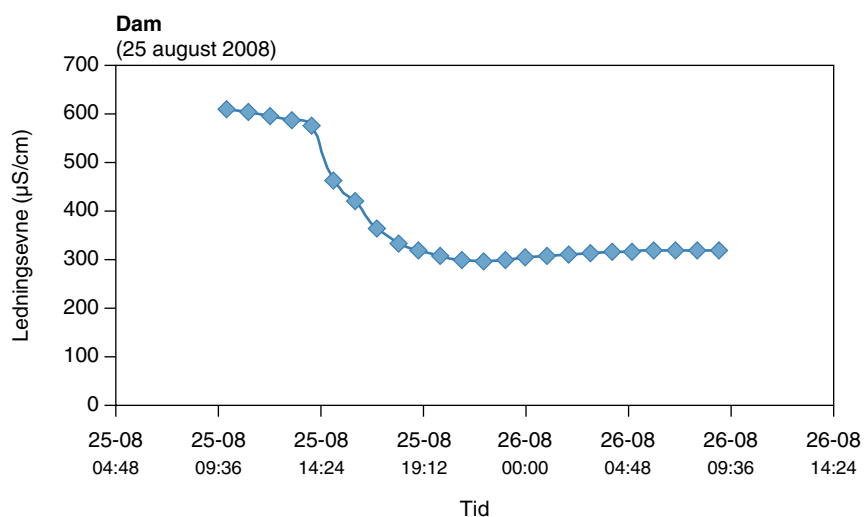
Da formalin og salt var totalopblandet i forsøgsdammen før det blev ledt ud igen, var der sammenfald mellem tidspunktet for, hvornår formalin og salt nåede frem til bagkanal og fældningsbassin.

Figur 9.2 Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i forsøgsdammen på traditionelt dambrug C den 25. aug. 2008 de første fem timer efter tilsætning af salt. Der blev tilsat 10 kg opløst salt kl. 9:45. Der var lukket for flowet (10.8) indtil kl. 14. Der blev taget en prøve hvert kvarter.



Saltet var opblandet efter ca. en halv time, men ledningsevne faldt svagt frem til kl. 14, hvor der igen blev åbnet for ind og udløb med et flow på 10,8 l/s (figur 9.2). Efter genåbningen af ind- og udløb faldt ledningsevnen hurtigt, og kl. 22 var ledningsevnen nede på niveau med ledningsevnen i indtagsvandet (figur 9.3). Derefter steg det igen svagt som følge af store mængder nedbør, der har en højere ledningsevne end indtagsvandet.

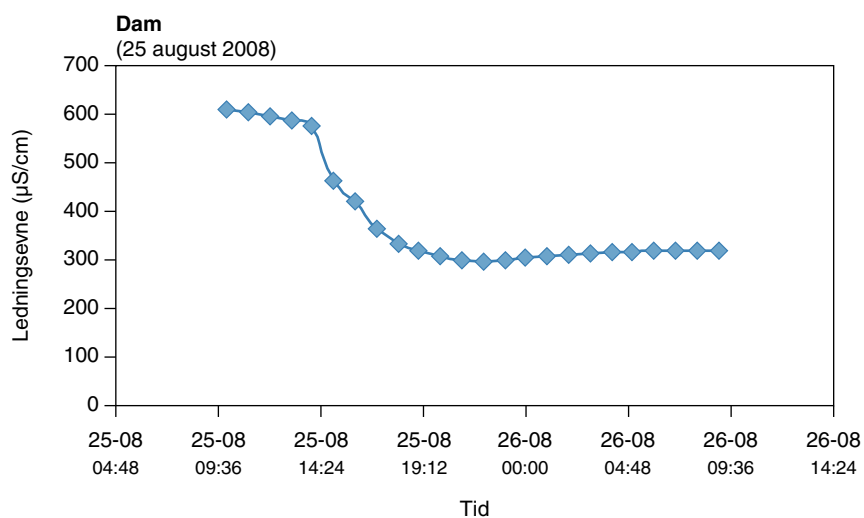
Figur 9.3 Ledningsevnen ($\mu\text{S}/\text{cm}$) i forsøgsdammen på traditionelt dambrug (C) den 25. aug. 2008 de første to døgn efter tilsætning af salt. Dammen fik tilsat 10 kg opløst salt kl. 9:45. Der var lukket for flowet (10.8) indtil kl. 14. Der blev taget en prøve hver time i 2 døgn.



Formalinforsøg

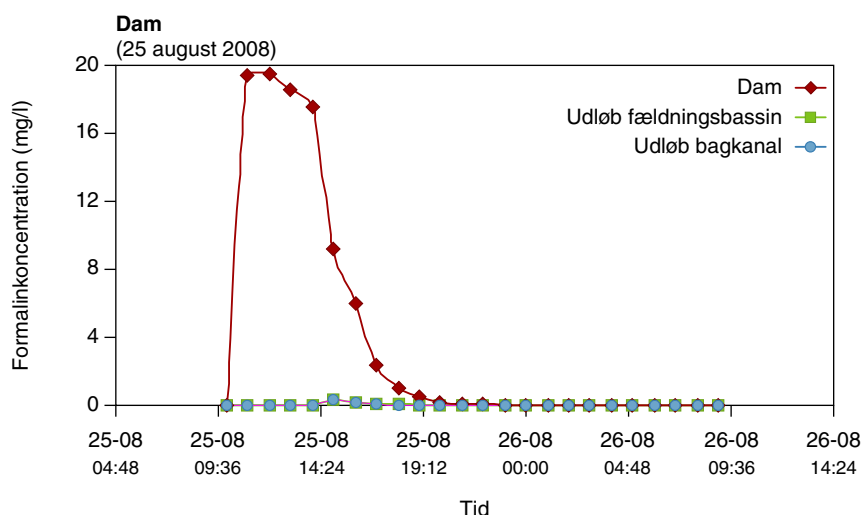
Tilsætning af 3,5 liter formalin til forsøgsdammen svarende til 1399 g formaldehyd gav en formaldehyd koncentration på 21,5 mg/l. Formalinen blev tilsat kl. 10:20 og er totalopblandet indenfor en halv time (figur 9.4) Der blev igen åbnet for ind og udløb til dammen kl. 14:00.

Figur 9.4. Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i forsøgsdammen på traditionelt dambrug C den 25. aug. 2008 de første fem timer efter tilsætning af formalin. Dammen fik tilsat 3,5 liter formalin (37 % formaldehyd) kl. 10:20. Der blev åbnet for flowet igen kl. 14. Der blev taget en prøve hvert kvarter.



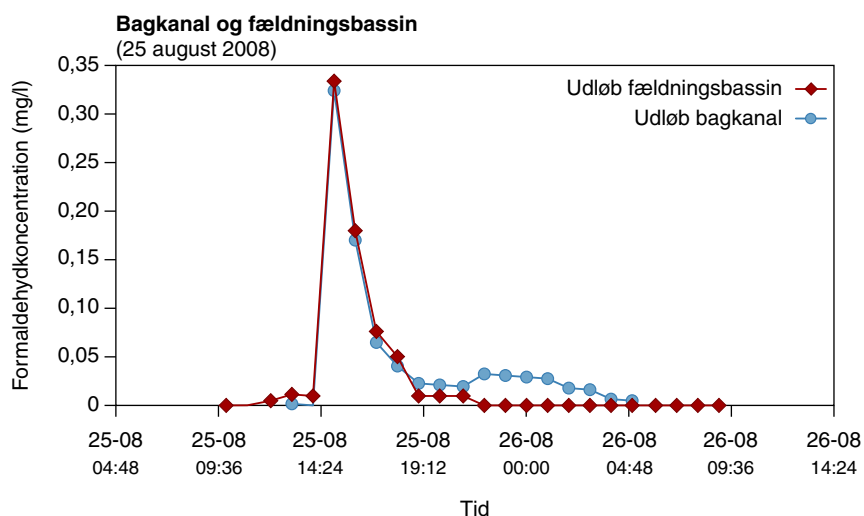
Formaldehydkoncentrationen i dammen fulgte forløbet for ledningseven (figur 9.2), dog med et større fald i formaldehydkoncentration under lukningen af ind- og udløb end i ledningsevnen. Dette skyldes omsætning af formaldehyd (figur 9.4).

Figur 9.5 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i forsøgsdammen, og udløbet fra bagkanal og fældningsbassin på traditionelt dambrug C den 25. aug. 2008. Dammen fik tilsat 3,5 l formalin (37 % formaldehyd) kl. 10:20. Der blev åbnet for flowet igen kl. 14. Der blev taget en prøve hver time.



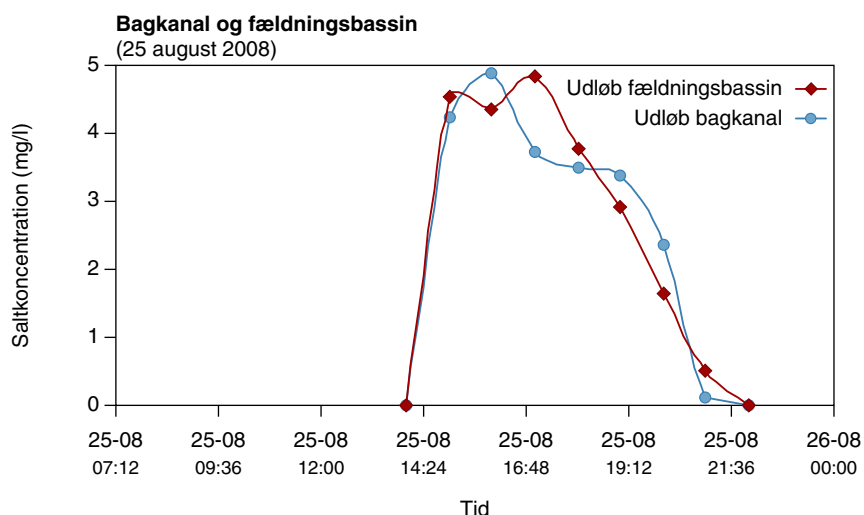
Formaldehydkoncentrationen faldt kraftigt efter genåbningen af flow kl. 14 og var helt ude af dammen efter 10 timer (ca. kl. 20) (figur 9.5). Det var ikke muligt at fastslå hvornår saltet havde passeret forsøgsdammen, da ledningsevnen blev øget som følge af kraftig nedbør kl. 22, men det var formodentlig samtidig med formaldehyd eller en time senere, da formaldehyd både blev omsat og fortyndet, hvorimod saltet kun blev fortyndet ud af dammen.

Figur 9.6 Formaldehydkoncentrationen (mg/l) i udløbet fra bagkanal og fældningsbassin på traditionelt dambrug C den 25. aug. 2008 de første to døgn efter tilsætning af formalin. Dammen fik tilsat 3,5 liter formalin kl. 10:20. Der blev åbnet for flowet igen kl. 14. Der blev taget en prøve hver time.



Formaldehyd nåede frem til udløbet af bagkanal lige efter kl. 14 og havde sit maksimum kl. 15, en time efter at der blev åbnet for flowet i dammen. Formaldehyden var helt ude af bagkanalen ca. kl. 4 næste morgen (figur 9.6). Koncentrationsforløbet af formaldehyd i fældningsbassinet var det samme som i bagkanalen, dog var formaldehyd ude af dambrugget ca. kl. 21. Den maksimale koncentration i bagkanalen og i udløbet fra fældningsbassinet var på 0,33 mg/l, og toppen havde et gennemsnit på 0,08 mg/l beregnet over 6 timer.

Figur 9.7 Saltkoncentrationen (mg/l) i udløbet fra bagkanal og fældningsbassin på traditionel dambrug C den 25. aug. 2008. Forsøgsdammen fik tilsat 10 kg opløst salt kl. 9:45. Der blev åbnet for flowet igen kl. 14. Der blev taget en prøve hver time.



Saltkoncentrationen nåede sit maksimum i udløbet af bagkanalen 2 time efter åbning af ind- og udløb af forsøgsdammen, og 3 timer efter i udløbet af fældningsbassin (figur 9.7). Klokkeren 22 var saltet ude af dambrugget. Der kunne ikke registreres en hale på udløbet på grund af en tilstrømning af regnvand med en højere ledningsevne, således som i forsøgsdammen.

Målingerne af ledningsevnen med sonde i udløbet viste, at der kom en top, der startede kl. 14:26, hvilket var 26 minutter efter at der var åbnet for dammen, og maksimum målt kl. 15:56 (figur 9.1). Toppen sluttede kl. 22:11. Hele forløbet var overstået godt 8 timer efter åbningen af dammen. Der var god overensstemmelse mellem toppen beskrevet ud fra prøverne taget med den automatiske prøvetager hver time og målingerne med sonden hvert 15. minut. Men som det også fremgår, faldt ledningsevnen betydeligt mere fra kl. 14 til kl. 22 end den stigning, der var forårsaget af salttilsætningen. Dette skyldes ændringer i ledningsevnen i indtagsvandet som følge af nedbøren. Denne ændring blev målt, men den bevirkede at saltkoncentrationerne blev kraftigt overestimeret.

Varigheden af formaldehydtoppen var lille sammenlignet med salttoppen, Målinger med en times interval giver nogen usikkerhed ved beskrivelse af formaldehydtoppen, og dermed også ved beregning af den mængde formaldehyd, der passerede bagkanal og udløb.

1.3 Formaldehydomsætning

Efter formaldehydtilsætning til forsøgsdammen faldt formaldehydkoncentrationen i de første timer selv om der var lukket for flowet gennem dammen. Det skyldes dels en indledende reduktion, en mikrobiel omsætning og endelig fortynding som følge af indsvivende vand.

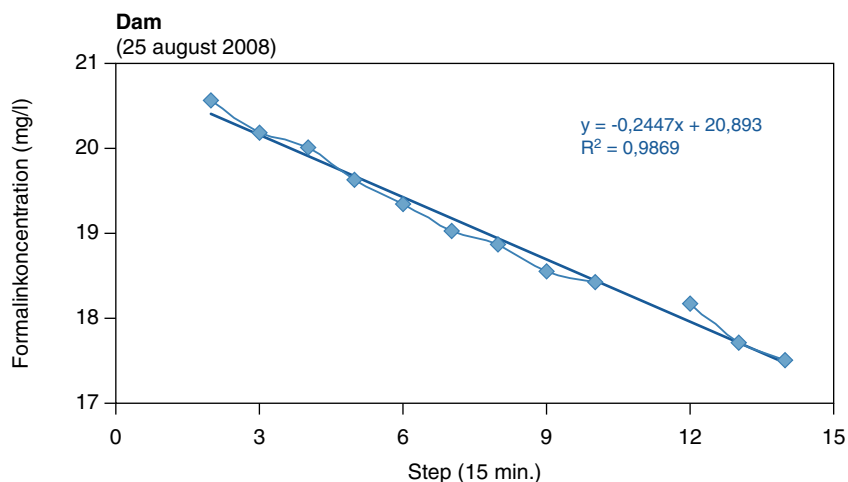
1.3.1 Dammen

Der blev tilsat 3,5 liter formalin (37 % formaldehyd) svarende til 1399 g formaldehyd til et vandvolumen på 65,2 m³. Det gav en startkoncentration på 21,457 mg/l.

Koncentrationen til et givet tidspunkt indenfor de første timer efter formaldehydtilsætningen kan beregnes ud fra regressionsligningen, der er baseret på formaldehydkoncentrationerne målt hvert 15. minut, mens der var lukket for ind og udløb og efter at opblandingen var total (figur 9.8).

Regressionsligningen for formaldehydkoncentrationen er $Y = -0,2447x + 20,893$, hvor x er 15 minutter. Regressionskoefficienten (R^2) = 0,9869, hvilket betyder at regressionsligningen kan forklarer 99 % af formalinomsætningen.

Figur 9.8 Formaldehydomsætning i dam på traditionelt dambrug C den 25. aug. 2008 efter tilsætning af 3,5 liter 37 % formalin kl. 10:20 i forsøgsdammen. Formalinkoncentrationen fra kl. 11 til 14 er indlagt. Der var lukket for ind- og udløb fra kl. 9:30-14. Regressionsligningen er beregnet.



Indledende reduktion

Ifølge regressionsligningen var startkoncentrationen forskellig fra den koncentration, der blev beregnet ud fra den tilsatte mængde og vandvolumenet.

Startkoncentrationen var ifølge regressionsligningen 20,893 mg/l.

Indledende reduktion: $(21,457 - 20,893) = 0,564$ mg/l

Indledende reduktion i dam $(65,2 \text{ m}^3 * 0,564 \text{ mg/l}) = 36,8$ g

Den indledende reduktion på dambruget udgør 2,6 % af den tilsatte mængde.

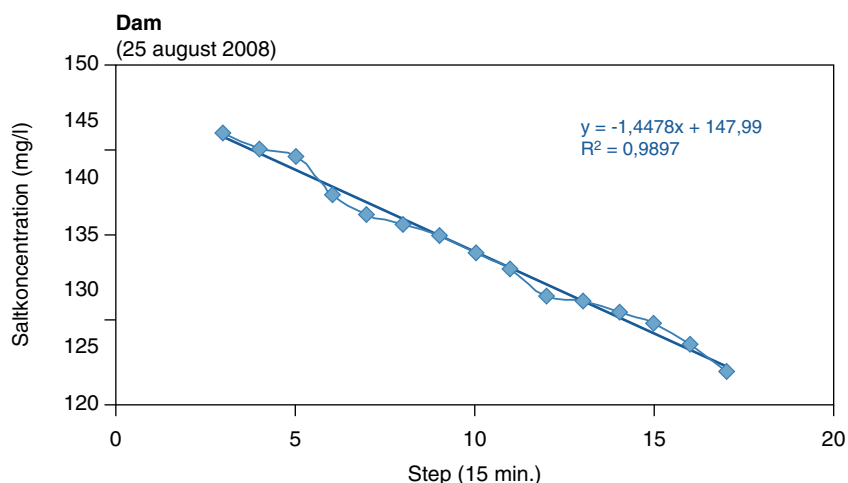
Mikrobiel omsætning

Koncentrationsændringen af formaldehyd var ifølge regressionsligningen pr. time $(0,2447 * 4) = 0,9788$ mg/l. Denne koncentrationsændring skyldes dels omsætning og dels fortynding som følge af indsvivende vand.

Vandindsivningen til forsøgsdammen, mens der var lukket for ind og udløb, var $2,5 \text{ m}^3/\text{t}$ er salt og formaldehyd koncentrationen ændret tilsvarende. Fortyndingen som følge af indsvivning var den samme for formaldehyd og salt og kan beregnes ud fra regressionsligningen for saltfortyndingen (figur 9.9). Regressionsligningen er:

$Y = -1,4478x + 147,99$ hvor x er 15 minutter.

Figur 9.9 Saltfortyndning i dam på traditionelt dambrug C den 25. aug. 2008 efter tilsætning af 10 kg opløst salt kl. 9:45 i forsøgsdammen. Saltkoncentrationen fra kl. 11 til 14 er indlagt. Der var lukket for ind- og udløb fra kl. 9:30-14. Regressionsligningen er beregnet.



Fortyndingsfaktoren er således: $(147,99 - 1,4478 \cdot 4) / 147,99$.
Det er forudsat at denne fortynding er konstant.

Koncentrationsændring for formaldehyd pr. time $0,9788 \cdot ((147,99 - 1,4478 \cdot 4) / 147,99) = 0,9404 \text{ mg/l}$ ($0,940 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$).

Omsætningsraten i dammen $(73,9 \text{ m}^3) / t = 69,503 \text{ g/t}$

Under forudsætning af at alt formaldehyd blev omsat mikrobielt og omsætningsraten var den samme, kan det beregnes, at koncentrationen teoretisk vil være 0 efter $(21,788 / 0,9404) = 23,2$ time.

1.3.2 Bagkanal og fældningsbassin

Den valgte prøvetagningsfrekvens på 1 time er i overkanten til at fange maksimum af toppen af formaldehyd i udløbet. De mængder, der passerede ud af bagkanalen og fældningsbassin, er bestemt ved integration under kurverne over koncentrationsforløbet for formaldehyd og salt og multiplikation med flowet.

Derimod er saltkoncentrationsmålingerne stærkt overestimeret som følge af faldet i ledningseven i indtagsvandet. Det ses af, at salt mængden i dammen på åbningstidspunktet blev beregnet til 9904 g, men i udløbet til 10756 g, og i udløbet fra bagkanal og fældningsbassin var det beregnede saltindhold på over 17000 g. Der blev i alt tilsat 10000 g til dammen. Omsætningen af formaldehyd kan derfor i dette tilfælde ikke relateres til ændringen i saltkoncentrationen.

Sættes de beregnede mængder af formaldehyd i udløbet af forsøgsdammen til 100 %, viste det sig at 46 % og 38 % kunne genfindes i henholdsvis udløbet fra bagkanal og fældningsbassin (tabel 9.1). Det antages, at vandmængden ind og ud af fældningsbassinet var den samme. I fældningsbassinet blev der således omsat $639 - 527 \text{ g} = 112 \text{ g}$ formaldehyd, hvilket svarer til 17,5 % af formaldehyden, der blev tilført fældningsbassinet. Formaldehyden var ude af fældningsbassinet 6 timer efter at formaldehydkoncentrationen nåede frem til fældningsbassinet (varigheden af toppen i figur 9.6).

Tabel 9.1 Formaldehyd (g) og salt (g) i udløb af dam, bagkanal og fældningsbassin på traditionelt dambrug C.

Sted	Formaldehyd (g)	Procent	Salt (g)	Procent
Tilsat forsøgsdam	1399		10000	100
Forsøgsdam på udløbstidspunkt	1299		9904	99,0
Udløb forsøgsdam	1376	100	10756	100
Udløb bagkanal	639	46,4	-	-
Udløb fældningsbassin	527	38,3	-	-

Omsætning i fældningsbassin er $639 - 527 \text{ g} = 112 \text{ g}$

Omsætning pr volumen ($112 \text{ g} / 165 \text{ m}^3$) = $679 \text{ mg} / \text{m}^3$

Omsætning pr time ($679 \text{ mg} / 6 \text{ h}$) = $113,2 \text{ mg} / \text{m}^3 \cdot \text{h}$

Beregningsusikkerhed

Differensen mellem tilsat salt og den beregnede mængde ud af dammen er $(10000 - 10756) = 756 \text{ g}$, der svarer til 7,6 % af den tilsatte mængde, og det inkluderer usikkerhed ved prøvetagning, flowmåling og indsvivning i dammen, ændret ledningsevne i indtagsvandet og mængdeberegning ved integration under kurverne.

DMU Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser er en del af Aarhus Universitet. På DMU's hjemmeside www.dmu.dk finder du beskrivelser af DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter.

DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø. Her kan du også finde en database over alle publikationer som DMU's medarbejdere har publiceret, dvs. videnskabelige artikler, rapporter, konferencebidrag og populærfaglige artikler.

Yderligere information: www.dmu.dk

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 4630 1200
Fax: 4630 1114

Direktion
Personale- og Økonomisekretariat
Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat
Afdeling for Systemanalyse
Afdeling for Atmosfærisk Miljø
Afdeling for Marin Økologi
Afdeling for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afdeling for Arktisk Miljø

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsovej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 8920 1400
Fax: 8920 1414

Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat
Afdeling for Marin Økologi
Afdeling for Terrestrisk Økologi
Afdeling for Ferskvandsøkologi

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 8920 1700
Fax: 8920 1514

Afdeling for Vildtbiologi og Biodiversitet

Faglige rapporter fra DMU

På DMU's hjemmeside, www.dmu.dk/Udgivelser/, finder du alle faglige rapporter fra DMU sammen med andre DMU-publikationer. Alle nyere rapporter kan gratis downloades i elektronisk format (pdf).

Nr./No.	2008
687	Udsætning af gråænder i Danmark og påvirkning af søers fosforindhold. Af Noer, H., Søndergaard, M. & Jørgensen, T.B. 43 s.
686	Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until year 2006. By Winther, M. 217 pp.
684	Environmental monitoring at the lead-zinc mine in Maarmorilik, Northwest Greenland, in 2007. By Johansen, P., Asmund, G., Riget, F. & Johansen, K. 54 pp.
682	Arealanvendelse i Danmark siden slutningen af 1800-tallet. Af Levin, G. & Normander, B. 44 s.
681	The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2007. By Kemp, K. et al. 47 pp.
680	Skarver og fisk i Ringkøbing og Nissum Fjorde. En undersøgelse af skarvers prædation og effekter af skarvregulering 2002-2007. Af Bregnballe, T. & Groos, J.I. (red.) 123 s. (også tilgængelig i trykt udgave)
679	Økologisk risikovurdering af genmodificerede planter i 2007. Rapport over behandlede forsøgsudsætninger og markedsføringsager. Af Kjellsson, G., Damgaard, C., Strandberg, M. & Simonsen, V. 31 s.
677	Modellering af dioxindeposition i Danmark. Af Hansen, K.M. & Christensen, J.H. 27 s.
676	Fodring af kortnæbbede gæs om foråret i Vestjylland. Biologiske fakta til understøttelse af fremtidig forvaltningsstrategi. Af Madsen, J. 20 s.
675	Annual Danish Emission Inventory Report to UNECE. Inventories from the base year of the protocols to year 2006. By Nielsen, O.-K. et al. 504 pp.
674	Environmental monitoring at the cryolite mine in Ivittuut, Spouth Greenland, in 2007. By Johansen, P. et al. 31 pp.
673	Kvælstofbelastning af naturområder i Østjylland. Opgørelse for udvalgte Natura 2000 områder. Af Frohn, L.M., Geels, C., Madsen, P.V. & Hertel, O. 48 s.
672	Revised emission factors for gas engines including start/stop emissions. Sub-report 3 (NERI). By Nielsen, M., Illerup, J.B. & Birr-Petersen, K. 67 pp.
671	DEVANO. Decentral Vand- og Naturovervågning. Programbeskrivelse 2008. Af Boutrup, S. & Jensen, P.N. (red.). 33 s.
670	Prioriteringsmetoder i forvaltningen af Habitatdirektivets naturtyper og arter i Natura 2000-områder. Af Skov, F. et al. 36 s.
669	Identifikation af referencevandløb til implementering af vandrammedirektivet i Danmark. Af Kristensen, E.A. et al. 55 s.
668	Brændefyring i hjemmet – praksis, holdninger og regulering. Af Petersen, L.K. & Martinsen, L. 48 s.
667	Denmark's National Inventory Report 2008. Emission Inventories 1990-2006 – Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. By Nielsen, O.-K. et al. 701 pp.
666	Agerhønsens biologi og bestandsregulering. En gennemgang af den nuværende viden. Af Kahlert, T., Asferg, T. & Odderskær, P. 61 s.
665	Individual traffic-related air pollution and new onset adult asthma. A GIS-based pilot study. By Hansen, C.L. et al. 23 pp.
664	Aluminiumsmelter og vandkraft i det centrale Grønland. Datagrundlag for natur og ressourceudnyttelse i forbindelse med udarbejdelse af en Strategisk Miljøvurdering (SMV). Af Johansen, P. et al. 110 s.
663	Tools to assess conservation status on open water reefs in Nature-2000 areas. By Dahl, K. & Carstensen, J. 25 pp.
662	Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, South Greenland, 2007. By Glahder, C.M., Asmund, G. & Riget, F. 31 pp.
661	Tilstandsvurdering af levesteder for arter. Af Søgaard, B. et al. 72 s.
660	Opdatering af vurdering af anvendelse af SCR-katalysatorer på tunge køretøjer som virkemiddel til nedbringelse af NO ₂ forureningen i de største danske byer. Af Ketznel, M. & Palmgren, F. 37 s.

Formålet med undersøgelsen er at dokumentere omsætningen af formaldehyd på 9 dambrug fordelt på 3 forskellige typer. Kendte mængder af formalin blev doseret til traditionelle dambrug, model 1 dambrug og model 3 dambrug, og formaldehydkoncentrationen blev efterfølgende målt i forskellige dele af dambruget: 1) dammen eller produktionsenheden; 2) bagkanal og fældningsbassiner i traditionelle dambrug og 3) plantelagunerne i model 1 og 3 dambrug. Den umiddelbare tilbageholdelse i produktionsenheden er for de traditionelle dambrug og for model 1 dambrug under 10 % og for model 3 dambrugene op til 30 % af den tilsatte startmængde.

Den mikrobielle omsætning er fundet umiddelbart efter dosering af formalin at forløbe koncentrationsuafhængigt for derefter ved lave koncentrationer af formaldehyd på under 2 mg/l at foregå koncentrationsafhængigt. Den koncentrationsuafhængige mikrobielle omsætningsrate er for de tre dambrugstyper beregnet til at være relativ ens (ca. 800 mg/m³ pr. time). I model 1 dambrugene reduceres 10-30 % af den tilsatte formalin i produktionsenheden, og for de traditionelle dambrug reduceres formalinen med 7-16 % i dammen. Omsætningsraterne for fældningsbassinerne er beregnet til ca. 120 mg/m³ pr. time og ca. 450 mg/m³ pr. time for plantelagunerne. For de traditionelle dambrug kan bagkanal og fældningsbassiner fjerne 24-46 % af den doserede formalin, mens ca. 40 % føres videre til vandløbet. For model 1 dambrugene kan plantelagunerne reducere formalinmængden med 38-48 %, og 27-42 % føres til vandløbet. Model 3 dambrugene adskiller sig fra de to andre typer dambrug ved at mindre end 2 % af den tilsatte mængde formalin føres videre til vandløbet.