

Instrumentering og styring av produksjonsprosess for plankton

Jan Gjersdal

Master i teknisk kybernetikk
Oppgaven levert: Juni 2011
Hovedveileder: Jo Arve Alfredsen, ITK

Oppgavetekst

Bruk av plankton som levendefôr til fiskelarver er svært utbredt innen oppdrett av marin fisk. Planktonet blir brukt i den første kritiske fasen av yngelproduksjonen, dvs. i en periode hvor fiskelarvene trenger spesielt stabile miljøbetingelser og god tilgang til levende fôr. I et storskala yngelanlegg er det dermed behov for en jevn forsyning av store mengder plankton av høy kvalitet. Utgangspunktet for denne oppgaven er produksjonsanlegget for rotatorier ved NTNU/SINTEF Sealab. Til dette anlegget ønskes en høyere grad av instrumentering og automatisering slik at produksjonen kan overvåkes og gjennomføres på en effektiv og sikker måte med mindre behov for manuelle ressurser. Dette gjelder både i perioder hvor anlegget produserer rotatorier for bruk i pågående eksperimenter, og i periodene mellom eksperimenter når anlegget kjører vedlikeholdskulturer. Oppgaven består av følgende punkter:

- Utvikling, implementering og dokumentasjon av instrumenteringssystem for automatisert fôring og overvåkning av rotatorieproduksjon. Systemet skal kunne kjøres både i hel- og halvautomatisk modus via et hensiktsmessig brukergrensesnitt.
- Utvikling av regulator for automatisk regulering av individtetthet i rotoriekulturere for gitte høstingsrater
- Gjennomføring av nærmere spesifiserte eksperimenter for dokumentasjon av reguleringsystemets egenskaper
- Diskusjon av systemets muligheter og begrensninger

Opgaven gitt: 17. januar 2011

Besvarelsen leveres innen: 20. juni 2011

Utført ved: Institutt for teknisk kybernetikk, NTNU

Veiledere: Jo Arve Alfredsen, ITK, NTNU Morten Omholt Alver, SINTEF/NTNU

Sammendrag

I denne oppgaven er det presentert instrumentering og reguleringsystem av produksjonsprosess for plankton. Systemet er utviklet og implementering med to tanker for produksjon av planktonet rotatorier. PC brukes som styresystem og grensesnitt mot bruker. Regulering av rotatorietetthet med en ny strategi for tilførsel av fôr og vann er implementert og testet. Systemet fungerte tilfredsstillende foruten den nye strategien som trenger mer testing for å fungere optimalt.

Forord

Denne masteroppgaven fullfører min utdannelse innen teknisk kybernetikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim. Jeg vil først takke mine veiledere Jo Arve Alfredsen og Morten Omholt Alver for støtte og råd ved gjennomførelsen av oppgaven. En takk til Pål Skarlo for assistanse ved motering og tilkobling av Hardware. Personalet ved instituttets verksted for en flott jobb med desing og konstruksjon av førreservoar, ramme for rotatorieteller og plate til å montere pumper på. Personalet ved SeaLab som har kommet med innspill til oppgaven. En takk til mine medstudenter for en flott og lærerik tid sammen.

Og til slutt en takk til min kjære Janne Abrahamsen som har gitt meg støtte og god mat.

Innhold

1	Innledning	3
1.1	Bakgrunn	3
1.2	Oppgavens bidrag	4
1.3	Disposisjon	4
2	Teoretisk bakgrunn	7
2.1	Fysiske og biologiske aspekter av rotatorier	7
2.2	Rotatoriens utvikling	9
2.3	Produksjon	12
2.4	Regulering av rotatorietetthet	14
3	Produksjonsmetode	17
4	Spesifikasjoner og krav	21
4.1	Produksjon spesifikasjoner	21
4.2	Forbedringer av system	21
4.3	Instrumentering	24
4.4	Software	26
4.5	Regulering	27
5	Design	29
5.1	Sensorer og aktuatorer	29
5.2	Kulturtank	35
5.3	Software	36
5.4	Kommunikasjon	38
5.5	Regulering	40
6	Implementasjon	43
6.1	Hardware	43
6.2	Software	46
6.3	Regulator	51
7	Eksperiment	53
7.1	Oppsett for eksperimenter	53
7.2	Resultat	56

8	Diskusjon	67
9	Konklusjon	71
A	Eletriske koblingsskjema	75
B	Mekanisk tilkoblingsskjema	83
C	Rekkeklemmelister	86
D	Regulator implementering	95
E	Utdrag fra “Dyrking av rotatorier til marine fiskelarver”	101

Figurer

2.1	Et eksempel på rotatorier er illustrert i figuren. En kan se at hunddyr er bedre utviklet og betydelig større en hanndyr. (Hentet fra Øie (2009))	8
2.2	Rotatoriens livsløp	9
2.3	Førkarakteristik, A: forholdet mellom hvor mye hvert individ tar opp og førkonsentrasjon som er tilgjengelig. B: forhold mellom fortynningsrate og førkonsentrasjon (Moksness et al. 2004)	10
2.4	κ -regel	10
2.5	Oversikt over individmodellen. Pilene representerer energiflyten (hentet fra Alver, 2006)	11
2.6	Temperaturpåvirkning	12
2.7	Rotatorieproduksjon	13
2.8	Regulatordesign (hentet fra Alver, 2010b)	14
2.9	Resultater ved bruk av regulator på modell	15
3.1	Produksjonstanker	17
3.2	Filter for å holde tilbake rotatorier.	18
4.1	Oversikt over Hardware struktur.	24
5.1	Trykktransmitter LMK 351	29
5.2	Føringspumpe	30
5.3	Vannpumpe fra Watson Marlow 520D	31
5.4	Ventil for nedskylling	32
5.5	Turbiditetsmåler (hentet fra Pastor 2007)	32
5.6	Røremotor og motorkontroller for omrøring	33
5.7	Rotorieteller	33
5.8	Oppsett for kamera, prøveglass og lysdioder	34
5.9	CAN Master Modul	35
5.10	Kulturtank	35
5.11	Utvidet oversikt over Hardware struktur	37
5.12	Software moduler	37
5.13	Kommunikasjonsplattform NI cFP-1804	38
5.14	Analog indata, analog utdata og relè modul	39

6.1	Fôrreservoar	44
6.2	Monterte pumper	44
6.3	Koplingskap	45
6.4	Produksjonsanlegg	46
6.5	Operatørens hovedbilde	48
6.6	Operatørbilde automatisk for tank 1	49
6.7	Panel for manuell styring av tank 1	50
6.8	Operatørbilde for reservoar	50
6.9	Operatørbilde for konfigurasjon	51
7.1	Manuell uttak av prøve med	55
7.2	Turbiditet måling (sort) og nivå i fôrreservoar (rød) ved bruk i et og tre døgn.	58
7.3	Signal fra turbiditetssensor over et døgn med røremotor aktivert	58
7.4	Turbiditet måling (sort) og nivå i fôrreservoar (rød) med effekt-måling av omrøring aktivitet og nivå tilstand	59
7.5	Estimert rotatorietetthet fra rotatorieteller i sort og manuell telling indikert med rødt for tank 1	60
7.6	Estimert rotatorietetthet fra rotatorieteller i sort og manuell telling indikert med rødt for tank 2	60
7.7	Eggrate fra tank 1	60
7.8	Eggrate fra tank 2	61
7.9	Fôrdose pr. individ for tank 1	61
7.10	Fôrdose pr. individ for tank 2	61
7.11	Estimert rotatorietetthet fra rotatorieteller i sort og manuell telling indikert med rødt for tank 1	62
7.12	Estimert rotatorietetthet fra rotatorieteller i sort og manuell telling indikert med rødt for tank 2	63
7.13	Eggrate tank 1	63
7.14	Eggrate tank 2	64
7.15	Fôrdose pr. individ for tank 1	64
7.16	Fôrdose pr. individ for tank 2	65
B.1	Ufullstendig P&ID skjema	84

Nomenklatur

AI Analog inndata (analog input)

AO Analog utdata (analog output)

CAN Controller–area network

cFP Compact FieldPoint

DEB Dynamisk energi budsjett (Dynamic energy budget)

DO Digital utdata (digital output)

Diploide En celle som har to kromosonoppsettning

Egggrate Antall egg fordelt på antall rotatorier

GUI Grafisk bruker grensesnitt (Graphical User Interface)

HMI Kommunikasjon mellom maskin og operatør (Human machin interface)

I/O inngang/utgang (input/output)

NI National Instruments

Samplingstid hvor ofte en måler variablene i prosessen.

SeaLab forskningsfasilitet ved Brattørkaia i Trondheim. Fasiliteten blir driftet ved et samarbeid mellom NTNU og SINTEF, der en jobber med forskning og utvikling innenfor fiskeri og havbruk.

USB Universal Serial Bus

Turbiditet Tetthetsmål av partikler i væske

Liste over symboler brukt i oppgaven

Symboler	Enhet	Beskrivelse
A_r	%	Mengde utsikfting i døgnet
D	dag^{-1}	Uttynningshastighet
E		Eggrate
\hat{E}		Målt eggrate
E_r		Eggrate referanse
$g(u)$		Eggrate som funksjon av vekstrate
$g^{-1}(E)$		Vekstrate som funksjon av eggrate
h	dm	Høyde i tank
$h(E)$	$\mu g dag^{-1}$	Individuel matrasjon som funksjon av eggrate
κ_u		Korresjonsfaktor til U_b
K_{I2}		Integratorcoeffisient for eggrate
K_{P1}	dag^{-1}	Proporsjonalkoeffisient for vekstrate
K_{P2}		Proporsjonalkoeffisient for eggrate
K_{Tt}		Proporsjonalkoeffisient for trykktransmitter
K_{up}		Fôrpumpe rate konstant
K_{wp}		Vannpumpe spenning/rate konstant
$\hat{\mu}$	dag^{-1}	Estimert vekstrate
μ_D	dag^{-1}	Vekstrate for å kompensere for fortykning
μ_r	dag^{-1}	Referanseverdi for vekstrate
q_w	$ml min^{-1}$	Pumpehastigheten for vannpumpe
q_u	$ml min^{-1}$	Pumpehastigheten for fôringspumpe
$q_{u,d}$	$ml min^{-1}$	Pumpehastigheten for fôringspumpe
P_t	A	Verdi fra trykksensor
r	dm	Radien i tank
r_1	dm	Radien ved 50 liter
R	ml^{-1}	Rotatorietetthet
\hat{R}	ml^{-1}	Estimert rotatorietetthet
\hat{R}_p	ml^{-1}	Prosjektet rotatorietetthet
R_r	ml^{-1}	Referansetetthet
ρ_{res}	$g ml^{-1}$	Fôrtetthet i reservoar
Δt_d	$dager$	Fortynningsintervall
T_w	min	Ventetid
u	$g l dag^{-1}$	Formengde per dag
U	s	Frekvens utfôring (periode 1)
U_b	$\mu g dag^{-1}$	Estimert fôrasjon i henhold til E_r
u_{cycle1}	g	Fôrmengde per periode (periode 2)
U_u	$\mu g dag^{-1}$	Individuel fôrmengde
V_W	l	Kulturvolum i tanken

Kapittel 1

Innledning

1.1 Bakgrunn

Oppdrett av de fleste marine fiskearter betinger at det brukes levende planktonorganismer som fôr i hele eller deler av larvestadiet. Den levende planktonorganismen er ofte eneste fôrkilde i første yngelperioden, og har således stor påvirkning for den biologiske utviklingsprosessen til yngel.

Med en klart stigende befolkningsvekst, ser en for seg at etterspørsel av fisk og andre sjømatprodukter kommer til å stige markant i årene som kommer (Balchen, 2006). Havet har ikke bæreevne til å opprettholde den store etterspørselen og det er iverksatt kvoter for å opprettholde naturlige bestander. Som følge av dette og at forbrukere blir mer opptatt av fangstmetoder, fiskens levestandard og dens kvalitet viser Balchen (2006) at en forventer oppdrettsanlegg til å overta største delen av markedet etter år 2020. Oppdrettsanlegg er i dag langt på vei den foretrukne metoden for å sikre en stabil og økonomisk produksjon av ikke marin fisk, som atlantisk laks. Anleggende blir mer og mer automatiserte, og med automasjon følger bedre kontroll, kvalitet og lønnsomhet.

Til tross for suksessrik bruk av automasjon for oppdrett for atlantisk laks, har overgangen til torsk og andre marine arter vist seg vanskelig. Torsk produserer mange ganger så mye egg som atlantisk laks, noe som fører til at torskeyngel er mindre og er langt dårligere utviklet (Høy, 2006), som fører til høyere dødelighet. Utfordringene ligger spesielt i den tidlige fasen av livet, der marine yngel krever levende fôr i form av planktonorganismer. Oppdrettsanleggene må i dag selv produsere dette levende fôret, og dette foregår ikke uten problemer. En har blant annet problemer med at kulturene ikke er stabile, det vil si at uforutsatte biologiske prosesser fører til at kulturen krasjer og dør ut. Oppdrett av kvalitetsyngel av torsk er derfor en tid- og pengekrevenne prosess som må forbedres, for å gjøre oppdrett økonomisk (forskningsradet.no/havbruk).

Det er to typer plankton som kan dyrkes frem jevnlig til en overkommelig pris, det er rotatoriefamilien *Brachionus* og saltreken *Artemia* (Moksness et al. 2004). Produksjon som sikrer rikelige mengder med rotatorier vil være helt

avgjørende for å lykkes med oppdrett av torskeyngel Øie (2002) Pr. i dag er det rotatorier av arten *Brachionus plicatilis* som blir brukt til de fleste marine fisker, og denne oppgaven vil derfor omhandle produksjon av denne.

1.2 Oppgavens bidrag

Denne oppgaven tar for seg spesifikasjoner og oppbygning av et instrumenteringsystem for automatisk fôring og overvåkning av en rotatorieproduksjonsprosess, samt regulering av rotatorietettheten. Systemet er pc-basert og består av: sensorer og målesystemer for å overvåke tilstanden i rotatoriekulturene og fôrreservoaret, samt styring av pumper og ventiler for å tilføre og redusere vann og fôr.

Systemet presenterer målte tilstander og pådrags signaler på et grafisk skjerm-bilde til bruker. Ved hjelp av et HMI system velger bruker kontinuerlig eller periodevis strategi, for tilførsel av fôr og vann, ved å sette systemet i manuell eller automatisk modus. I manuell modus presenteres målinger, mens fôring og vanntilførsel skjer kontinuerlig ved en hastighet bestemt av bruker. I automatisk modus deles døgnet inn i et ønsket antall perioder, der en periode består av utfôring, nedbeiting og vannutskifting. Periodetiden til hver av de tre prosessene blir så styrt indirekte fra fôrings strategi bestemt av bruker alene eller sammen med regulator.

Regulator benyttes for å styre kulturtettheten til et ønsket nivå, basert på en gitt fortynningsrate, begge angitt av bruker. Produksjonssystemet skal brukes for å forenkle forskning og produksjon av rotatorier, og er således det første steget for å skaffe et fullverdig automatisk rotatorieproduksjonsanlegg.

1.3 Disposisjon

Oppgaven er fordelt i følgende kapitler:

Teoretisk bakgrunn Grunnleggende fysiske og biologiske aspekter rundt rotatorier. Påvirkninger av rotatoriens fysiske og biologiske egenskaper og tilstander.

Produksjonsmetode Dagens systemer og produksjon blir presentert.

Spesifikasjoner og krav Ønskede egenskaper og funksjoner blir presentert. Det blir satt krav til instrumenteringssystemet og regulator.

Design Systemets brukergrensesnitt, Hardware og regulator blir designet. Komponentene blir presentert med sine spesifikasjoner og egenskaper.

Implementasjon Implementasjon av systemet blir beskrevet for Hardware, nettverk, Software og regulator funksjoner

Eksperimenter Hele systemet har blitt testet og resultat av de forskjellige tilstander er presenter.

Diskusjon Resultatet fra testene blir diskutert, sammen med systemet sine muligheter og begrensninger.

Konklusjon En oppsummering av systemet sine egenskaper, sammen med forslag til videre arbeid og forbedringsmuligheter.

Kapittel 2

Teoretisk bakgrunn

2.1 Fysiske og biologiske aspekter av rotatorier

Rotatorier, også kalt hjuldyr, finnes i over 2000 ulike arter (Øie, unpublished). Slekten *Brachionus* har blitt benyttet i akvakultur siden tidlig på 60-tallet (Ito, 1960, omtalt av Øie, 2002). Rotatorien har følgende egenskaper:

- $273 \pm 3\mu m$ lorica (skall)lengde
- ca $0,0038mm^3$ kroppsvolum
- Dyrkes ved $18 - 25^\circ C$

Ved gode kulturbetingelser vil populasjonen øke ved ukjønnnet formering, ved at diploide hunndyr produserer egg som blir til nye diploide hunndyr. Hunndyret sett i figur 2.1 består utvendig av

corona - et roterende organ som er viktig for matinntaket og bevegelse

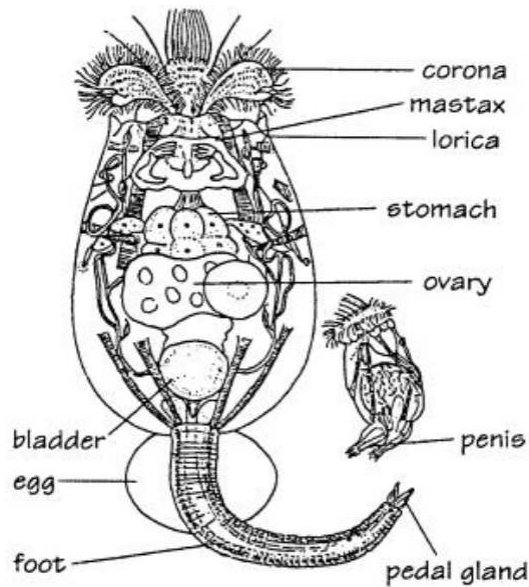
lorica - et skall som dekker kroppen

foot - foten har to tær som kan skille ut en væske som gjør det mulig for rotatorien og feste seg til underlaget. Med langsgående muskler har rotatorien mulighet for å trekke foten inn i lorica.

Rotatoriens størrelse er riktig i forhold til torskeyngelens munnåpning, og rotatoriens lave svømmehastighet gjør dem til et lett bytte for yngel. Deres toleranse for miljøpåvirkninger og høye reproduksjonsrate har også vært viktige faktorer.

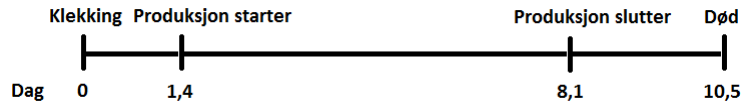
Rotatoriearten som brukes ved SeaLab er *B. plicatilis Müller*, denne rotatorien kan enkelt dyrkes opp i store tettheter, og næringsverdien kan lett manipuleres med ulike anrikningsfôr.

Følgende aspekter rundt rotatoriens fysiske og biologiske egenskaper er verdt å merke seg:



Figur 2.1: Et eksempel på rotatorier er illustrert i figuren. En kan se at hunndyr er bedre utviklet og betydelig større en hanndyr. (Hentet fra Øie (2009))

- **Matinntak:** *Brachionus* arten (figur 2.1) har et roterende organ ved navn corona på fremsiden av "hode". Organet er viktig for matinntak og for bevegelsen.
- **Bevegelse:** Rotatorien består av "hode", et skall og en fot med to tær, foten kan benyttes for å feste seg til underlag. Sammen med corona er foten grunnlaget for bevegelser. Svømmehastigheten kan være en indikator på om forholdene i kulturen er gode eller dårlige (Øie upublisert).
- **Reproduksjon:** I rotatoriekulturer er normalt alle individene hunndyr. Så lenge kulturbetingelsene er gode vil populasjonen øke ved hjelp av partenogenese (ukjønna formering). Ved denne typen formering vil en få hunndyr, ved seksuell formering vil en få hanndyr. Hanndyrene er mye mindre enn hunndyrene og de beveger seg veldig raskt (Øie upublisert).
- **Fôr:** Rotatorier spiser mange typer partikler, det viktigste er dog at de er av riktig størrelse. Mikroalger er en diet som er kostbar, men som ofte gir høyere eggratio og veksthastighet. En relativt billig diet kan være bakegjær sammen med en liten andel mikroalger (5-10 %) (Øie upublisert).
- **Ernæring:** Rotatorier består av: protein, lipider, karbohydrater, mineraler med mer. Som regel vil ikke kultiveringsdiettene inneholde nok av de næringsstoffene som fiskelarven trenger, og rotatoriene må derfor korttids- anrikes noen timer før de benyttes som fôr til fiskelarvene (Øie upublisert).



Figur 2.2: Rotatoriens livsløp

- **Påvirkninger:** Av ytre påvirkninger nevnes: temperatur, salinitet, ammoniakk konsentrasjon, pH, oksygen nivå og førkonsentrasjon. Stor variasjon i salinitet vil ikke være et problem for rotatorien (Øie upublisert).

2.2 Rotatoriens utvikling

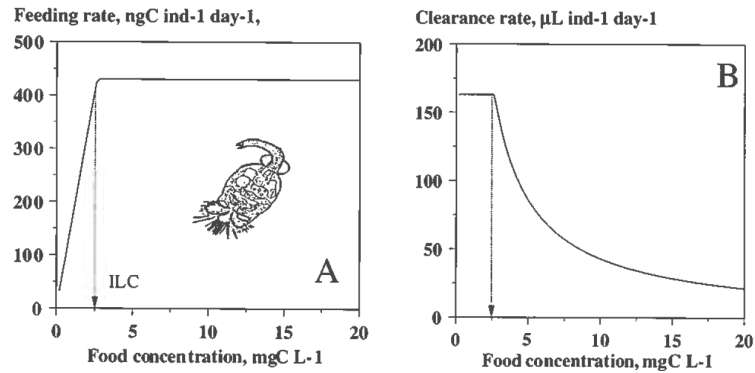
Rotatoriers utvikling er en prosess som blir styrt av tilgangen på fôr, oksygen og andre tilstander nevnt under påvirkninger. For å kunne regulere denne prosessen er det nødvendig å beskrive hvordan disse parametrene påvirker en rotatoriekultur. Ved normale omstendigheter, temperatur på $20-22^{\circ}\text{C}$ og saltnivå rundt 20 p.p.t vil livsløpet være som illustrert i figur 2.2. En gjennomsnittlig hunnkjønn rotatorie bruker 1,4 dager fra klekking, til den starter å produsere egg. Hun produserer så egg de neste 6,7 dagene, før hun slutter å produsere egg og til slutt dør 10,5 dager gammel (Moksness et al. 2004). Produksjon og klekking av egg kan ta 1 - 2 dager (Korstad et al., Dehert, 1996 omtalt av Alver 2010a)

Fôr

Tilgjengelig førmengde vil under normale omstendigheter være den mest avgjørende faktoren for rotatoriebestandens utvikling. Sammenhengen mellom førkonsentrasjon og fôropptaket til hvert enkelt individ kan ses fra figur 2.3A. En linær sammenheng mellom fôropptak og førkonsentrasjon er å forvente siden rotatorien filtrerer vannet den befinner seg i. Til tross for en linær sammenheng kan rotatorier ikke ta opp ubegrenset mengde mat, øvre begrensning for SINTEF sin bestand av arten *B. plicatilis* er funnet å være $430\text{ng} \cdot \text{individ}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$, og inntreffer ved konsentrasjoner over $2,6\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (Moksness et al. 2004). Dette har direkte påvirkning på resultat i figur 2.3B, som gir sammenhengen mellom nedbeiting av hver enkel rotatorie og førkonsentrasjonen. Så fremt førkonsentrasjonen er lav, konsentrasjon under $2,6\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, vil den nevnte rotatoriebestanden kunne beite ned $165\text{ml} \cdot \text{individ}^{-1} \cdot \text{dag}^{-1}$. Ved høyere konsentrasjoner vil mengden som beites ned synke logaritmisk.

Aldersfordeling

Fra McNair et al. (1998) har en konkludert med at det er nødvendig å ha med aldersfordelingen i kulturen. En slik fordeling er avgjørende for å få rett respons mellom tilgang på fôr og antall rotatorier. Rotatorier blir delt inn i de



Figur 2.3: Fôrkaraktistik, A: forholdet mellom hvor mye hvert individ tar opp og fôrkonsentrasjon som er tilgjengelig. B: forhold mellom fortynningsrate og fôrkonsentrasjon (Moksness et al. 2004)

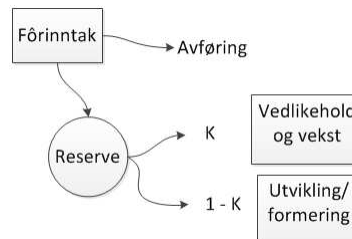
Aldersgruppe	Tar opp mat	Formerer seg
foster/egg	Nei	Nei
Ungdom/barn	Ja	Nei
Voksen	Ja	Ja

Tabell 2.1: Aldersfordeling

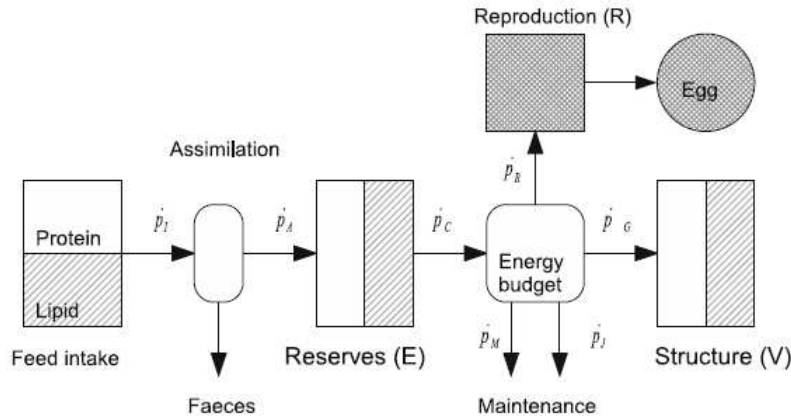
tre gruppene; foster/egg, ungdom/barn og voksen, deres egenskaper er listet i tabell 2.1.

κ regel

Energiforbruket kan beskrives ved å annta at organismen har en bestemt struktur, samt inneholder en viss energireserve. κ -regelen, illustrert i figur 2.4, sier at en bestemt del κ går til vedlikehold og vekst, mens den resterende delen $1 - \kappa$ vil gå til videreutvikling og reproduksjon (Meer, 2006). Rotatoriene i de forskjellige aldersgruppene vil også hær ha forskjellige behov. For κ -regelen vil dette si at en



Figur 2.4: κ -regel



Figur 2.5: Oversikt over individmodellen. Pilene representerer energiflyten (hentet fra Alver, 2006)

ferdig utviklett rotatori (aldersgruppe voksen) bruker energi til reproduksjon, mens egg og barn ikke er klare til å starte reproduksjon men bruker energi til å utvikle seg.

Energiflyt (DEB modell)

Van der Meer (2006) forklarer også at en viss mengde energi vil gå til vedlikehold av kroppen, varme og vekst, mens den resterende energien vil gå til å utvikle seg eller til reproduksjon.

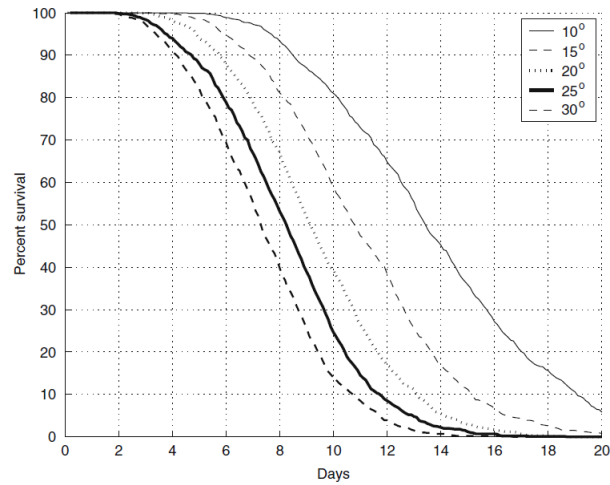
En bruker så modell fra figur 2.5 til å si hvordan energiflyten for rotatoriene vil være.

NTNU har i artikkel [Alver et al. 2005] sett på hvordan de biologiske prosessene påvirker dynamikken til rotatoriearten. Modellen er basert på individuelle egenskaper som alder, størrelse og energiforbruk. Rotatorien deles inn i de tre aldersgrupper som vist i tabell 2.1.

Temperatur

Temperaturen har stor påvirkning på rotatoriens utvikling, siden den påvirker de biologiske prosessene. I hovedtrekk vil økning i temperatur øke hastigheten på prosessene, og da parametre som $[\dot{p}_M]$, $[\dot{p}_J]$, $\{\dot{p}_{Am}\}$ og \dot{v} beskrevet i Alver et al. (2006). Endring av faktorene er blitt beskrevet av ligning 2.1, der T_W er vanntemperatur, T_1 er referanse temperatur, mens T_L og T_H er nedre og øvre grense til toleransen (Alver et al. 2006)

$$T_C = \frac{\exp(\frac{T_A}{T_1} - \frac{T_A}{T_W})}{1 + \exp(\frac{T_{AL}}{T_W} - \frac{T_{AL}}{T_L}) + \exp(\frac{T_{AH}}{T_H} - \frac{T_{AH}}{T_W})} \quad (2.1)$$



Figur 2.6: Temperaturpåvirkning

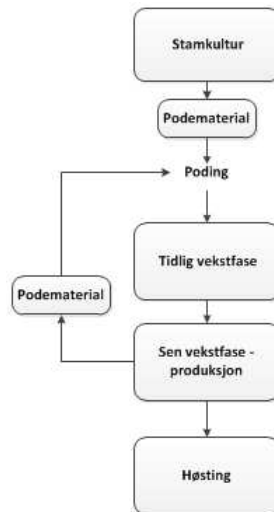
Temperaturøkning vil som nevnt føre til hurtigere biologiske prosesser, dette vil også være tilfelle for livsløpet til rotatorien. Med økende temperatur vil rotatoriens livsløp gå fortere, og livets lengde målt i døgn forkortes i henhold til figur 2.6.

2.3 Produksjon

Rotatorier kan produseres i alt fra små bøtter til store bassenger (Øie, 2006). Under produksjon holdes temperatur og salinitet på et konstant nivå, mens tetthet i kulturen telles daglig for å beregne riktig førmengde (Øie, 2006). Det er eksperimentert med forskjellige typer før.

Produksjon av rotatorier består av flere stadier, de forskjellige stadiene er illustrert i figur 2.7. Fra en stamkultur føres en overskyddsmengde rotatorier sammen med en utvalgt mengde rotatorier fra sen vekstfase, disse danner så grunnlaget for en ny produksjonskultur. Produksjonskulturen går først inn i en tidlig vekstfase, med en varighet på to til seks dager, der kulturen har som mål å vokse raskt. Kulturen går så over i en sen vekstfase, hvor kulturen blir brukt til å starte nye kulturer eller til å føre marine larver.

Stamkultur En stamkultur er startet ved overføring av 5–10 ml av kultur som er i sen vekstfase til et beger på 0,1–0,5 liter med sterilt vann. Stamkulturer bør bli holdt fysisk adskilt fra produksjon av mikroalger og rotatorier for å motvirke forurensing og overføring av sykdommer. Kulturen må bli lagret i sterilt vann, men en kan bruke små beholdere på 0,1–1 liter. Kulturen kan holdes ved romtemperatur eller ned mot 7–10 grader celsius, avhengig av art. Stammkulturen bør byttes ut ca en gang i måneden, eller skjeldnere avhengig



Figur 2.7: Rotatorieproduksjon

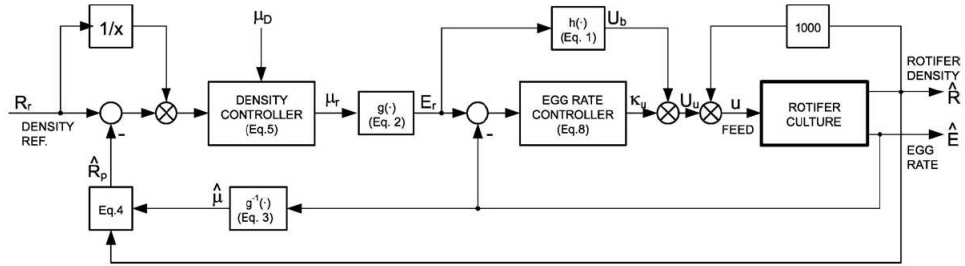
av temperaturen (Moksness et al. 2004).

Poding En ny kultur kan bli startet med rotatorier fra stammkultur, kultur i sen vekstfase eller en kombinasjon av de to. Kvaliteten på kulturfaktorer som; egg per rotatorie, mengden skadelige mikro dyreplankton, og konsentrasjonen av organiske partikler er viktig. Risikoen for alvorlig dødelighet blant rotatorien er størst gjennom den tidlige vekstfasen. Risikoen kan reduseres ved å bruke mikroalger i føret de første 1-2 dagene, samt å starte kulturer med en tetthet >100 rotatorier per milliliter (Moksness et al. 2004).

Tidlig vekstfase Er den mest kritiske fasen, der både førmengde og rotorietetthet skal økes. Sammen med fysiske egenskaper, kan det oppstå problemer som følge av ulikhet mellom førmengde tilført og rotatoriens sitt forbehov for vekst. En stor mengde før (daglig for hvert individ) vil være avgjørende for en raskt vekst og for å sikre levedyktige rotatorier. Dette må også ses opp mot miljømessige bekostninger som: lavt oksygennivå, høy ammoniakkonsentrasjon og større bakterievekst (Moksness et al. 2004).

Sen vekstfase Det finnes i hovedsak to strategiske metoder å dyrke frem rotatorier på i sen vekstfase;

Batch -ved batch kultur starte en ved lave tettheter, tilfører nødvendige ressurser for å skape vekst og høster kulturen når den har vokst til ønsket nivå.



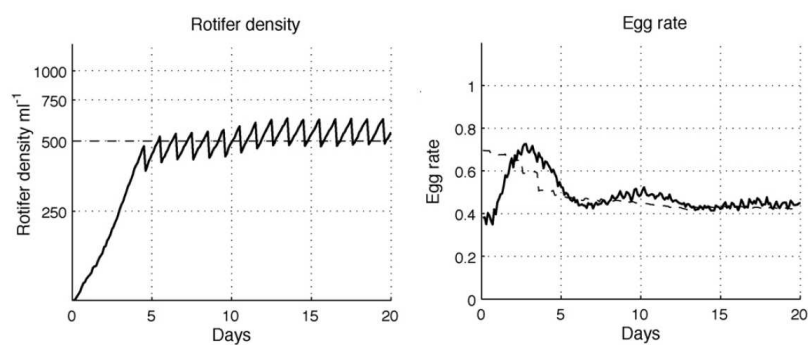
Figur 2.8: Regulatordesign (hentet fra Alver, 2010b)

Kontinuerlig - ved kontinuerlig/semi kontinuerlig kultur starter en med å få kulturen opp på ønsket tetthet, og når likevekten er innstilt blir et bestemt volum av kulturen regelmessig høstet og erstattet med sjøvann (Moksness et al. 2004).

2.4 Regulering av rotatorietetthet

For å kunne regulere en tilstand må responsen til systemet være kjent. Med bakgrunn i individuell DEB modell presenter i Alver et al. (2006) er det utviklet en regulator illustrert i figur 2.8. Basert på estimerte tilstander, for rotatorietetthet og eggrate, i rotatoriekulturen beregnes en prosjektert rotatorietetthet. Prosjekttert tetthet er den tettheten en forventer å ha mellom to uttynninger. Basert på forventet uttynning og avvik mellom prosjektert og ønsket tetthet, beregnes en referanseverdi for vekstrate og videre en referanse for eggrate. Individuelle fôrdoser blir beregnet fra eggrate og korreksjonsfaktor for avvik mellom referanse og estimert eggrate. Fôrmengde som skal tilføres kulturen blir beregnet fra individuell fôrdose og estimert rotatorietetthet.

Regulator er testet mot individuell DEB modell med tilfredsstillende resultat som er presentert i figur 2.9. Regulator ble også testet med kontinuerlig tilførsel av vann og fôr på virkelig kultur. Følgende betingelser ble brukt under forsøk: $R_0 = 100$, 25% uttynning, 300% vannutskifting, temperatur på 24 grader og tankssørrelse på 250 liter . Forsøk på virkelig kultur resulterte at kulturen stabiliserte seg med en rotatorietetthet på ca 800-850, eggrate rundt 0,4 og individuell fôrdose på ca 1,2-1,3 μ g pr. individ daglig.



Figur 2.9: Resultater ved bruk av regulator på modell

Kapittel 3

Produksjonsmetode

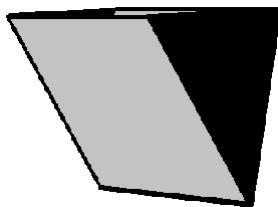
Ved Sealab dyrkes rotatorier i runde koniske glassfiber-tanker på ca 300 liter, illustrert i figur 3.1. Anlegget består av 12 tanker separate produksjonstanker med individuell styring for fôr og vann tilførsel. Tankene er konisk utformet slik at avfallet og døde rotatorier blir samlet på et lite areal i bunnen. Bunnslam kan bli skylt ut ved en å åpne en manuell ventil, plassert i senter, som går til sluk.

Vanntilførsel

Kulturene krever friskt vann med riktig temperaur og salinitetsnivå, for å holde miljøet til rotatoriene på et godt nivå. For å sikre riktig temperatur og salinitet i kulturen blir vannet som skal tilføres kulturen oppbevart i et reservoar der en regulerer disse variablene. Reservoalet er plassert høyere enn produksjonsanlegget, dermed kan en benytte tyngdekraften for tilføring av vann. Mengden vann som blir tilført stilles inn ved bruk av manuelle ventiler for hver tank. Mengden væske i kulturen blir holdt på et konstant nivå ved å benytte et overløp fra et



Figur 3.1: Produksjonstanker



Figur 3.2: Filter for å holde tilbake rotatorier.

filteret og ned til sluk.

Filtrering

Brukt vann må filtreres for rotatorier før det går til sluk. Filteret illustrert i figur 3.2, har to store flater (grå) med en nettingduk med åpning slik at bare partikler mindre en rotatorier slipper igjennom. Filteret plasseres nedsenket i kulturen, og all overflødig væske må gå igjennom filteret før det kan gå til sluk. For å hindre at partikler legger seg og tetter duken blir det tilført luft i bunnen av filteret. Luften går så langs nettingen for å skape en strømming som skal forhindre partikler fra å binde seg.

Fôring

Prosessen starter med å hente ut en vannprøve fra kulturen. Prøven blir distribuert i dråper under et mikroskop, hvor en så teller antall rotatorier i hver dråpe. Tettheten beregnes deretter ved å sammenligne antall dyr og størrelsen av prøven. Denne prosessen gjøres normalt en gang om dagen. Det kan i samme prosess bli utført kontroll av eggrate da dette vil si mye om endringen av rotatoriebestanden til neste dag. Fôringen går i dag kontinuerlig ved at en stempelpumpe tilfører fôrvæske som er blandet i bølter. Fôrvæsken må manuelt blandes til riktig dose, dosen er basert på hvor mange rotatorier det er pr. millilitert vann og hvilken vekst en ønsker i kulturen. Utføring går kontinuerlig med en hastighet som må justeres manuelt på stempelpumpen.

Oksygenregulering

Ved svært høy kulturtetthet, 1000 rotatorier per milliliter, kreves ekstra tilførsel av oksygen. Sensor for å måle oksygenmengde i vannet gir signal videre til et system som gjør beregninger og tilfører nødvendig mengde oksygen til kulturen. Settpunkt for oksygennivå og logg over oksygennivået er illustrert og lagret ved hjelp av et dedikert pc-system.

Vedlikehold

Med vedlikehold menes oppgaver som må utføres for å holde driften i gang. Dette vil da være telling av dyr hver dag, blande ut riktig mengde fôr hver dag

og manuelt flushe bunnventil for avfall en gang om dagen. En har også erfart at filterløsningen ikke er tilfredstillende, og at en derfor må rengjøre dette en gang om dagen. Av mindre hyppig vedlikehold har en rengjøring av tank og utskifting av slanger.

Kapittel 4

Spesifikasjoner og krav

4.1 Produksjon spesifikasjoner

Ved å ta utgangspunkt i dagens produksjonsanlegg, kan en se på hva som fungerer tilfredstillende og hva som bør endres på. Systemets størrelse og utforming må være gjennomførbar i henhold til oppgavens tidsbegrensning, samtidig som de skal være innenfor et økonomisk akseptabel nivå.

I samråd med en brukergruppe ved Sealab ble tabell 4.1 utformet til å inneholde de operasjoner som drift av et fullskala rotatorieanlegg vil omfatte. Operasjonene er blitt analysert og gruppen har sett på hvordan den løses i dag og hvordan den ønsket å bli løst, samt ønskede verdier og viktighet knyttet til hver operasjon. Viktighetsgrad en rangering for å bestemme hvilke operasjoner som bør prioriteres først.

4.2 Forbedringer av system

Ut fra hva som er viktigst å få på plass først ble det satt som mål å lage et system der en automatiserer fôr og vann-tilførsel, samt regulerer tettheten i kulturen. Systemet er ment til å dekke følgende punkter i tabell 4.1:

- Beregne rotorietetthet.
- Regulere rotorietetthet
- Tilføre fôr.
- Tilføre vann.
- Måle algekonsentrasjon.
- Regulere temperatur i fôrresorvar.
- Fjerning av bunnslam.

Oppgaver	Dagens kontinuitet	Dagens operatørsystem	Ønsket kontinuitet	Ønsket operatørsystem	Ønsket verdi	Viktighet
Beregne rotatorietetthet	En gang pr. døgn	Manuelt	Fire ganger pr. døgn	Automatisk		5
Beregne eggtrate	En gang pr. døgn	Manuelt	Fire ganger pr. døgn	Automatisk		4
Regulere rotatorietetthet	En gang pr. døgn	Manuelt	En gang pr. time	Automatisk		5
Fjerne bunnslam	En gang pr døgn	Manuelt	Fire ganger pr. døgn	Automatisk		5
Tilføre fôr	Kontinuerlig	Automatisk	Periodisk	Automatisk		5
Måle algekonentrasjon			Fire ganger pr. døgn	Automatisk		2,5
Måle tapt fôr			Kontinuerlig	Automatisk		2
Måle svømmehastigheten til rotatoriene	En gang pr. døgn	Manuelt vurdering	Fire ganger pr. døgn	Automatisk		4
Nivåregulering	Kontinuerlig	Automatisk	Kontinuerlig	Automatisk		5
Vannutløp	Kontinuerlig	Automatisk design	Periodisk	Automatisk		5
Oksigennivå måling	Kontinuerlig	Automatisk	-	-		-
Oksigennivå regulering	Kontinuerlig	Automatisk regulert	-	-		-
Sliirengjøring	En gang pr. døgn	Manuelt	En gang pr. tre døgn	Automatisk		5
PH måling			Kontinuerlig	Automatisk		2
PH regulering			Kontinuerlig	Automatisk	8	2
Ammoniakkonentrasjon måling			Kontinuerlig	Automatisk		3
Temperaturmåling i kulturen			Kontinuerlig	Automatisk		3
Ammoniakkonentrasjon.begrensning			Kontinuerlig	Automatisk	>0.2mg/l	5
Salinitetmåling i kulturen			Kontinuerlig	Automatisk	25 grader	5
Forfytting av rotatorier	Maks en gang i uka	Manuelt	Maks en gang i uka	Automatisk		2
Rengjøring av kar	Maks en gang i uka	Manuelt	Maks en gang i uka	Automatisk		2
Regulere temperatur i fôrresorvar			Kontinuerlig	Automatisk		5
Rengjøring av fôrsystem	En gang pr. døgn	Manuelt	En gang pr døgn	Automatisk		4

Tabell 4.1: Kravspesifikasjon for hvordan operasjoner i et produksjonsanlegg for rotatorier er løst sammenlignet med hvordan de optimalt burde vært løst.

En god styring av disse parameterene kan føre til bedringer av parametre som PH, ammoniakkonsentrasjon og rengjøring av sil.

Systemets mål

Ved å dekke de nevnte operasjoner har en satt seg følgende mål med anlegget:

- Systemet skal forminske arbeidsinnsatsen.
- Systemet skal kunne drives tre døgn uten vedlikehold.
- Systemet skal regulere rotatorietetthet til ønsket nivå.
- Systemet skal minske forbruk av fôr.

Systemets egenskaper og begrensninger

Systemet bør bestå av to tanker, slik at en har mulighet til å kjøre sammenligning direkte mellom kulturer samtidig som kostnadene holdes nede. Komponenter som er i kontakt med kulturen bør være av material som ikke er skadelig på alger eller fiskelarver. Fjerning av bunnslam fra kulturtanken vil være risikofylt og en bør teste løsning uten at en risikerer å miste hele kulturer med rotatorier.

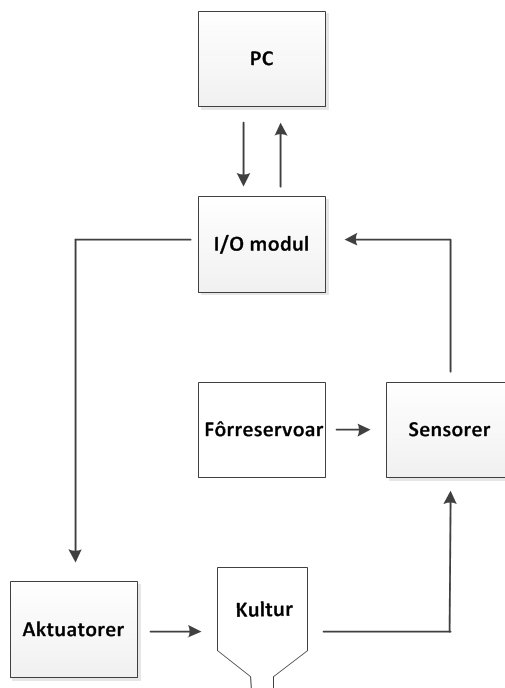
Nåværende løsning for oppbevaring av fôr er ikke god nok for oppbevare tre dager, det må derfor lages en reservoarløsning som holder en temperaturen rundt 0-4 grader celsius ("kjøleskaptemperatur"). For å bedre kontroll av førmengde som blir tilsatt ønskes måling av tettheten i reservoaret. Det må sikres mot at rotatorier kan bli overført til fôrreservoar.

Systemet må kunne kjøres med både periodisk og kontinuerlig tilførsel av vann og fôr. (Også omtalt som hel og halvautomatisk modus eller automatisk og manuell). Perioder for tilførsel av fôr og vann er litt vanskelige å fastsette. Ved å gå ut fra et fire timers mellomrom fra hver gang en tilfører fôr, anser en at tiden for utføring bør være på mellom en halv og en hel time. Antall perioder og periodetider for tilførsel av fôr og vann må kunne settes av bruker. Da større variasjoner, enn det som er antydnet, kan forekomme må en ha litt sikkerhetsmargin når en velger komponenter.

Basert på automatisk måling og beregning av rotatorietetthet bør en regulere seg inn mot en ønsket tetthet og uttynning. Utviklingen for tilstandene rotatorietetthet, eggrate og fôrdose må presenteres for bruker.

En bør i tillegg tenke på følgende:

- Et enkelt alarmsystem bør være implementert.
- Det må være greit å komme til i kulturtanken.
- En bør kunne overstyre sensorer hvis de skulle svikte.
- Siden systemet kan bli videre utvidet bør dette tas hensyn til ved utforming.



Figur 4.1: Oversikt over Hardware struktur.

4.3 Instrumentering

For å kunne automatisere produksjonen av levendefôr er en avhengig av instrumentering for å kunne måle eller estimere tilstander i kulturen og fôrreservoaret. Ved å styre tilførsel av fôr og friskt vann kan man påvirke disse tilstandene.

Produksjonsanlegget består av de nevnte kulturtanken, fem moduler og deres sammenhenger illustrert i figur 4.1. Sensorer og andre måleinstrumenter sender målinger av tilstandene, fra kulturen og fôrreservoaret, via en I/O modul til en PC. PCen gjør nødvendige beregninger og sender signal til aktuatorer, via samme I/O modul, og nødvendig fôr og vann blir tilført kulturen.

Sensorer

Målingen må bli gjennomført regelmessig for å kunne kontrollere utviklingen av kulturen. En forholdsvis høy nøyaktighet på målingene er nødvendig, da flere feil kan summeres sammen og bli store. Signalene skal sendes rundt 20 meter og det vil derfor være viktig at de er robuste mot støy. Følgende tilstander må måles eller estimeres:

Rotatorietetthet - en er helt avhengig av å vite noe om den nåværende tettheten, for å kunne regulere inn mot en referanse tetthet. Beregning av tetthet

kan løses ved manuell uttakk og detektering, det er forøvrig en tidkrevende metode og ikke tilfredsstillende til et automatisert anlegg. Prøver må tas ut automatisk og et kamera kan så brukes for å ta bilder av prøvene. Videre kan en bruke algoritmer for å dektekere rotatorier.

Eggrate - vil kunne si noe om hvordan rotatoriekulturen kommer til å utvikle seg det nærmeste døgnet. Tilstanden kan beregnes på samme måte som rotatorietetthet.

Kulturvolum - mengde rotatorier må være kjent. For å vite den totale mengden, må en kunne si hvor mange liter kulturen består av. Dette kan løses ved å måle trykket i tanken, nivåmåling eller liknende. Nivået vil ha små endringer på grunn av stort radie i tanken. Det vil derfor være viktig med høy nøyaktighet for å få en nøyaktig beregning av volumet i tanken. Hvis sensor er i kontakt med kulturen, må den ikke bestå av stoffer som er giftige for rotatorier eller fiskelarver.

Fôrvolum - må være kjent slik at systemet kan varsle om nivået blir kritisk lavt. Nivået kan måles ved samme metode som volumet i kulturen

Temperatur - vil være regulert i kulturtankene ved å kun tilsette vann fra et forhandstemperert reservoar. Temperaturen i fôrreservoaret må bli holdt ved en lav temperatur. Bruk av temperatursensor vil være gunstig for å kunne varsle ved feil temperatur.

Fôrkonsentrasjon - er en viktig faktor for å kunne gi riktig mengde fôr. Ved å måle hvor konsentrert fôr/salt vannsløsningen er, kan en finne riktig mengde væske å tilføre kulturen. Det vil være viktig at konsentrasjonensmålingen er så konstant som mulig og ikke drifter.

Fôrreservoar

Reservoaret har følgende krav:

- Det må holde fôret i en god tilstand i minst tre dager.
- Det må være dimensjonert til å kunne forsyne seks kulturer i minst tre dager.
- Det må sikres en god distribusjon av fôrpartikler.

I/O modul

Må kunne overføre nødvendige signaler mellom sensorer, aktuatorer og Softwar. En I/O enhet vil være nødvendig for å motta signaler fra sensorer samt sende signaler til aktuatorer. Bilder fra eventuelt kamera kan overføres via ethernet.

Aktuatorer

For å styre kulturens utvikling, må en ha nøyaktig tilførsel av næringsrikt fôr, friskt vann og en sikker løsning for nedskylling av partikler. Bruk av ventil eller pumpeløsning alene eller sammen vil kunne være tilfredsstillende.

Tilførsel av fôr Tilførsel av fôr er en viktig prosess som må utføres presist og nøyaktig. Basert på krav, om utføringstid på en halv til en hel time, er følgende krav til fôrtilførsel:

- Nøyaktig dosering
- $q_{u,max} > 50 \frac{ml}{min}$
- Ventilordning

Tilførsel av vann For vanntilførsel har en satt følgende krav:

- Nøyaktig dosering
- $q_w > 5 \cdot V_W$, $V = 250l$ gir $q_w > 1,16 \frac{l}{min}$
- Ventilordning

Nedskyll Ventil montert etter filter vil sikre at en ikke mister rotatorier, samtidig som en får testet en ordning for flushing av kulturtank.

PC

PCen bør være stasjonær siden det ikke er behov for å forflytte den og det vil være mest økonomisk. Den må kunne motta nødvendige sensorverdier, drive styresystem og HMI mot bruker, håndtere bildebehandling, samt sende signaler til aktuatorene. En PC med "Normale" prestasjoner med hensyn på system spesifikkasjon er sett på som tilfredsstillende.

4.4 Software

Målinger fra sensorer og estimering må oppdateres jevnlig for å sikre riktig informasjon. Ved å oppdatere med et fast samplingsinterval sikrer en at det ikke brukes for mye datakraft til å oppdatere signaler, samtidig som en har data som er nøyaktige nok til å ha et riktig bilde av tilstandene i kulturen.

Et brukergrensesnitt (HMI) må bli laget for å kunne kontrollere og overvåke produksjonen av rotatorier. Systemet bør ha følgende interaktive funksjoner:

- Ønsket tetthet av rotatorier, samt forventet fortykning fra kulturen og andre initialtilstander må kunne defineres.
- Bruker må kunne starte og stoppe pumper, ventiler og systemet i sin helhet.

- Pådrag og fôringsstrategi må kunne velges når systemet kjører.
- Verdier for alarmer bør kunne defineres av bruker.
- Mulighet for å overstyre sensordata.

HMI systemet må også presentere følgende:

- Nåværende tilstander i kulturtanker og fôrreservoar.
- Utviklingen av fôrtetthet, eggrate og fôrdose over de siste døgn.
- Aktive aktuatorer og ventiler.
- Alarm og feilmelding for hva som utløste alarm.

4.5 Regulering

Mengden rotatorier i kulturen kan ikke styres direkte ved å endre tilgjengelighet på fôr, dette er på grunn av at en må ta hensyn til hvordan hvert enkelt individ er i stand til å forbruke og ta i mot energi. Ved å tilføre kontroll av eggraten vil en kunne kontrollere mengden rotatorier som blir produsert. Regulatoren må derfor kunne kontrollere følgende tilstander:

- Fôrdose: -hvor mye fôr hver enkel rotatorie får i døgnet.
- Eggrate: -hvor mange egg det er pr. rotatorie i kulturen.
- Rotatorietetthet: -hvor mange rotatorier det er pr. milliliter i kulturen.

Antall rotatorier som produseres må derfor settes i sammenheng med det forbruket en har til ett gitt tidspunkt, og mengden rotatorier som blir tatt ut. Som følge av tidsforsinkelsen fra fôr blir tilført til egg blir produsert vil systemet kunne bli ustabil ved bruk av lukket sløyfe.

Kapittel 5

Design

5.1 Sensorer og aktuatorer

Kultur og fôrnivå

For kontroll av kulturvolum og fôrnivå ble de valgt å bruke trykktransmitter fremfor nivåmåler. Årsaken er at transmitteren ved plassering i bunnen ikke kommer i konflikt med annet utstyr samtidig som den kan beskyttet fra menneskelige påvirkninger. Transmitter av typen LMK 351 illustrert i figur 5.1 ble utstyrt med følgende spesifikasjoner for å tilfredstille krav:

- Input: $0-2,0mH_2O$ (tilsvarende 200 mBar)
- Output: 4 - 20 mA
- Nøyaktighet: 0,35 % FSO IEC 60770
- Elektrisk tilkobling: ISO 4400 (IP 65)
- Mekanisk tilkobling: G1 1/2" DIN 2852



Figur 5.1: Trykktransmitter LMK 351



Figur 5.2: Fôringspumpe

- Material: PVDF
- Samplingshastighet: 5 målinger i sekundet
- Driftstemperatur: -25 til $+125^{\circ}C$
- Forspenning: 9 - 36 V

Sensoren registrerer overtrykk ut over atmosfærisk trykk på 1 bar. Materialvalg i form av PVDF oppfylle krav om materialer som er i kontakt med kulturen ikke skal være skadelig. Nøyaktigheten vil gi et godt grunnlag for å beregne riktig mengde i tanken. Et utgangssignal på 4 - 20 mA vil være gunstig mot støy (Onshus 2006).

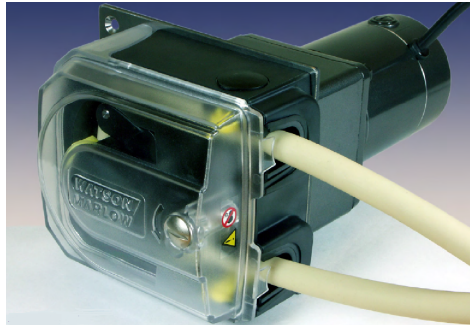
Transmitteren antas å ha linær sammenhengen mellom ampervedien (A) og høyden (h), signal fra sensor kan derfor beskrives ved lingning 5.1.

$$A = 4 + K_{T_t}h \quad (5.1)$$

Fôringspumper

For tilførsel av fôr ble det valgt å bruke slangepumper. For å holde avstanden på slanger fra fôrreservoar nede bør det plasseres i nærhet av kulturtankene. Dette betyr at en må ha pumper for å løfte fôret opp til tankene, samtidig som en må ha en ventilordning for å hindre at væske fra tanken går inn i fôrreservoar. Slangepumper løser begge disse problemene da den holder igjen pumpehodene 313D med tre ruller.

- Input: 12 VDC
- Regulering: av/på
- Output: $q_{u,max} = 114 \frac{ml}{min}$ (verifisert ved testing)
- Nøyaktighet.
- Frigjør behovet for ekstern ventil



Figur 5.3: Vannpumpe fra Watson Marlow 520D

Vannpumper

Tilførsel av vann skjer fra overliggende reservoar, og en har dermed muligheten for å benytte seg av tyngdekraften og elektrisk styrt ventil. Muligheten for relativt store trykkendringer har derimot gjort at det er valgt å bruke slangepumper. Slangepumper løser ventilproblematikk og sørge for høyere nøyaktighet. Pumpehodene 520D med tre ruller og VBM børsteløs motor illustrert i figur 5.3 med følgende spesifikasjoner ble benyttet:

- Input: 24 VDC
- Regulering: 0-4 V signal
- Motorhastighet: 0-190 rpm
- Slangetykkelse: 9,6 mm
- Output: $q_{w,max} = 2,80 \frac{l}{min}$
- Driftstemperatur: $-10 \text{ til } +45^{\circ}C$

Nedskyll

For å teste nedskyll vil det være behov for bruk av ventil. Magnetventilen med flow på 38 liter pr. min, illustrert i figur 5.4, ble valgt for testing.

Fôrrservoar

For å kunne holde temperaturen i fôrrservoar på ønsket nivå vil det kreve god isolasjon og temperaturregulering. Kjøleskap er sett på som en tilfredsstillende og billig løsning for å skape god isolasjon og holder riktig temperatur. For målinger av fôrtetthet er turbiditetsmåling den åpenbare løsningen (Pastor, 2007). Turbiditetsmåling er en optisk måling på mengden lys som kommer og mengde lys som blir absorbert/reflektert av partikler. En har valgt å benytte seg av turbiditetsmåler illustrert i figur 5.5 med følgende egenskaper:



Figur 5.4: Ventil for nedskylling



Figur 5.5: Turbiditetsmåler (hentet fra Pastor 2007)



Figur 5.6: Røremotor og motorkontroller for omrøring



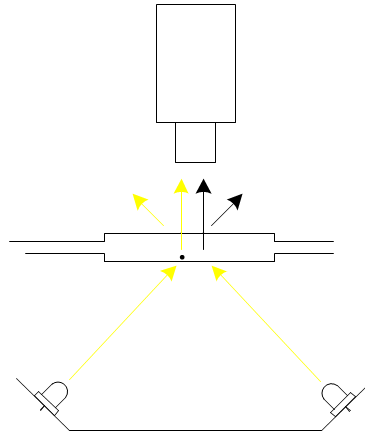
Figur 5.7: Rotatorieteller

- Input: 100 til 240 VAC
- Output: 0/4 – 20mA og RS232
- Måletype: Dobbel fiber
- Driftstrykk: 0 - 6 bar
- Driftstemperatur: –30 til +130°C

For å kontrollere temperaturen vil bruk av et PT-100 element være tilfredsstillende. For å sikre en god distribusjon av forpartikler kan en enten benytte seg av luftbobler eller omrøring for å skape bevegelse. Ved å bruke omrøring med justerbar hastighet kan sirkulasjonen endres hvis sirkulasjon ikke er tilfredsstillende. For å drive omrøringen har en valgt motor og styring illustrert i figur 5.6.

Rotatorieteller

En protortype som går under betegnelsen rotatorieteller, illustrert i figur 5.7, er under stadig utvikling. Prinsippet har vært å automatisere den manuelle tellingen. Dette er utført ved å tilføre prøver, fra opptil 10 forskjellige kulturtankene



Figur 5.8: Oppsett for kamera, prøveglass og lysdioder

ved hjelp av en slangepumpe. For kontroll av hvilken tank prøven skal bli tatt fra brukes en ventilmannifoild. Prøven føres videre igjennom et spesialdesignet glass med et kjent volum før det går til sluk. På den ene siden av glasset er det plassert dioder (illustrert i figur 5.8) som sender lys mot partikler inne i prøveglasset. På den andre siden er det plassert et kamera for å ta bilder av prøven. Diodenes plassering fører til at partikler i bildet vil komme frem som hvite områder på en sort bakgrunn. Rotatorietelleren består av følgende komponenter:

Strømomformer - for å gi riktig spenning til komponentene

Pumpe - trekke inn prøve fra tank

Ventilmanifoild - velger hvilken tank en skal ta prøve fra

Prøveglass - spesialglass med et kjent volum

Kamera - tar bilder av prøvene

Lysdioder - lyse opp partikler i prøven

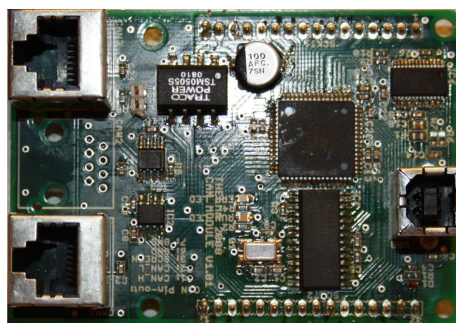
I/O-kort - kommuniserer via CAN Master Modul mot PC

Tilkoblingspunkter: -2 ethernet porter

Strømtilførsel: -220 VAC

Styresystem og beregning av rotatorietetthet

Rotatorietelleren er utviklet for å bli drevet med styresystem i LabVIEW og Java, det er ønskelig å bruke LabVIEW program. Kommunikasjon mot I/O kort skjer ved CANbus overføring til CAN Master Modul, illustrert i figur 5.9, som igjen kommuniserer med PC via USB.



Figur 5.9: CAN Master Modul



Figur 5.10: Kulturtank

Bildene blir sendt via ethernet til PC hvor det blir gjort om til digitalt bilde og filtrer ved å trekke fra det forrige bildet, dette er spesielt gunstig i forhold til partikler som sitter på glasset. Bildebehandlings algoritmer brukes for å finne partikler med riktig størrelse og form. Antall partikler som stemmer med betingelsene telles, og estimering av dyr pr. milliliter beregnes ut fra volumet væske som fotograferes.

5.2 Kulturtank

Eksisterende kulturtanker på ca 300 liter er sett på som tilfredsstillende for systemet. Tankene har et overløp som sørger for nivåregulering. For å kunne gi riktig mengde fôr og vann må størrelsen på kulturen være kjent.

Mengden kulturvæske i tanken kan beregnes ved å ta utgangspunkt i måling

fra trykktransmitter og bruke ligning 5.1. Ved å snu på formelen og få ut høyden ved ligning 5.2, der x er høyden i dm.

$$h = 1/K_{Tt}(A - 4) \quad (5.2)$$

Overgangen fra høyden i tanken til antall liter blir komplisert av endringen på tankens radius. Ved å bruke et minstevolum på 50 liter vil en bare stå ovenfor en linær endring, dette er en god løsning da tanken vil være opp mot full under drift. Med utgangspunkt i grunnlegende volumetrisk utregning av sylindervolum, ved ligning 5.3, og radius angitt av høyden i ligning 5.4 kan det totale volumet beskrives.

$$V = \pi r^2 \cdot h \quad (5.3)$$

$$r = r_1 + k(h - h_1) \quad (5.4)$$

Ved å ta utgangspunkt i et bestemt volum, kan en beskrive et volum i tanken som ligning 5.5 med radius angitt av ligning 5.6.

$$V_1 = \frac{\pi h_1 r_1^2 + \pi h_2 r_2^2}{2} \quad (5.5)$$

$$r_2 = r_1 + k(h_2 - h_1) \quad (5.6)$$

Siden h_1 og h_2 er kjente faktorer, settes $h = h_2 - h_1$. Ved å benytte dette og ligning 5.6, kan ligning 5.5 omformuleres til ligning 5.7

$$V = \pi(hr_1^2 + kr_1h^2 + \frac{1}{2}k^2h^3) \quad (5.7)$$

Det komplette oppsettet for komponentene kan ses i figur 5.11

5.3 Software

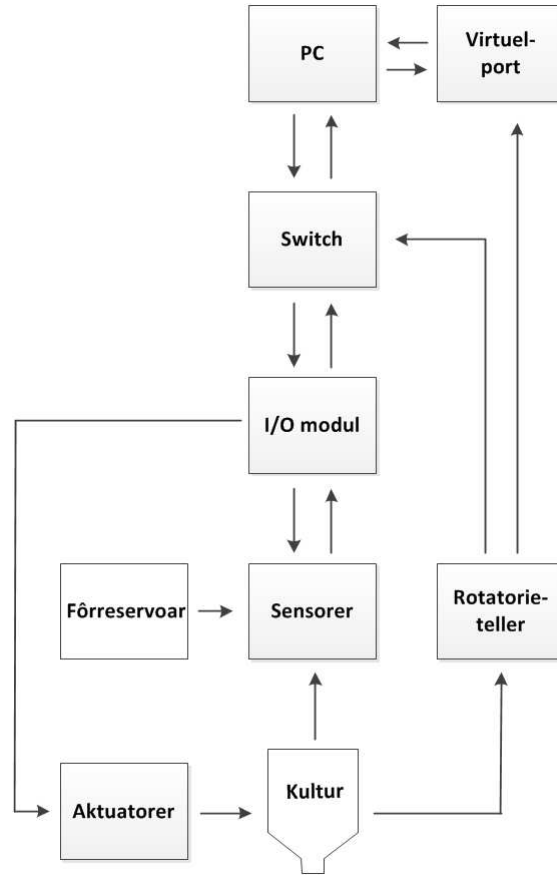
For å forenkle kommunikasjon med tellerprogram, og siden LabVIEW er et grafisk høynivå programmeringsverktøy ble det bestemt å brukes for implementering av Software

LabVIEW programmet er designet i moduler illustrert i figur 5.12, der hver modul kjøres i løkke. Systemet er designet til å fungere på følgende måte:

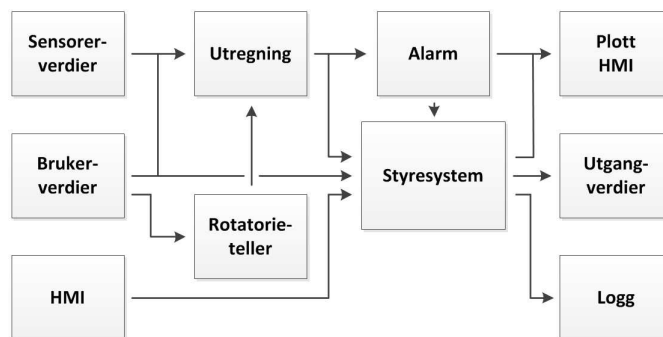
Sensorverdier Signale fra sensorer og verdier fra rotatorietelleren blir hentet og satt som variable.

Brukerverdier Verdier, satt av bruker, brukes til å gjøre utregninger og som input til "styresystem"

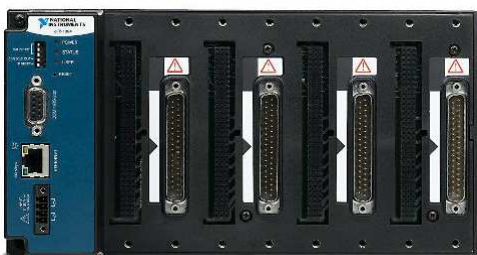
Rotatorieteller Henter verdier fra bruker og estimerer rotatorietetthet og implementeres mot regulator for å beregne fôrdose.



Figur 5.11: Utvidet oversikt over Hardware struktur



Figur 5.12: Software moduler



Figur 5.13: Kommunikasjonsplattform NI cFP-1804

Utregning Inputsignaler, brukerverdier, estimeringer og andre konstanter blir brukt til å beregne riktige verdier for hvor mye fôr og vann pumpene skal tilføre kulturen. Det gjelder blant annet omregning fra nivå i tank, til hvor mange liter tanken inneholder.

HMI Inneholder knapper og brytere for å navigere rundt i programmet, velge strategier og se resultater fra valg som er gjort.

Styresystem Kommuniserer med bruker via HMI, og styrer pumper og ventil basert på utregninger og brukerverdi.

Logg Verdifulle målinger og verdier blir lagret i egne mapper. Disse er organisert under hovedmappe for om de hører til reservoaret, tank en eller tank to. Hver fil er merket med dato og inneholder verdier og tidspunktet verdiene ble lagret. Når en går over til en ny dag opprettes automatisk en ny mappe. En har mulighet til å sette hvor ofte en ønsker å lagre data, dette gjøres ved å angi hvor mange sekunder det skal gå mellom hver gang en logger signaler.

Alarm Bruker setter hvilke verdier som skal utløse alarm, ved aktiv alarm sendes feil til HMI som kan gi advarsel ved signallys og en feilmelding.

Plotting Hovedplottet viser trenden for rotatorietthet, eggthet og fôring. Hver enkelt har sitt eget plott på egen side for bedre fremvisning av verdier.

5.4 Kommunikasjon

For kommunikasjon mellom Hardware og Software ønsker en å bruke et I/O system som fungerer bra mot LabVIEW. National Instruments, som er leverandør av LabVIEW, leverer flere typer kommunikasjonssystemer deriblant Compact Fieldpoint (cFP). CFP systemet ble valgt fordi det gir fleksibilitet i forhold til utbygging og endringer av systemet, da en kan bygge på nye moduler etter som spesifikasjonene endres.

Kommunikasjonsplattformen



Figur 5.14: Analog inndata, analog utdata og relè modul

- Input: opptil 4 cFP moduler
- Strømtilførsel: 11 til 30 Volt
- Output: Ethernet eller RS232
- Operativ system: Windows 2000/XP
- Anbefalt Software: LabVIEW
- Driftstemperatur: -40 til $+70^{\circ}\text{C}$

Med valgte sensorer og aktuatorer har en behov for å håndtere analog in, analog ut og digitale ut signaler. En har derfor valg følgende komponenter (illustrert i figur 5.14):

Analog inn Modulen må bestå av minst fem kanaler som bør kunne ta inn både spenning og stømsignaler. En høy oppløsning vil også sikre at en kan opprettholde nøyaktige målinger. NI cFP-AI-100 modul er valgt siden den har åtte kanaler inn, kan motta strøm eller spenning signal og har 12 bits oppløsning.

Analog ut Modulen må bestå av minst tre kanaler som bør kunne ta inn både spenning og stømsignaler. En høy oppløsning vil også sikre at en kan opprettholde nøyaktige målinger. NI cFP-AO-200 modul er valgt siden den har åtte kanaler ut, kan levere strøm eller spenning signal og har 12 bits oppløsning.

Digital ut Modulen må bestå av minst tre kanaler. Modul NI cFP-RLY-425 gir beskyttelse mot større strømmen og er med sine 8 kanaler tilfredsstillende.

5.5 Regulering

Regulering av rotatorier mot et ønsket settpunkt er basert på Alver et al. (2010). Mengden før tilført i døgnet vil være den avgjørende faktoren for hvor mange egg rotatoriene kan produsere. Hvor mange egg som produseres vil videre avgjør veksten til kulturen.

Estimering

Basert på simulering av modell beskrevet av Alver et al. (2006), er det funnet matematiske sammenhenger som vil være avgjørende for regulering av rotatoriebestanden. Sammenhengen mellom nødvendig fôrdose for hvert individ som en funksjon av ønsket eggrate er beskrevet av ligning 5.8, mens likevekten mellom eggrate og kulturen sin vekst beskrives av ligning 5.9.

$$h(E) = 6.38 \cdot 10^{-6} E^3 - 7.72 \cdot 10^{-7} E^2 + 1.69 \cdot 10^{-6} E + 5.80 \cdot 10^{-7} \quad (5.8)$$

$$g(\mu) = 1.50\mu^2 + 0.89\mu + 0.065 \quad (5.9)$$

Estimat av vekstrate som funksjon av eggrate kan bli beskrevet av ligning 5.10.

$$g^{-1} = -0.32E^2 + 0.89E - 0.045 \quad (5.10)$$

Tetthet mellom to fortyninger er betegnet som prosjektert tetthet og beregnes ut fra målt rotatorietetthet og eggrate ved ligning 5.11 og 5.10.

$$\hat{R}_p = \hat{R}e^{\mu(0.5 - \Delta t_d)} \quad (5.11)$$

Fôrmengde

Basert på en ønsket rotatorietetthet og en kjent høstingsrate, samt nåværende rotatorietetthet og eggrate kan en beregne nødvendig fôrmengde. Kontrolleren er delt opp med en indre kontroller for eggrate og en ytre kontroller for rotatorietetthet. Den indre kontrolleren bruker ligning 5.8 for å kalkulere individuelle fôrdose basert på referanseverdi for eggraten. Korreksjonsfaktor κ_u beregnes ut fra feilen mellom ønsket eggrate og nåværende eggrate ved ligning 5.12.

$$\kappa_u = 1 + K_{P2}(E_r - \hat{E}) + K_{I2} \int_0^t (E_r - \hat{E}) dt \quad (5.12)$$

Kontroller for eggrate viste seg tilfredstillende ved forsøk av Alver et al. (2010) og brukes derfor uten modifikasjoner med kontroller input:

- $K_{I2} = 0.1$
- $K_{P2} = 0.4$

Ytre kontroller setter ønsket eggrate basert på fast uttynning av rotatorier og regulering på avvik mellom referanse og prosjektert rotatorietetthet ved bruk av ligning 5.13, 5.14 og 5.15 (Alver et al. 2010b). Ligning 5.14 er modifisert fra Alver et al. (2010b) til å bruke 80 prosent av estimert vekstraten, siden dette estimatet er antatt å være for høy og årsak til feilen fra forsøk omtalt i avsnitt 2.4. Ligning 5.13 er modifisert fra Alver et al. (2010b) fra en PI til P regulator da forsøk mot modell, omtalt i avsnitt 2.4, ikke opplevde noe invirkning fra integratorleddet.

$$\mu_r = \mu_D + K_{P1} \frac{R_r - \hat{R}_p}{R_r} \quad (5.13)$$

$$E_r = 0.8g(\mu_r) \quad (5.14)$$

$$U_b = h(E_r) \quad (5.15)$$

Antall gram med fôr som skal tilsettes kulturen beregnes så ut fra individ dose og rotatorietetthet i ligning 5.16 og 5.17 (Alver et al. 2010b).

$$U_u = U_b \kappa_u \quad (5.16)$$

$$u = 1000 R U_u \quad (5.17)$$

Kapittel 6

Implementasjon

6.1 Hardware

Komponenter ble hovedsaklig anskaffet ved kjøp igjennom internett og lagervare ved Sealab eller instetuttet sitt verksted. Spesialdesignede komponenter ble laget ved instetuttet sitt verksted. Komponenter som er implementert er listet i tabell 6.2.

Spesialdesignede deler

Fôrreservoar

Et kjøleskap med høyde på 105 cm og et volum på 195 liter ble bygget med en reservoartank som rommer 24 liter, illustrert i figur 6.1. Temperatursensor, røremotor og trykktransmitter ble montert i reservoaret, sammen med seks uttak og en dreneringsventil.

Pumpe og sensor panel

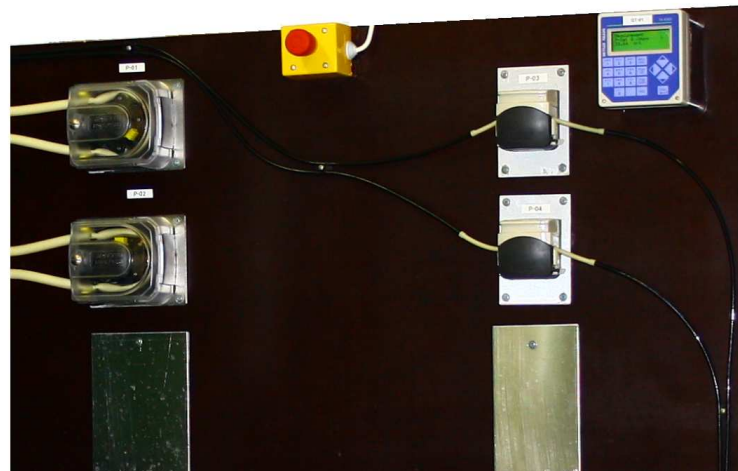
Et panel med plass til seks fôringspumper og seks pumper for vanntilførsel, illustrert i figur 6.2, ble utformet og implementert.

Strøm og I/O system ble montert i godkjent skap, illustrert i figur 6.3. Alle signaler inn og ut går først innom rekkeklemmer øverste for så å gå ned til I/O modul. Hovedstrøm på 220 volt går via sikring til strømomformerene. Rekkeklemme X1 ble brukt til 220 volt, X2 ble brukt til 24 volt, mens X3 ble brukt til 12 volt. Detaljer av tilkobling er beskrevet i tillegg C.

Totalt rotatorieproduksjonssystem, illustrert i figur 6.4, ble satt i sammen med to produksjonstanker i henhold til tilkoblingsskjema i tillegg A og B. Rotatorieteller ble plassert i en slik høyde at rotatoriene ikke må fraktes unødvendig langt, men samtidig som det er praktisk å komme til å gjøre vedlikehold og kontroll av komponentene innvendig.



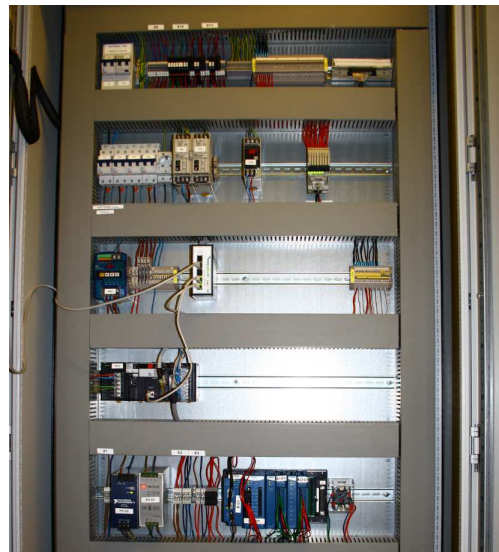
Figur 6.1: Fôrreservoar



Figur 6.2: Monterte pumper

Navn	Komponent	Produkt	Leverandør
AI-01	Analog inndata	NI cFP-AI-100	National Instruments
AO-01	Analog utdata	NI cFP-AO-200	National Instruments
DCM	DC Motor Controller	DCM X10335	United Automation
DO-01	Relèmodul	NI cFP-RLY-425	National Instruments
K-01	Ethernet/Serial grensesnitt cFP	NI cFP-1804	National Instruments
M-01	Motor (omrøring)	RH 158 30:1 24V	Micro motors
QT-01	Turbiditetssensor	InPro8050	Mettler Toledo
P-01	Pumpe	520FDM/R2	Watson-Marlow
P-02	Pumpe	520FDM/R2	Watson-Marlow
P-03	Pumpe	313 rapid load pumphead	Watson-Marlow
P-04	Pumpe	313 rapid load pumphead	Watson-Marlow
PS-02	Industriell strømforsyning	NI PS-16	National Instruments
PS-03	Industriell strømforsyning	DR-75-12	Mean Well
PT-01	Trykktransmitter	LMK 351	BD Sensors
PT-02	Trykktransmitter	LMK 351	BD Sensors
PT-03	Trykktransmitter	LMK 351	BD Sensors
TT-01	PT-100 element	W600.3L.06,0X0050.5-	Roth+co.
VS-01	Solenoid ventil	DL11 G3/8 DN11	Jaska

Tabell 6.2: Komponentliste



Figur 6.3: Koplingskap



Figur 6.4: Produksjonsanlegg

Rotatorieteller

LabVIEW programet for rotatorietelleren var ikke operativt, og en måtte derfor benytte seg av Java versjonen. Javaprogramet skriver og oppdaterer en fil med de siste estimeringer av tilstander, disse ble kan så bli benyttet som input til LabVIEW program.

6.2 Software

Software er implementert etter design og kode er vedlagt som fil, med navnet Software.

HMI

For å styre og holde oversikt over hva som foregår er det viktig med intuitiv fremstilling av prosessen. En har derfor valgt å bruke blå farge for å representerer vann, mens fôret er representert i grønt. Knapper blir merket røde når de er slått av og grønne når de er aktive.

På venstre side i skjermen er hovedmeny med knapper som ved et enkelt trykk fører til ønsket informasjon. Hovedmenyen består av følgende: “oversikt-bilde”, “automatisk”, “manuell”, “algereservoar” og “konfigurasjon”. Hovedmeny og felt for alarm og feilmelding vil alltid være tilgjengelig for bruker.

Hovedbilde

Hovedbilde skal gi bruker en rask oversikt over tilstandene og innstillinger i den tanken de ønsker informasjon om. Hovedbilde er presentert i figur 6.5, de forskjellige delene er delt inn i røde firkanter og forklart i punk 1-5.

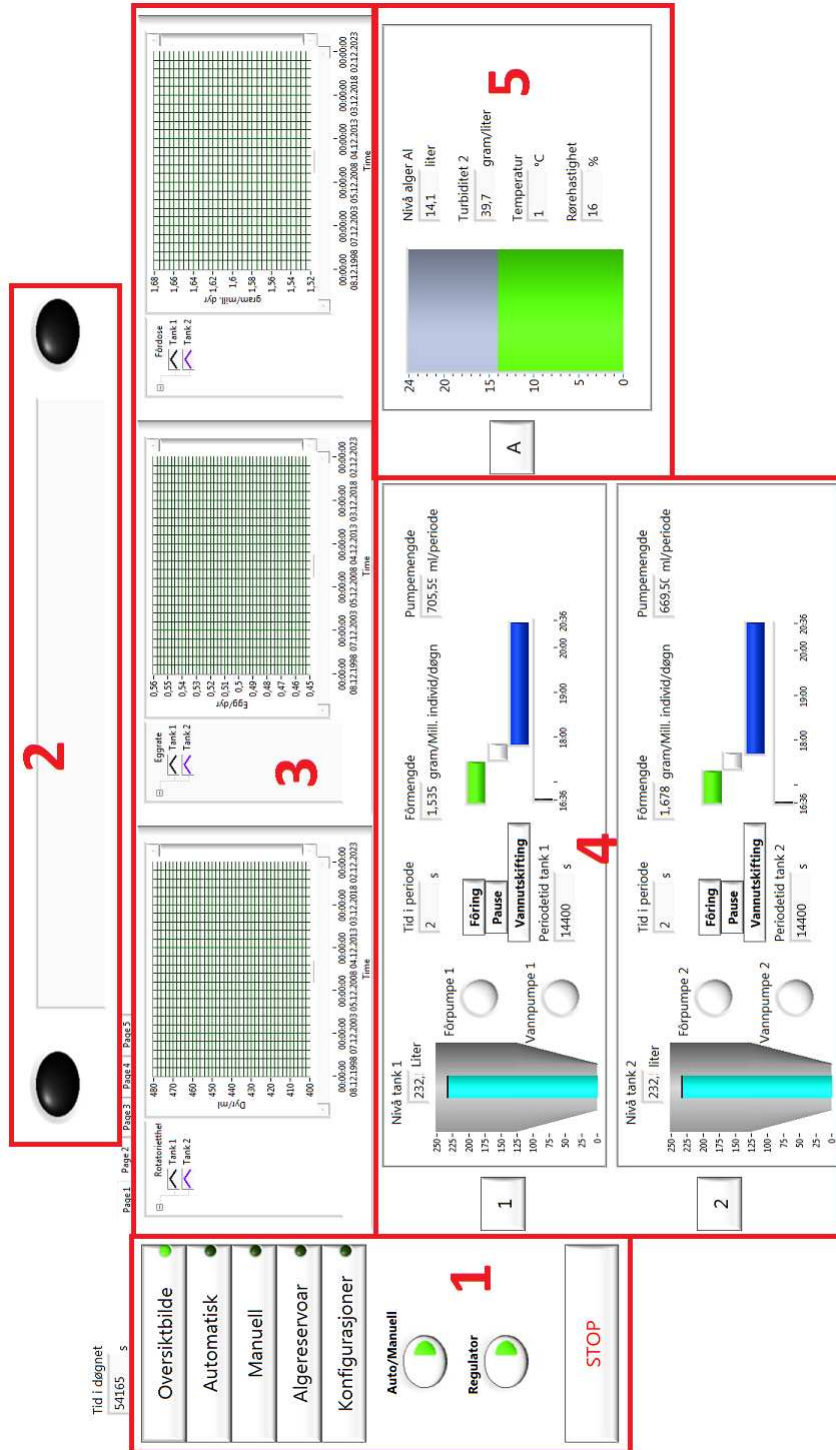
1. Kontrollpanel: Hovedmenyen for å velge hvilke bilde en vil ha frem, som fôrreservoar eller konfigurering. Av/på knapper for automatisk/manuell modus, bruk av regulatorverdi og stopp
2. Alarm/feildeteksjon: Lett gjenkjennelig med rødt blinkende lys og rød tekst for beskrivelse av feil.
3. Tilstandsovervåkning: For de siste dagene blir tilstandene; rotatorietetthet, eggrate og fôrdose/døgn for hvert individ presenteres. Tilstandene blir presentert for begge kulturene, der sort representerer tank 1 og lilla representerer tank 2.
4. Overvåkning av kulturtilstander: Hver tank blir presentert med følgende tilstander: nivå, hvilke pumper som er aktivert, individuell fôrdose som er i bruk, hvor mye fôr som pumpes på en periode, hvor lenge en periode er satt til å vare, hvor langt en er kommet i gjeldene periode og fordeling mellom fôring, nedbeiting og vannutskifting.
5. Overvåkning av fôr: Følgende tilstander for fôrbeholdning blir presentert: mengde, temperatur, tetthet og omrøringshastighet.

Automatisk

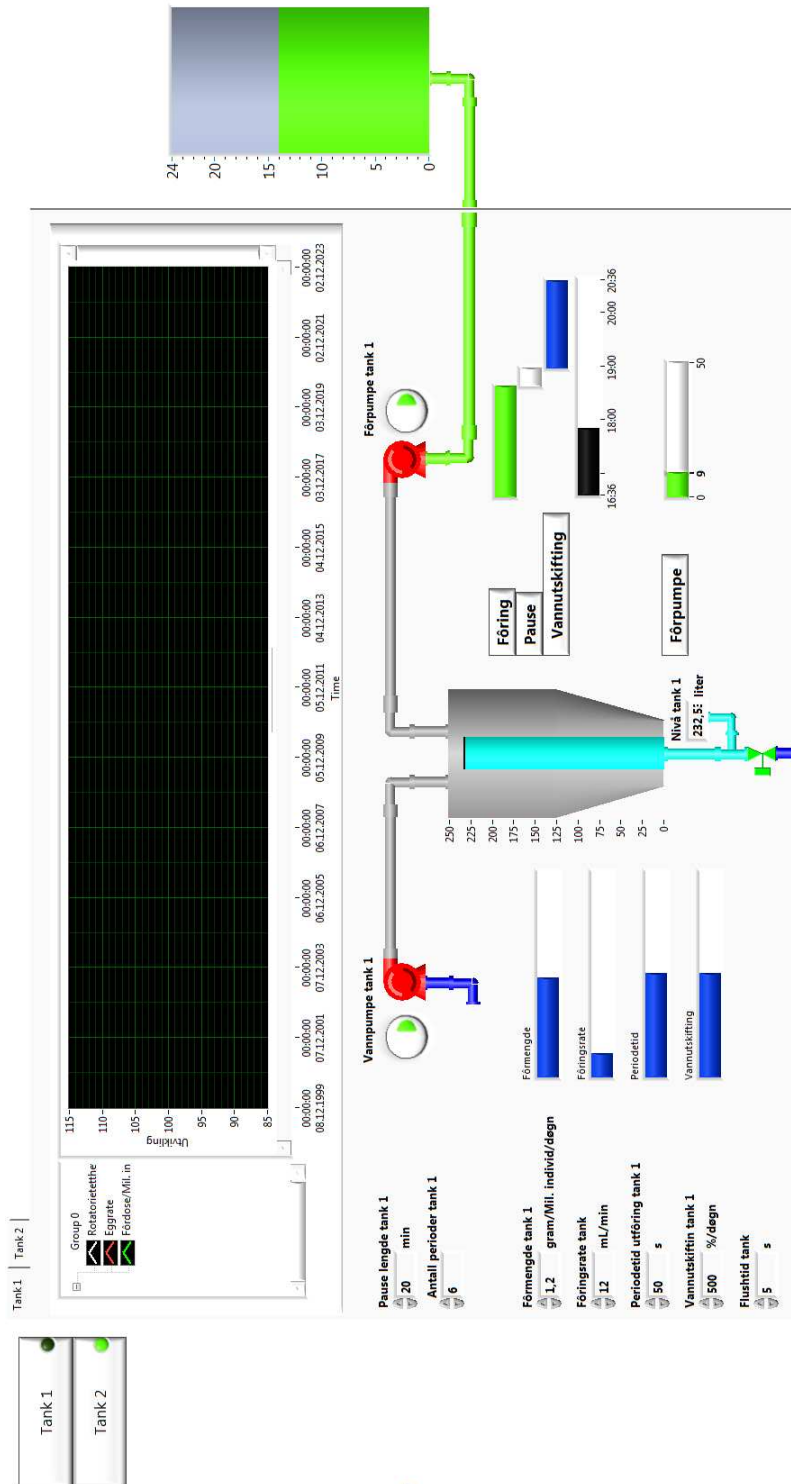
Operatørbildet har en undermeny for å velge mellom tank 1 og tank 2. Menyen brukes for å velge hvilken tank en vil gå inn og gjøre endringer på eller uthente informasjon om. Som sett i figur 6.6 består operatørbildet av et trendbilde for tanken øverst i bildet, her kan en følge utviklingen til de forskjellige trendene over tid sammenlignet med hverandre. Trendene er beregnet fra referanseverdi som må settes av bruker. Pumper og rør frem til kulturen er illustrerte, og disse skifter farge etter om de er aktive eller inaktive og om væske er tilgjengelig fra reservoar. Selve kulturtanken er avbildet med nivåmåling, tilhørende rører og ventil. Ventil for tank to er ikke implementert i Hardware og det vil derfor ikke ikke skje noe når denne er aktivert.

Manuell

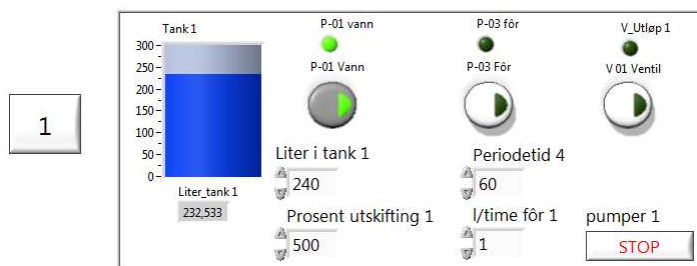
Operatørbildet består av et styrepanel for hver av de to tankene. Panelet er illustrert i figur 6.7 og inneholder indikator for nivå i tank, aktive pumper og ventil, brytere for å aktivere pumper og ventiler, styring av variable og en stopp-funksjon. Bildet inneholder også enkle grafer over tilstandene rotatorietetthet, eggrate og fôrdose.



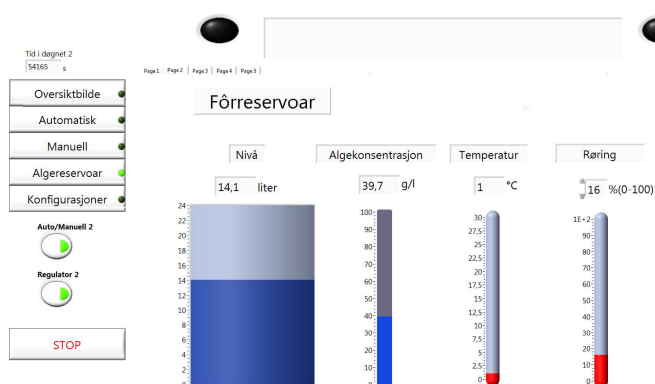
Figur 6.5: Operatørens hovedbilde



Figur 6.6: Operatørbilde automatisk for tank 1



Figur 6.7: Panel for manuell styring av tank 1



Figur 6.8: Operatørbilde for reservoar

Algereservoar

Operatørbildet er illustrert i figur 6.8 og består av fremstilling av tilstandene mengde, førtetthet, temperatur og hastighet på omrøring også med justeringsmulighet.

Konfigurasjon

Operatørbildet er illustrert i figur 6.9 og har en undermeny bestående av “tanker”, “alarm”, “plott og logg” og “signal inn”. De forskjellige konfigurasjonsbildene brukes som følger:

- **Tanker** -er delt opp i panel for hver kultur og en for algereservoar. Panel for kulturer benyttes for å sette initialtilstander for om en skal begynne med før eller vann periode, sette konstanter for pumper og tank og sette referanseverdier for tilstander som plottes. Interne tilstander i Software er også tilgjengelig. Panel for reservoar benyttes for å kalibrere måling av



Figur 6.9: Operatørbilde for konfigurasjon

volum i tanken.

- **Alarm** -er delt opp for hver kultur og algereservoar. Hvert del brukes til å bestemme hvilket verdi som skal aktivere lav og høy alarm for nivå og temperaturberegninger.
- **Plott og logg** -brukes til å sette samplingshastigheten for plott og logg av forskjellige tilstander. Det er også presentert hvor logg av hver enkelt signal blir lagret.
- **Signal inn** - er delt opp i de to panelene “teller” og sensorer, illustrert i figur 6.9 . Under teller må stien til fil som oppdateres av teller legges inn. En setter så hvilke kollonner som skal avleses og med hvilke samplingshastighet de skal leses. Alle råverdier fra sensorer og estimeringer av rotatorieteller og regulator er fremstilt. Under sensorer kan en velge å ta bort målinger gjort av sensorer og i stedet sette verdier selv.

6.3 Regulator

Ligninger for regulator ble implementert sammen med java kode for rotatorieteller, koden ligger i vedlegg D. Javaprogrammet kunne desverre ikke motta signaler i sanntid. Ønsket rotatorietetthet og forventet uttynning måtte derfor implementeres som initialtilstander sammen med rotatorietetthet og eggrate.

Kapittel 7

Eksperiment

7.1 Oppsett for eksperimenter

En rekke tester ble utført for å finne systemet sine egenskaper og begrensninger. Innledende tester ble brukt for å kontrollere delsystemer, før en gjennomførte tester mot rotatoriekulturer. Trykktransmitter, fôringspumper og vannpumper sine egenskaper ble testet ved spesielle oppsett beskrevet under “sensor og aktuator forsøk”. Førtettheten sin utvikling og turbiditet sensorens egenskap til å måle riktig førtetthet ble testet i “förtetthet.” Kulturer ble startet opp og regulering av rotatorietettheten mot et ønsket settpunkt ble testet ved “forsøk 1” og “forsøk 2”. Automatisk målte tilstander, pådrags signaler og manuelle målinger ble logget for hvert eksperiment. Det ble benyttet følgende samplingstider under forsøkene:

- Målte tilstander - 10 Hz
- Pådrag - 20 Hz
- Logg av signaler - 1 gang pr. sekund og 1 gang pr. minutt

Sensor og aktuator forsøk

Tester for for sensorer og aktuatorer ble satt opp som følger:

Trykktransmitter - ble testet på vann i gjennomsiktig rør med høydemål. Sensorverdier ble så kontrollert ved forskjellige nivåer ved manuell avlesning.

Vannpumper - ble testet ved å pumpe vann, ved kontinuerlige pådrag, til en bøtte. Mengden ble kontrollert med manuell avlesning og tidtaking over 10 minutter. Det ble så beregnet en pumpekonstant (K_{wp}) for vannpumpene.

Føringspumper - ble testet ved å pumpe vann, ved full effekt, til målebeger. Mengden ble kontrollert med manuell avlesning og tidtaking for tilførsel av en liter vann. Pumpekonstant (K_{up}) ble så beregnet, og tester for nøyaktighet ved periodevis kjøring ble utført.

Nivå i kulturtanker

De ukjente faktorene r_1 og k måtte finnes for å kunne si hvor mange liter kulturen består av. Dette ble løst ved tilsette et kjent volum med nøyaktig tilførsel fra vannpumper for så å bruke ligninger utviklet for volumet til tanken.

Førtetthet

Flere forsøk med forskjellige tettheter i førreservoaret ble testet. Forsøkene gikk over flere dager og med forskjellige nivåer i reservoaret for å kunne si noe om responsen og nøyaktighet ved måling av førtetthet.

Regulering av rotatorietetthet

Det komplette systemet for rotatorieproduksjon ble implementert med oppdaterte konstanter for K_{wp} , K_{up} , r_1 og k . Det ble gjennomført to forsøk hvor en startet med like instillinger for begge tankene, men forskjellige startbetingelser for de to forsøkene. Rotatorietetthet og eggrate ble kontrollert ved manuell måling og beregning, samtidig som rotatorietelleren utførte beregning for estimert tetthet. Manuelle målinger ble utført ved å ta ut tolv vannsøyler fra kulturen over tre omganger. Antall dråper som ble tatt fra hver prøve ble variert slik at en skulle ha minst 150 dyr under telling. Eggrate ble manuelt implementert og oppdatert for regulator. Føringsrate ble justert slik at føringstid lå mellom en halv og en hel time. Førtetthet i reservoaret ble utblandet for å holde i tre til fire dager. Temperaturen fra vannreservoar var ikke på et tilfredsstillende nivå og det ble brukt varmekolber i tankene for å holde en mer riktig temperatur.

Forsøk 1

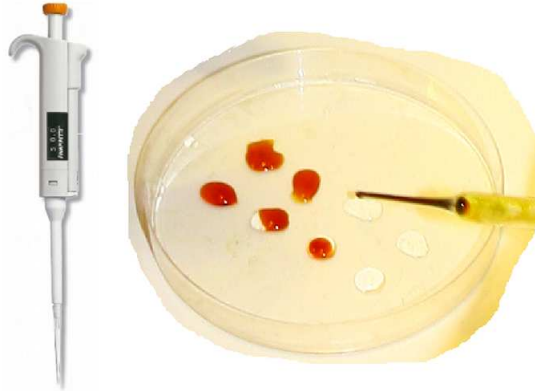
Forsøk en ble gjennomført over ti dager med følgende scenario:

- Ønsket tetthet i kulturen på $500 \frac{dyr}{ml}$.
- Uttynning på $25 \frac{\%}{døgn}$, med oppstart etter 3 dager.

Kulturene ble startet med betingelser angitt i tabell 7.1, samt bruk av regulator for å regne ut førmengde.

Forsøk 2

Konstanter funnet i tidligere tester ble brukt. Hele systemet ble testet i syv dager med følgende scenario:



Figur 7.1: Manuell uttak av prøve med

Variabel	Verdi
Rotatorietetthet	ca 200 $\frac{dyr}{ml}$
Eggrate	ca 0,2 $\frac{egg}{dyr}$
Nedbeitingstid (pause)	20 <i>min</i>
Antall perioder	6
Fôringsrate	10 $\frac{ml}{min}$
Periodetid (fôr)	50 <i>sek</i>
Vannutskifting	300 $\frac{\%}{døgn}$
Flushtid	10 <i>sek</i>
Beregning av tetthet	1 gang i timen
Antall bilder for hver beregning	15

Tabell 7.1: Startbetingelser for forsøk 1

Variabel	Verdi
Rotatorietetthet	ca $100 \frac{dyr}{ml}$
Eggrate	ca $0,2 \frac{egg}{dyr}$
Nedbeitingstid (pause)	20 min
Antall perioder	6
Føringsrate	$10 \frac{ml}{min}$
Periodetid (fôr)	50 sek
Vannutskifting	$500 \frac{\%}{døgn}$
Flushtid	10 sek
Beregning av tetthet	1 gang i timen
Antall bilder for hver beregning	10

Tabell 7.2: Startbetingelser for forsøk 2

- Ønsket tetthet i kulturen på $500 \frac{dyr}{ml}$.
- Uttynning på $25 \frac{\%}{døgn}$, med oppstart etter 4 dager.

Kulturene ble startet med betingelser angitt i tabell 7.2, samt bruk av regulator for å regne ut førmengde.

7.2 Resultat

Logging av data hvert krevde rundt 1592 kb minne for hvert signal på en dag eller ca 27 kb ved logging for hvert minutt. Med 22 implementerte målepunkter vil det tilsvare 35 eller 0.594 Mb for hver dag.

Sensor og aktuator test

Trykktransmitter

Trykktransmitter gav et 4.00 mA signal ved atmosfæretrykk, den hadde forøvrig en lineær sammenheng mellom høyde og signal, med K_{Tt} 0.82 mA for hver $0.1mH_2O$. Variasjoner ved atmosfærisk trykk var på $9.1 \cdot 10^{-6} mA$ og for forsøket opp mot $1 \cdot 10^{-2} mA$.

Vannpumper

Vannpumper viste varierende resultater som illustrert i tabell 7.3. De to pumpene ble testet hver for seg og hadde en forskjell på under 1%. Da nøyaktigheten for vanntilførsel bare er avhengig av feilen for styring av vannpumpen kan en tillate noe avvik. Ved å ta resultater fra forsøk som leverte rundt 1 liter pr. minutt ble det beregnet en konstant for pumpen på $130 \frac{ml}{Volt \cdot min}$.

liter \ mA	4	4.5	5	10	20
2	4.18	3.06	3.06	1.27	0.41
4	8.36	6.30	6.30	2.55	1.22
6	13.01	9.404	9.44	4.22	2.03
8	17.23	13.04	13.04	5.48	2.45
10	21.45	16.23	16.23	7.15	3.28
$\frac{\text{liter}}{\text{min tid}}$	0.46	0.54	0.61	1.38	2.88
$\frac{\text{liter}}{\text{min liter}}$	2.10	1.51	1.13	0.43	0.21
$\frac{\text{min}}{\text{liter}}$	2.18	1.85	1.64	0.73	0.35

Tabell 7.3: Forsøk for vannpumper. Tidsforbruk oppgitt i minutt og sekunder ved forskjellige forsøk

Liter \ forsøk nr.	1	2	Liter \ forsøk nr.	1	2
0.2	1.48	1.37	0.2	1.39	1.40
0.4	3.36	3.32	0.4	3.28	3.30
0.6	5.31	5.20	0.6	5.17	5.20
0.8	7.23	7.04	0.8	6.59	7.01
1.0	9.19	8.51	1.0	8.40	8.43
$\frac{\text{liter}}{\text{min tid}}$	0.107	0.113	$\frac{\text{liter}}{\text{min tid}}$	0.115	0.115
$\frac{\text{liter}}{\text{min liter}}$	9.19	8.51	$\frac{\text{liter}}{\text{min liter}}$	8.40	8.43
$\frac{\text{min}}{\text{liter}}$	9.32	8.85	$\frac{\text{min}}{\text{liter}}$	8.67	8.71

Tabell 7.4: Forsøk for de to forskjellige fôr pumpene. Tidsforbruk oppgitt i minutt og sekunder ved forskjellige forsøk

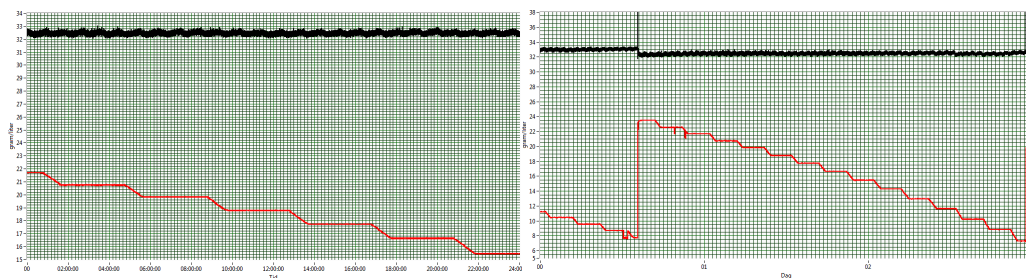
Føringspumper

Føringspumper viste varierende resultater illustrert i tabell 7.4. Vannpumper viste varierende resultater som illustrert i figur 7.3. Den første testen av fôr-pumpe inneholdt noe luft i slangen og er derfor sett bort ifra. Fra de resterende resultat beregnes forskjell på pumpene til å være under 2% med en gjennomsnittsverdi på $114 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$. Ved bruk av periodisk kjøring ble de derimot registrert en gjennomstrømning på $106 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$ ved aktiv pumpe i 2 - 5 sekunder pr. minutt. Ved ny måling ved periodisk og kontinuerlig kjøring etter fire ukers drift av anlegg viste eksakt samme resultat som tidligere resultat for periodisk kjøring av pumper.

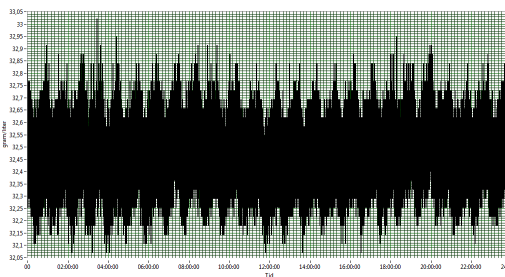
Kulturtank

50 og 100 liter vann ble tilført kulturtanken, og ved måling av h_1, h_2, h_3 og V_1, V_2 fikk en følgende ligninger:

$$50 = \pi(1,4146r_1^2 + kr_11,4146^2 + \frac{1}{2}k^21,4146^3) \quad (7.1)$$



Figur 7.2: Turbiditet måling (sort) og nivå i förreservoar (röd) ved bruk i et og tre døgn.



Figur 7.3: Signal fra turbiditetssensor over et døgn med røremotor aktivert

$$100 = \pi(2,7073r_1^2 + kr_1^2,7073^2 + \frac{1}{2}k^2,7073^3) \quad (7.2)$$

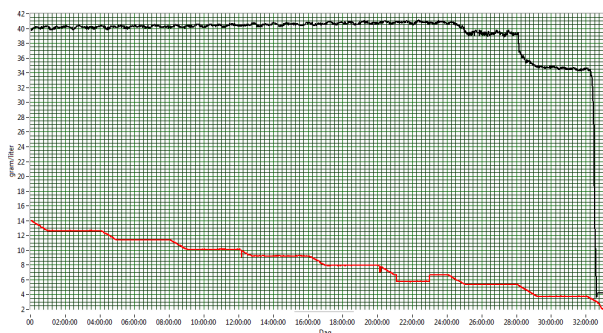
Ved sammensetting av de 2 formelene finner en den gyldige løsningen (en veit at begge kontantene er positive) $r_1 = 3.2847$ og $k = 0.0978$

Førtetthet

Turbiditetsmåling med omrøring hastighet på 16% gav resultatene illustrert i figur 7.2. Verdi for førtetthet ligger jevnt ved testing av nivå mellom syv og 24 liter.

Fra figur 7.3 kan en se at målingene ligger rundt 32,5 gram pr. liter og at variasjonen på sitt høyeste er rundt 1,6%.

Endring i førtetthet uten bruk av omrøring og ved lavt nivå er presentert i figur 7.4. Omrøring var ikke aktiv de første 25 timene noe som førte til en økende førtetthet. Ved aktivering av omrøring ble tettheten stabil. Motor ble avslått etter 28 timer ut i forsøket. Nivået i tanken var da lavere og førte til negativ endring i tetthet. Etter 32 timer begynte nivået å synke under turbiditetsensoren som dermed ikke har nok væske til å analysere og feilen i tetthet ble dramatisk høy.



Figur 7.4: Turbiditet måling (sort) og nivå i førreservoar (rød) med effektmåling av omrøring aktivitet og nivå tilstand

Forsøk 1

Som følge av strømbrydd var systemet nede i deler av testperioden, og det ble i disse periodene ikke kjørt riktig pådrag eller logget signaler. Programvare ble også oppdatert utover i forsøket og enkelte loggdata ble mistet. Den beregnede rotatorietettheten ble negativt påvirket av at glasset i rotatorietelleren var gammelt og begynte å bli tildekket av partikler. Glasset ble skiftet etter tre dager. Dag seks gikk fôrnivået under trubiditetsensor, på dette tidspunkt var det ikke lagt inn sikkerhetsløsning for dette, og følgene var at beregnet fôrtetthet var veldig lav og den resterende fôrmengde, på ca 2.4 liter, ble pumpet ut over et times tidsrom før programvaren stoppet. Det ble kjørt to perioder med høyere vannutskifting i etterkant av denne hendelsen, dette var ment å kompensere noe for alt fôret som ble tilført. Filter måtte rengjøres hver annen dag for å sikre at det ikke gikk tett. Temperaturen ble målt til å ligge på $24 \pm 1^{\circ}C$ for tank 1 og $25 \pm 1^{\circ}C$

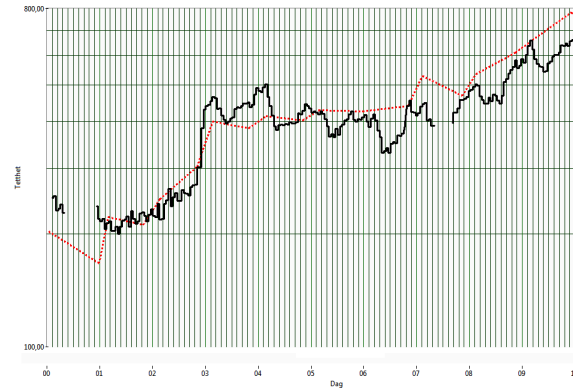
Automatisk og manuell beregning av rotatorietetthet kan ses fra figur 7.5 og 7.6. Det er igjennom forsøket en del avvik mellom de to, spesielt i periodene rett før og etter utskifting av glass. Tettheten ligger, fra dag 3-7, på rundt 400 og 450 dyr pr. milliliter, noe som er et avvik på 20 og 10% fra ønsket verdi. Etter dag syv vokser rotatoriebestandene til rundt 20 % over ønsket verdi.

En kan se fra figur 7.9 og 7.10 at fôrdoser holdes høye i startfasen for så å avta når veksten øker. Fra dag 3-7 økes fôrdosen, mens den etter dag syv er synkende.

Eggraten illustrert i figur 7.7 og 7.8 viser at egggraten ligger lavt det første 2 døgnene for så å øke kraftig. Ettersom rotatorietettheten øker avtar egggraten som

Forsøk 2

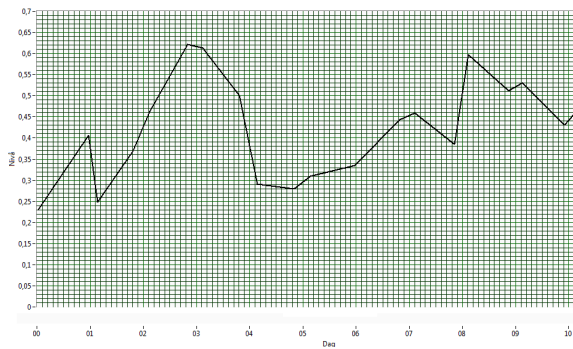
Hardware og Software fungerte som det skulle, viss en ser bort fra at filteret til tider gikk tett og måtte rengjøres daglig. Det forekom også en feil med montering



Figur 7.5: Estimert rotatorietetthet fra rotatorieteller i sort og manuell telling indikert med rødt for tank 1



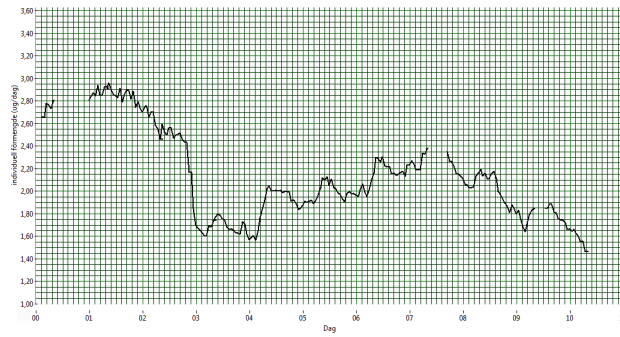
Figur 7.6: Estimert rotatorietetthet fra rotatorieteller i sort og manuell telling indikert med rødt for tank 2



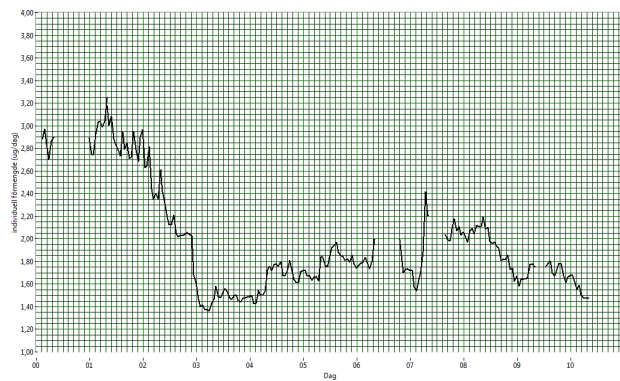
Figur 7.7: Eggrate fra tank 1



Figur 7.8: Eggrate fra tank 2



Figur 7.9: Fôrdose pr. individ for tank 1



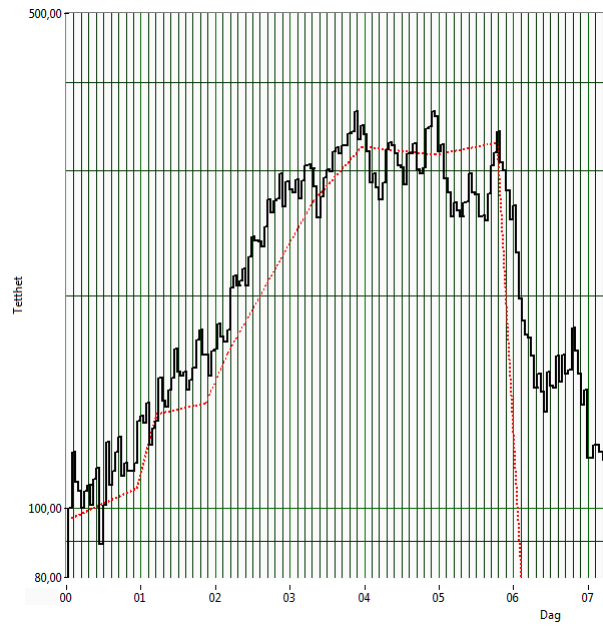
Figur 7.10: Fôrdose pr. individ for tank 2



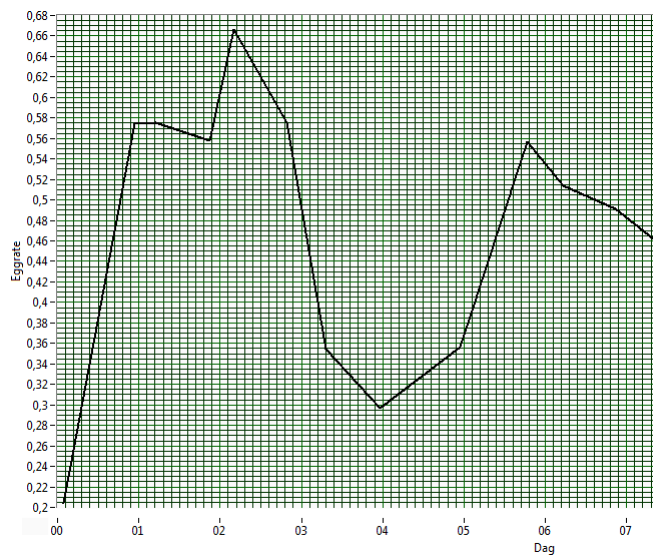
Figur 7.11: Estimert rotatorietetthet fra rotatorieteller i sort og manuell telling indikert med rødt for tank 1

av filter i tank 2 det sjette døgnet. Temperaturen ble målt til å ligge på ca $23 \pm 1^\circ C$ for tank 1 og $22 \pm 1^\circ C$. Det ble ikke tatt ut rotatorier på det sjette døgnet da en var bekymret for utviklingen av rotatorietettheten.

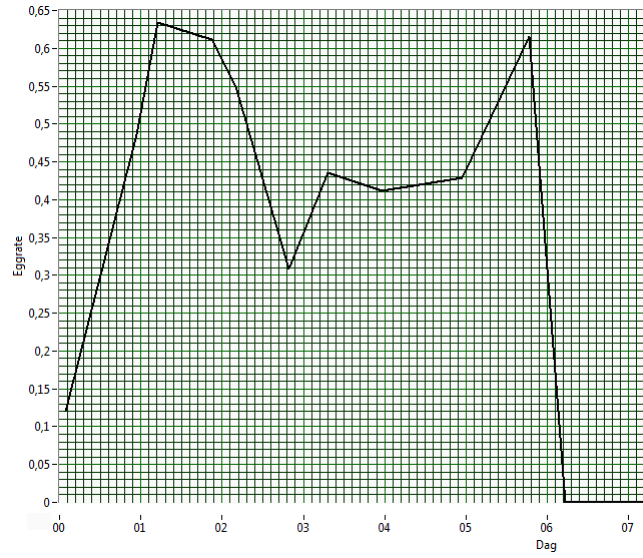
Manuell beregning av rotatorietettheten var noe lavere enn estimeringer fra rotatorietelleren ved tidlig vekstfase. Forskjellen mellom beregningene ble derimot ikke så stor etter uttak av rotatorier var startet. En kan se at rotatorietettheten vokser til en tetthet på rundt 400 og 330 dyr pr. milliliter for tank 1 og 2.



Figur 7.12: Estimert rotatoritetthet fra rotatorieteller i sort og manuell telling indikert med rødt for tank 2



Figur 7.13: Eggrate tank 1



Figur 7.14: Eggrate tank 2



Figur 7.15: Fôrdose pr. individ for tank 1



Figur 7.16: Fördose pr. individ for tank 2

Kapittel 8

Diskusjon

Systemet ble kjørt i flere tester og hvor Hardware komponenter vist liten målbar endring i ytelse over tid. Unntakene er rotatorieteller som trenger vedlikehold ved vekst i prøveglasset.

Software hadde enkelte feil i de første forsøket som ble forbedrett og fungerte tilfredsstillende i forsøk 2.

Logg av signaler krevde relativt stor kapasitet på minne, ved normale omstendigheter vil responsen til systemet være relativt langsom og logging av signaler bør derfor skje ved en lavere hastighet en det som er utprøvd.

Sensorer og aktuatorer

Sensorer gav et linært og nøyaktig målesignal til Software. Feilen på rundt 1 % anntas i hovedsak å komme av eksperimentelt oppsett. Vannpumper er ikke blitt testet for nøyaktighet i ettertid, men forsøk tyder på at de er tilfredsstillende. Fôrpumper viste først noe varierende resultat, men senere tester tyder på at riktig gjennomstrømning er funnet. Feilen virker til å være så lav som 1%, siden en ikke fikk forskjell mellom de siste målinger og tidligere periodiske målinger. Ved en så bra nøyaktighet på sensorer og pumper vil være gunstig for kontroll av systemet.

Fôrtetthet

Bruk av turbiditetsmåler for måling av fôrtetthet har vist seg å fungere tilfredsstillende ved bruk av omrøring. Det er tydelig at omrøringen er viktig for å få en korrekt måling, samtidig som en ikke kan stole på målinger ved lave nivåer som illustrert i figur 7.4. Når nivået i tanken er så lavt at bladene på omrører ikke lenger kommer i kontakt med væsken vil en oppnå samme effekt som en fikk ved å ha motoren avslått. Ordningen med å bruke eldre verdi for fôrtetthet, når nivået når dette nivået, er en god reserveløsning viss en setter denne til å bli aktivert før fôrmengde går under blader for omrøring. Det er derimot ikke

optimalt siden fordelingen av føret ikke vil være god og en vil kunne få relativt stor feil i førmengde som tilføres for hver periode.

Forsøk 1

Det oppsto en del feil under forsøket, dette gir rom for å feiltolke resultater. Til tross for dette ser veksten i kulturen ut til å harmonerer bra med respons fra simuleringer fra tidligere arbeid. Avvik skyldes i stor grad startbetingelser for kulturen, når en startet uttak av rotatorier og unøyaktighet i forhold til tetthetsmåling.

Automatisk telling av rotatorier fikk et stort avvik fra manuelle målinger, årsaken var partikler på prøveglasset og estimeringen ble betydelig bedre etter dette ble skiftet.

Veksten i rotatorietettheten stopper opp når fortykning blir startet, regulator ser ut til å prøve å kompensere med å sette opp den individuelle fördosen. Økt fördose sørge for økt eggrate og en økt eggrate vil normalt føre til økning i rotatorietettheten. Økningen i rotatorietetthet kommer dessverre ikke entydig frem i resultat på grunn av en relativt stor mengde ekstra før blir tilsatt kulturen. Den tilførte mengden før har stor påvirkning på eggrate og rotatorietetthet. En ser derimot noe vekst i tettheten rett etter førmengden er tilsatt, noe som ikke kan skyldes feil førmengde da det tar lengre tid for å gi et utslag.

Overføring ved dag syv fører til en kraftig vekst i kulturen over lengre tid. Regulatoren kompensere for tetthet høyere en ønsket med å senke førmengden mer og mer etter som avviket øker. Dette fører til redusert eggrate og mindre vekst i rotatorietetthet.

Veksten i tank to er betydelig bedre enn tank en, det er rimelig å forvente siden temperaturen var betydelig høyere i tank to.

Forsøk 2

Veksten i kulturen er betraktelig lavere en hva simuleringer tilsier den burde ha vært. Hovedårsaken antas å være at rotatoriene var underføret ved oppstart og at eggraten var betydelig lavere en hva simuleringen hadde tatt utgangspunkt i.

Automatisk og manuell telling har noe avvik spesielt under den den første vekstfasen før de stemmer bedre. Årsaken er trolig at rotatorietelleren ble satt til å ta færre prøver, for å minske vekst på glasset, og at mindre prøver fører til større usikkerhet spesielt ved lavere tetthet.

Veksten i rotatorietetthet stoppet opp når fortykning startet, regulator prøver også i dette forsøket å kompensere med økt fördose pr. individ. Den økte dosen fører til større eggrate, men også her oppstår en uventet situasjon og resultatene for økning og riktig stabilisering av rotatorietettheten kan ikke bekreftes med sikkerhet.

Fra forsøket kan en se at etter feilen med filteret i tank to er ordnet øker tettheten en stund for deretter å synke drastisk igjen. Regulatoren klarer ikke ta høyde for feilen og den individuelle fördosen blir drastisk høy og dette fører trolig til et krasj i kulturen.

Veksten i tank en er betydelig bedre en tank to, dette bekræfter tegnene på at temperaturen kan være den udslagsgivende faktoren.

Kapittel 9

Konklusjon

Designet, instrumentering og regulering av produksjonsprosess for rotatorier dekker i stor grad de mål som ble satt i kravspesifikasjonen. Men kalibrering av regulator, testing av periodetider og forbedring av eksisterende sil løsning anbefales for å komme helt i mål. Systemet presenterer tilstandene i kulturen, gir frihet til å utføre eksperimenter og mulighet for regulering av rotatorietetthet.

Fôrreservoaret sin størrelse er riktig og distribusjonen av partikler holdes på et godt nivå ved bruk av omrøring. Tetthetsmåling av fôr har vist seg stabil så fremt omrøring er aktiv og nivået ikke underskrider nivået der omrøring er effektivt. Reservoarets har også vist evne til å holde temperaturen på et tilfredsstillende nivå.

Kalkulering av rotatorietetthet har prestert tilfredsstillende resultater ved jevnlig utskifting av prøveglass. Prøveglasset må inspiseres og skiftes ved jevne mellomrom avhengig av antall partikler som fester seg.

Regulator ser ut til å kompensere for feil tetthet med ved å endre førmengden. Responsen til regulatoren virker fornuftig, men tuning av parametre vil være nødvendig for optimalt resultat

Videre arbeid

Av videre arbeid vil det inngå å designe og implementere løsninger for resterende punkter i tabell 4.1, samt forbedre implementert system.

Hardware

- Rotatorieteller bør videreutvikles med algoritmer for å gjenkjenne og beregne egg-rate, da dette vil føre til bedre regulering og mindre manuelt arbeid. En kan også utvide telleren til å kontrollere svømmehastigheten til rotatorier med å flere bilder og analysere rotatoriens bevegelse, dette vil være til hjelp for å si noe om tilstanden til rotatoriene.

- Løsningen for sil må forbedres slik at den ikke går så ofte tett. Det må enten bygges en ny løsning eller en automatisert rengjøringsmetode.
- Flushventil må monteres i bunnen av tanken. Ventilen har i dag ikke en fullverdig funksjonalitet.
- PLS bør benyttes for å styre prosessen, siden det er en sikrere løsning enn PC. PC bør fremdeles brukes som HMI verktøy til å føre logg, presentere tilstander og mens for å sikre anlegget mot feil på PC.
- Måling av fôrpartikler i vann som går til sluk vil være til stor hjelp for bedre å kunne utvikle en god strategi på styring av periodetid for tilførsel av fôr, nedbeiting og tilførsel av vann.

Kommunikasjon

- Internett tilkobling med mulighet for overvåkning av tilstander, endring av parametre og alarm fra andre steder vil sørge for mindre tilsyn og bedre kontroll av anlegget.

Software

- Direkte styring av periodetid i stedet for indirekte sørger for en ekstra sikkerhet ved periodisk fôr tilførsel. For forskning vil det også være interessant å se hvordan periodetider direkte påvirker kulturens utvikling.
- Utvidelse av alarm og feilbehandling bør implementeres. Dette gjelder ugyldige tilstander satt av bruker og feil på Hardware.

Regulator

- Flere eksperimenter med tuning av regulator for rotatorietthet vil kunne skaffe bedre resultat. En må vurdere å sette en større straff for feil mellom prosjektert tetthet og ønsket tetthet.
- Begrensninger for tilstander som fôrdose og ønsket eggrat bør implementeres. MPC kontroller har sin styrke i behandling av begrensninger og bør vurderes.
- Forbruket av fôr kan reduseres ved å styre antall perioder i døgnet og periodetider på en bedre måte. Antall perioder og periodetid bør settes som et basert på resultat av estimering og regulere av fôrtettheten i kulturen.

Bibliografi

Alver M. O., Storøy W., Bardal T., Overein, I., Onsøye M. K., Tennøy T., Øie G. (2010a). Automatic measurement of acartia tonsa nauplii density, and estimation of stages distribution. Teknisk rapport, Institutt for teknisk kybernetikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Alver M. O., Alfredsen. J. O., Øie G., Johansen, W. L. G., Olsen Y. (2010b). Automatic control of growth and density in rotifer cultures. Teknisk rapport, Institutt for teknisk kybernetikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Alver M. O., Tennøy T., Alfredsen, J. A., Øie G., Olsen Y. (2008) Automatic control of rotifer density in larval first feeding tanks. Control Engineering Practice 16, 347-355.

Alver M. O., Tennøy T., Alfredsen J. A., Øie G. (2007) Automatic measurement of rotifer *Brachionus plicatilis* densities in first feeding tanks. Aquacultural Engineering 36, 115-121.

Alver M. O., Alfredsen. J. O., Olsen Y. (2006). An individual-based population model for rotifer (*Brachionus plicatilis*) cultures. Hydrobiologia 560, 93–108.

Balchen, J. G. (2001), Automation in fisheries and aquaculture technology. Teknisk rapport, Institutt for teknisk kybernetikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim.

Forskningsrådet (2009). Optimal produksjon og forbedret kvalitet av torskeyngel. www.forskningsradet.no.

Høy E. (2006) Utvikling og testing av et system for automatisk regulering av rotatorietetthet i startforing av marine fiskelarver, masteroppgave i marine ressurser og akvakultur. Biologisk institutt, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

McNair J. N., Boraas M. E., Seale D. B. (1998) Size-structure dynamics of the rotifer chemostat: a simple physiologically structured model. Hydrobiologia 387/388:, 469–476.

Moksness, E., Kjørsvik, E., Olsen, Y. (2004). Culture of Cold-Water Marine Fish. Blackwell Publishing Ltd.

Nesse S. I., (2010) Kultivering av *acartia tonsa-nauplier* til bruk i startfôring av marine fiskelarver. Materoppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Olsen O.A., (1998) Instrumenterings teknikk. Tapir, Trondheim.

Onshus T. (2006). Instrumenterings-systemer. Teknisk rapport, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Pastor A.R. (2007). Control system for rotifer production. Masteroppgave, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Standish T. A. (1998) Data structures in Java. Addison Wesley Longman, Inc.

Turton R., Bailie R. C., Whiting W. B., Shaeiwitz J. A. (1998). Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes. Prentice Hall PTR, New Jersey.

Van der Meer J. (2006) An introduction to Dynamic Energy Budget (DEB) models with special emphasis on parameter estimation. Journal of Sea Research 56, 85–102.

Øie G. (upublisert). Rotatorier som levendefôr til torskeyngel. Utdrag i vedlegg E

Øie, G. (2009) Rotatorier som levendefôr til torskeyngel.

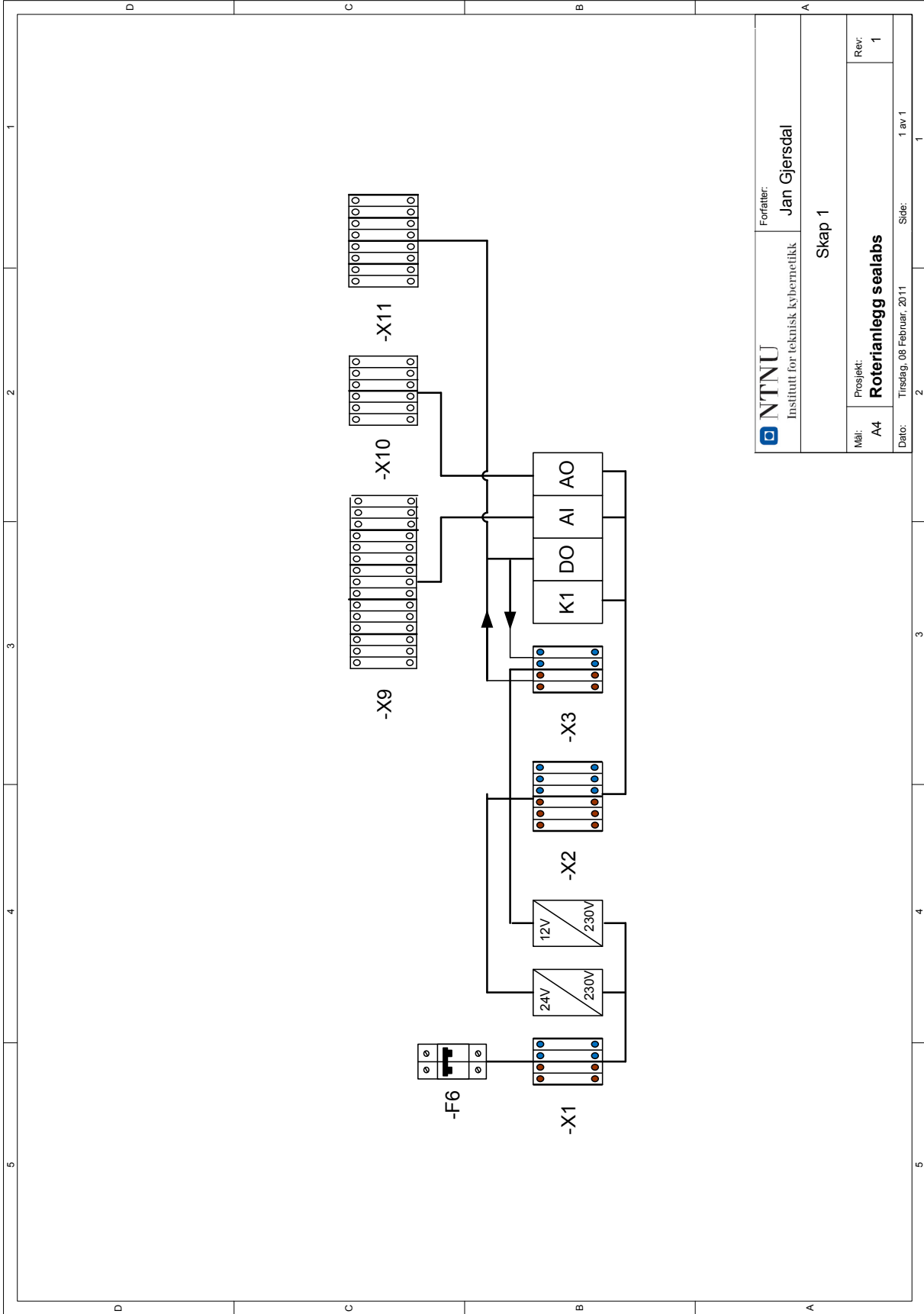
<http://www.nceaquaculture.com/sites/n/nceaquaculture.com/files/782750519.pdf>.

Øie G., Overrein I., Rainuzzo J., Reitan K. I., Salvesen I., Skjermo J. (2006). Kostnadsektiv produksjon av kvalitetsrotatorier. Teknisk rapport, SINTEF Fiskeri og havbruk, Trondheim.

Øie, G. (2002). Rotatorier i startfôring av torskeyngel -langtidsanriking og korttidsanriking. Teknisk rapport, SINTEF Fiskeri og havbruk, Trondheim.

Tillegg A

Eletriske koblingsskjema



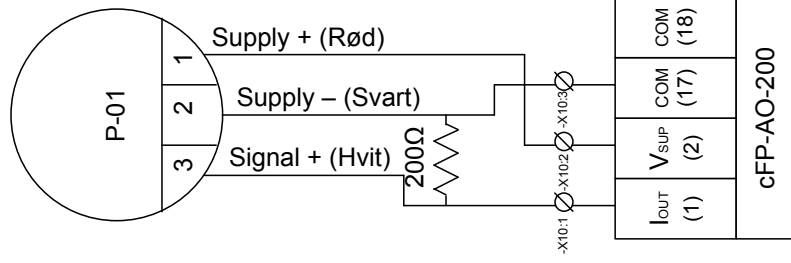
NTNU Institutt for teknisk kybernetikk		Forfatter: Jan Gjersdal	
Skap 1			
Mål:	A4	Prosjekt:	Roterianlegg sealabs
Date:	Tirsdag, 08. Februar, 2011	Side:	1 av 1

1 2 3 4 5

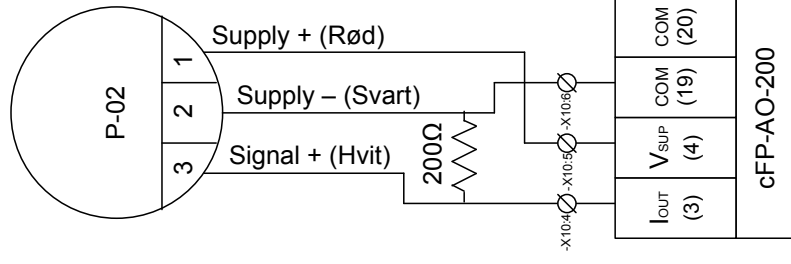
D C B A


5 4 3 2 1

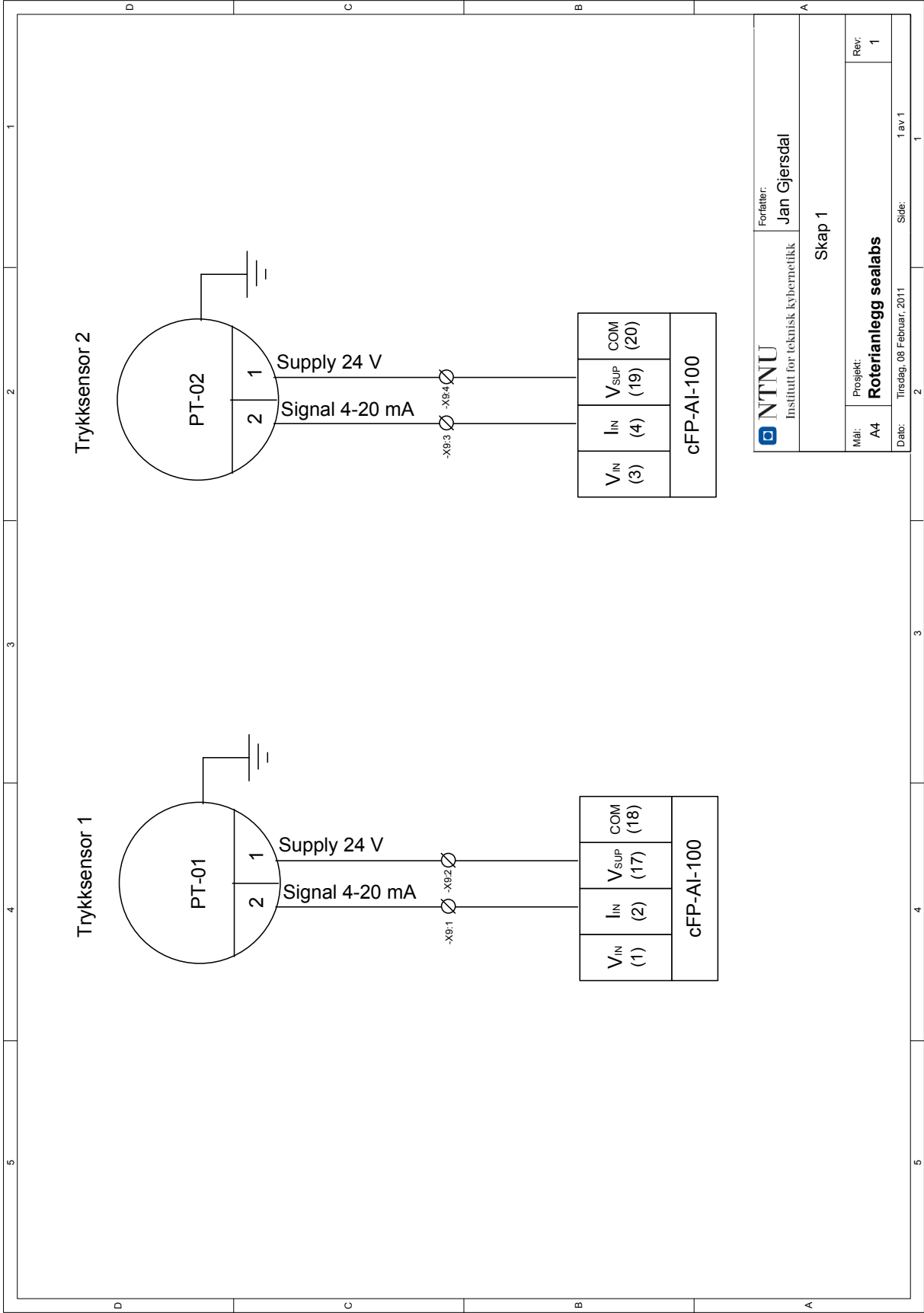
Vannpumpe 1



Vannpumpe 2



 NTNU		Forfatter: Jan Gjersdal	
Institutt for teknisk kybernetikk		Skap 1	
Mål: A4	Prosjekt: Roterianlegg sealabs	Rev: 1	
Date: Tirsdag, 08 Februar, 2011	Sider: 1 av 1		



Trykksensor 1

Trykksensor 2

NTNU Institutt for teknisk kybernetikk		Forfatter: Jan Gjersdal	
Skap 1			
Mål:	A4	Prosjekt:	Roterianlegg sealabs
Date:	Tirsdag, 08 Februar, 2011	Side:	1 av 1

1

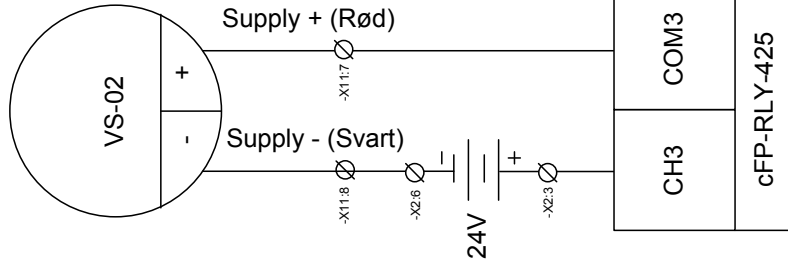
2

3

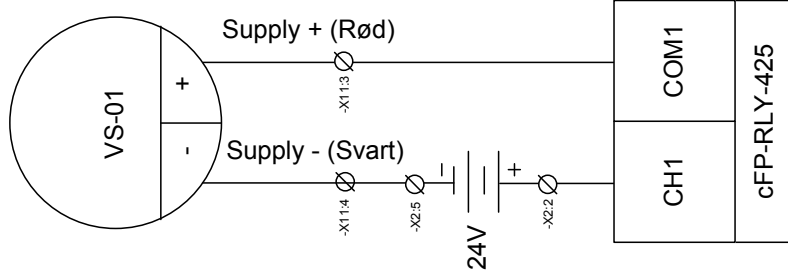
4

5

Avløpsventil 2



Avløpsventil 1



Institutt for teknisk kybernetikk

Forfatter:

Jan Gjersdal

Skap 1

Mål:

A4

Prosjekt:

Roterianlegg sealabs

Rev:

1

Date:

Tirsdag, 08 Februar, 2011

Side:

1 av 1

1

2

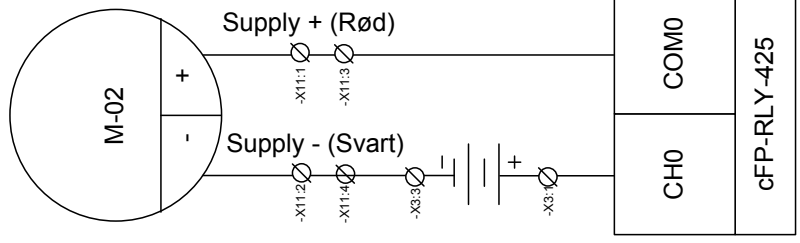
3

4

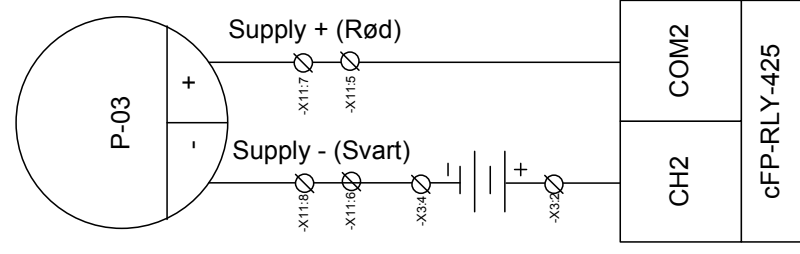
5

5 4 3 2 1

Föringspumpe 1



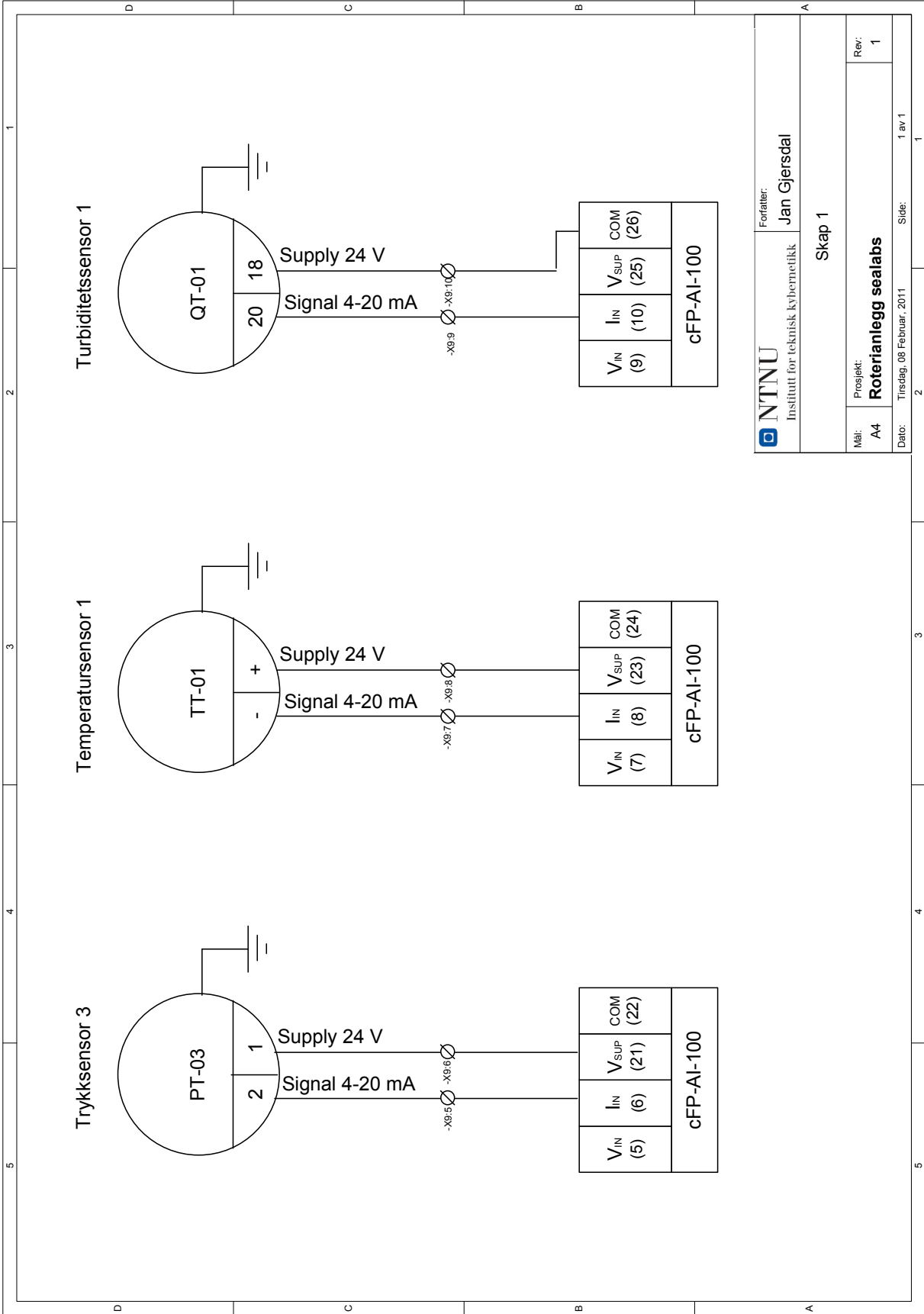
Föringspumpe 2



NTNU Institutt for teknisk kybernetikk		Forfatter: Jan Gjersdal	
Skap 1			
Mål:	Prosjekt:	Rev:	
A4	Roterianlegg sealabs	1	
Dato:	Tilsvarende:	Side:	
Tirsdag, 08. Februar, 2011		1 av 1	

D C B A

D C B A



NTNU
 Institutt for teknisk kybernetikk

Forfatter:
Jan Gjersdal

Mål:
A4

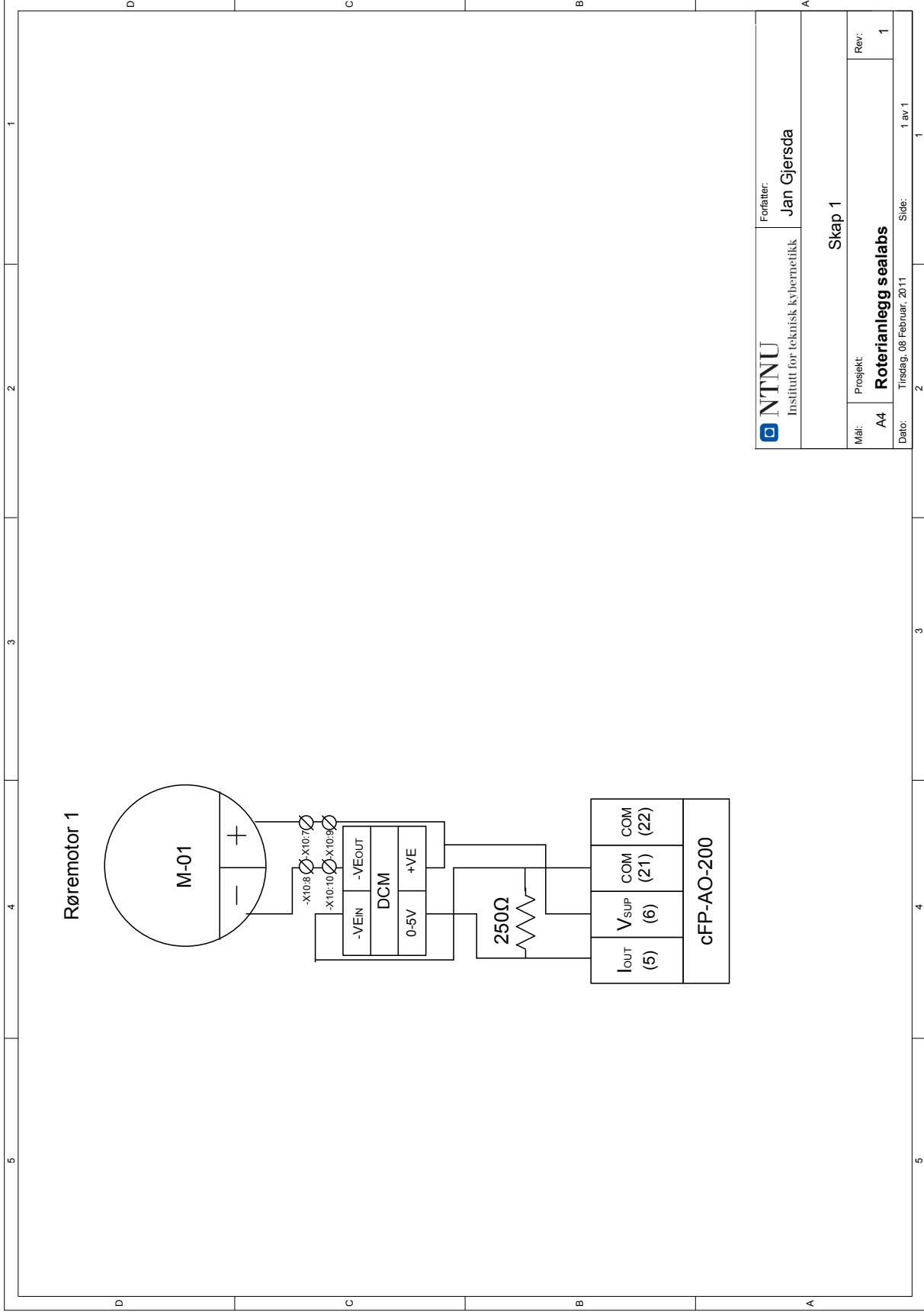
Prosjekt:
Roterianlegg sealabs

Dato:
 Tirsdag, 08 Februar, 2011


Side:
 1 av 1

Skap 1

Rev:
 1

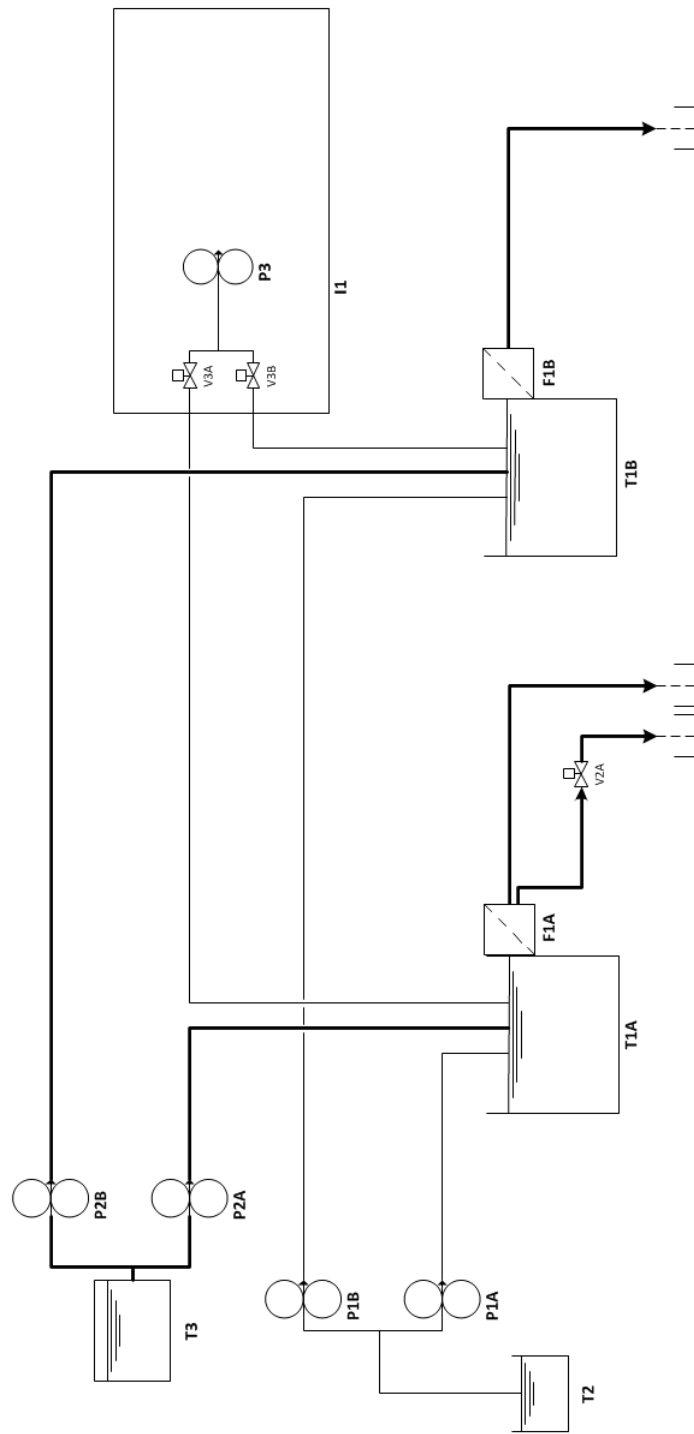


Røremotor 1

 NTNU Institutt for teknisk kybernetikk		Forfatter: Jan Gjersda	
Skap 1			
Mål: A4	Prosjekt: Rotarianlegg sealabs	Rev: 1	
Dato: Tirsdag, 08 Februar, 2011		Side: 1 av 1	

Tillegg B

Mekanisk tilkoblingskjema



Figur B.1: Ufullstendig P&ID skjema









































Identifikasjonsnummer	F1A-B	I1	P1A-B	P2A-B	P3	T1A-B	T2	T3
Typebetegnelse	Filter	Rotatorieteller	Slangepumpe	Slangepumpe	Slangepumpe	Beholder (Kultur)	Beholder (För)	Beholder (Vann)
Teknisk data	-	Tetthetsmåling Antall individ/mL	0,012m³/h 400/min ⁻¹ Ø4,8mm	Ø9,5mm	-	0,26 m³	0,02m³	m³
Maksimalt, permanent arbeidstrykk MPa	-	-	0,04/0,15	-	-	-	-	-
Maksimalt, permanent arbeidstemperatur	-	-	-	-	-	-	-	-
Diverse	-	-	-	-	Enhet i teller	-	-	-
Leverandør	-	-	Watson Marlow 313d	Watson Marlow 520	-	-	-	-

Tabell B.1: Tabell for P & ID

Tillegg C

Rekkelemmelister

Rekkeklemme -X1 230V

Ekstern		Lasker	Klemme nr.	Sikring	Intern		Funksjon	Ledningsversnitt (mm ²)	Rekkelemmetype	Normalutførelse	Rekkekl. Type	Ledning	Dato	Sign.
Referansnr.	Klemme nr.				Referansnr.	Klemme nr.								
F5:1			1		PS-02: L		Forsyning PS-02 (24V)	1,5	UK 2,5 N					
			2		PS-03: L		Forsyning PS-03 (12V)	1,5	UK 2,5 N					
F5:2			3		PS-02: N		Forsyning PS-02 (24V)	1,5	UK 2,5 N					
			4		PS-03: N		Forsyning PS-03 (12V)	1,5	UK 2,5 N					
			5											
			6											
			7											
			8											
			9											
			10											
			11											
			12											
			13											
			14											
			15											
			16											
			17											
			18											
			19											
			20											
			21											
			22											
			23											
			24											
			25											
			26											
			27											
			28											
			29											
			30											
			31											
			32											
			33											
			34											
			35											
			36											
			37											
			38											
			39											
			40											



Institutt for teknisk kybernetikk

Rekkeklemme -X3 PS-03 12V						Ledningstversnitt (mm ²)	Rekkeklemmetype	Normalutførelse	Dato			
Ekstern			Intern							Funksjon	Rekkekl. Type	Sign.
Referansnr.	Klemme nr.	Lasker	Klemme nr.	Sikring	Referansnr.							
PS-03 12V		● 1			RLY:CH0		Spenning P-03	0,5	UK 2,5 N			
		● 2			RLY:CH2		Spenning P-04	0,5	UK 2,5 N			
PS-03 0V		● 3			X11:2		Spenning P-03	0,5	UK 2,5 N			
		● 4			X11:6		Spenning P-04	0,5	UK 2,5 N			
		○ 5										
		○ 6										
		○ 7										
		○ 8										
		○ 9										
		○ 10										
		○ 11										
		○ 12										
		○ 13										
		○ 14										
		○ 15										
		○ 16										
		○ 17										
		○ 18										
		○ 19										
		○ 20										
		○ 21										
		○ 22										
		○ 23										
		○ 24										
		○ 25										
		○ 26										
		○ 27										
		○ 28										
		○ 29										
		○ 30										
		○ 31										
		○ 32										
		○ 33										
		○ 34										
		○ 35										
		○ 36										
		○ 37										
		○ 38										
		○ 39										
		○ 40										



Institutt for teknisk kybernetikk

Rekkeklemme -X9 AI							Ledningstversnitt (mm ²)	Rekkeklemmetype	Normalutførelse	Dato	Sign.	
Ekstern			Intern		Funksjon							
Referansenr.	Klemme nr.	Lasker	Klemme nr.	Sikring		Referansenr.	Klemme nr.					
PT-01:1		<input type="radio"/>	1		AI:2		Måling av PT-01	0,5	UK 2,5 N	Normalutførelse	Dato	Sign.
PT-01:2		<input type="radio"/>	2		AI:17		Måling av PT-01	0,5	UK 2,5 N			
PT-02:1		<input type="radio"/>	3		AI:4		Måling av PT-02	0,5	UK 2,5 N			
PT-02:2		<input type="radio"/>	4		AI:19		Måling av PT-02	0,5	UK 2,5 N			
PT-03:1		<input type="radio"/>	5		AI:6		Måling av PT-03	0,5	UK 2,5 N			
PT-03:2		<input type="radio"/>	6		AI:21		Måling av PT-03	0,5	UK 2,5 N			
TT-01:-		<input type="radio"/>	7		AI:8		Måling av TT-01	0,5	UK 2,5 N			
TT-01:+		<input type="radio"/>	8		AI:23		Måling av TT-01	0,5	UK 2,5 N			
QT-01:18		<input type="radio"/>	9		AI:26		Måling av QT-01	0,5	UK 2,5 N			
QT-01:20		<input type="radio"/>	10		AI:10		Måling av QT-01	0,5	UK 2,5 N			
		<input type="radio"/>	11							NTNU Institutt for teknisk kybernetikk	Dato	Sign.
		<input type="radio"/>	12									
		<input type="radio"/>	13									
		<input type="radio"/>	14									
		<input type="radio"/>	15									
		<input type="radio"/>	16									
		<input type="radio"/>	17									
		<input type="radio"/>	18									
		<input type="radio"/>	19									
		<input type="radio"/>	20									
		<input type="radio"/>	21									
		<input type="radio"/>	22									
		<input type="radio"/>	23									
		<input type="radio"/>	24									
		<input type="radio"/>	25									
		<input type="radio"/>	26									
		<input type="radio"/>	27									
		<input type="radio"/>	28									
		<input type="radio"/>	29									
		<input type="radio"/>	30									
		<input type="radio"/>	31									
		<input type="radio"/>	32									
		<input type="radio"/>	33									
		<input type="radio"/>	34									
		<input type="radio"/>	35									
		<input type="radio"/>	36									
		<input type="radio"/>	37									
		<input type="radio"/>	38									
		<input type="radio"/>	39									
		<input type="radio"/>	40									

Rekkeklemme -X10 AO							Ledningsversnitt (mm ²)	Rekkeklemmetype	Normalutførelse	Rekkekl. Type	Ledning	Dato	Sign.
Ekstern			Intern		Funksjon								
Referansenr.	Klemme nr.	Lasker	Klemme nr.	Sikring		Referansenr.	Klemme nr.						
P-01:3		<input type="radio"/>	1	1,6 T	AO:1		Styring av P-01	0,5	UK 2,5 N				
P-01:1		<input type="radio"/>	2	1,6 T	AO:2		Styring av P-01	0,5	PIT 4-HESI				
P-01:2		<input type="radio"/>	3	1,6 T	AO:17		Styring av P-01	0,5	PIT 4-HESI				
P-02:3		<input type="radio"/>	4	1,6 T	AO:3		Styring av P-02	0,5	UK 2,5 N				
P-02:1		<input type="radio"/>	5	1,6 T	AO:4		Styring av P-02	0,5	PIT 4-HESI				
P-02:2		<input type="radio"/>	6	1,6 T	AO:19		Styring av P-02	0,5	PIT 4-HESI				
M-01:-		<input type="radio"/>	7	1 T	X10:9		Styring av M-01	0,5	PIT 4-HESI				
M-01:+		<input type="radio"/>	8	1 T	X10:10		Styring av M-01	0,5	PIT 4-HESI				
DCM:-VEOUT		<input type="radio"/>	9	6,3 F	X10:7								
DCM:+VE		<input type="radio"/>	10	6,3 F	X10:8								
		<input type="radio"/>	11										
		<input type="radio"/>	12										
		<input type="radio"/>	13										
		<input type="radio"/>	14										
		<input type="radio"/>	15										
		<input type="radio"/>	16										
		<input type="radio"/>	17										
		<input type="radio"/>	18										
		<input type="radio"/>	19										
		<input type="radio"/>	20										
		<input type="radio"/>	21										
		<input type="radio"/>	22										
		<input type="radio"/>	23										
		<input type="radio"/>	24										
		<input type="radio"/>	25										
		<input type="radio"/>	26										
		<input type="radio"/>	27										
		<input type="radio"/>	28										
		<input type="radio"/>	29										
		<input type="radio"/>	30										
		<input type="radio"/>	31										
		<input type="radio"/>	32										
		<input type="radio"/>	33										
		<input type="radio"/>	34										
		<input type="radio"/>	35										
		<input type="radio"/>	36										
		<input type="radio"/>	37										
		<input type="radio"/>	38										
		<input type="radio"/>	39										
		<input type="radio"/>	40										



Institutt for teknisk kybernetikk

Rekkeklemme -X11 RLY										
Ekstern					Intern		Ledningstversnitt (mm ²)	Rekkeklemmetype	Normalutførelse	Dato
Referansenr.	Klemme nr.	Lasker	Klemme nr.	Sikring	Referansenr.	Klemme nr.				
X13:1		<input type="radio"/>	1	1 T	X11:3		P-03 AV/PÅ	0,5	PIT 4-HES	NTNU Institutt for teknisk kybernetikk
X13:2		<input type="radio"/>	2	1 T	X11:4		P-03 AV/PÅ	0,5	PIT 4-HES	
RLY:COM0		<input type="radio"/>	3	6,3 F	X11:1		P-03 AV/PÅ	0,5	UK 2,5 N	
X3:3		<input type="radio"/>	4	6,3 F	X11:2		P-03 AV/PÅ	0,5	UK 2,5 N	
VS-01: Supply +		<input type="radio"/>	5		RLY:COM1		VS-01: Åpen/Lukket	0,5	UK 2,5 N	
VS-01: Supply -		<input type="radio"/>	6		X2:5		VS-01: Åpen/Lukket	0,5	UK 2,5 N	
X13:3		<input type="radio"/>	7	1 T	X11:9		P-04 AV/PÅ	0,5	PIT 4-HES	
X13:4		<input type="radio"/>	8	1 T	X11:10		P-04 AV/PÅ	0,5	PIT 4-HES	
RLY:COM2		<input type="radio"/>	9	6,3 F	X11:7		P-04 AV/PÅ	0,5	UK 2,5 N	
X3:4		<input type="radio"/>	10	6,3 F	X11:8		P-04 AV/PÅ	0,5	UK 2,5 N	
VS-02: Supply +		<input type="radio"/>	11		RLY:COM3		VS-02: Åpen/Lukket	0,5	UK 2,5 N	
VS-02: Supply -		<input type="radio"/>	12		X2:6		VS-02: Åpen/Lukket	0,5	UK 2,5 N	
		<input type="radio"/>	13							
		<input type="radio"/>	14							
		<input type="radio"/>	15							
		<input type="radio"/>	16							
		<input type="radio"/>	17							
		<input type="radio"/>	18							
		<input type="radio"/>	19							
		<input type="radio"/>	20							
		<input type="radio"/>	21							
		<input type="radio"/>	22							
		<input type="radio"/>	23							
		<input type="radio"/>	24							
		<input type="radio"/>	25							
		<input type="radio"/>	26							
		<input type="radio"/>	27							
		<input type="radio"/>	28							
		<input type="radio"/>	29							
		<input type="radio"/>	30							
		<input type="radio"/>	31							
		<input type="radio"/>	32							
		<input type="radio"/>	33							
		<input type="radio"/>	34							
		<input type="radio"/>	35							
		<input type="radio"/>	36							
		<input type="radio"/>	37							
		<input type="radio"/>	38							
		<input type="radio"/>	39							
		<input type="radio"/>	40							

Rekkeklemme -X12 Vann

Ekstern		Lasker	Klemme nr.	Sikring	Intern		Funksjon	Ledningstversnitt (mm ²)	Rekkeklemmetype	Normalutførelse	Rekkekl. Type	Ledning	Dato	Sign.
Referansenr.	Klemme nr.				Referansenr.	Klemme nr.								
JORD		<input type="radio"/>	1		P-01:Skjerm			0,5	UK 2,5 N					
X10:3		<input type="radio"/>	2		P-01:Grønn	Tacho		0,5	UK 2,5 N					
X10:2		<input type="radio"/>	3		P-01:Rød & Brun	Spenning og F/R		0,5	UK 2,5 N					
P-01:Hvit & X10:1		<input type="radio"/>	4		P-01:Svart & X10:3	0-4V styresignal		0,5	UK 2,5 N					
JORD		<input type="radio"/>	5		P-02:Skjerm			0,5	UK 2,5 N					
X10:6		<input type="radio"/>	6		P-02:Grønn	Tacho		0,5	UK 2,5 N					
X10:5		<input type="radio"/>	7		P-02:Rød & Brun	Spenning og F/R		0,5	UK 2,5 N					
P-02:Hvit & X10:4		<input type="radio"/>	8		P-02: Svart & X10:6	0-4 V styresignal		0,5	UK 2,5 N					
		<input type="radio"/>	9											
		<input type="radio"/>	10											
		<input type="radio"/>	11											
		<input type="radio"/>	12											
		<input type="radio"/>	13											
		<input type="radio"/>	14											
		<input type="radio"/>	15											
		<input type="radio"/>	16											
		<input type="radio"/>	17											
		<input type="radio"/>	18											
		<input type="radio"/>	19											
		<input type="radio"/>	20											
		<input type="radio"/>	21											
		<input type="radio"/>	22											
		<input type="radio"/>	23											
		<input type="radio"/>	24											
		<input type="radio"/>	25											
		<input type="radio"/>	26											
		<input type="radio"/>	27											
		<input type="radio"/>	28											
		<input type="radio"/>	29											
		<input type="radio"/>	30											
		<input type="radio"/>	31											
		<input type="radio"/>	32											
		<input type="radio"/>	33											
		<input type="radio"/>	34											
		<input type="radio"/>	35											
		<input type="radio"/>	36											
		<input type="radio"/>	37											
		<input type="radio"/>	38											
		<input type="radio"/>	39											
		<input type="radio"/>	40											

Rekkeklemme -X13 Fôr							Ledningsstversnitt (mm ²)	Rekkeklemmetype		
Ekstern			Intern		Funksjon					
Referansenr.	Klemme nr.	Lasker	Klemme nr.	Sikring		Referansenr.	Klemme nr.			
X11:1		<input type="radio"/> 1			P-03: Supply +	Kobling eksternt	0,5	UK 2,5 N	Normalutførelse Rekkekl. Type Ledning	Dato Sign.
X11:2		<input type="radio"/> 2			P-03: Supply -	Kobling eksternt	0,5	UK 2,5 N		
X11:5		<input type="radio"/> 3			P-04: Supply +	Kobling eksternt	0,5	UK 2,5 N		
X11:6		<input type="radio"/> 4			P-04: Supply -	Kobling eksternt	0,5	UK 2,5 N		
		<input type="radio"/> 5								
		<input type="radio"/> 6								
		<input type="radio"/> 7								
		<input type="radio"/> 8								
		<input type="radio"/> 9								
		<input type="radio"/> 10								
		<input type="radio"/> 11								
		<input type="radio"/> 12								
		<input type="radio"/> 13								
		<input type="radio"/> 14								
		<input type="radio"/> 15								
		<input type="radio"/> 16								
		<input type="radio"/> 17								
		<input type="radio"/> 18								
		<input type="radio"/> 19								
		<input type="radio"/> 20								
		<input type="radio"/> 21								
		<input type="radio"/> 22								
		<input type="radio"/> 23								
		<input type="radio"/> 24								
		<input type="radio"/> 25								
		<input type="radio"/> 26								
		<input type="radio"/> 27								
		<input type="radio"/> 28								
		<input type="radio"/> 29								
		<input type="radio"/> 30								
		<input type="radio"/> 31								
		<input type="radio"/> 32								
		<input type="radio"/> 33								
		<input type="radio"/> 34								
		<input type="radio"/> 35								
		<input type="radio"/> 36								
		<input type="radio"/> 37								
		<input type="radio"/> 38								
		<input type="radio"/> 39								
		<input type="radio"/> 40								



Institutt for teknisk kybernetikk

Tillegg D

Regulator implementering

Implementert regulator kode for bruk i rotatorieteller.

```

package no.ntnu.rotcount.control;

import javax.swing.*;
import java.awt.event.ActionEvent;
import java.awt.event.ActionListener;
import java.util.*;
import java.util.Timer;

/**
 * Controller for rotifer cultures based on Alver, Alfredsen, Øie, Storøy & Olsen
 (2010).
 */
public class RotiferCultureController implements Controller {

    static final int STATES = 3; // density estimate, egg rate estimate,
integrator
    static final long PERIOD = 5000; // Time between model updates
    static final double MS_PER_DAY = 3600.0*24.0*1000.0; // The number of
milliseconds in a day

    private HashMap<String,Double> setpoints = new HashMap<String, Double>(),
        tankRation = new HashMap<String, Double>(),
        manualEggRates = new HashMap<String, Double>();
    private HashMap<String,double[]> states = new HashMap<String, double[]>();

    private ArrayList<Measurement> newMeasurements = new ArrayList<Measurement>();

    private Timer t;
    private boolean continuousDilution;
    private int dilutionTime; // The time in minutes after midnight that dilution
takes place
    private double dilutionRate;
    private boolean manualEggRate;

    private double
        K_P1 = 0.2,
        K_P2 = 0.4,
        K_I2 = 0.1;

    public RotiferCultureController(int[] counters, int[][] tanks, double[][]
setpoints,
                                double[][][] initialStates,
                                boolean continuousDilution, int dilutionTime,
                                double dilutionRate, boolean manualEggRate) {
        this.continuousDilution = continuousDilution;
        this.dilutionTime = dilutionTime;
        this.dilutionRate = dilutionRate;
        this.manualEggRate = manualEggRate;
        for (int i=0; i<counters.length; i++) {
            for (int j=0; j<tanks[i].length; j++) {
                String key = i+":"+j;
                this.setpoints.put(key, setpoints[i][j]);
                if (manualEggRate) {
                    this.manualEggRates.put(key, initialStates[i][j][1]);
                }
            }
        }
    }
}

```

```

        double[] statevec = new double[STATES];
        for (int k=0; k<statevec.length; k++)
            statevec[k] = initialStates[i][j][k];
        this.states.put(key, statevec);
        this.tankRation.put(key, 0.);
    }
}

public void start() {
    t = new Timer("controller", false);
    t.schedule(new ControllerLoop(), 0, PERIOD);
}

public void stop() {
    t.cancel();
}

public void newMeasurement(int counter, int tank, double density, double
eggrate, double meanSize) {
    synchronized (newMeasurements) {
        newMeasurements.add(new Measurement(counter+"."+tank, density, eggrate,
meanSize));
    }
}

public double[] getControlValues(int counter, int tank) {
    String key = counter+"."+tank;
    return new double[] {tankRation.get(key), states.get(key)[0], states.get
(key)[1],
        states.get(key)[2]};
}

class ControllerLoop extends TimerTask {
    @Override
    public void run() {
        // Get the current time:
        Calendar c = Calendar.getInstance();
        int timeNow = 60*c.get(Calendar.MINUTE) + c.get(Calendar.HOUR_OF_DAY);
        System.out.println("controller ping. Time = "+timeNow);
        Measurement newMeas = null;
        // Check if there is at least one measurement available. If so, use
the first:
        synchronized (newMeasurements) {
            if (newMeasurements.size() > 0)
                newMeas = newMeasurements.remove(0);
        }

        // Loop through all tanks:
        for (String key : setpoints.keySet()) {
            // Get the state vector for this tank:
            double[] x = states.get(key);

            // Check if we have a new measurement for this tank:
            if ((newMeas != null) && newMeas.key.equals(key)) {

```

```

        System.out.println("Measurement: "+newMeas.density);
        // Update density:
        if (newMeas.density >= 0)
            x[0] = 0.5*x[0] + 0.5*newMeas.density; // Eq. (11)
        // Update egg rate:
        if (newMeas.eggrate >= 0)
            x[1] = newMeas.eggrate; // TODO: should egg rate
measurements be filtered?
    }

    double estDens = x[0];
    double estEggrate = x[1];
    double eggrateIntegrator = x[2];

    double R_r = setpoints.get(key);

    if (manualEggRate) {
        estEggrate = manualEggRates.get(key);
        x[1] = estEggrate;
    }
    System.out.println("Current egg rate = "+estEggrate);

    // 1: Estimate projected rotifer density.
    // Estimate current growth rate:
    double estMu = growthRateFromEggrate(estEggrate);
    int deltaTime = timeNow > dilutionTime ? timeNow - dilutionTime :
24*60-dilutionTime + timeNow;
    double R_p = estDens*Math.exp(estMu*(0.5 - ((double)deltaTime)/(24.
*60.)));
    System.out.println("deltaTime = "+deltaTime);
    System.out.println("estMu = "+estMu+", estDens = "+estDens+", R_p =
"+R_p);

    // 2: Calculate desired growth rate:
    double muDil = continuousDilution ? dilutionRate : -Math.log(1. -
dilutionRate);
    double mu_r = muDil + K_P1 * (R_r - R_p)/R_r;
    System.out.println("dilutionRate = "+dilutionRate+", muDil =
"+muDil+", mu_r = "+mu_r);

    // 3: Calculate desired egg rate:
    double E_r = 0.8* eggrateFromGrowthRate(mu_r);
    System.out.println("E_r = "+E_r);
    // Update eggrate integrator:
    x[2] += (E_r - estEggrate)*((double)PERIOD)/ MS_PER_DAY;
    System.out.println("Eggrate integrator = "+x[2]);

    // 4: Estimate steady state feed ration:
    double U_b = individualRation(E_r);

    // 5: Compute adjustment to U_b:
    double U_u = U_b*(1 + K_P2*(E_r - estEggrate) + K_I2
*eggrateIntegrator);

    // 6: Calculate the amount of feed per litre per day:

```



```

        double u = 1000.*estDens*U_u;

        System.out.println("U_b = "+U_b+", U_u = "+U_u+", u = "+u);

        // Store calculated value:
        tankRation.put(key, u);
    }
}

/**
 * Estimate required individual ration as function of desired egg rate,
 * according to Alver et al. (2010).
 * @param eggrate the desired egg rate
 * @return the estimated individual ration
 */
public static double individualRation(double eggrate) {
    return 6.38e-6*eggrate*eggrate*eggrate - 7.72e-7*eggrate*eggrate
        + 1.69e-6*eggrate + 5.8e-7;
}

/**
 * Estimate the egg rate corresponding to a given growth rate,
 * according to Alver et al. (2010).
 * @param mu the growth rate
 * @return the estimated egg rate
 */
public static double eggrateFromGrowthRate(double mu) {
    return 1.5*mu*mu + 0.89*mu + 0.065;
}

/**
 * Estimate the growth rate corresponding to a given egg rate,
 * according to Alver et al. (2010).
 * @param eggrate the egg rate
 * @return the estimated growth rate
 */
public static double growthRateFromEggrate(double eggrate) {
    return -0.32*eggrate*eggrate + 0.89*eggrate - 0.045;
}

class Measurement {
    public String key;
    public double density, eggrate, meanSize;
    public Measurement(String key, double density, double eggrate, double
meanSize) {
        this.key = key;
        this.density = density;
        this.eggrate = eggrate;
        this.meanSize = meanSize;
    }
}

```

```

public JMenuItem getControllerConfig() {
    if (!manualEggRate)
        return null;
    JMenuItem item = new JMenuItem("Configure rotifer controller");
    item.addActionListener(new ActionListener() {
        public void actionPerformed(ActionEvent e) {
            configureController();
        }
    });
    return item;
}

public void configureController() {
    RotiferControllerConfigPanel diag = new RotiferControllerConfigPanel
(manualEggRates);
    diag.show();
    if (diag.isOkPressed()) {
        HashMap<String, Double> values = diag.getValues();
        for (Iterator<String> i = values.keySet().iterator(); i.hasNext();) {
            String key = i.next();
            if (values.get(key) != null) {
                double value = values.get(key);
                manualEggRates.put(key, value);
            }
        }
    }
}
}
}

```

Tillegg E

Utdrag fra “Dyrking av rotatorier til marine fiskelarver”

1 Rotatoriebiologi

1.1 Introduksjon og rotatoriebiologi Rotatorier fra slekten *Brachionus* har blitt benyttet i akvakultur siden tidlig på 60-tallet. (Ito, 1960, omtalt av Nagata and Hirata, 1986). Rotatorier ble først sett på som ett problem pga. oppblomstring i ålekulturer, men etter hvert ble de testet som levendefôr til fiskelarver (Ito, 1960). Den første tiden ble rotatoriene dyrket opp på levende alger, noe som krevde store volum og førte til kulturer med lav tetthet. Etter hvert er nye førkilder blitt utviklet, og tettheten i rotatoriekultuer har økt betraktelig. I dag er rotatorier viktig som levendefôr for en lang rekke fiske- og skaldyrarter rundt om i verden. På norsk kalles rotatorier for hjuldyr på grunn av at ciliekransen på toppen av dyret ser ut som to hjul. Rotatorier blir benyttet som levendefôr fordi de er enkle å dyrke opp i høye tettheter hele året rundt. Rotatoriestørrelsen passer til munnstørrelsen på mange fiskelarver, og svømmeaktiviteten til rotatoriene er rolig, slik at de er enkle å fange for fiskelarvene. Rotatoriene er tolerante når det å tilpasse seg variasjoner i omgivelsene som temperatur, salinitet, pH og temperatur. Næringsinnholdet i rotatoriene er enkelt å manipulere, og kan bli tilpasset fiskelarvenes behov. De første ukene etter at fiskelarvene har begynt å spise levendefôr er helt avgjørende for fiskelarvens utvikling og levedyktighet. Det er derfor svært viktig å produsere rotatorier med godt næringsinnhold, god mikrobiell flora og høy viabilitet.

1.2 Generell biologi Rotatorier er små invertebrater som stort sett lever hovedsakelig i ferskvann, men det finnes arter som lever i sjøvann, brakkvann og i fuktige terrestriske miljø, som foreksempel på mose. Det finnes i overkant av 2000 ulike rotatoriearter, og det oppdages stadig nye arter. Slekten *Rotifera* er delt i to superklasser kalt *Seisona* og *Eurotatoria*. *Brachionus*-komplekset er en av de mest studerte gruppene av rotatorier og taksonomien blir stadig revidert.

I akvakultur blir flere ulike *Brachionus*-arter benyttet. Genetiske analyser har vist at det man tidligere trodde var *Brachionus plicatilis*, ikke er en enkelt art men flere ulike arter. Det er antatt at *Brachionus*-komplekset består av 15 arter (Ciros-Perez et al., 2001, Gomez et al. 2002, Suatoni et al., 2006). Genetiske analyser har revolusjonert den taksonomiske klassifiseringen av *Brachionus* arter det siste 10 året. Identifisering av arter brukt i eksperimenter og ved klekkerier er viktig fordi de ulike artene har forskjellig veksthastighet (Venetia and Vadstein, 2007), lorica lengde, optimum for salinitet og temperatur, svømmeaktivitet, størrelsespreferanse til fôrpertikler (Baer et al. 2008, Vadstein et al. 1993) og biokjemisk sammensetning (Monsen 2007). Dette fører til at både størrelse og nærings sammensetning varierer mellom de ulike *Brachionus* artene, som i neste omgang vil være viktig for fiskelarvene. I perioden fra 1950 til år 2000 ble det publisert ca 750 artikler som omhandlet *B.plicatilis*. Dessverre er det kun noen få artikler som har riktig artsbestemmelse, slik at en del av denne akkumulerte kunnskapen har begrenset verdi i dag (Suatoni et al. 2006).

1.3 Morfologi *Brachionus* artene har noen særegne trekk som inkluderer corona ("hodet") med en ciliekrans og mastax. På framsiden av "hodet" sitter corona som består av to konsentriske cilierte "kroner". Dette roterende organet er viktig for matinntaket og for bevegelse. Kroppen er dekket med et skall kalt lorica, som består av keratinliknende proteiner. Lorica har pigger i toppen, og spissheten på disse piggene kan benyttes i artsbestemmelsen. Rotatoriene har også en fot med to tær. Et limliknende sekret kan skilles ut i tærne, slik at rotatorien blir i stand til å feste seg til underlaget. Rotatoriene er i stand til å trekke foten inn i lorica ved hjelp av langsgående muskler. Rotatoriene beveger seg ved hjelp av ciliekransen, foten og bevegelsen blir enklere ved kontraksjon av muskler inne i rotatorien. Rotatorier har et veldig enkelt nervesystem. Under corona ligger en enkel stor nerveknute. Fra denne enkle hjernen går to para nerveceller ned i foten, med forgreninger til ulike organer. Rotatoriene har også sensoriske celler som er delt opp i mekanoreseptorer, kjemoreseptorer og fotoreseptorer.

1.4 Fôring og fordøyelse Partikler fra vannet når munnåpningen og passerer svelget. Den cilierte kronen er viktig i fôropptaket. Svelget inneholder mastax hvor fôrpertiklene blir knust i et "oppmalingsorgan" kalt trophi, trolig ved hjelp av enzymer. De harde delene av trophi er viktig i taksonomisk bestemmelse av arter. De knuste fôrpertiklene blir deretter ført ned i fordøyelseskanalen sammen med magesaft fra store magesaftkjertler, og ekstracellulær fordøyelse skjer i magesekken. Mange ulike enzymer er rapportert fra *B.plicatilis*. Dette omfatter proteaser (Hara et al. 1984a,b, Kuhle og Kleinow 1985, Wetthmar og Kleinow 1993), alpha-amylase, laminarinase, cellulase, cellobiohydrolase, lysozyme og beta-1,3-lucanase (Hara et al. 1997, Kuhle og Kleinow 1985, 1989, 1990). Deretter føres maten med i tarmen og i kloakken, hvor også væske fra blæren skilles ut sammen med egg fra egglederne. Rotatoriene har ikke respirasjonssystem eller sirkulasjonssystem, og kroppsvesker er lokalisert i "pseudocoelom" (uekte bukhole) (Lubzens 2003). Muskelsammentrekninger i kroppen hjelper til med sirkulasjon av kroppsvæske. Rotatoriene bytter gasser og kvitter seg med nitrogen avfall ved diffusjon gjennom kroppsoverflaten, i tillegg har de primitive nyrer som fører avfallstoffer ned i blæren. *B.plicatilis* er osmokonform og

det vil si at de justerer kroppsvæskens osmolaritet til den konsentrasjonen i omgivelsene (Epp and Winston, 1977). Kun ved lave saltkonsentrasjoner i omgivelsene, så har rotatoriene høyere konsentrasjon i kroppen (Epp og Winston, 1977). Rotatoriene tåler store variasjoner i salinitet.

1.5 Nervesystemet Nervesystemet består av en hjerne-nerveknute, og er lokalisert under corona. Nerveceller går ned langs kroppen på hver side til foten, med greiner til andre organ. Rotatoriens sensoriske organer kan deles i mekaniske reseptorer, kjemiske reseptorer og foto reseptorer. De mekaniske reseptorene finnes på corona, antenner, svelg og fot. Kjemiske reseptorer finnes på corona, og er viktig ved valg av forpartikler. Mange arter har en eller flere lysregistrerende øyeflekker.

1.6 Bevegelse Rotatoriene beveger seg ved hjelp av ciliekransen og foten. I tillegg vil muskelsammentrekninger i kroppen hjelpe til med bevegelsen. Svømmeaktiviteten blir påvirket av temperatur, salinitet, ammoniakk konsentrasjon, pH, oksygen nivå og førkonsentrasjon. Svømmehastigheten kan være en indikator på om forholdene i kulturen er bra eller dårlig.

1.7 Reproduksjon I rotatoriekulturer er normalt alle individene hunndyr. Så lenge kulturbetingelsene er gode vil populasjonen øke ved hjelp av partenogenese (ukjønna formering). Diploide hunndyr produserer diploide egg (amiktiske egg), som vil klekke og utvikle seg til et diploid hunndyr. Seksuell reproduksjon kan skje ved spesielle omstendigheter, og haploide hanndyr vil bli produsert. Mekanismene bak skifte i seksuell og aseksuell formering er ikke helt klarlagt, men laboratoriestudier inkluderer næringstilførsel, tetthet, salinitet og genetiske faktorer (Pourriot and Snell, 1983, Serra and King, 1999, Ricci, 2001). Diploide hunndyr kan enten bli amiktiske eller miktiske og morfologisk er de umulig å skille. Amiktiske hunndyr produserer ved partenogenese (jomfrufødsel) diploide egg som utvikler seg ved mitose* til hunndyr, mens miktiske hunndyr produserer partenogenetisk haploide egg ved meiose. Dersom en miktisk hunn ikke parer seg og egget ikke befruktes, så utvikles det til et hanndyr. Hanndyrene er mye mindre enn hunndyrene og de beveger seg veldig raskt. Etter kjønn formering vil det bli utviklet diploide hvileegg. Hvileeggene vil klekkes etter en hvileperiode (Hagiwara 1996, Lubzens et al. 2001), men de kan overleve mange år i sedimentene før de klekker.

*Mitose er celledeling som fører til to identiske celler, lik den cellen som delte seg, og med like mange kromosomer. Meiose er celledeling hvor antallet kromosomer halveres.

2 Produksjon av rotatorier Rotatorier kan dyrkes i mange typer systemer, alt fra små bøtter til store betongdammer på mange hundre kubikk. I klekkerier rundt omkring i verden finnes produksjonstanker av ulikt materiale, størrelse og form. Det mest vanlige i Norge og Europeiske klekkerier er runde glassfiber tanker med konisk bunn på ca. 2-3 m³. Tankene tilsettes luft via luftesteiner, og oksygen tilsettes når tettheten overstiger 500 dyr/ml. Rotatoriene føres ofte med nedkjølt konsentrat av ferskvanns *Chlorella* eller andre mikroalger. Rotatorier kan også dyrkes opp på vanlig bakegjær sammen med en emugert olje, eller andre kommersielle dietter (se liste side....).

2.1 Dyrkingsmetoder Ulike metoder kan benyttes for dyrking av rotatorier.

Dette omfatter batch (sats) dyrking, semikontinuerlig kultivering og kontinuerlig kultivering. Batch kulturer er produksjon i lukket system med tilgang på luft, oksygen og fôr. Kulturene kan startes på relativ lav tetthet, og høstes i sin helhet i sen vekstfase. Kontinuerlige kulturer er åpne kultursystemer som tilføres de nødvendige ressursene og høstes regulært ved å erstatte et bestemt volum av kulturen per dag (semikontinuerlig) eller kontinuerlig. Begge metodene, samt tilpassede kombinasjoner av metodene blir benyttet i klekkeriene i dag. Når det gjelder valg av dyrkingsmetode vil rotatoriekvalitet, skala for produksjonen, kostnader, risiko og klekkerirutiner påvirke valg av metode. Kunnskap om rotatoriebiologi, ernæring, omgivelsesbehov og egenskaper ved produksjonssystemet er viktig for å oppnå stabil og sikke produksjon av rotatorier.