

# Videreutvikling av instrumentering

-for studier av mikroalgers vertikalmigrasjon under ulike  
lysforhold

av

Ørjan Silgjerd



Masteroppgave i målevitenskap og instrumentering

---

Institutt for fysikk og teknologi  
Det matematiske-naturvitenskapelige fakultet  
Universitet i Bergen  
Høsten 2017

[ Blank side ]

## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Institutt for fysikk og teknologi (IFT) og institutt for biologi.

Jeg vil spesielt takke veileder førsteamanuensis Svein Rune Erga, ved institutt for biologi, for uvurderlig praktisk tilrettelegging og veiledning med det eksperimentelle arbeidet i tillegg veiledning med masteroppgaven.

Jeg vil også takke veileder professor Bjørn Tore Hjertaker, ved IFT som har bidratt med strategiske valg og effektiv veiledning i det vitenskaplige arbeidet. En stor takk rettes også til biveileder postdoktor Arne Skodvin Kristoffersen ved IFT, for grundig tilbakemelding på masteroppgave underveis i skrivearbeidet samt gode praktiske råd om innstilling av optiske lasere og detektorer.

Takk til Werner Olsen, overingeniør ved IFT, for uvurderlig gode råd i design av forsterkerkretser samt Per Heradstveit, avdelingsingeniør ved IFT, for produksjon av kretskort. Takk til Roald Langøen, avdelingsingeniør og Charles Sebastiangil, seniorforskningsingeniør ved IFT, for produksjon av mekaniske deler til vertikalkolonnen. Takk til Rachid Maad, overingeniør ved IFT for praktisk veiledning med ombygging av styreskap, og installasjon av nødvendig programvare og drivere til styre- og datainnsamlingsystem. Takk til Børge Hamre, førsteamanuensis ved IFT, for lån av hyperspektralt radiometer og opplæring i bruk av instrument samt tilhørende programvare.

Til slutt vil jeg gjerne takke familien min som har støttet og holdt ut med meg under arbeidet med masteroppgaven.

[ Blank side ]

## Sammendrag

Mikroalger er viktige som primærprodusent i økosystem, både som næring til andre organismer men også som oksygenprodusent. Endringer av miljøforhold som lysintensitet, bølgelengde og tilgang på næringsstoffer, vil påvirke vekst og vertikal forflytning av mikroalgene. Derfor er det av vitenskapelig interesse å utføre grunnstudier på vekst og forflytning av mikroalger i havet. Dette kan gjøres *in situ*, det vil si direkte i havet eller i kontrollerte omgivelser i tanker.

Denne masteroppgaven har hatt som hovedoppgave å videreutvikle instrumenteringssystem av en eksisterende eksperimentell vannkolonne (algetank) for studier av mikroalgers vertikale forflytning. Nye optiske lasere og detektorer har blitt anskaffet og installert for mer nøyaktig deteksjon av algekonsentrasjon i kolonnen. Det mekaniske arrangementet har blitt redesignet og oppgradert. Sensorrammen har fått nye lineærlagre, som gjør profilering av kolonnen mer nøyaktig og vibrasjonsløs. Regulerbart LEDpanel med forsterker har blitt designet og produsert med sterkere lysintensitet enn tidligere lyskilde. Tilhørende styre- og datainnsamlingsprogram er blitt videreutviklet.

Den eksperimentelle vannkolonnen er blitt testkjørt etter oppgraderingen med to innledende eksperimenter. Det første eksperimentet testet innlegging av en skarp saltgradient, med skummetmelk som visuell indikator i brakkvannslaget. Det neste eksperimentet benyttet algekulturen *Tetraselmis suecica* som testorganisme, der hele instrumenteringssystemet ble testet og småfeil i programvaren ble rettet nderveis.

Eksperiment 3 er utført med hvitt lys og *Tetraselmis suecica*. Eksperimentet gav interessante resultater med sterk biokonveksjon av mikroalger, der synkehashtigheten til tråddannede algeformasjoner ble målt til 1,4mm/s. Vertikalmigrering gjennom haloklin ved overgang fra lys til mørke, og mørke til lys ble verifisert. En interessant observasjon er at vertikalmigreringen ser ut til å starte et par timer før lyset blir slått av eller på, noe som kan indikere at mikroalgene er utrustet med en biologisk klokke.

Eksperiment 4-7 benyttet algekulturen *Tetraselmis chui* som testorganisme, der hvitt, rødt, grønt og blått lys ble benyttet. Vertikalmigrering gjennom haloklin ved overgang fra lys til mørke, ble også her verifisert. Majoriteten av *Tetraselmis chui* la seg på bunnen algetanken under eksperimentene, der de inntok en vegetativ tilstand med oksygenproduksjon ved hjelp av fotosyntese. Ved rødt, grønt og blått lys inntok mikroalgene klumpeformet formasjoner, som beveget seg sakte langs bunn.

[ Blank side ]

# Innhold

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| <b>1</b> | <b>Introduksjon</b>   | <b>13</b>  |
| <b>2</b> | <b>Teoridel</b>   | <b>14</b>  |
| 2.1      | Alger . . . . .   | 16         |
| 2.2      | Fotosyntese . . . . .   | 20         |
| 2.3      | Spredning og absorpsjon av lys . . . . .                              | 22         |
| <b>3</b> | <b>Eksperimentelt oppsett</b>   | <b>25</b>  |
| 3.1      | Opprinnelig eksperimentelt oppsett for vannkolonnen . . . . .         | 25         |
| 3.2      | Mekanisk design . . . . .   | 27         |
| 3.3      | Oppsett for påfylling . . . . .                                       | 29         |
| 3.4      | Optisk måleoppsett . . . . .  | 30         |
| 3.5      | Motordrift (elektro) . . . . .  | 30         |
| 3.6      | LEDpanel og forsterkerkrets . . . . .                                 | 36         |
| 3.6.1    | DC Signalforsterker . . . . .   | 36         |
| 3.6.2    | Dimensjonering av tilførselkabler til LEDpanel . . . . .              | 39         |
| 3.6.3    | LEDpanel . . . . .  | 40         |
| 3.7      | Digitalkamera . . . . .   | 43         |
| 3.8      | Styre- og datainnsamlingssystem . . . . .                             | 45         |
| 3.9      | Usikkerhetsberegninger . . . . .                                      | 57         |
| <b>4</b> | <b>Eksperimenter</b>  | <b>61</b>  |
| 4.1      | Eksperiment 1, verifisering av saltgradient med skummetmelk . . . . . | 62         |
| 4.2      | Eksperiment 2, <i>Tetraselmis suecica</i> , hvitt lys . . . . .       | 65         |
| 4.3      | Eksperiment 3, <i>Tetraselmis suecica</i> , hvitt lys . . . . .       | 69         |
| 4.4      | Eksperiment 4, <i>Tetraselmis chui</i> , hvitt lys . . . . .          | 76         |
| 4.5      | Eksperiment 5, <i>Tetraselmis chui</i> , rødt lys . . . . .           | 81         |
| 4.6      | Eksperiment 6, <i>Tetraselmis chui</i> , grønt lys . . . . .          | 86         |
| 4.7      | Eksperiment 7, <i>Tetraselmis chui</i> , Blått lys . . . . .          | 92         |
| 4.8      | Sensorkalibrering med <i>Tetraselmis suecica</i> . . . . .            | 98         |
| 4.9      | Sensorkalibrering med <i>Tetraselmis chui</i> . . . . .               | 101        |
| <b>5</b> | <b>Diskusjon</b>  | <b>102</b> |
| <b>6</b> | <b>Konklusjon</b>   | <b>105</b> |
| 6.1      | Videre arbeid . . . . .   | 106        |
| <b>7</b> | <b>Referanseliste</b>   | <b>107</b> |
| <b>8</b> | <b>Vedlegg</b>  | <b>110</b> |

## Figurer

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Oversikt over pelagiske soner i havet. . . . .   | 14 |
| 2  | Forenklet illustrasjon av eukaryotisk celle . . . . .  | 16 |
| 3  | Forenklet illustrasjon av de <i>Tetraselmis sp.</i> . . . . .  | 17 |
| 4  | Skisse av ulike flagellatorienteringer hos alger . . . . .   | 18 |
| 5  | <i>Tetraselmis suecia</i> syklus . . . . .   | 19 |
| 6  | Illustrasjon av biokonveksjon . . . . .  | 20 |
| 7  | Skjematisk fremstilling av fotosynteprosessen . . . . .  | 21 |
| 8  | Spredning og absorpsjon av lys gjennom et medium . . . . .   | 22 |
| 9  | Tidligere mekanisk oppsett av vannkolonne. . . . .   | 25 |
| 10 | Tidligere mekanisk oppsett av vannkolonne sett fra siden. . . . .  | 26 |
| 11 | Nytt mekanisk oppsett av vannkolonne fremstilt med 3d-modellering. . . . .   | 28 |
| 12 | Skjematikk over påfyllingssystem av sjøvann og algekultur . . . . .  | 29 |
| 13 | Optisk måleoppsett . . . . .   | 30 |
| 14 | Elektrisk koblingskjema 230V for motordrift og strømforsyning til LEDpanel, cRIO (styre og datainnsamlingsystem) og optikk med lasere og detektorer. . . . . | 31 |
| 15 | Motorramme med asynkronmotor, vinkelgir og kjedeutveksling . . . . .   | 33 |
| 16 | Vinkelgir maskintegning, hentet fra produktkatalog . . . . .   | 33 |
| 17 | Kjedeutveksling fra gir til tverraksling . . . . .   | 35 |
| 18 | Kretskortlayout av LEDpanel . . . . .  | 36 |
| 19 | Forsterkerkrets koblingskjema, Rød1 krets . . . . .  | 37 |
| 20 | Kretskortlayout av forsterker . . . . .  | 39 |
| 21 | LEDpanel og forsterkerkrets koblingskjema . . . . .  | 40 |
| 22 | Måleoppsett for spektralmåling av LEDpanel . . . . .   | 41 |
| 23 | LEDpanel testet med Ramses instrument . . . . .  | 42 |
| 24 | Sammenheng mellom kontrollsignal og fotonfluks. . . . .  | 43 |
| 25 | Canon PowerShot G1 X Mark II, bilde er hentet fra leverandørens hjemmeside . . . . .   | 43 |
| 26 | Styre- og datainnsamlingskontroller NI cRIO-9074, figur hentet fra leverandør datablad . . . . .   | 45 |
| 27 | Nettverksoppkobling . . . . .  | 46 |
| 28 | Tilstandsdiagram, med tilstander presentert i bokser og hendelser utenfor . . . . .  | 47 |
| 29 | Labview frontpanel, algemonitorering . . . . .   | 48 |
| 30 | Labview frontpanel, eksperimentelle innstillinger . . . . .  | 48 |
| 31 | Labview blokkdiagram, initiell tilstand . . . . .  | 49 |
| 32 | Labview blokkdiagram, manuell tilstand . . . . .   | 50 |
| 33 | Labview blokkdiagram, sikker oppstarts tilstand . . . . .  | 51 |
| 34 | Labview blokkdiagram, konfigurasjon tilstand . . . . .   | 52 |



|    |  |    |
|----|--|----|
| 35 | Labview blokkdiagram, forbereder skann tilstand . . . . .  | 53 |
| 36 | Labview blokkdiagram, skann ned tilstand . . . . .   | 54 |
| 37 | Labview blokkdiagram, skriv til datafil og vent tilstand . . . . .                                 | 55 |
| 38 | Labview blokkdiagram, henter sensorramme tilstand . . . . .  | 56 |
| 39 | Systemoversikt for måling av algekonsentrasjon . . . . .   | 57 |
| 40 | Tankfylling eksperiment 1 . . . . .  | 63 |
| 41 | Dataplott med sensorintensitet sidestilt med delfoto av gradient . .                               | 64 |
| 42 | Påfylling av ulike lag i algetank. . . . .   | 66 |
| 43 | Konturplott fra eksperiment 2. . . . .   | 67 |
| 44 | Bilde av algetank fredag 05.05.2017, kl.10:40 . . . . .  | 68 |
| 45 | Konturplott av eksperiment 3, fra dag 0 til 7 . . . . .  | 70 |
| 46 | Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 1. . . . .  | 71 |
| 47 | Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 2 . . . . .   | 72 |
| 48 | Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 3 . . . . .   | 72 |
| 49 | Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 4 . . . . .   | 73 |
| 50 | Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 5 . . . . .   | 73 |
| 51 | Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 6 . . . . .   | 74 |
| 52 | Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 10 . . . . .  | 74 |
| 53 | Måling av saltgradient eksperiment 3 . . . . .   | 75 |
| 54 | Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 1 . . . . .   | 78 |
| 55 | Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 2 . . . . .   | 78 |
| 56 | Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 3 . . . . .   | 79 |
| 57 | Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 4 . . . . .   | 79 |
| 58 | Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 5 . . . . .   | 80 |
| 59 | Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 6 . . . . .   | 80 |
| 60 | Profilering eksperiment 5, plott 1 . . . . .   | 83 |
| 61 | Profilering eksperiment 5, plott 2 . . . . .   | 83 |
| 62 | Algekonsentrasjon eksperiment 5, plott 3 . . . . .   | 84 |
| 63 | Algekonsentrasjon eksperiment 5, plott 4 . . . . .   | 84 |
| 64 | Algekonsentrasjon eksperiment 5, plott 5 . . . . .   | 85 |
| 65 | Algekonsentrasjon eksperiment 5, plott 6 . . . . .   | 85 |
| 66 | Utvalgte mikroskopbilder av klumpeformede algeformasjoner med<br><i>Tetraselmis chui</i> . . . . . | 88 |
| 67 | Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 1 . . . . .   | 88 |
| 68 | Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 2 . . . . .   | 89 |
| 69 | Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 3 . . . . .   | 89 |
| 70 | Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 4 . . . . .   | 90 |
| 71 | Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 5 . . . . .   | 90 |
| 72 | Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 6 . . . . .   | 91 |
| 73 | Utvalgte bilder fra eksperiment 7. . . . .   | 94 |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 74 | Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 1 . . . . .  | 95  |
| 75 | Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 2 . . . . .  | 95  |
| 76 | Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 3 . . . . .  | 96  |
| 77 | Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 4 . . . . .  | 96  |
| 78 | Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 5 . . . . .  | 97  |
| 79 | Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 6 . . . . .  | 97  |
| 80 | Nærbilde av laserstråle gjennom algetank, 15.05.2017, kl.10:40 . . .                          | 99  |
| 81 | Algekultur med måleglass og pipette, mandag 15.05.2017, kl.16:20 .                            | 99  |
| 82 | Kalibrering med <i>Tetraselmis suecica</i> . . . . .  | 100 |
| 83 | Kalibrering med <i>Tetraselmis chui</i> . . . . .   | 101 |
| 84 | Påfylling av brakkvann, saltvann og algekultur i algetank, for eks-<br>periment 3-7 . . . . . | 119 |
| 85 | Salinitetsmåling etter endt eksperiment, for eksperiment 2-7 . . . .                          | 120 |

## Tabeller

|    |  |     |
|----|--|-----|
| 1  | Utvalgt liste over fremmeord og forkortelser . . . . .   | 12  |
| 2  | Utførte eksperimenter . . . . .                          | 61  |
| 3  | Startverdier for eksperiment 1 . . . . .                 | 62  |
| 4  | Startverdier for eksperiment 2 . . . . .                 | 65  |
| 5  | Startverdier for eksperiment 3 . . . . .                 | 69  |
| 6  | Resultater for eksperimentet 3 . . . . .                 | 69  |
| 7  | Resultater for eksperiment 3 . . . . .                   | 70  |
| 8  | Startverdier for eksperiment 4 . . . . .                 | 76  |
| 9  | Måleverdier etter avsluttet eksperiment 4 . . . . .      | 77  |
| 10 | Resultater for eksperiment 4 . . . . .                   | 77  |
| 11 | Data for eksperimentet 5 ved start . . . . .             | 81  |
| 12 | Måleverdier etter avsluttet eksperimentet 5 . . . . .    | 81  |
| 13 | Resultater for eksperiment 5 . . . . .                   | 82  |
| 14 | Data for eksperimentet 6 ved start . . . . .             | 86  |
| 15 | Måleverdier for eksperimentet 6 . . . . .                | 86  |
| 16 | Resultater for eksperiment 6 . . . . .                   | 87  |
| 17 | Data for eksperimentet 7 ved start . . . . .             | 92  |
| 18 | Resultater for eksperimentet 7 . . . . .                 | 92  |
| 19 | Resultater for eksperiment 7 . . . . .                   | 93  |
| 20 | Dosering av algekultur . . . . .                         | 98  |
| 21 | Variasjon av sensorrammens hastighet i prosent . . . . . | 102 |
| 22 | Sammenligning av celledelinger per døgn . . . . .        | 104 |
| 23 | Observasjoner for eksperiment 1 . . . . .                | 111 |
| 24 | Observasjoner for eksperiment 2 . . . . .                | 112 |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 25 | Observasjoner for eksp.3 . . . . .                                  | 113 |
| 26 | Observasjoner for eksp. 4 . . . . .                                 | 115 |
| 27 | Observasjoner for eksp. 5 . . . . .                                 | 116 |
| 28 | Observasjoner for eksp. 6 . . . . .                                 | 117 |
| 29 | Observasjoner for eksp. 7 . . . . .                                 | 118 |
| 30 | Komponentliste med nye deler, Algetank, tegnings nr: 001 . . . . .  | 124 |
| 31 | Komponentliste med nye deler, Motordrift nr:005 . . . . .           | 125 |
| 32 | Komponentliste med nye deler, kamera og temperaturmåling . . . . .  | 125 |
| 33 | Komponentliste med nye deler, LEDpanel og forsterkerkrets . . . . . | 126 |

## Liste over fremmedord og forkortelser

Tabell 1: Utvalgt liste over fremmedord og forkortelser

| Fremmedord         | Forklaring   |
|--------------------|--|
| Haloklin           | Grenseflate mellom ulike saltlag i havet                         |
| Karotenoider       | Hjelp pigmenter hos fotosyntetiserende organismer og dyr         |
| Irradiens          | Innstrålingstettheten sendt inn mot en flate (W/m <sup>2</sup> ) |
| Divergerende linse | Linse som sprer lys  |
| PAR                | Fotosynteseaktiv stråling  |
| Pelagisk           | Leveviset til marine organismer i frie vannmasser (pelagiaen)    |
| Pyknoklin          | Grenseflate mellom to vannlag med ulik tetthet                   |
| LED                | Light Emitting Diode   |
| API                | Application Programming Interface                                |
| cRIO               | Compact Reconfigurable I/O                                       |
| MAX                | Measurement & Automation Explorer                                |
| DAC                | Digital to Analog Converter                                      |
| I/O                | Input/Output   |
| NI                 | National Instruments   |
| n/a                | not available  |
| FPGA               | Field Programmable Gate Array                                    |

# 1 Introduksjon

Denne masteroppgaven omhandler oppgradering av styre- og målesystem av en kunstig vannkolonne, samt eksperimenter på mikroalgers vertikale forflytning i tanken. Det mekaniske arrangementet er forbedret og mer stabilt, nye optiske lasere og detektorer, nytt egenutviklet LEDpanel med forsterkerkrets. Nytt program er utviklet for å styre sensorrammen og LEDpanelet, samt innhente og lagre måledata. Instrumentkabler er blitt skiftet ut med skjermede kabler, og motorkabel som går fra frekvensomformer er nå skjermet grunnet elektromagnetisk støy.

Hovedgrunnen til at jeg valgte denne oppgaven var at det var en tverrfaglig spennende og utfordrende oppgave innenfor mikrobiologi, måle og styringsteknikk, elektronikk, og mekanisk konstruksjon. Jeg har bakgrunn som ingeniør og har tidligere blant annet jobbet med undervanns elektrohydrauliske kontrollmoduler, for pumpestasjoner montert på havbunnen. Derfor virket det svært interessant å forsette å utvikle min tverrfaglige kompetanse, samtidig som jeg kunne få lov til å bli kjent med mikroalgens oppførsel, natur og potensiale.

Vannkolonnen ble opprinnelig utviklet og bygget ved UiB i 1996 gjennom en hovedoppgave, for å muliggjøre dynamiske studier av mikroalgers vertikale forflytning [1][2][3]. Vannkolonnen ble bygget for å øke forståelsen om grunnleggende funksjoner i pelagiske økosystemer. Maren Dybwad forbedret den mekaniske stabiliteten på sensorrammen under sitt arbeid med hovedoppgave i 1998, og korrigererte for optiske feilkilder på systemet [4]. Instrumentering- og datainnsamlingsystemet ble oppgradert gjennom en masteroppgave utført av Fotland i 2013. Fotland fikk også bygget et LEDpanel med mulighet for å variere lysintensitet på rødt, grønt, blått og UVA lys [5].

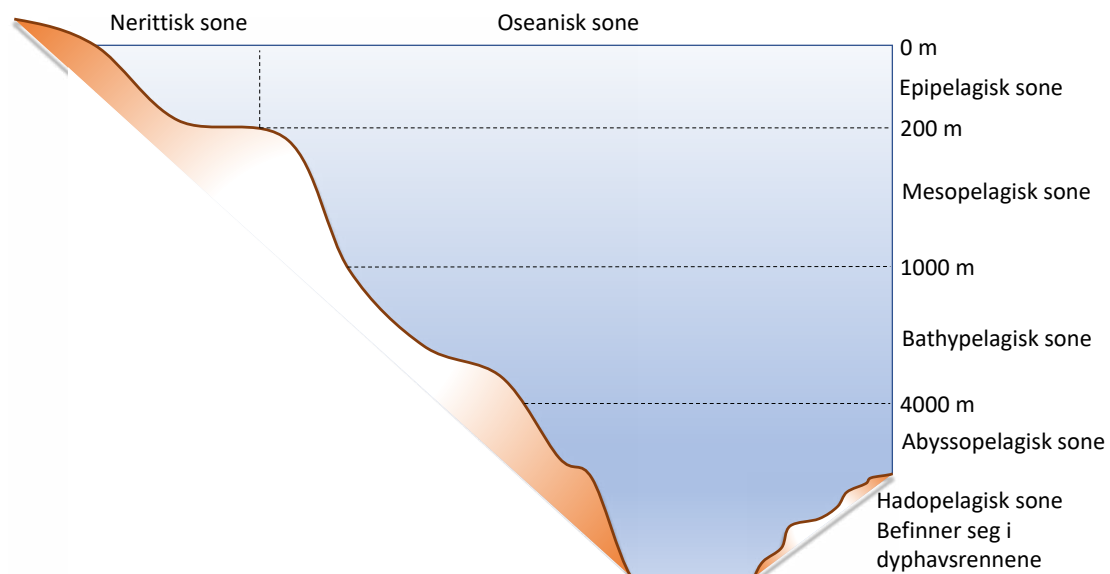
Nedenfor er det listet en oversikt over vitenskapelige artikler som er publisert basert på arbeid med vertikalkolonnen:

1. An optical detection system for the study of fine scale vertical displacement of microalgae in an artificial water column [3].
2. Effects of halocline strength and light on *tetraselmis* sp. (*prasinophyceae*) in an artificial water column [6].
3. Fine scale vertical displacement of *Phaeodactylum tricornerutum* (*Bacillariophyceae*) in stratified waters: Influence of halocline and day length on buoyancy control [7].
4. Growth and diel vertical migration patterns of the toxic *dinoflagellate* *Prorocentrum reticulatum* in a water column with salinity stratification: the role of bioconvection and light [8].
5. Migratory behaviour of *Skeletonema grethae* (*Bacillariophyceae*) in stratified waters [9].

## 2 Teoridel

Havet dekker omlag 71% av jordens overflate, og det totale volumet av havet gir omtrent 300 ganger mer plass til liv enn på land [10]. I havet er det hovedsaklig alger som er primærprodusent i næringskjeden. Algene produserer organisk materiale fra sollys, karbondioksid og vann [11]. Alger er også en viktig oksygenprodusent i havet ved hjelp av fotosyntese og står for omtrent halvparten av jordens totale produksjon. Derfor er alger svært viktige for vår eksistens [12]. Makroskopiske alger som tang og tare, samt sjøgress, er lokalisert i kystnære, grunne farvann på grunn av mangel på tilstrekkelig sollys ved dypere sjøbunner. Planteplankton (mikroalger i de frie vannmasser) er derimot tilstede fordelt over alle hav og kystområder med tilstrekkelig lys og næring, selv under is i polarområder. Fordi planteplankton er den dominerende algen i havet, er deres rolle i den marine matkjeden svært viktig [10].

I havet oppstår det ulike vertikale gradienter (laginndelinger) forårsaket av lys, temperatur, trykk og salt. Gradientene etablerer dybdegrensene med særegne miljømessige karakteristikk [10]. Se figur 1 som beskriver de ulike laginndelingene i havet. I fjordene oppstår det også ofte laginndeling med næringsfattig brakkvann fra bekker og elver øverst, og mer næringsrikt lag under med høyere saltkonsentrasjon.



Figur 1: Oversikt over pelagiske soner i havet.  
Omtegnet fra figur 1.1, s.3, kilde. [10]

Det forskes mye på hvordan vi kan nyttiggjøre mikroalger i fremtiden som ressurs, både som fornybar energikilde (biodiesel og bioethanol) men også som matkilde [12]. Derfor er det interessant å gjøre grunnstudier på mikroalgers oppførsel og vekst under ulike lysforhold, som intensitet og varierende bølgelengde. Andre faktorer kan også være interessant å studere, som evnen til å migrere vertikalt gjennom ulike saltlag, og evnen til å håndtere miljømessige påvirkninger fra UV-stråling, forurensning, virus og bakterier. Mikroalgers optiske egenskaper er også svært interessant å studere for å kunne forbedre optiske målemetoder til å blant annet måle algekonsentrasjoner i havet.

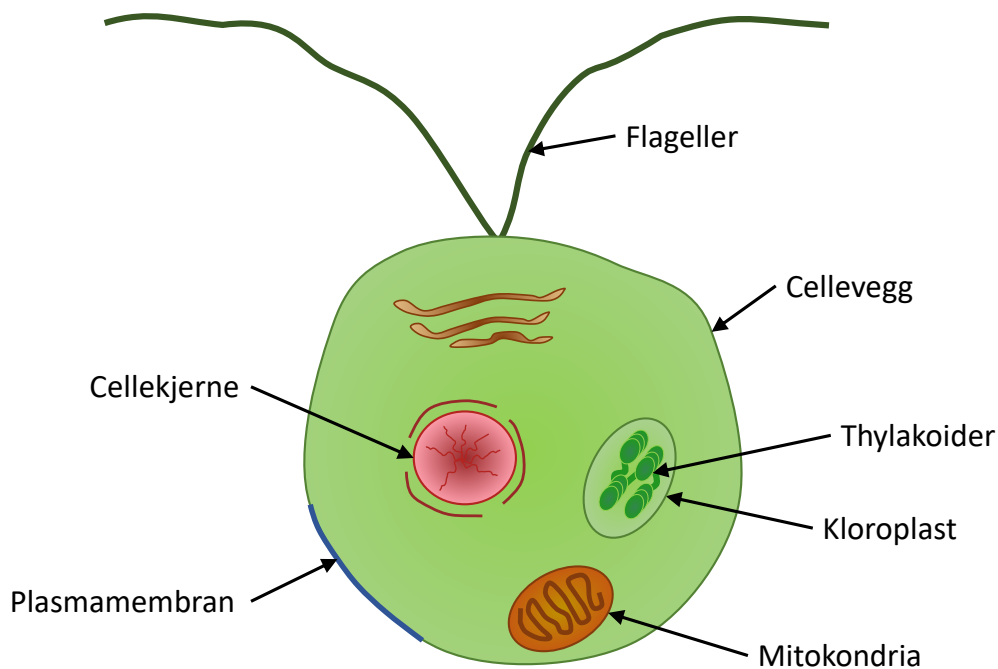
Sollys er essensielt for livet i havet og på land. Deler av strålingen fra solen som trenger ned i havet blir absorbert og spredt av alger og oppløste og uoppløste partikler. Solenergien blir brukt til konvertering av uorganisk materiale til organiske komponenter ved hjelp av fotosyntese. Lyset styrer dybdedistribusjonen av alger og enkelte havdyr [13].

For at alger (og planter) skal kunne vokse er det fire betingelser som må være tilstede: PAR lys, uorganisk karbon (karbondioksid eller bikarbonat ioner)[14], næringssalter og vann.

## 2.1 Alger

Algene er definert som *thallofyter*, det vil si planter som mangler røtter, stilker og blader. Klorofyll *a* er deres primære fotosyntetiske pigment. Denne definisjonen omfatter flere arter blant annet cyanobakterien som er nærmere bakteriene evolusjonsmessig enn algene. Alger befinner seg som regel i vann som ferskvann, sjø eller brakkvann. Men de kan også bli funnet på land som i snø, berg, stein og jord. Som nevnt tidligere opptrer de som primær produsenter i matkjeden [11].

Algeceller deles inn i prokaryoter og eukaryoter. Prokaryotiske celler mangler membranbundne organeller som kloroplast (plastider), mitokondria, cellekjerne, golgikropp og flageller. En eukaryotisk celle er ofte omgitt av en cellevegg og en plasmamembran som dekker resten av cellen, se figur 2. Plasmamembranen håndterer utveksling av stoffer i protoplasmaen. Flagellen er en bevegelig lang og tynn piskehale som sørger for forflytning av mikroalgene. Cellekjernen inneholder genetisk materiale som kromosomer og er omgitt av en dobbel membran med porer. Kloroplasten har membranposer kalt thylakoider som utfører lysreaksjonene til fotosyntesen. I tillegg inneholder kloroplasten av og til en proteinrik pyrenoid. Thylakoidene er omsluttet av stroma hvor mørkereaksjonen av karbonbindingen foregår. Stromaen inneholder ribosomer og DNA [11].



Figur 2: Forenklet illustrasjon av eukaryotisk celle

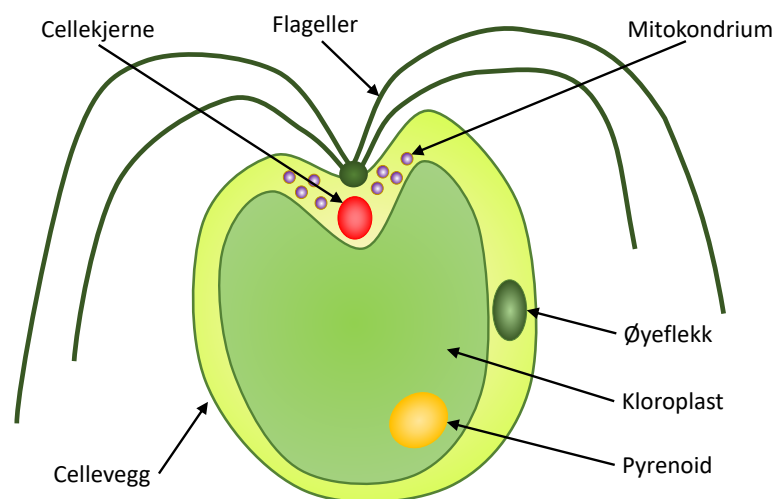


## Grønnalger

Grønnalger er blant de største algegruppene innenfor planteplankton. Utførte eksperimenter i denne oppgaven har benyttet *Tetraselmis sp.* som forsøksorganisme, som også har blitt brukt i flere av de tidligere eksperimentene med algetanken. *Tetraselmis* er klassifisert under klassen Prasinophyceae og gruppen Chlorophyta (grønnalger). Klassefiseringen er vist under fra, høyeste til laveste klassifisering:

1. *Eukaryota* → 2. *Plantae* → 3. *Biliphyta* → 4. *Archaeplastida* → 5. *Viridiplantae* → 6. *Chlorophyta* → 7. *Prasinophyceae* → 8. *Tetraselmis*

*Tetraselmis* har flere beslektede undergrupper. Strukturen til *tetraselmis* varierer noe fra art til art men dem har hovedsaklig fire like flageller, og noen underarter kan forme klumpete kolonier under gitte betingelser i livssyklusen [15]. En skjematisk tegning av *Tetraselmis* er vist i figur 3.

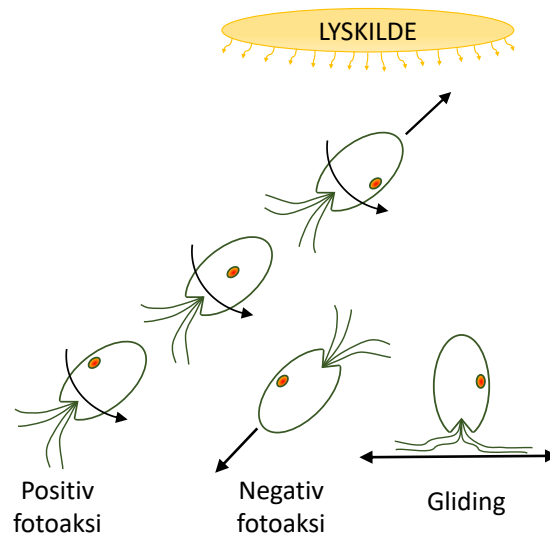


Figur 3: Forenklet illustrasjon av de *Tetraselmis sp.*  
Omtegnet fra kilde [5] (figur 4., s.19)

*Tetraselmis* og andre encellede grønnalger har sjelden en uniform sfærisk indre og ytre oppbygning, noe som gjør optiske målinger utfordrende. En innsendt lysstråle vil derfor ikke bli spredt og absorbert på en ideell og uniform måte. Antall celler, fordeling av lysabsorberende kloroplaster samt celleform vil påvirke de optiske målingene [4]. Dersom flere celler skygger for hverandre, ved at mikroalgene ikke er jevnt fordelt i vannmassene eller klebrer seg fast til pleksiglasset på den eksperimentelle algetanken så vil dette også kunne påføre måleresultatene større

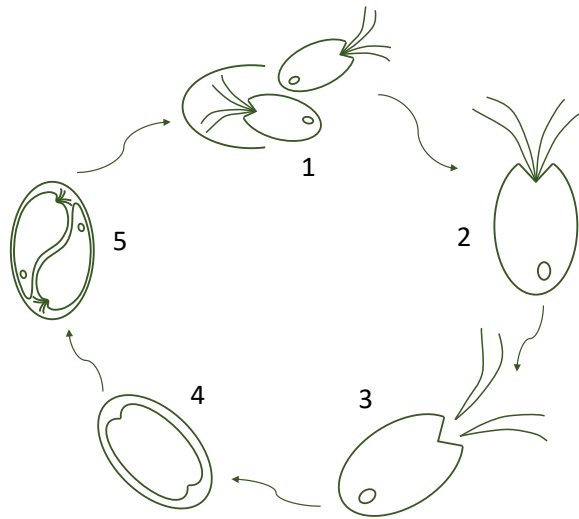
feilkilder. Kalibrering av optiske sensorer blir utført med kjente cellekonsentrasjoner jevnt fordelt i algetanken etter omrøring. Dette vil bli diskutert nærmere i kapittel 4.

Enkelte alger inkludert *Tetraselmis* registrer lys ved hjelp av fotoreseptoren, som inneholder en øyeflekk og et lysfølsomt organ. Øyeflekk operer som en gitterreflektor som sender lys til det lysfølsomme organet. Det lysfølsomme organet gir signal til flagellene som deretter begynner å slå i vannet, med en bevegelse som sørger for fremdrift [4][16]. Når algene svømmer roterer de rundt sin egen akse og kan på den måten ved hjelp fotoreseptoren orientere seg etter områder med gunstig lyskvalitet [4]. Dersom lyset (UV+PAR) blir for sterkt er enkelte flagellater (alger med flageller) observert å svømme nedover i vannkolonnen, et fenomen som er kalt fotosjokk eller negativ fotoaksi [6]. Når lysforholdene er mer gunstige vil algene bevege seg mot lyset har vi positiv fotoaksi. Gravitasjonen kan virke inn på mikroalgene, dette kalles gravitaksi. Enkelte flagellater er i stand til å suge seg fast til en overflate og innta en vegetativ tilstand kalt gliding [11], se figur 4.



Figur 4: Skisse av ulike flagellatorienteringer hos alger  
Omtegnet fra kilde [11] (figur 1.15., s.13)

Ulike mikroalger har ulik vekstrate i forhold til varierende spektral lyskvalitet. Under enkelte gunstige forhold kan vekstraten eller celledelingen ligge på rundt 1 deling per dag, dvs. at populasjonen dobler seg for hver dag. Aseksuell celledeling inngår i livssyklusen til *Tetraselmis*, se figur 5 nedenfor [17]. Når mikroalger vokser, vil de begrense sin egen og andre algers vekst på grunn av vertikaldemping av PAR lysfeltet i de underliggende vannmassene [13].



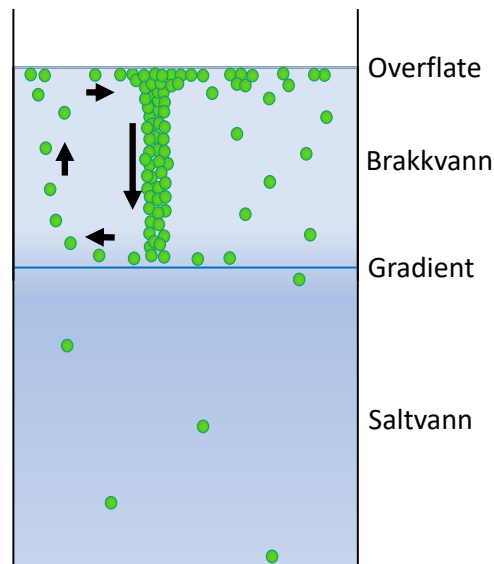
Figur 5: *Tetraselmis suecica* syklus

1: Frigjøring av datterceller. 2: Moden celle. 3: Tap av flaggeller og cyste dannelse. 4: Deling av protoplast. 5: Flagellat datterceller. Omtegnet fra kilde [17] (figur 4, s.19)

Både UV-A(315-400nm) og spesielt UV-B(280-315nm) er skadelig for alger, og begrenser vekstrate og fotosynteseaktivitet. Noen grønnalger har høyere toleranse for UV-stråling sammenlignet med andre planteceller [18]. Det er spesielt alger som er lokalisert nær ekvator som har høyere UV-terskel, mens alger som befinner seg i nordligere og sørligere farvann er mer ømfintlige. Ozonlaget slipper allerede gjennom skadelig mengde med UV-stråling på havet. Dersom ozonlaget blir ytterligere svekket kan dette medføre redusert oksygenproduksjon på grunn av svekket fotosynteseaktivitet. Dette er vanskelig å bekrefte vitenskapelig på grunn av usikker korrelasjon på overføring av kontrollerte laboratorieresultat med faktiske tilpasninger i havet [4].

Når mikroalger blir dyrket i laboratoriet, har det flere ganger vært observert spontante mønsterdannelse av spesielle cellegrupper. Biokonveksjon og fluidmekanikk teori har blitt brukt til å forklare slike fenomen. Bikonveksjon er mønsterformet bevegelse forårsaket av hydrodynamisk ustabilitet i suspensjoner med mikroorganismer. Biokonveksjon oppstår vanligvis med oppoversvømmende mikroalger som har høyere tetthet enn vann i suspensjonen. Når organismene samler seg i øvre vannmasser og suspensjonen blir for tett grunnet oppsamling av mikroalger, blir suspensjonen tyngre enn vannmassene. Algene vil da synke ned til vannlag

med høyere tetthet grunnet høyere saltinnhold og lavere vanntemperatur, se figur 6. Synkehastigheter har blitt observert til 5m/h, på giftige dinoflagellater *Prorocentrum reticulatum* i vannkolonnen, mellom overflaten og haloklin [8].



Figur 6: Illustrasjon av biokonveksjon

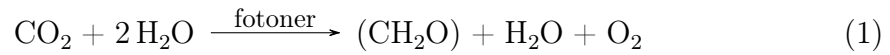
## 2.2 Fotosyntese

Fotosyntesen spiller en viktig rolle i karbonsyklusen hvor karbon blir transportert gjennom biosfæren (atmosfæren, hav og land). Både planter, alger og noen bakterier som cyanobakterier (blå-grønne alger) har evnen til å utføre fotosyntese. Fotosyntesen gir grunnlag for liv på jorden i form av omdanning av sollys til kjemisk energi og oksygen. Fotosyntesen absorberer omtrent  $10^4$ kg med  $\text{CO}_2$  per år fra atmosfæren, og omdanner dette til biomasse,  $\text{CO}_2$  blir igjen frigjort til atmosfæren når biomassen blir nedbrutt. Derfor er det ingen netto økning eller reduksjon i av karbondioksid i atmosfæren med mindre biomassen øker eller minker [19].

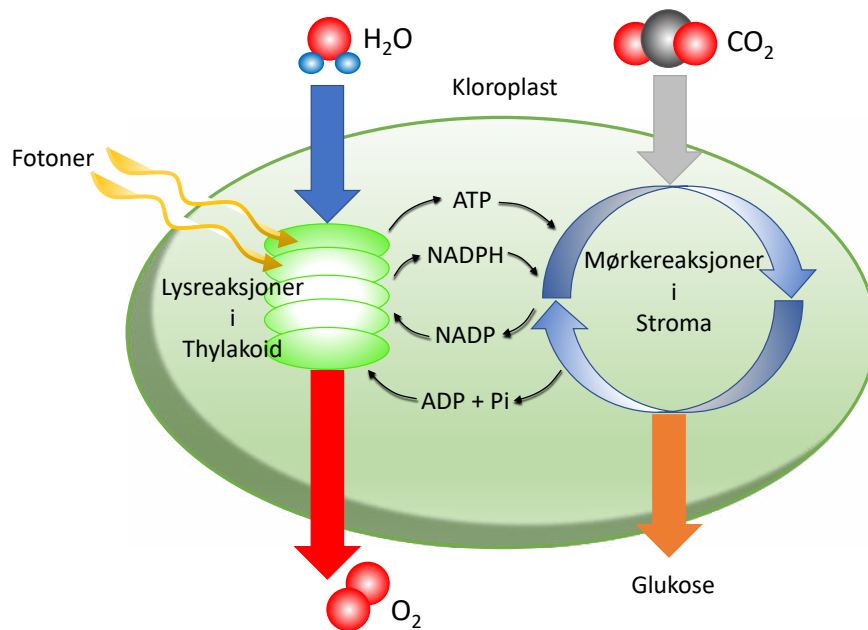
Alger utfører fotosyntese ved hjelp av kloroplast organeller. Kloroplastene inneholder pigmenter som samler lys, og elektronbærere bruker den absorberte energien til å lage reduksjonskraft i form av  $\text{NADPH}_2$  og biokjemisk energi i form av ATP. Enzymer bruker deretter  $\text{NADPH}_2$  og ATP til å konvertere  $\text{CO}_2$  og  $\text{H}_2\text{O}$  til karbohydrater ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Pigmentene og elektronbærerne er lokalisert i en spesialisert membran kalt thylakoid. Enzymene som fanger opp  $\text{CO}_2$  er vanligvis fordelt over resten av det indre volumet til kloroplasten som kalles stroma. Kloroplastene dekker store deler av cytoplasma, som er innholdet i cellen innenfor yttermembranen,

utenfor vakuolen som er et væskefylt rom.

Overordnet kan den fotosyntetiske prosessen beskrives med følgende kjemisk ligning [13].



Den fotosyntetiske prosessen kan deles inn i lysavhengige og mørke reaksjoner. I de lyseavhengige reaksjonene som finner sted i thylakoidmembranen, blir  $\text{H}^+$  tatt opp fra vann og forflyttet ved hjelp av hydrogenbærere til NADP, slik at  $\text{NADPH}_2$  blir dannet og oksygen blir frigjort.  $\text{H}^+$  (eller i noen tilfeller elektron) transport bidrar til konvertering av ADP (adenosindifosfat) og  $\text{P}_i$  (uorganisk fosfat) til ATP (adenosintrifosfat) [13]. En illustrasjon av fotosynteseprosessen som blir utført i kloroplasten er vist nedenfor i figur 7.



Figur 7: Skjematisk fremstilling av fotosynteseprosessen  
Omtegnet fra kilde [20], (figur 1., s. 209).

## 2.3 Spredning og absorpsjon av lys

Havets optiske egenskaper er som nevnt tidligere i teoridelen med på å styre mikroalgenes tilgang på sollys, i denne sammenhengen er det derfor viktig å forstå havets optiske egenskaper.

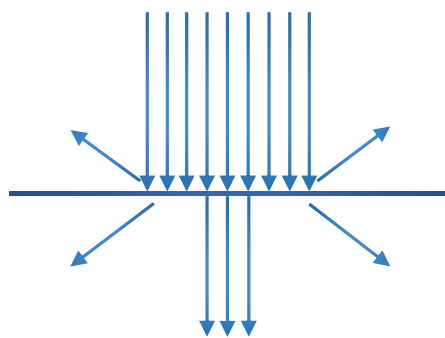
Fotoner kan kun bli spredt eller absorbert i vannet som vist i figur 8. Strålingsfluks  $\Phi$  er et mål på strålingsenergi fra fotonene per tidsenhet [J/s]. Strålingsfluksen  $\Phi_0$  er den innsendte parallelle strålen på et fysisk system,  $\Phi_a$  er den absorberte strålingsfluksen, og  $\Phi_b$  den spredte strålingsfluksen i systemet. Absorpsjon  $A$  og spredning  $B$  kan da bli gitt ved følgende ligninger nedenfor [13].

$$A = \frac{\Phi_a}{\Phi_0} \quad (2)$$

$$B = \frac{\Phi_b}{\Phi_0} \quad (3)$$

Svekkingen (attenuasjonen)  $C$  er gitt som summen av absorpsjonen og spredningen.

$$C = A + B \quad (4)$$



Figur 8: Spredning og absorpsjon av lys gjennom et medium

Fraksjonen av den innsendte strålen som er absorbert, delt på tykkelsen av mediet det er sendt gjennom, er gitt som absorpsjonskoeffisient  $a$ . Spredningskoeffisienten  $b$  er definert som fraksjonen av den innsendte strålen som er spredt, delt på tykkelsen av mediet det er sendt gjennom.

Et teoretisk medie som er uendelig tynt, med tykkelse  $\Delta x$  blir bestrålt. Der en liten fraksjon fra den innsendte strålen er tapt til absorpsjon  $\Delta A$  og spredning  $\Delta B$ , så får vi følgende ligninger til koeffisientene for absorpsjon og svekking.

$$a = \frac{\Delta A}{\Delta x} \quad (5)$$

$$b = \frac{\Delta B}{\Delta x} \quad (6)$$

Lys svekkingskoeffisienten  $c$  inkluderer både spedningskoeffisienten og absorpsjonskoeffisienten, er gitt som [13]:

$$c = a + b \quad (7)$$

I følge Beer-Lamberts lov om demping, vil den innsendte strålen bli eksponentielt dempet gjennom et medium etter følgende ligning[3]:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-cx} \quad (8)$$

Verdien av svekkingskoeffisienten  $c$  er ikke kun påvirket av algecellene som er i tanken  $c_p$ , men også fra ikke pigmenterte partikler mindre enn  $1.0\mu m$   $c_n$ , samt vannet  $c_v$  og oppløst materie  $c_o$ . Dermed får vi følgende ligning:

$$c = c_p + c_n + c_v + c_o \quad (9)$$

I disse og tidligere eksperimenter har vi forsøkt å korrigere for bakgrunnsvekkingen (fra  $c_n + c_v + c_o$ ).  $c_p$  kan nå enkelt beregnes:

$$c_p = c - (c_n + c_v + c_o) \quad (10)$$

Derfor kan  $c$  erstattes av  $c_p$  i ligning 8. Det antas at alle algecellene har tilnærmet lik størrelse, form og er jevnt distribuert i vannet, samtidig som at avstanden mellom cellene er nok til å hindre multispredning. Det optiske svekkingsarealet  $C_c(cm^2)$  av en alge celle er gitt ved følgende ligning, der  $N^*$  er antall celler per volumenhet:

$$C_c = \frac{c_p}{N^*} \quad (11)$$

Fra ligning 8 kan svekkingskoeffisienten for alger  $c_p$  beregnes:

$$c_p = \frac{\ln \frac{\Phi_0}{\Phi}}{x} \quad (12)$$

Setter ligning 12 inn i ligning 11 og får:

$$N^* = \frac{\ln \frac{\Phi_0}{\Phi}}{xC_c} \quad (13)$$

Ved å tilføre kjent cellekonsentrasjon med alger  $N^*$  under kalibrering i tanken og ved å måle  $\Phi_0$  samt  $\Phi$ , så kan  $C_c$  beregnes ved hjelp av ligning 13. Dersom vi finner stigningstallet  $s$ , til den resulterende regresjonslinjen, så kan vi beregne  $C_c$  ved følgende ligning[3].

$$C_c = \frac{1}{xs} \quad (14)$$

Dersom vi nå setter ligning 14 inn i ligning 13, og finner stigningstallet  $s$  ved hjelp av lineærregresjon (under kalibrering), så får vi følgende:

$$N^* = \ln \frac{\Phi_0}{\Phi} s \quad (15)$$

Det totale celleantallet i ett gitt dybdeintervall i tanken, kan bli beregnet med ligning 16, der  $h_1$  og  $h_2$  er høydene i intervallet [3].

$$N = A \int_{h_1}^{h_2} N^* dh \quad (16)$$



## 3 Eksperimentelt oppsett

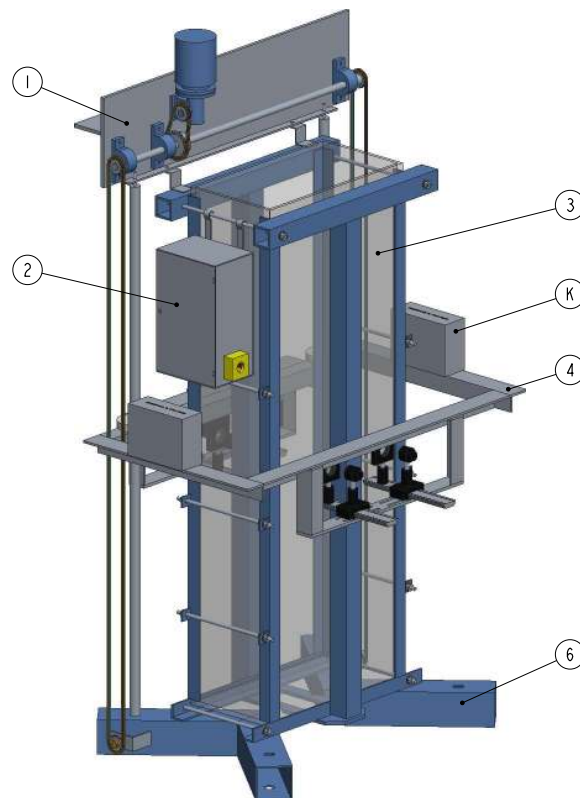
### 3.1 Opprinnelig eksperimentelt oppsett for vannkolonnen

Vannkolonnen ble først sammenstilt i 1996 som en del av Egon Stenseide hovedoppgave. Hovedfagsstudent Maren Dybwad forbedret det eksperimentelle oppsettet i 1998 med blant annet en motvekt på sensorrammen for å få mer stabilitet under målingene. Masterstudent Fotland byttet i 2013 ut styresystemet og fikk laget ett styrbart LEDpanel med forsterkerkrets.

Det ble vurdert som fornuftig å gjøre en totalvurdering av hele oppsettet for vannkolonnen, for å identifisere potensielle forbedringer som kan gjøre fremtidige eksperimenter mer pålitelige. I figur 9 nedenfor er oppsettet vist med bilde til venstre og en 3d-illustrasjon til høyre.



(a) Bilde av tidligere oppsett

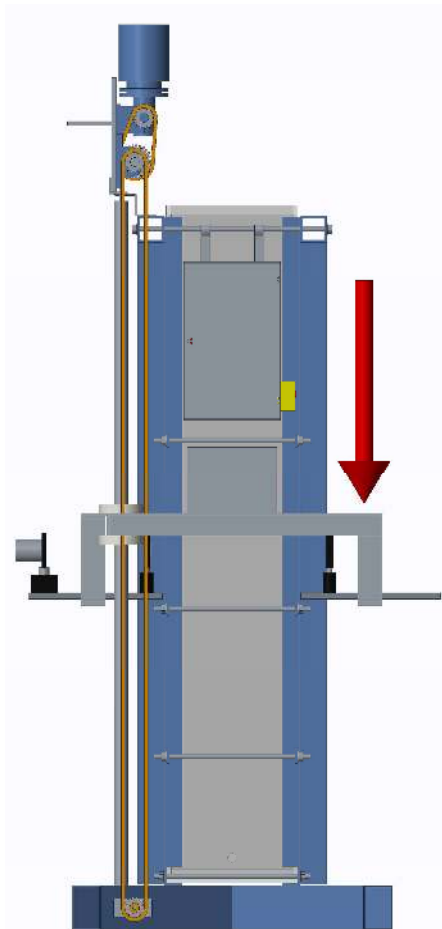


(b) 3d-modell av tidligere oppsett

Figur 9: Tidligere mekanisk oppsett av vannkolonne.

1. Motorramme, 2. Kontrollskap, 3. Pleksiglass med støttestruktur, 4. Sensorramme med lasere og detektore, M. Optical Power meter, 6. Bunnramme

Det har tidligere vært rapportert om behov for mekanisk oppgradering av vannkolonnen som også beskrives som algetanken [4][5]. Det mekaniske heisarrangementet til sensorrammen har tidligere hatt utfordringer med vibrasjon og ustabilitet under kjøring. Dette skyldes sammensatte årsaker. Herdede styreakslinger var plassert utenfor vektsenteret til sensorrammen. Dette har skapt et moment fra overhendet mot lineærlagrene som igjen har gitt økt friksjon i bevegelsesretning. Glidelagrene som var montert i sensorrammen var preget av stor slitasje. Klaring mellom aksel og lagerforing ble målt til 2mm. Det var vanskelig å justere sensorrammen horisontalt i vater på grunn av slitasjen, og rammen kunne tiltes omtrent  $\pm 5$  grader fra horisontalplan, se figur 10 nedenfor. Dette vil kunne gi utslag i større usikkerhet i måling av algekonsentrasjon med de optiske detektorene.



Figur 10: Tidligere mekanisk oppsett av vannkolonne sett fra siden.

Opprinnelig fundamentramme var skjevt sammenstilt ved sveising, noe som gjorde fremtidig modifisering av opplagringspunkt utfordrende. LEDpanelet som

ble utviklet i 2013 var rapportert til å være svakere enn ønsket og de optiske laserene og detektorene har ikke vært byttet siden 1996 [5]. Endebrytere som skulle kutte strømtilførsel til motordriften dersom sensorrammen gikk for langt opp eller ned, var ikke montert slik at sensorrammen kunne treffe dem. Dette var en sikkerhetsbrist som trolig har ført til et tidligere ikke dokumentert motorhavari, med brente motorviklinger som resultat. Det elektriske koblingskapet var lite og uoversiktlig og frekvensomformer var installert inneklemt i styreskapet uten nødvendig hensyn til luftsirkulasjon til intern vifte (i henhold til manual).

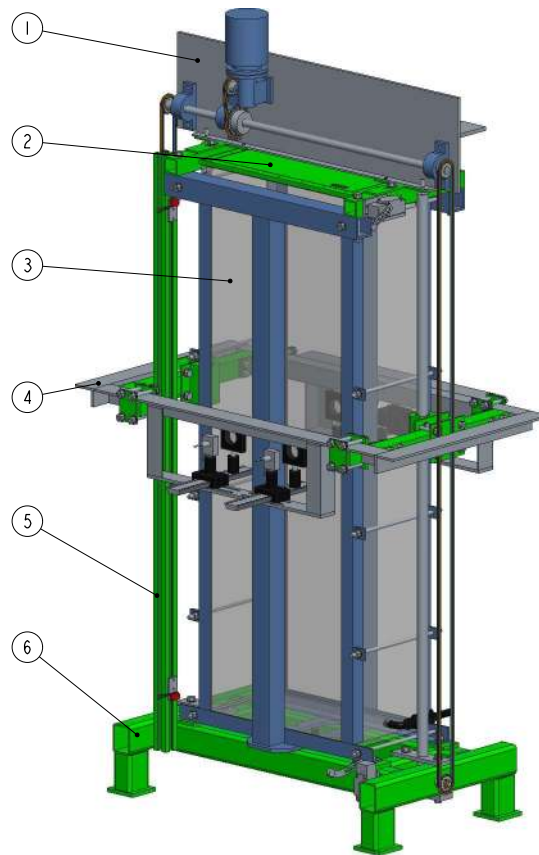
Det ble bestemt å forbedre følgende punkter på algetanken:

1. Montere styreakslinger i vektsenteret til sensorrammen.
2. Montere nye tilpassede lineærlagre.
3. Bygge nytt fundament til algetanken.
4. Bytte optiske lasere og detektorer.
5. Utvikle nytt LEDpanel med større optisk effekt.
6. Forenkle brukergrensesnittet på styre- og datainnsamlings programmet.
7. Montere endebrytere og nødstoppbryter, for å kutte strømtilførsel til motordrift av sensorrammen.

Det må påpekes at arbeid som allerede har blitt lagt ned i algetanken har vært godt utført, samt at flere interessante vitenskaplige artikler har blitt publisert basert på utførte eksperimenter med tanken, som nevnt i innlednings kapittel. Derfor ønskes en forbedring av det eksisterende eksperimentelle oppsettet, for å forenkle vitenskaplige eksperiment men også for å gjøre fremtidige resultater mer pålitelige.

## 3.2 Mekanisk design

For å visualisere tidligere design og tegne en forbedret mekanisk sammenstilling av vannkolonnen ble 3d-modelleringsverktøyet Creo Parametric (PTC, Needham, MA) benyttet. De mekaniske delene er modellert fra oppmålinger utført på eksisterende vannkolonne. Delene er satt sammen i ulike sammenstillingsnivåer, og arbeidstegninger er generert for nye deler som bunnramme og monteringsbraketter. Nye deler er visualisert med grønn farge i 3d-modell vist i figur 11.



Figur 11: Nytt mekanisk oppsett av vannkolonne fremstilt med 3d-modellering. Opplagring av lineærlagre nær sensorsrammens massepunkt.

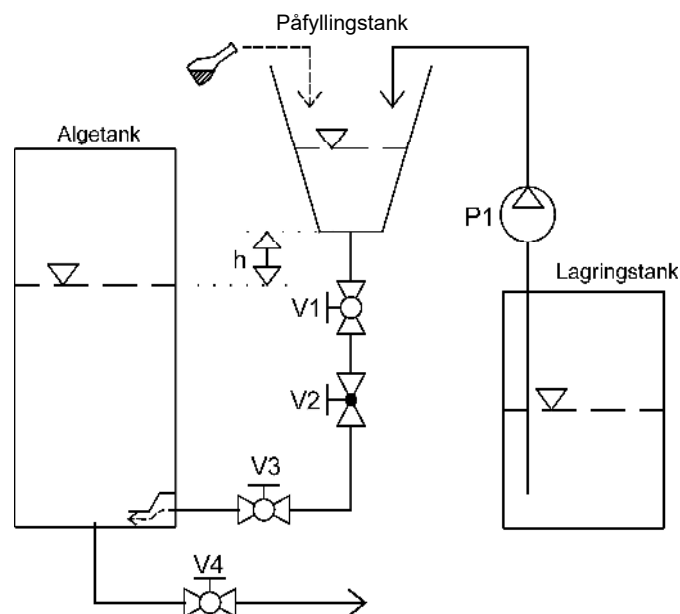
Det mekaniske arrangementet presentert i figur 11 er listet opp nedenfor:

1. Motorramme med asynkronmotor, vinkelgir, horisontalaksling, kjedeutveksling, og vertikale styreakslinger.
2. LEDpanel med monteringsplate.
3. Eksisterende vanntank i plexiglass og støttestruktur.
4. Modifisert sensorramme med nye optiske lasere, detekterer, glidelagre og støttestruktur.
5. Ny profilskinne til å forenkle justering/endring av monteringshøyde på vendebrytere som styrer vandringsen til algetanken.
6. Nytt fundament til algetanken som muliggjør senterplassering av styreakslinger.

Kjededriften til sensorrammen ble flyttet og montert på massesenteret til algetanken. For å muliggjøre dette måtte det produseres ny fundamentramme og flere monteringsbrakketer i ulik utførelse. Algetanken ble først målt opp etter eksisterende design, designendringer ble deretter utført i modelleringsprogram før verkstedet ved IFT utarbeidet nye deler etter arbeidstegning, se vedlegg. Algetanken ble demontert og sammenstilt i algelaboratoriet for å unngå at plexiglasset på tanken skulle sprekke ved eventuell transport.

### 3.3 Oppsett for påfylling

Oppsett for påfylling av sjøvann, brakkvann og algekultur ble modifisert ved å inkludere ny pumpe (P1), ny justerbar pluggventil (V2), samt nye kuleventiler (V1, V3 og V4) for å lettere justere og kontrollere påfyllingshastighet. Påfyllingshastigheten er viktig å kontrollere for å kunne legge inn en skarp gradient mellom vannlagene i algetanken. Påfyllingstank ble plassert høyere for å lettere kunne fylle algetanken ved hjelp av større høydeforskjell. Se figur 12 nedenfor.



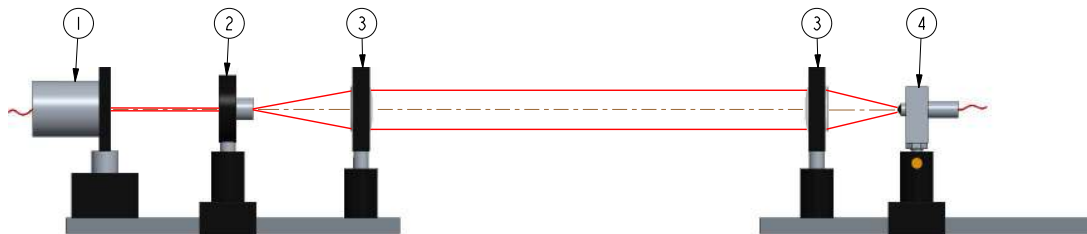
Figur 12: Skjematikk over påfyllingssystem av sjøvann og algekultur

Tidligere ble påfylling av sjøvann fra lagringstank til påfyllingstank utført med bøtter. På grunn av relativt lite gulvareal i algelaboratoriet er det vanskelig å forflytte seg og jobbe effektivt. Derfor har vi nå implementert en stillegående 220V magnetpumpe med pumpehus bygget i polyetylen som tåler saltvann og aggressive kjemikalier. Rørdeler for fylling og tapping av vannkolonne er produsert i

polypropylene (PP), for å minimere kjemisk påvirkning (ionedriftning) på saltvannet med 1/2" BSP (British Standard Pipethread) rørgjenger.

### 3.4 Optisk måleoppsett

Optiske detektorer benyttes for å måle algekonsentrasjonen i vannkolonnen i de ulike dybdeintervallene. Laserlys blir sendt gjennom kolonnen, og mengden strålingsfluks som treffer detektor er avhengig av spredning og absorpsjon gjennom det optiske systemet. Dette vil variere med antall organiske og uorganiske partikler i vannet. Vi finner algekonsentrasjonen ved å kalibrere sensorintensiteten i volt mot kjent tilsetning av algekonsentrasjon i vannkolonnen, ved hjelp av lineær regresjon. I figur 13 nedenfor vises oppsett for detektering av mikroalger, ved hjelp av optisk dempning og spredning. Merk at vannkolonnen ikke er vist i figur 13.



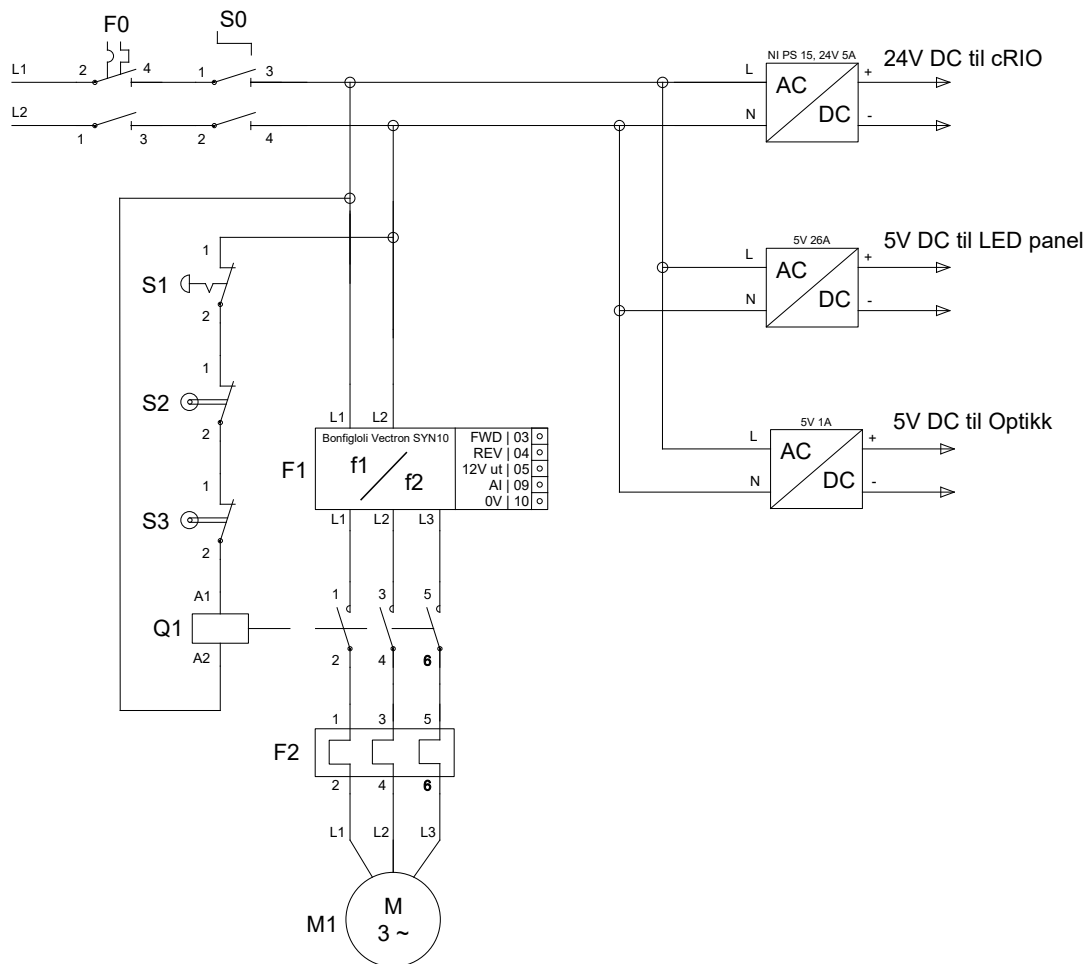
Figur 13: Optisk måleoppsett  
1:Laser, 2:Divergerende linse, 3:Plano konvekslinse, 4:Detektor

Lasere og detektorer er byttet siden de har vært i bruk siden 1996 [1]. Det ble valgt lasere med like karakteristikk, med strålingintensitet på 4,5mW og bølgelengde på 670nm, og tilsvarende for detektorer som har en sensitivitet på 1V/mW [1][5]. Valgt bølgelengde har vist seg å være fornuftig da klorofyll a i mikroalgenes kloroplast har en absorpsjonstopp ved 677nm [3]. Lasere og detektorer som ble valgt er levert fra Edmund Optics, laserdetektor, 58-760 og laserdiode (5,0mW 670nm) 52-094.

### 3.5 Motordrift (elektro)

Hovedoppgaven til det elektriske anlegget på 230V, er å levere kraft til asynkronmotor som driver sensorramme, LEDpanel og forsteker, optiske instrumenter samt datainnsamlingssystemet. Eksisterende komponenter i det elektriske anlegget ble beholdt, men kabler og koblingskap ble byttet ut. I tillegg til installasjon av nytt sikkerhetsutstyr som kortslutningsvern og nødstopbryter.

Til å tegne opp koblingskjema av den elektriske anlegget ble DrawtSight (3DS, Vélizy-Villacoublay) benyttet. Drawtsight er et todimensjonalt tegneprogram som egnet seg godt til å fremstille tekniske tegninger. Symbolmerkede komponenter i koblingskjema figur 14 er beskrevet nedenfor.



Figur 14: Elektrisk koblingskjema 230V for motordrift og strømforsyning til LED-panel, cRIO (styre og datainnsamlingssystem) og optikk med lasere og detektorer.

### Kortslutningsvern, F0

Kortslutningsvernet på 10A ble installert for å beskytte det elektriske anlegget mot utilsiktede kortslutninger og feil. 220V delen av det elektriske anlegget er hovedsakelig dimensjonert til 0,75-1,5mm<sup>2</sup> kabel som tåler 10A strømgjennomgang.

## **Frekvensomformer, F1**

Frekvensomformeren som allerede var installert ble konfigurert til å hastighetsstyre sensorrammen. Omformeren er fra merket Bonfiglioli Vectron, modell SYN10, S220 01 AF. Frekvensomformeren benytter 1fase 220V, 50Hz vekselstrøm som den likeretter til likespenning. Frekvensomformeren kan deretter modulere likespenningen til 3fase 220V, med en frekvens mellom 0-50Hz basert på innputt fra på analogt inngangssignal fra ekstern styrekabel. Det er motorturtallet som blir regulert av omformeren [21]. Installasjonen av komponenten ble utført i 2013 [5], men var udokumentert og har forårsaket en del utfordringer med elektromagnetisk støy. Det kom tydelig frem i manual, at styrekabel som skulle benyttes burde være tvunnet og skjermet for å minimere støy fra frekvensomformeren til kontrolleren. Det viste seg senere at også motorkabel mellom frekvensomformer og motor måtte skjermes. Dette ble utført midlertidig med aluminiumsfolie som gav tilstrekkelig støyreduksjon i målingene.

## **Sikkerhetsbryter, S0**

Sikkerhetsbryteren koples ut når eksperimentet er avsluttet. Den kopler ut spenning til motordrift og alle strømforsyninger til styresystem, LEDpanel, optiske lasere og detektorer.

## **Nødstoppbryter, S1**

Nødstoppbryteren er implementert som en sikkerhetsfunksjon for å kutte spole-spenning til kontaktor, slik at motoren blir spenningsløs og stopper.

## **Endebryter, S2, S3**

Endebrytere er mekanisk montert og koplet opp som en sikkerhetsfunksjon for å stoppe motordrift dersom sensorrammen går forbi vendebrytere, og styresystemet ikke registrerer dette.

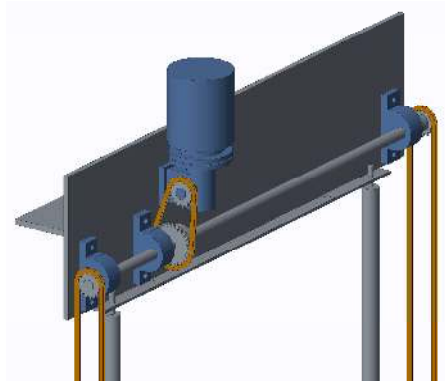
## **Motorvern F2**

Motorvernet er installert for å beskytte motoren mot skadelig høy strømgjennomgang som kan føre til varmgang og havari. Ved for høy belastning vil det kunne oppstå varmgang som fører til at motorviklingene smelter og til slutt kortslutter. Motorvernet stilles vanligvis inn til å kople ut ved 1,2 ganger motorens oppgitte merkestrøm, for å unngå at det slår ut under vanlig drift.

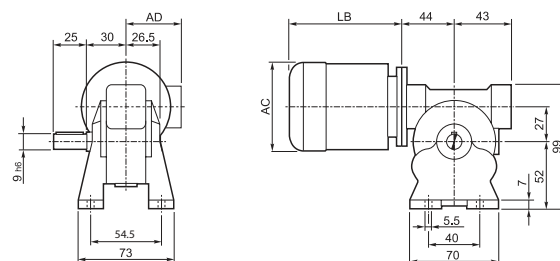


## Asynkron motor med vinkelgir, M1

På motorrammen er det montert en asynkronmotor med vinkelgir som driver sensorrammen via kjedeutveksling, se figur 15. Asynkronmotoren er fra produsent Bonfiglioli, modell BN 27B4,IMB5-VF. Oppgitt turtall er  $n=1350\text{rpm}$ . Motoren er montert direkte på ett vinkelgir som er fra samme produsent, modell BN 27B4. Vinkelgiret reduserer motorturtallet 70 ganger ( $i=70$ ) og øker dreiemomentet, noe som er nødvendig for å kunne løfte sensorrammen som har en vekt på omtrent 40-45kg.



Figur 15: Motorramme med asynkronmotor, vinkelgir og kjedeutveksling



Figur 16: Vinkelgir maskintegning, hentet fra produktkatalog

Asynkronmotoren er en trefaset induksjonsmotor som blir drevet av nettspenningens roterende elektriske felt. Motoren består hovedsakelig av en stator med statorviklinger og rotor med kortsluttede staver. Rotoren er vanligvis elektrisk isolert fra stator (det finnes også utgaver med sleperinger og viklet rotor). Når statorviklingene blir spenningsatt med et roterende elektrisk felt, dannes det et roterende magnetisk felt som induserer rotor og skaper rotasjon. Magnetfeltet har synkront dreiefelt med nettfrekvensen. Ved tilnærmet null belastning har rotoren også synkront rotasjonsfrekvens  $ns$ , der  $p$  er antall polpar og  $f$  er nettfrekvens [21].

$$n_s = \frac{f}{p} \quad (17)$$

Ved belastning får asynkronmotor lavere hastighet enn det roterende feltet i stator, dette kalles sakking. Relativ sakking beregnes som forholdet mellom synkron rotasjonsfrekvens og rotasjonsfrekvens,  $n$ :

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (18)$$

Sakkingen på små asynkronmotorer ligger vanligvis på mellom 1-5% fra null til full last [21]. Dette forteller oss at motorturtallet vil variere ved varierende last og friksjon i det mekaniske systemet, selv med fast frekvens og nettspenning. I vårt tilfelle har motoren oppgitt rotasjons-hastighet på  $n=1350\text{rpm}$ . Dette gir en synkron rotasjon på:

$$n_s = \frac{50\text{Hz}}{2\text{polpar}} = 25\text{s}^{-1} = 1500\text{rpm}$$

Beregner deretter relativ sakking, ved normal last:

$$s = \frac{1500 - 1350}{1350} = 0,1$$

Utregnet i prosent blir dette 10% sakking noe som er vesentlig høyt i forhold til det som er nevnt tidligere. Dette forteller oss at motorturtallet vil kunne variere fra 1500rpm ved null last til 1350rpm til normert last. Dette har stor betydning for hastigheten på sensorrammen om den blir løftet eller senket.

Beregner synkron rotasjons-hastighet på motor med en brukt frekvens på 30Hz (fra frekvensomformer):

$$n_{s_{motor}} = \frac{30\text{Hz}}{2} = 15\text{s}^{-1}$$

Beregner deretter motorturtallet med hensyn på sakking:

$$n_{motor} = 15\text{s}^{-1} - (15\text{s}^{-1} \cdot 0,1) = 13,5\text{s}^{-1}$$

Vi finner omdreinings-hastigheten ut fra vinkelgiret:

$$n_{gir} = \frac{n_{motor}}{i_{gir}} = \frac{13,5\text{s}^{-1}}{70} = 0,193\text{s}^{-1}$$

Omdreinings-hastigheten blir videre redusert fra ytre tannhjul på vinkelgir ( $z_2=15\text{tenner}$ ) til midtre tannhjul på motorrammens tverraksling ( $z_1=28\text{tenner}$ ). Forholdet mellom rotasjons-hastighet og antall tenner på kjededrift er gitt som:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad (19)$$

Finner dermed rotasjonshastigheten til tverraksling, se figur 17:

$$n_{aksling} = \frac{0,193s^{-1} \cdot 15tenner}{28tenner} = 0,103s^{-1}$$



Figur 17: Kjedeutveksling fra gir til tverraksling

Tverrakslingens ytre tannhjul har en nominell diameter på cirka 40mm. Dersom vi regner ut kjedets hastighet finner vi direkte sensorrammens hastighet da de er mekanisk sammenkoblet. Finner først nominell omkrets av tannhjulet:

$$O = \pi \cdot d = \pi \cdot 40\text{mm} = 125,6\text{mm}$$

Beregner deretter rotasjonshastighet til kjede/sensorrammen:

$$v_{kjede} = O \cdot n_{aksling} = 125,6\text{mm} \cdot 0,103s^{-1} = 12,93\text{mm/s}$$

Sensorrammens fart er blitt indirekte målt til 12,65mm/s ved å måle høyden (h) mellom øvre og nedre vendebryter, og måle tiden (t) sensorrammen bruker mellom vendebryterene:

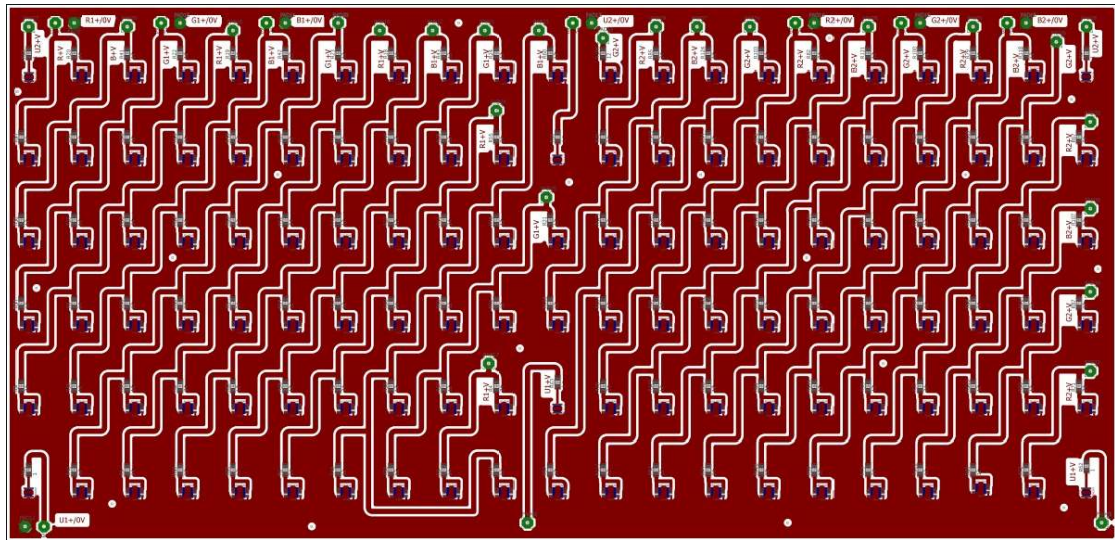
$$v_{sensor} = \frac{h}{t} = \frac{1240\text{mm}}{98\text{s}} = 12,65\text{mm/s}$$

Dette stemmer bra overens med teoretisk hastighet. Avviket kan blant annet skyldes høyere sakking enn oppgitt på merkeskilt, avvik fra teoretisk frekvens fra frekvensomformer og mekanisk treghet ved start.

### 3.6 LEDpanel og forsterkerkrets

Tidligere versjon av LEDpanel var svakere enn ønsket [5]. Derfor ble en del av målet med oppgaven å bygge ett nytt LEDpanel med større optisk effekt og bedre virkningsgrad. Strømforsyning ble byttet til 5V, 26A strømforsyning for å kunne levere nok strøm til LEDpanelet. Forsterkerkretsen ble byttet fra 2-trinns transistorforsterker til en 4-trinns transistorforsterker (med 4 stk AI og 8 stk AO PÅ 2A hver) for å kunne drive det nye LEDpanelet.

EAGLE (Autodesk, San Rafael, CA) ble brukt som tegneverktøy for å modellere og tegne opp elektrisk skjematikk og for å fremstille kretskorttegninger. Kretskorttegningene for LEDpanel og forsterkerkort ble printet i monokrom farge på transparent folie. Folien ble festet til kretskort laminat med tape og bestrålt med UV lys. Til slutt ble kortet senket i syrebad (natron persulfat blanding) for etsing, og rensset før montering av komponenter ble utført. Arbeidet med tilvirking av kortene og lodding av komponenter ble utført av elektronikkverkstedet ved IFT. Kretskortlayout av produsert LEDpanel er vist nedenfor i figur 18.



Figur 18: Kretskortlayout av LEDpanel

#### 3.6.1 DC Signalforsterker

Signalforsterkeren er bygget for å regulere strømmen fra strømforsyning til LED-panelet. I kretsen er det brukt fire trinn med PNP transistorer for å unngå å trekke for mye strøm fra den analoge utgangen til styringsenheten. Den analoge utgangen har en begrensning på maksimalt 1mA utgangsstrøm, mens behovet er 2A for hver



hold:

$$V_{R2} = (V_{inn} - V_{EBT1}) - (V_{SR} - V_{EBQ1} - V_{EBQ2} - V_{EBQ3}) \quad (22)$$

$$V_{R7} = (V_{inn} - V_{EBT2}) - (V_{SR} - V_{EBQ2} - V_{EBQ3} - V_{EBQ4}) \quad (23)$$

I følge ohms lov ( $V=RI$ ) har vi følgende sammenheng:

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R_1} \quad I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} \quad I_{R3} = \frac{V_{R3}}{R_3} \quad (24)$$

$$I_{R4} = \frac{V_{R4}}{R_4} \quad I_{R5} = \frac{V_{R5}}{R_5} \quad I_{R6} = \frac{V_{R6}}{R_6} \quad (25)$$

$$I_{R7} = \frac{V_{R7}}{R_7} \quad I_{R8} = \frac{V_{R8}}{R_8} \quad (26)$$

Finner basestrøm gjennom effekttransistor T1 og T2:

$$I_{T1(b)} = I_{R2} - I_{R1} \quad I_{T2(b)} = I_{R7} - I_{R6} \quad (27)$$

Deretter kan vi finne strømmene gjennom transistor emittor og base på Q1 og Q4 ved hjelp forsterkningskoeffisienten,  $hfe$  som er oppgitt i datablad:

$$I_{Q1(e)} = I_{R2} - I_{R3} \quad I_{Q4(e)} = I_{R7} - I_{R8} \quad (28)$$

$$I_{Q1(b)} = \frac{I_{Q1(e)}}{1 + hfe} \quad I_{Q4(b)} = \frac{I_{Q4(e)}}{1 + hfe} \quad (29)$$

Vi finner så emittor og base strøm til Q2:

$$I_{Q2(e)} = I_{R3} + I_{R8} + I_{Q1(b)} + I_{Q4(b)} - I_{R4} \quad (30)$$

$$I_{Q2(b)} = \frac{I_{Q2(e)}}{1 + hfe} \quad (31)$$

Deretter kan vi finne emittor- og basestrøm til Q3

$$I_{Q3(e)} = I_{R4} + I_{Q2(b)} - I_{R5} \quad (32)$$

$$I_{Q3(b)} = \frac{I_{Q3(e)}}{1 + hfe} \quad (33)$$

Strømgjennomgang fra hver enkelt AO kanal som styrer LEDpanel blir dermed, denne må som nevnt ikke overstige 1mA:

$$I_{SR/SG/SB/SU} = I_{Q3(b)} + I_{R5} \quad (34)$$

Strøm ut fra kollektor T1 og T2 til LEDpanel blir:

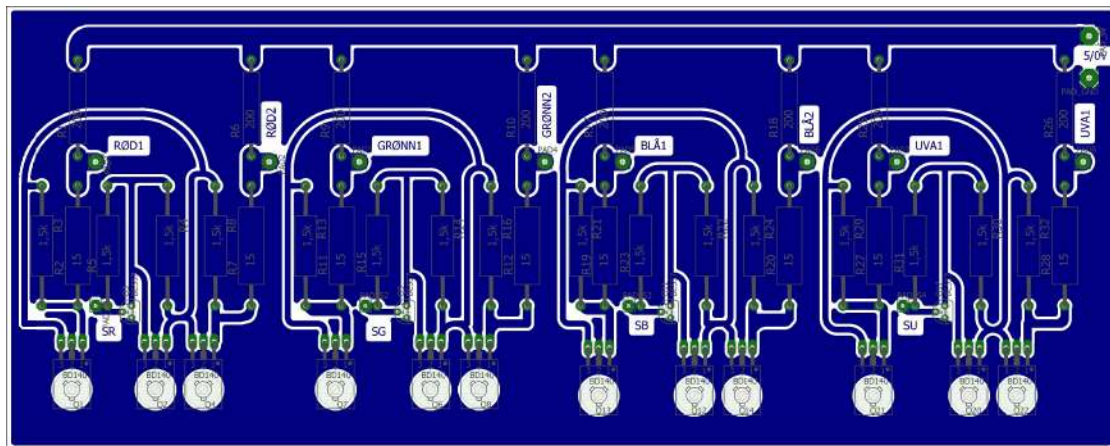
$$I_{T1(k)} = I_{T1(b)} \cdot hfe \quad I_{T2(k)} = I_{T2(b)} \cdot hfe \quad (35)$$

Spenning til LEDpanel blir dermed beregnet, med neglisjerbart spenningsfall i kabler og koblingspunkter mellom strømforsyning, forsterker og LEDpanel:

$$V_{LED} = V_{inn} - V_{T1(eb)} = V_{inn} - V_{T2(eb)} \quad (36)$$

På grunn av stor variasjon av transistor forsterkningskoeffisient,  $h_{fe}$  oppgitt i datablad, ble kretsen satt opp eksperimentelt og koblet opp mot en testlast. Testlasten bestod av to sett med seriekoblede effektmotstander med en total motstand på  $1\Omega$ . Motstandsverdier på R1, R2, R6 og R7 ble variert for å finne gunstig konfigurasjon, med minst mulig spenningsfall over emitter og kollektor på T1 og T2. Slik at mest mulig av spenningen fra strømforsyning blir overført til LEDpanel.

Kretskortlayout av forsterkerkort er vist nedenfor i figur 20.



Figur 20: Kretskortlayout av forsterker

### 3.6.2 Dimensjonering av tilførselkabler til LEDpanel

På grunn av høy strømgjennomgang i kretsen må alle tilhørende kabler og komponenter være godt dimensjonert for unngå høyt spenningsfall og temperaturstigning. Beregner spenningsfallet i en 2leder kopperkabel, der resistiviteten er typisk,  $\rho = 0,0172\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ .

$$R_L = \rho \frac{2l}{A} \quad (37)$$

$$R_L = \frac{0,0172\Omega\text{mm}^2/\text{m} \cdot 2 \cdot 5\text{m}}{1,5\text{mm}^2}$$

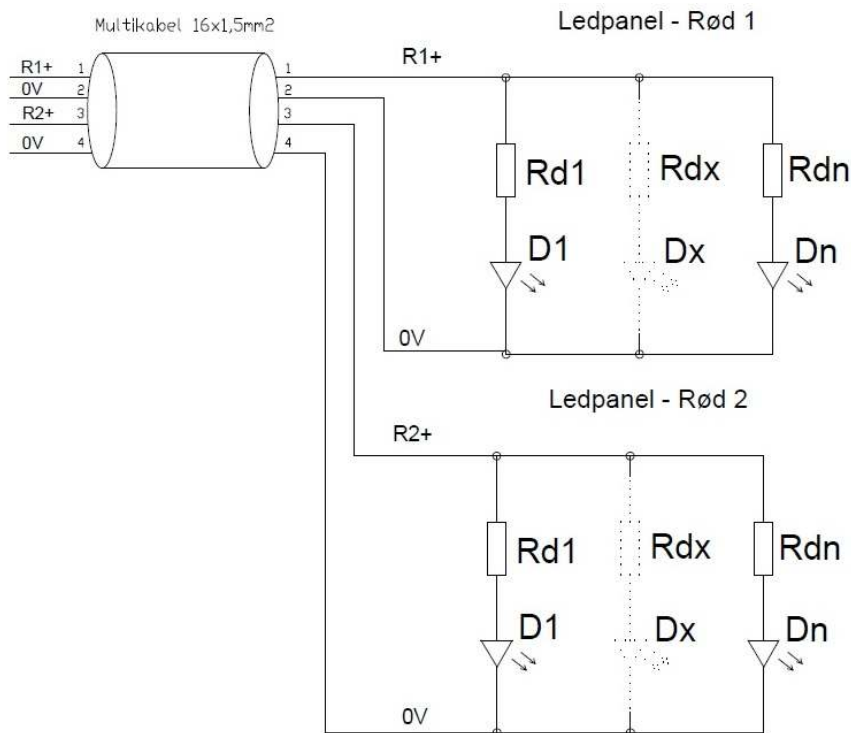
$$R_L = 0,1147\Omega$$

Beregner spenningsfall med 2A i hver krets.

$$V_L = 2A \cdot 0,1147\Omega = 0,2294V$$

### 3.6.3 LEDpanel

Hver av LED-diodene ble seriekoblet med en motstand for regulere strøm og spenning over diodene. Motstandsverdiene ble beregnet basert på anbefalte verdier for strøm og spenning gjennom LED-diodene. Kretstegning av LEDpanelet er vist nedenfor i figur 21



Figur 21: LEDpanel og forsterkerkrets koblingskjema

Motstandsverdiene finnes ved hjelp av spenningsdeling (Kirchhoffs 2.Lov):

$$V_f = V_L + R_{dx} \cdot I_{dx} + V_{dx} \quad (38)$$

Der  $V_f$  er spenning ut fra forsterker,  $V_L$  er spenningsfall over tilførselkabel,  $R_{dx}$  er seriekoblet motstand,  $I_{dx}$  er diodenes anbefalte strømgjennomgang og  $V_{dx}$  er diodenes anbefalte spenning over anode og katode fra datablad. De ulike motstandsverdiene kan da beregnes:

$$R_{dx} = \frac{V_f - V_L - V_{dx}}{I_{dx}} \quad (39)$$



Når vi har tatt utgangspunkt og beregnet kretsen etter anbefalte verdier fra databladet, kan vi også bruke databladet til å beregne lystråling fra LEDpanelet.

All energi tilført til LEDpanelet vil bli omdannet til varme som er den laveste energiformen. På grunn av økt optisk og totalt tilført effekt må vi passe på at den økte termiske effekten fra LEDpanelet ikke påvirker temperaturen i algetanken, noe som kan skape termisk konveksjon og omrøring vannmassene. Derfor er det plassert varmeledere i aluminium på panelplaten, for å lede mest mulig varme bort fra panelet og ut i rommet.

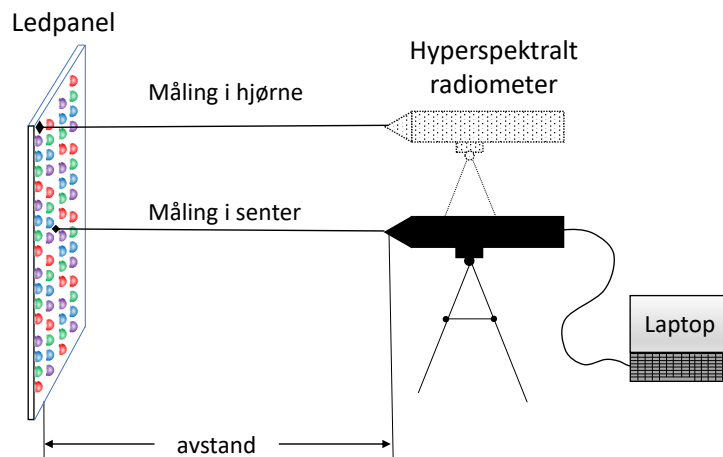
Vi beregner maksimal teoretiske termisk overføring fra LEDpanel til tank, der vi har totalt 8 kretser ( $N_{kretser}$ ).

$$P_{varme} = P_{inn} - P_{lys} \approx P_{inn} = V_{R1+} \cdot I_{Rd1} \cdot N_{kretser}$$

$$P_{varme} \approx 4,6V \cdot 2A \cdot 8 = 72W$$

## Testing av LEDpanel

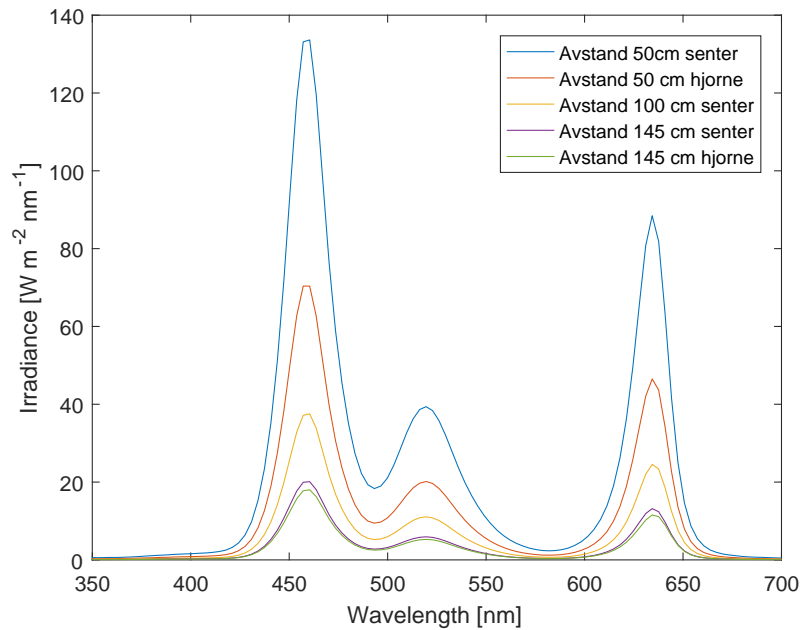
LEDpanelets spekter og lysintensitet ble målt med et hyperspektralt radiometer fra TriOS, type Ramses ACC-VIS. Måleinstrumentet måler lysspekter og irradiens i PAR og UV området. Målingene av LEDpanelet ble utført i laboratoriet med algetanken, som er uten vinduer. Alt lys i rommet ble slukket under målingene bortsett fra lys fra laptop som var tilkopleet måleinstrumentet. Vi kan derfor si at rommet var tilnærmet null irradiens når LEDpanel var avslått. Måleoppsettet er vist nedenfor i figur 22.



Figur 22: Måleoppsett for spektralmåling av LEDpanel

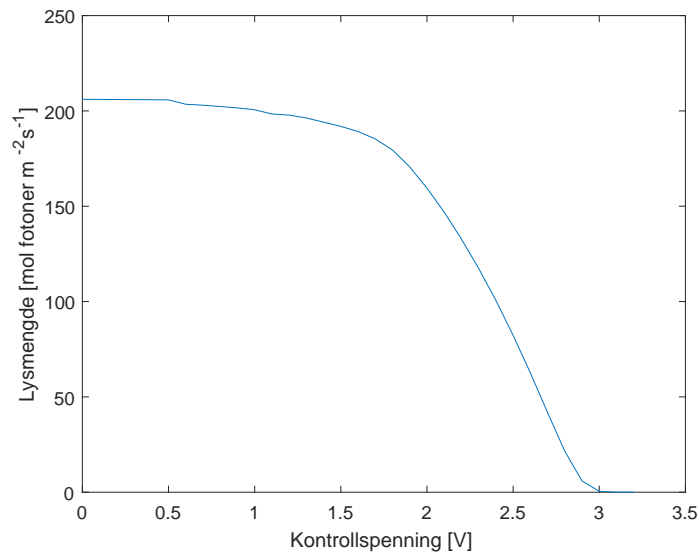
Dessverre ble ikke spekter eller intensitet fra UVA LED målt, siden to UVA LED ble defekt på grunn for høy strømgjennomgang under testing.

Målingene som ble utført er plottet og presentert i figur 23. Resultatene viser at det nye LEDpanelet har mer enn dobbelt så sterk irradians på rødt lys (630nm), fire ganger så sterk irradians på grønt spekter (520nm) og tre ganger så sterk irradians på blått lys (460nm) sammelignet med opprinnelig LEDpanel [5].



Figur 23: LEDpanel testet med Ramses instrument

Sett bort fra manglende UVA spekter og noe ujevn irradianse for de ulike bølgetoppene, fungerer LEDpanelet som planlagt. Lysintensiteten lar seg enkelt justere ved å endre kontrollsignal fra analog utgang (AO) på kontrolleren (cRIO). En sammenheng mellom kontrollsignal og lysstyrke i fotonfluks (fotoner/m<sup>2</sup>s) er vist i figur nedenfor.



Figur 24: Sammenheng mellom kontrollsignal og fotonfluks.

Alle lyssmålinger i denne oppgaven som er oppgitt i fotonfluks er målt med følgeden lysmåler. LiCor Biosciences, modell LI-250A.

### 3.7 Digitalkamera

Høye algekonsentrasjoner er mulig å verifisere visuelt. Derfor ble det bestemt å implementere et enkelt digitalkamera som kan styres i det eksperimentelle oppsettet. Formålet til digitalkameraet var å kunne dokumentere visuelle observasjoner og verifisere endringer i vannkolonnen. For å kunne ta bilder av hele algekolonnen ved lave og høye lysintensiteter fra LEDpanelet, ble det valgt et lyssensitivt speilrefleks kamera, Canon PowerShot G1 X Mark II se bilde i figur nedefor.



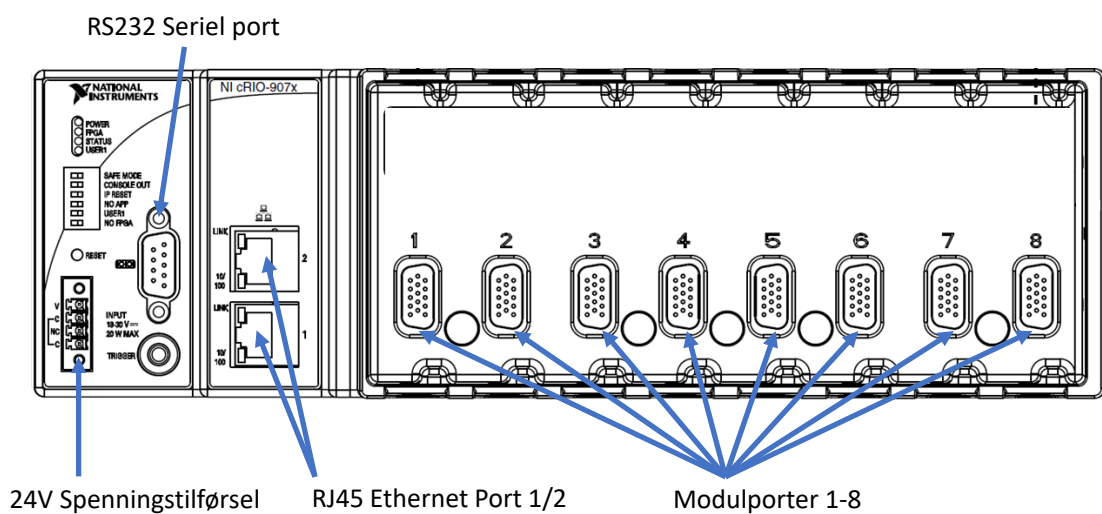
Figur 25: Canon PowerShot G1 X Mark II, bilde er hentet fra leverandørens hjemmeside

Det valgte digitalkameraet kan enkelt brukes som et vanlig kamera til andre

formål samt brukes i det eksperimentelle oppsettet via ekstern trigger med minijack plugg som styres via datainnsamlingsystemet. Bildene har blitt generert for hver profilering med datostempel og kronologisk lagring på SD minnebrikke.

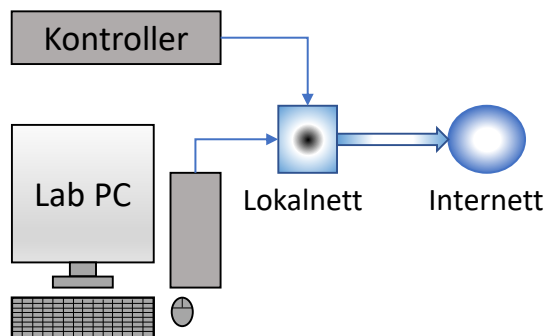
### 3.8 Styre- og datainnsamlingsystem

Til å samle inn data fra optiske detektorer og styre kamera, LEDlys samt motor-drift ble det benyttet en 400MHz sanntidskontroller med integrert FPGA chassis, type NI cRIO-9074 (National Instruments CompactRIO) med 8 I/O moduler, 2 ethernet tilkoblinger og en RS232 port. FPGA er integrert digitalkrets som består av mange logiske elementer (transistorer) som er organisert i en matrisestruktur. Ved programmering av en FPGA, konfigurerer man de logiske portene sine sammenkoblinger. Dermed vil en FGPA i praksis fungere som en re-konfigurerbar elektronisk krets. I/O modulene plasseres enkelt i FPGA chassis med hurtigkobling, se figur 26.



Figur 26: Styre- og datainnsamlingskontroller NI cRIO-9074, figur hentet fra leverandør datablad

cRIO (kontroller med FPGA) og Lab-PC er koblet til lokalt nett med ethernet RJ45 kabel, se figur 27. For å koble seg til og konfigurere cRIO ble NI MAX (National Instrument Measurement & Automation Explorer) programvare benyttet.



Figur 27: Nettverksoppkobling

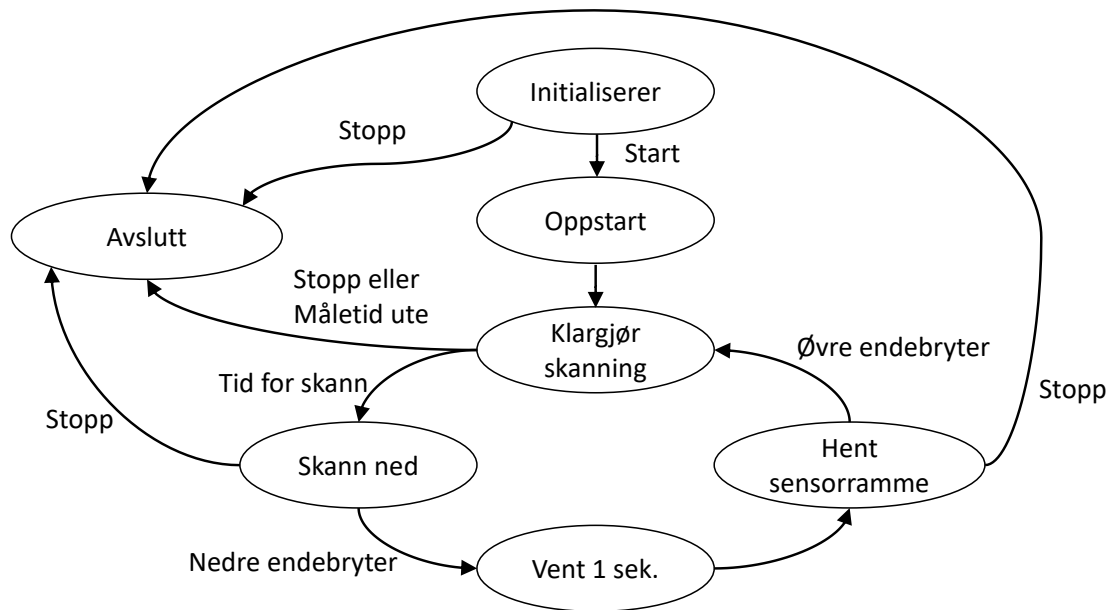
I det eksperimentelle oppsettet ble ulike I/O moduler installert for å muliggjøre datainnsamling og styring. En oversikt er listet nedenfor:

1. AI modul 1, NI 9215 +/-10V
2. AO modul 2, NI 9263 +/-10V, maks 1mA
3. AO modul 4, NI 9263 +/-10V, maks 1mA
4. DO modul 6, NI 9472
5. Relé modul 7, NI 9481

Programmering av cRIO utføres via Lab-PC gjennom nettverk. På grunn av fare for datatap ved lokale nettverksproblemer blir alle datafiler lagret lokalt på cRIO hardisk, og overført til Lab-PC når eksperimentene er ferdig.

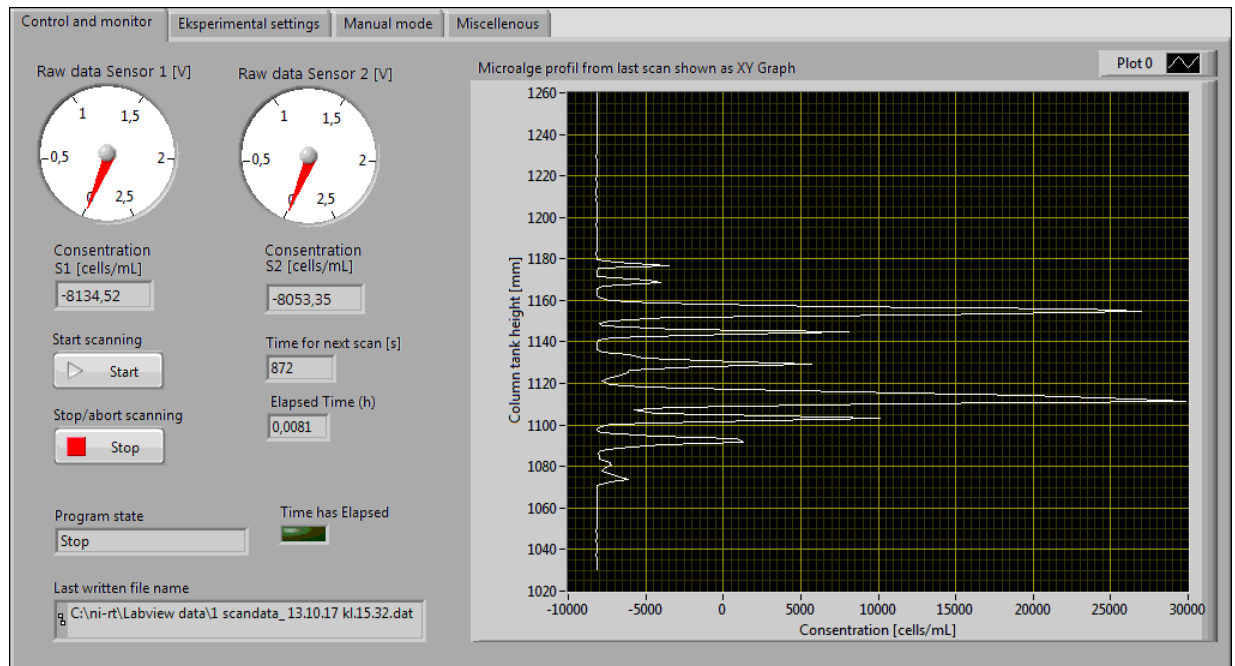
Programvarearkitekturen tilstandsmaskin (state machine) ble benyttet for å bygge et oversiktlig og enkelt styre- og datainnsamlingsprogram i Labview (NI, Austin, TX).

Labview er et brukervennlig grafisk programmeringsspråk. Deler av programkoden bygger videre på Fotlands masteroppgave [5]. Et enkelt tilstandsdiagram ble laget for å ha oversikt over alle tilstandene og tilstandsovergangene i programmet, se figur 28.

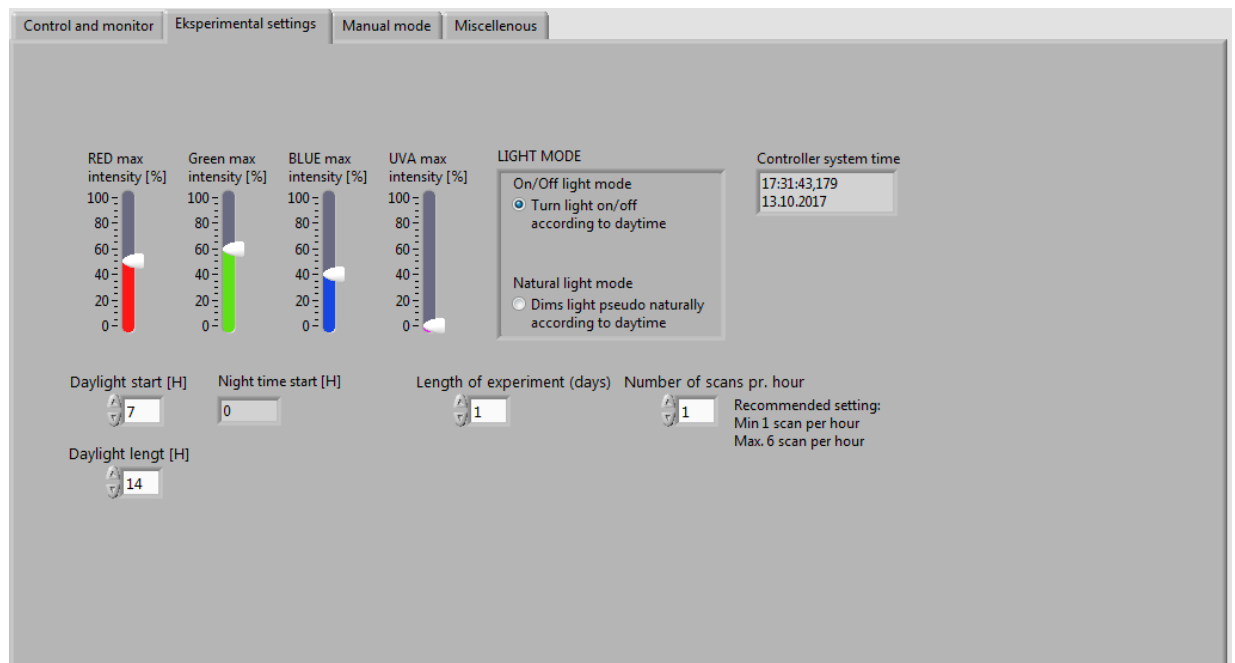


Figur 28: Tilstandsdiagram, med tilstander presentert i bokser og hendelser utenfor

Labview frontpanel som betjenes av brukere er vist i figur 29 og 30, og utdrag av blokkdiagram for Labview programkoden er vist i figur 31 til 38.

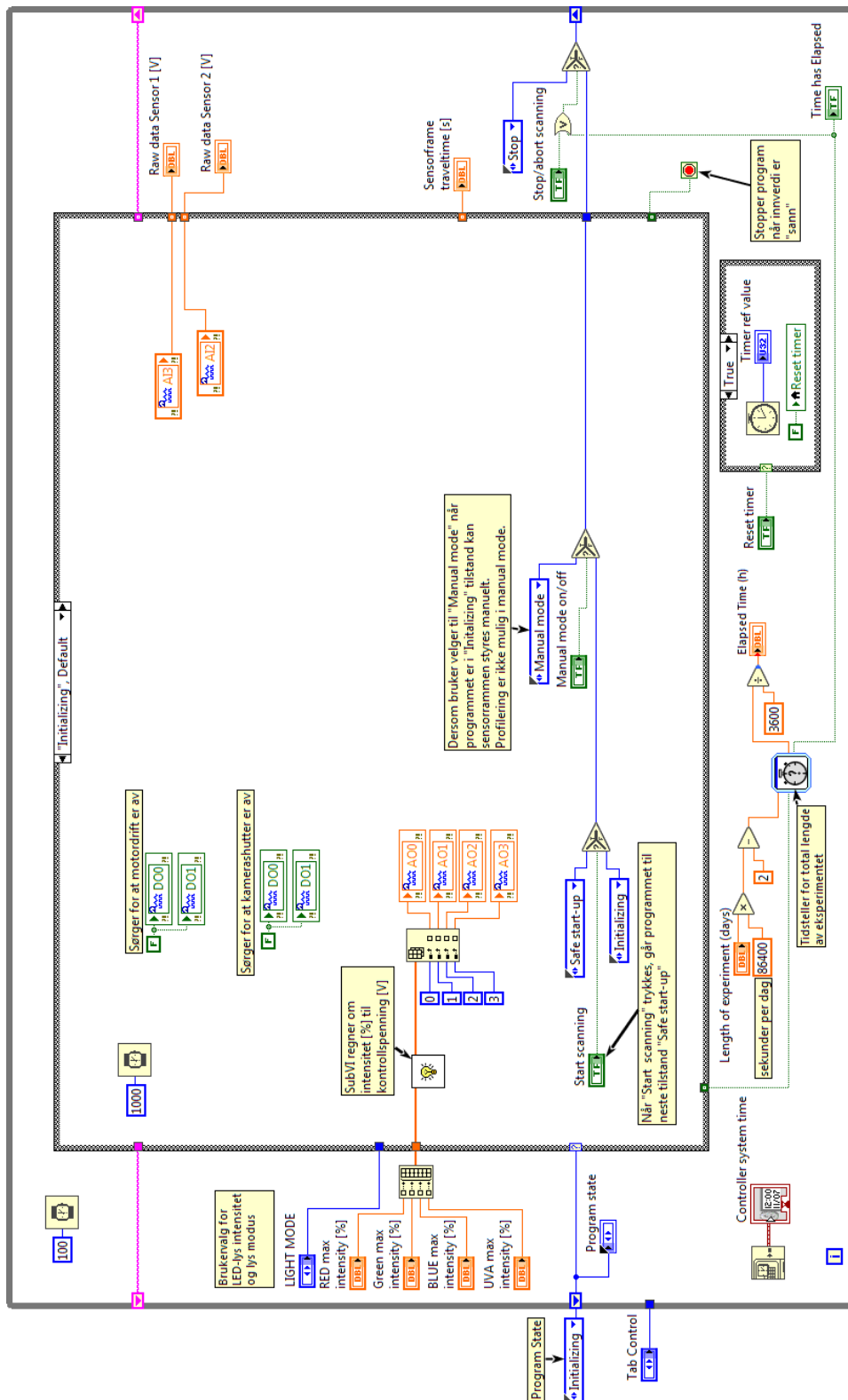


Figur 29: Labview frontpanel, alge-monitorering

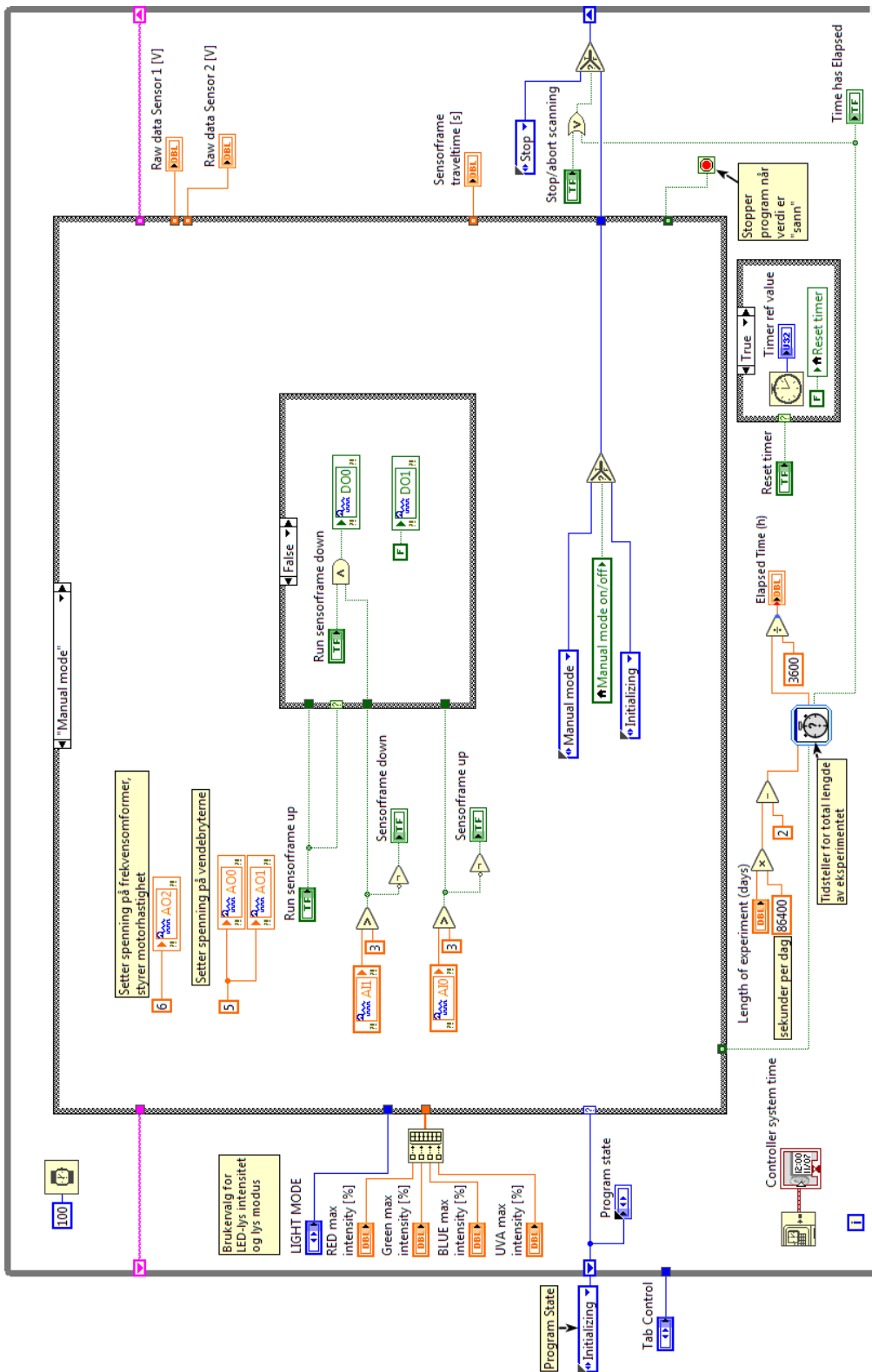


Figur 30: Labview frontpanel, eksperimentelle innstillinger

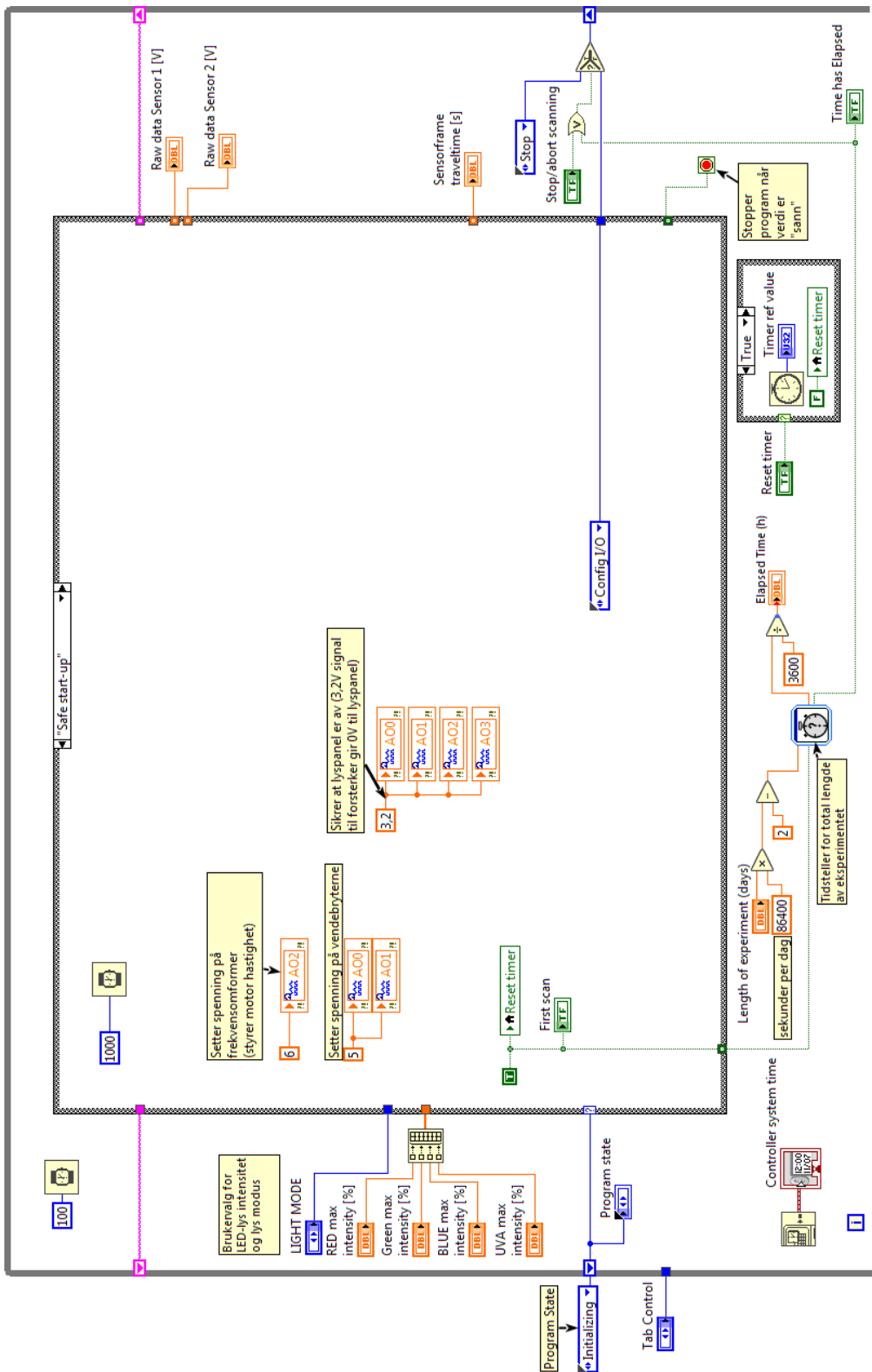




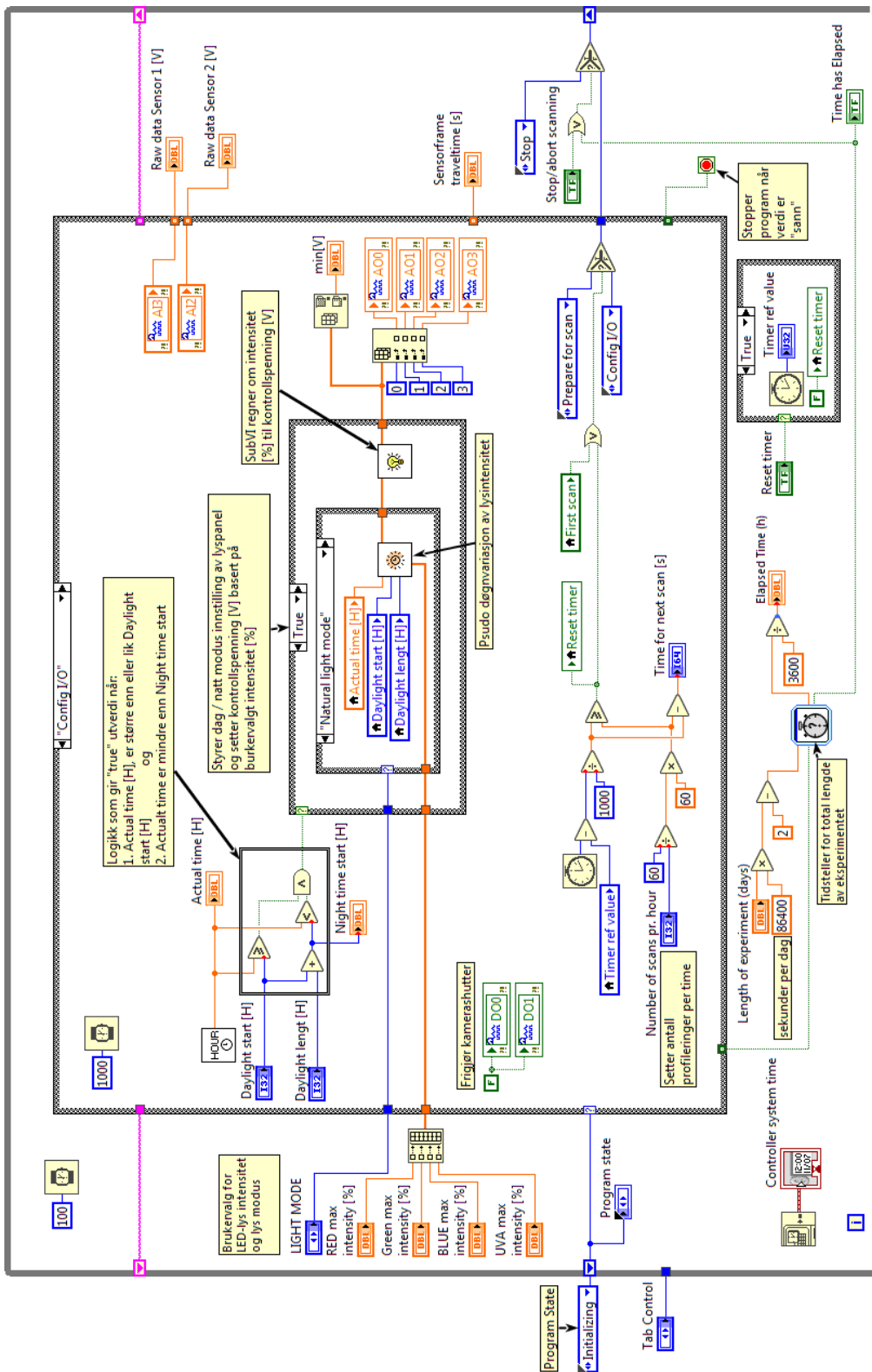
Figur 31: Labview blokkdiagram, initiell tilstand



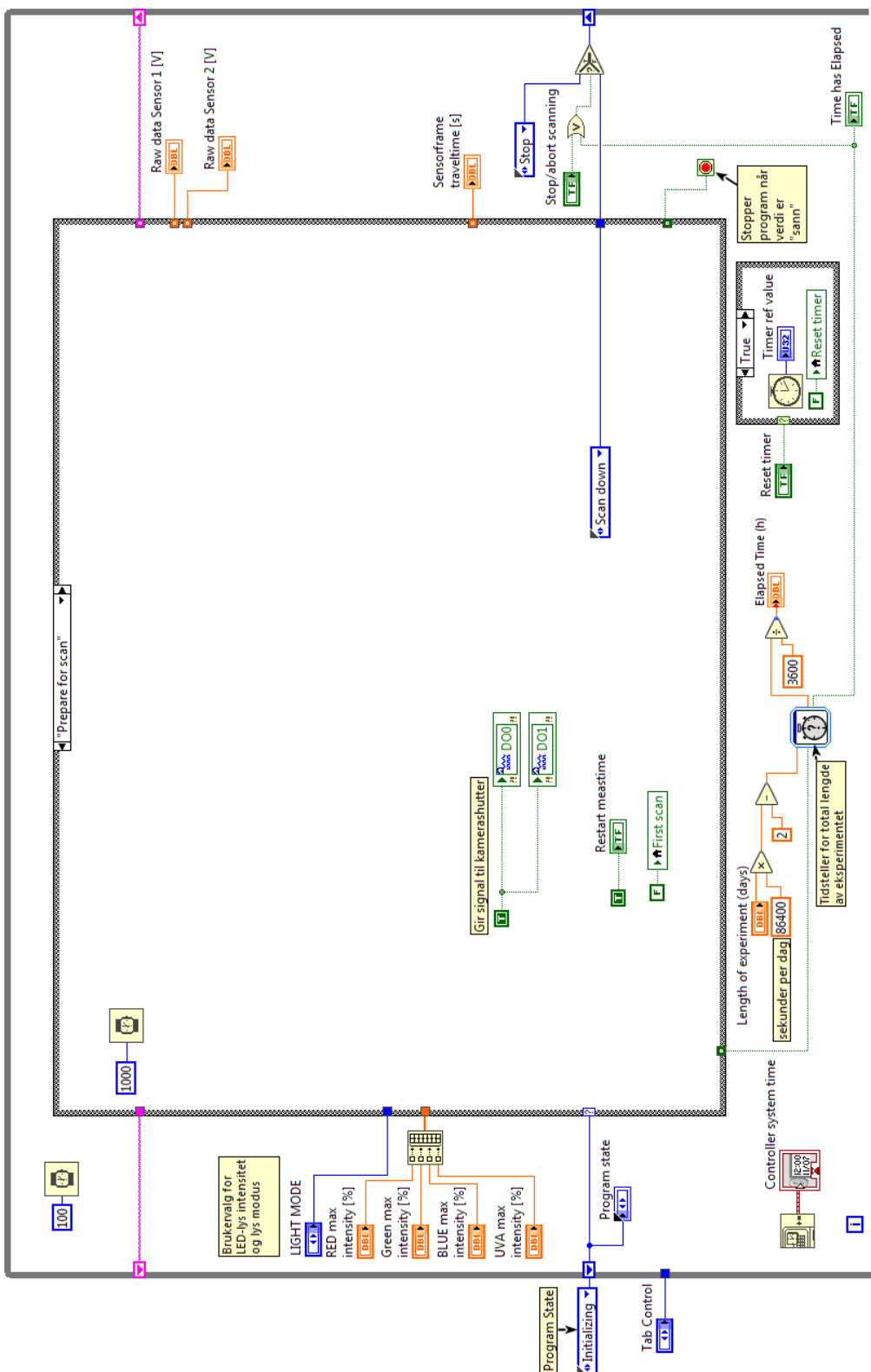
Figur 32: Labview blokkdiagram, manuell tilstand



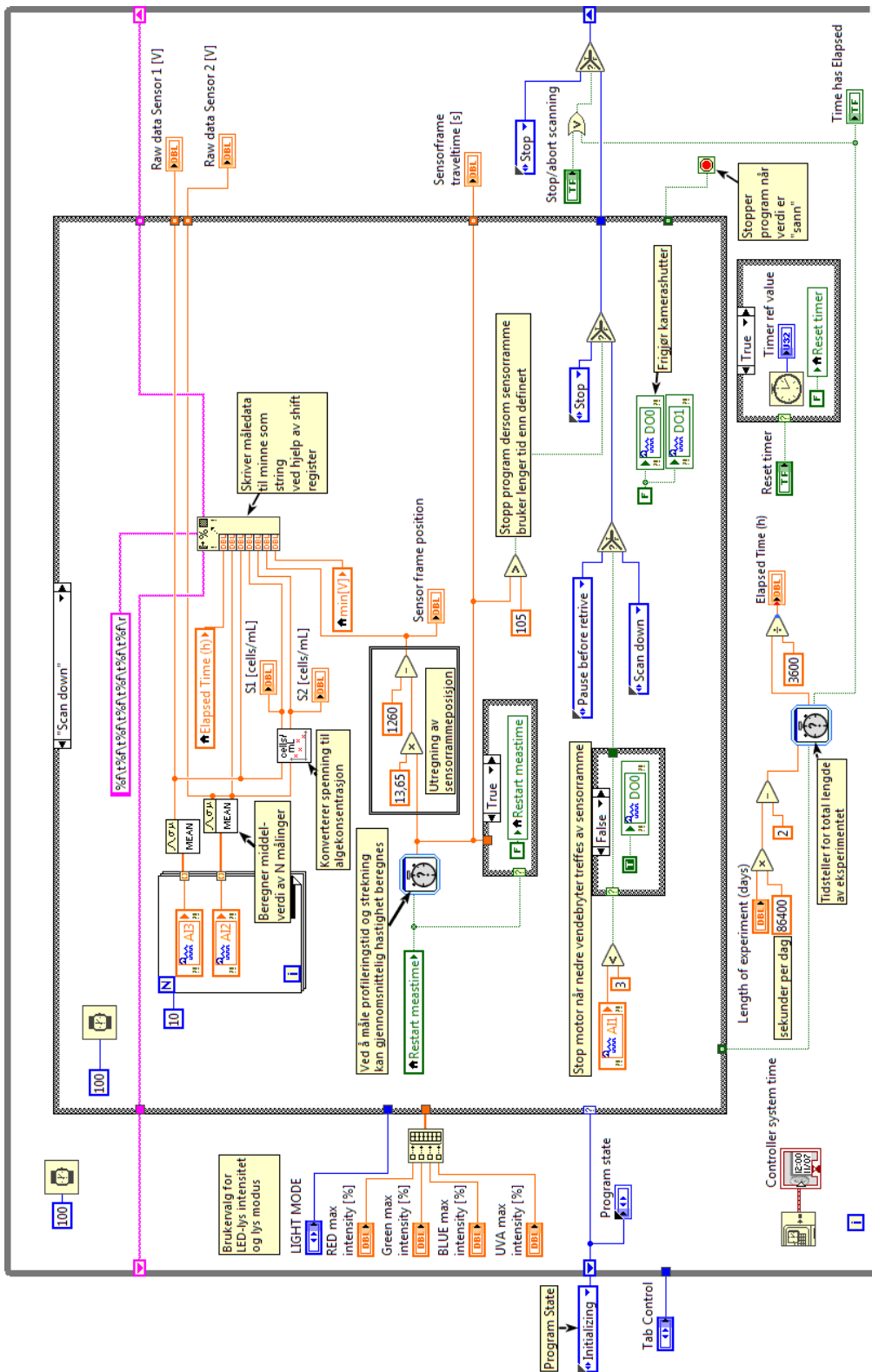
Figur 33: Labview blokkdiagram, sikker oppstarts tilstand



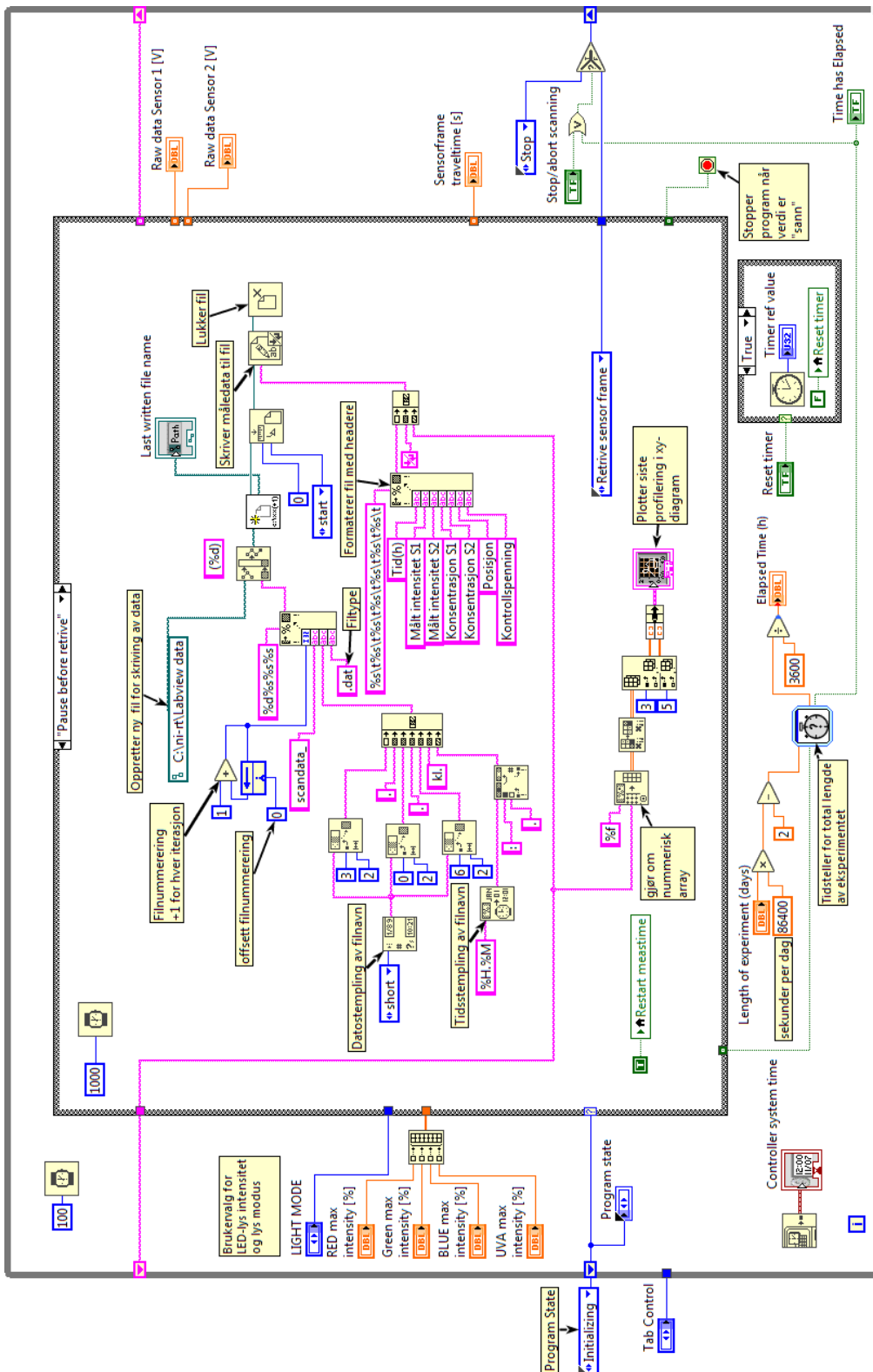
Figur 34: Labview blokkdiagram, konfigurasjon tilstand



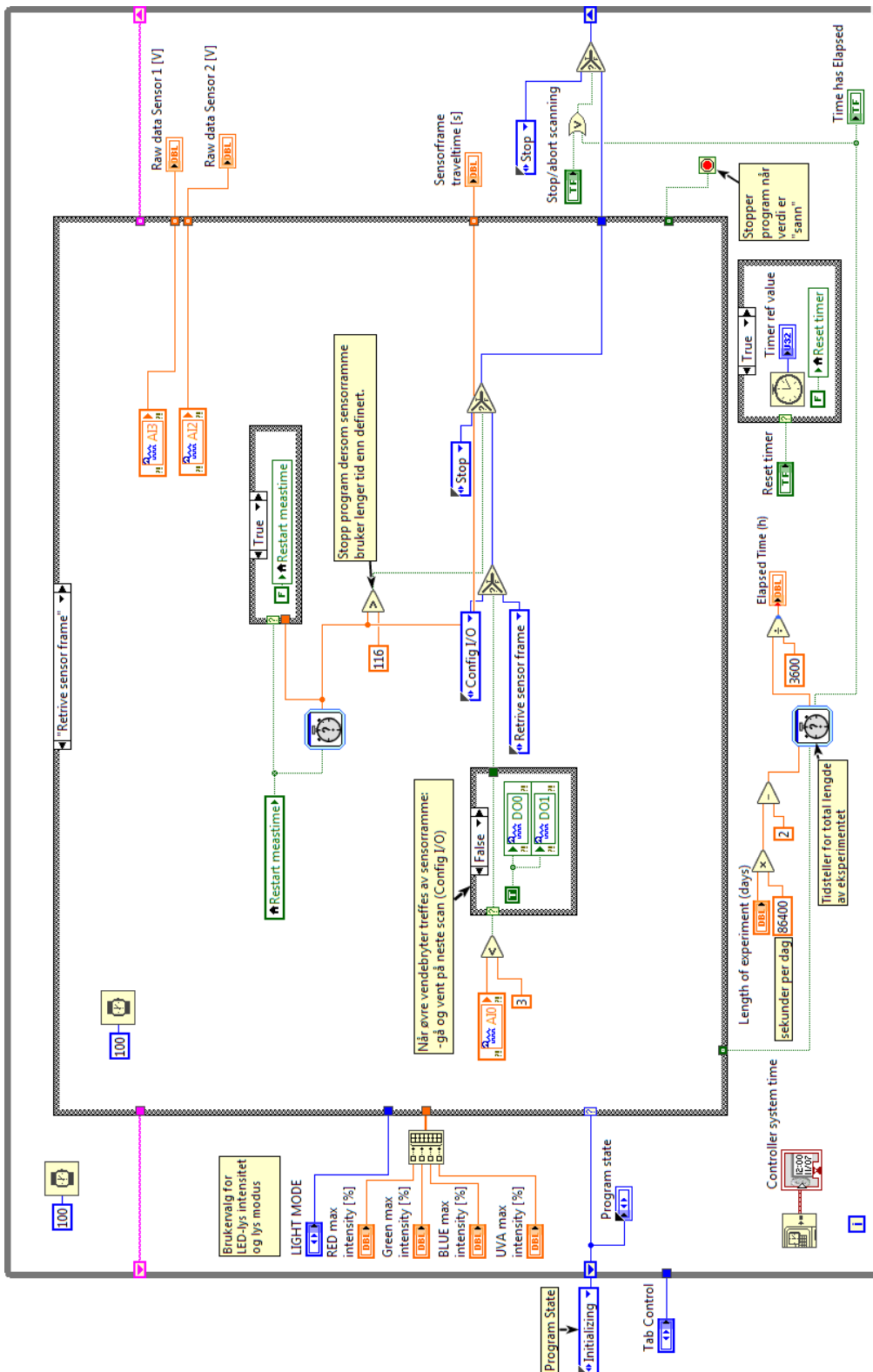
Figur 35: Labview blokkdiagram, forbereder skann tilstand



Figur 36: Labview blokkdiagram, skann ned tilstand



Figur 37: Labview blokkdiagram, skriv til datafil og vent tilstand



Figur 38: Labview blokkdiagram, henter sensorramme tilstand

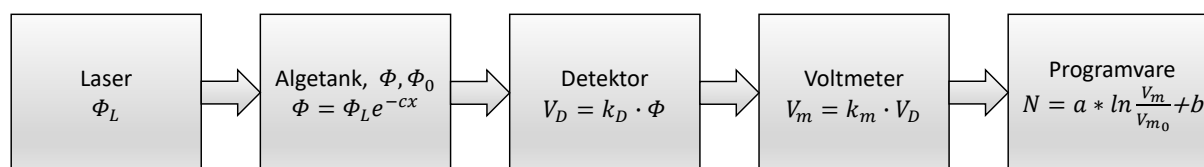


### 3.9 Usikkerhetsberegninger

Enhver måling er tilnærmet verdiløs dersom ikke usikkerheten i målingen kan beregnes eller estimeres. I vårt tilfelle har vi flere sammensatte usikkerheter i det eksperimentelle oppsettet. Disse kan deles inn i to hovedkategorier:

1. Usikkerhet for måling av algekonsentrasjon.
2. Usikkerhet i sensorramme nivå, under profilering.

For å studere usikkerheten i måling av algekonsentrasjon er det hensiktsmessig å studere målesystemet som er vist i figur 39.



Figur 39: Systemoversikt for måling av algekonsentrasjon

Den totale usikkerheten i målesystemet er avhengig av alle usikkerhetsbidrag fra laser, algetank, detektor, voltmeter (AI på cRIO) og programvare (kalibrering). Det er naturlig å først finne laserdiodenes usikkerhet, der usikkerheten på laserdiodenes optiske effekt er oppgitt i datablad med en rektangulærfordelt usikkerhet på  $\Delta\Phi_L = \pm 5\%$ . Usikkerhetene beregnes ved hjelp av partiell derivasjon av de tilhørende matematiske modellene, der hvert ledd blir multiplisert med sin respektive usikkerhet [22].

Algetankens pleksiglass har synlige merker og småskader som demper laserstrålen, noe som er spesielt fremtredende på nedre del av algetanken. Dette gir et feilbidrag til målingene som det må tas hensyn til. For å forenkle regnearbeidet er produktet av variablene  $cx$  fra ligning 8 nå definert som en felles variabel,  $c_x$ . Usikkerheten til variabelen  $c_x$  er neglisjert. For å kompensere for dette er en usikkerhetsfaktor  $k_\Phi$  lagt til i ligning 40. Usikkerhetsfaktoren  $\Delta k_\Phi$  er estimert til  $\pm 2,3\%$  av  $\Phi_L$ , basert på målinger fra Eksperiment 1 i kapittel 4.

Finner usikkerheten i transmisjon av laserlys gjennom algetanken i ligning 41. Merk at  $c_x$  er beregnet ved hjelp av ligning 40,  $c_x = \ln(\Phi/\Phi_L) \cdot k_\Phi$ .

$$\Phi = k_{\Phi} \Phi_L e^{-c_x} \quad (40)$$

$$\Delta \Phi = \sqrt{\left(\frac{\partial \Phi}{\partial k_{\Phi}} \Delta k_{\Phi}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \Phi_L} \Delta \Phi_L\right)^2 + \left(\frac{\partial \Phi}{\partial c_x} \Delta c_x\right)^2} \quad (41)$$

$$\Delta \Phi = \sqrt{(\Phi_L e^{-c_x} \cdot \Delta k_{\Phi})^2 + (k_{\Phi} e^{-c_x} \cdot \Delta \Phi_L)^2 + 0}$$

$$\Delta \Phi = \sqrt{\left(4,5\text{mW} \cdot e^{-0,811} \cdot \frac{2,3\% \cdot 4,5\text{mW}}{100\%}\right)^2 + \left(1\text{mW/mW} \cdot e^{-0,811} \cdot \frac{5\% \cdot 4,5\text{mW}}{100\%}\right)^2}$$

$$\Delta \Phi = 0,230\text{mW}$$

Beregner deretter måleusikkerheten fra optisk detektor, der detektoren antas å ha en usikkerhet på  $\Delta k_D = 1\%$ . Den optiske detektoren konverterer hver mW detektert til 1V, derfor er  $k_D = 1\text{V/mW}$ .

$$V_D = k_D \Phi \quad (42)$$

$$\Delta V_D = \sqrt{\left(\frac{\partial V_D}{\partial k_D} \Delta k_D\right)^2 + \left(\frac{\partial V_D}{\partial \Phi} \Delta \Phi\right)^2} \quad (43)$$

$$\Delta V_D = \sqrt{(\Phi \cdot \Delta k_D)^2 + (k_D \cdot \Delta \Phi)^2}$$

$$\Delta V_D = \sqrt{\left(2\text{mW} \cdot \frac{1\% \cdot 2\text{mW}}{100\%}\right)^2 + (1\text{V/mW} \cdot 0,230\text{mW})^2}$$

$$\Delta V_D = 0,233\text{V}$$

Voltmeteret som måler spenningen fra detektor, er i vårt tilfelle AI NI 9215 modul, montert i cRIO chassis. Den har en oppgitt måleusikkerhet på 0,6% av måleverdi og 0,38% av målevidde som er 10V. Usikkerheten til voltmeteret blir dermed:

$$V_M = k_M V_D \quad (44)$$

$$\Delta V_M = \sqrt{\left(\frac{\partial V_M}{\partial k_M} \Delta k_M\right)^2 + \left(\frac{\partial V_M}{\partial V_D} \Delta V_D\right)^2} \quad (45)$$

$$\Delta V_M = \sqrt{(V_D \cdot \Delta k_M)^2 + (k_M \cdot \Delta V_D)^2}$$

$$\Delta V_M = \sqrt{\left(2V \cdot \frac{(0,38\% \cdot 2V) + (0,6\% \cdot 10V)}{100\%}\right)^2 + (1V/V \cdot 0,233V)^2}$$

$$\Delta V_M = 0,237\text{V}$$

Til slutt kan usikkerheten for målesystemet med programvare beregnes. Der  $a$  er stigningstall og  $b$  er konstantledd i ligning 46. Konstantledd-verdi er hentet fra kapittel 4, under kalibrering med *Tetraselmis chui*.

$$N^* = a \cdot \ln \frac{V_m}{V_{m_0}} + b \quad (46)$$

$$\Delta N^* = \sqrt{\left(\frac{\partial N^*}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial N^*}{\partial V_m} \Delta V_m\right)^2 + \left(\frac{\partial N^*}{\partial V_{m_0}} \Delta V_{m_0}\right)^2 + \left(\frac{\partial N^*}{\partial b} \Delta b\right)^2} \quad (47)$$

$$\Delta N^* \approx \sqrt{0 + \left(\frac{a}{V_m} \cdot \Delta V_m\right)^2 + \left(\frac{-a}{V_{m_0}} \cdot \Delta V_{m_0}\right)^2 + 0}$$

$$\Delta N^* \approx \sqrt{\left(\frac{-40998 \text{celler/mL}}{2V} \cdot 0,237V\right)^2 + \left(\frac{1472,6672 \text{celler/mL}}{2V} \cdot 0,237V\right)^2}$$

$$\Delta N^* \approx 247 \text{celler/mL}$$

Usikkerhet har blitt beregnet med rektangulær distribuert verdier. Dersom vi regner om til standardfordelt usikkerhet får vi følgende.

$$\sigma_N^* = \frac{\Delta_N}{\sqrt{3}} = \frac{247 \text{celler/mL}}{\sqrt{3}}$$

$$\sigma_N^* = 145 \text{celler/mL}$$

Usikkerheten på sensorramme nivå er ikke beregnet da den avhenger hastigheten på asynkronmotoren. Hastigheten på asynkronmotoren er som nevnt tidligere sterkt avhengig av mekanisk friksjon i systemet og nettfrekvens. Usikkerheten i nivå høyde er estimert til  $\pm 2\text{cm}$ , basert på tilegnede erfaringer under algemåling og ved å sammenligne variasjoner av profileringshastighet.

Vi måler bakgrunnsdempningen gjennom algetanken med kun sjøvann rett før tilsetning av algekonsentrasjon. Da har vi mulighet til å lagre bakgrunnsdempningen som  $V_{m_0}$  i ligning 46, istedenfor å bruke en konstant  $V_{m_0}$  verdi. På denne måten kan vi redusere usikkerhetsbidraget fra algetanken betraktelig. På grunn av variasjon i sensorramme hastigheten kan vi ikke eliminere usikkerheten fra algetanken, som varierende skader på pleksiglasset bidrar med.

Dersom vi kunne eliminert usikkerhetsbidraget fra algetanken kunne vi fått en rektangulær fordelt usikkerhet på  $\Delta_N = 120 \text{celler/mL}$ . Usikkerhet omregnet til standardavvik,  $\sigma_N = 69 \text{celler/mL}$

Dersom mer nøyaktige målinger er ønskelig kan en vurdere å bytte motordrift til synkronmotor eller eventuelt steppermotor. Å skifte pleksiglass er kanskje den

mest ideelle løsningen. Dette krever derimot fullstendig demontering av algetanken og er dermed tidkrevende. Det er også mulig å vurdere å bytte optiske lasere dersom en finner tilsvarende med lavere usikkerhet på optisk effekt, eventuelt kan en kalibrere og teste laserens usikkerhet.

## 4 Eksperimenter

I alt 7 eksperimenter er blitt utført med algetanken i denne oppgaven. Eksperimentene er listet i tabell 2 nedenfor. Det første eksperimentet konsentrerte seg om å teste innlegging og holdbarhet av gradient mellom ulike saltlag, samt datainnsamlingsystemet. For å kunne verifisere gradienten visuelt i eksperiment 1, ble skummetmelk tilsatt og blandet inn med brakkvannet (som er det øvre laget). Skummetmelken bidrar til at brakkvannslaget blir opakt og gjennomsiktigheten avtar. Dette fører til at brakkvannsblandingen vil svekke laserlyset, ved tilsetning av skummetmelk. I eksperimentet 2 ble styre- og datainnsamlingsystemet testet med levende mikroalger, *Tetraselmis suecica*. Dette eksperimentet benyttet det opprinnelige LEDpanelet, på grunn av forsinkelse ved produksjon av nytt LEDpanel. Det tredje eksperimentet fortsatte med monitorering av mikroalgernes vertik Alvandring, men med nytt LEDpanel lys som lyskilde.

Fjerde til og med syvende eksperiment ble utført med en beslektet algekultur, *Tetraselmis chui*. Denne algetypen har vist seg i våre eksperimenter til å være lite svømmevillig og har fortrinnsvis lagt seg på bunn av algetanken i vegetativ posisjon, og drevet aktiv fotosyntese.

Tabell 2: Utførte eksperimenter

| Nr. | Lysinnstilling | Algekultur                 | Oppstartsdato | Sluttdato  | Varighet |
|-----|----------------|----------------------------|---------------|------------|----------|
| 1.  | N/A            | Skummet melk               | 19.04.2017    | 21.04.2017 | 2 døgn   |
| 2.  | PAR+UVA        | <i>Tetraselmis suecica</i> | 26.04.2017    | 11.05.2017 | 15 døgn  |
| 3.  | PAR lys        | <i>Tetraselmis suecica</i> | 13.06.2017    | 30.06.2017 | 17 døgn  |
| 4.  | PAR lys        | <i>Tetraselmis chui</i>    | 05.09.2017    | 13.09.2017 | 8 døgn   |
| 5.  | Rødt lys       | <i>Tetraselmis chui</i>    | 14.09.2017    | 20.09.2017 | 6 døgn   |
| 6.  | Grønt lys      | <i>Tetraselmis chui</i>    | 21.09.2017    | 27.09.2017 | 6 døgn   |
| 7.  | Blått lys      | <i>Tetraselmis chui</i>    | 03.10.2017    | 10.10.2017 | 7 døgn   |

Sjøvannet som er benyttet i eksperimentene er hentet fra Puddefjorden i Bergen på ca. 100 meters dyp hvor stabile verdier for temperatur ligger mellom 5-10C, og salinitet mellom, 33-35‰. Næringsstoff verdiene for nitrat ligger mellom 10-20µmol/L, silikat mellom 10-15µmol/L, og fosfat mellom 0.5-1.5µmol/L [9].

Det er utført to kalibreringer, en for *Tetraselmis suecica* og en gang for *Tetraselmis chui*. Kalibreringsmetode og plott av kalibreringskurve er beskrevet i slutten av kapittellet, etter eksperiment 1-7.

## 4.1 Eksperiment 1, verifisering av saltgradient med skummetmelk

Dette eksperimentet gikk ut på å teste innlegging og holdbarhet av saltgradienten mellom to vannlag, samt teste det eksperimentelle oppsettet og datainnsamlings-systemet. Eksperimentet ble startet onsdag 19.04.2017 kl: 12.30, og avsluttet fredag 21.04.2017. Innlegging av gradient var delvis suksessfullt, da det var en luftboble under fylling som delvis løste opp gradient.

Tabell 3: Startverdier for eksperiment 1

| Vannlag   | Volum | Salinitet |
|-----------|-------|-----------|
| Brakkvann | 40L   | 30‰       |
| Saltvann  | 120L  | 35‰       |
| Total     | 160L  | 34‰       |

Brakkvannslag ble blandet med 5L destillert ferskvann og 35L filtrert varmt (ca.20°C) sjøvann gjennom 1 $\mu$ m posefilter i tempereringstank. Blandingen ble fylt på topp i algetanken og tilsatt i underkant av 1dl skummetmelk. Dette for å få se saltgradienten visuelt. Brakkvannet ble manuelt omrørt for å få en homogen blanding. Temperatur ble målt til 19,8°C. Salinitet er estimert til 30‰. Kl:13.30 startet påfylling i bunn av algetank via påfyllingstank med filtrert og temperert sjøvann, med en temperatur på 19,8°C. Salinitet på sjøvannet er estimert til 35‰.

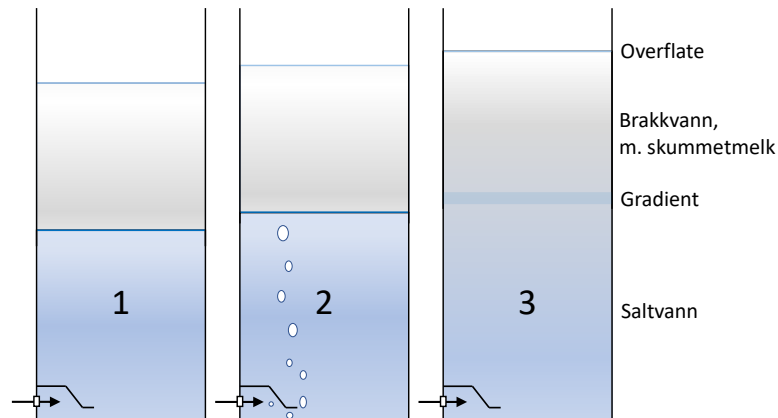
Forenklet beregning av salinitet i brakkvannslag, basert på estimat av sjøvanns salinitet:

$$\begin{aligned}V_{sjo} \cdot S_{sjo} &= V_{brakk} \cdot S_{brakk} & (48) \\35L \cdot 35‰ &= S_{brakk} \cdot (35 + 5)L \\S_{brakk} &= \frac{35L \cdot 34,8‰}{40L} = 30,6‰\end{aligned}$$

Brakkvannet vil på grunn av lavere egenvekt enn saltvann legge seg på topp. Dersom påfylling i bunn gjøres sakte vil det kunne dannes en skarp saltgradient mellom brakkvann og saltvannslag. Dersom påfylling gjøres for hurtig og strømming blir turbulent vil en få omrøring av vannmassene og saltgradienten vil løses opp.

Fyllehastighet ved start av innlegging av saltvann i algetanken ble beregnet til å være 0,6L/min. Fyllehastigheten avtok etter hvert som nivået i algetanken øket, grunnet utjevning av høydeforskjell mellom påfyllingstank og algetank. Påfyllingen stoppet midlertidig opp grunnet en luftlomme i tilførselsslange til algetanken. Når luftlommen ble forsøkt manuelt presset ut av slange gikk den feil

vei og inn i algetanken, dette førte til at det kom relativt store luftbobler inn i bunn av algetanken største estimerte diameter er 4cm, se figur 40.

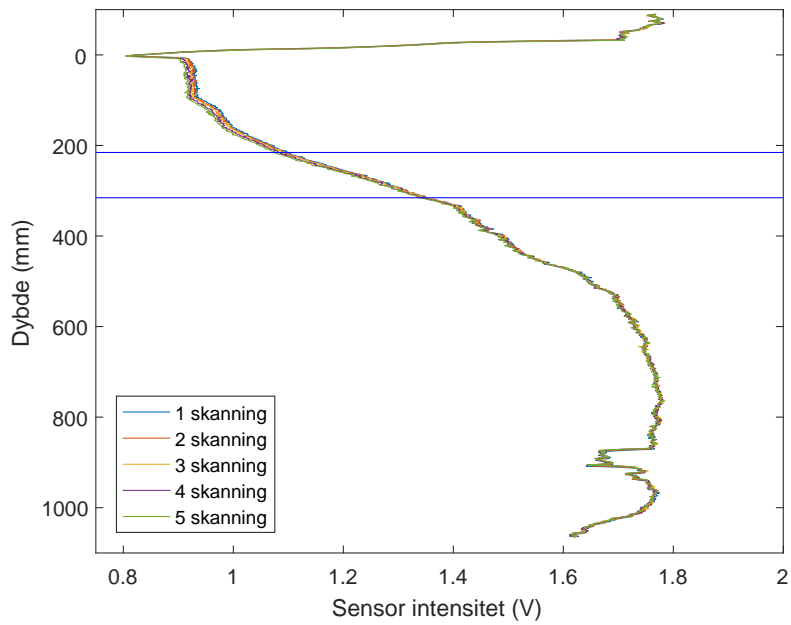


Figur 40: Tankfylling eksperiment 1

1:Påfylling av saltvann under gradient, 2:Luftbobler fra tilførselslange, 3:Saltgradient delvis punktert og overgang mellom vannlagene ble diffus.

Dette eksperimentet har verifisert mulighet for å legge inn skarpe gradienter mellom vannlagene dersom påfyllingshastigheten holdes lav ved innfylling under brakkvannet, i vårt tilfelle 0,6L/min. Dersom det kommer store luftlommer ved fylling vil gradienten kunne gå i oppløsning.

Profilering ble kjørt hvert 10minutt, og sensorrammens hastighet ble målt til 10,55mm/s. Profileringene i figur 41 viser en klar stabilitet og liten endring i sensorintensitet. Dette gir en god indikasjon på gradientens holdbarhet etter innlegging. Nedenfor vises et bilde av algetank med skummetmelk-brakkvann lag øverst.



(a) Rådata plot med sensorintensitet, saltgradient er merket av med horisontale linjer



(b) Delfoto av gradient

Figur 41: Dataplott med sensorintensitet sidestilt med delfoto av gradient



## 4.2 Eksperiment 2, *Tetraselmis suecica*, hvitt lys

I dette eksperimentet ble det benyttet opprinnelig LEDpanel, for å testkjøre vannkolonnen, mens nytt LEDpanel var under produksjon. Algetypen *Tetraselmis suecica* ble brukt som forsøksorganisme, *Tetraselmis suecica* har blitt dyrket frem i laboratorie ved institutt for biologi ved UIB på 15°C med en døgnsyklus på 14t lys og 10t mørke. Døgnsyklusen ble beholdt i eksperimentet med overgang fra lys til mørke kl:21.00, og mørke til lys kl:19.00.

Først ble sjøvann tappet og filtrert gjennom posefilter med 1 $\mu$ m maskestørrelse. Dette hindrer organismer og partikler på 1 $\mu$ m eller større å trenge gjennom filteret. Sjøvannet ble temperert til romtemperatur, 20°C i tempereringstank.

Tabell 4: Startverdier for eksperiment 2

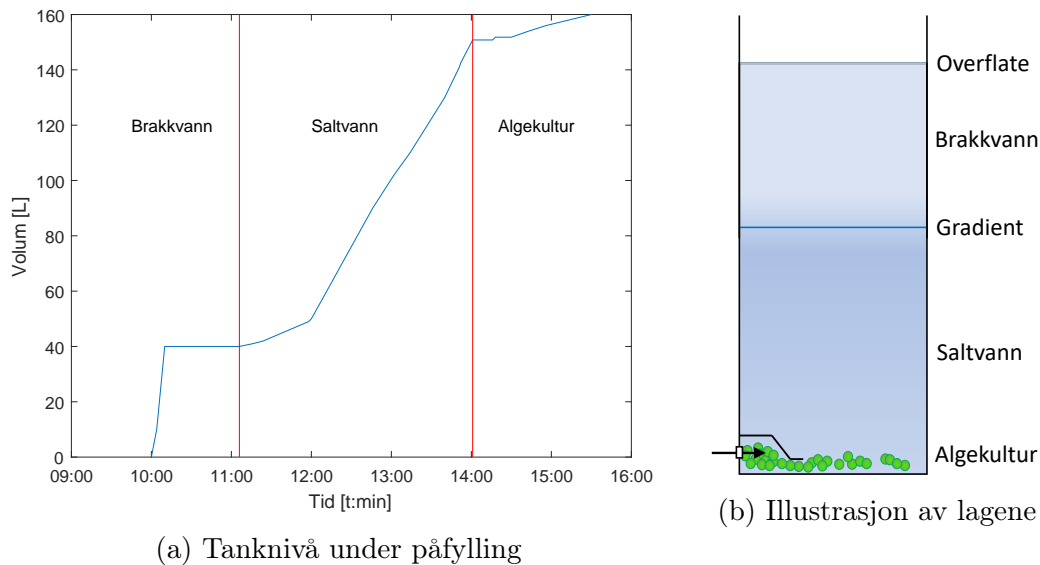
| Vannlag       | Volum [L] | Salinitet [‰] | Konsentrasjon [celler/mL] |
|---------------|-----------|---------------|---------------------------|
| Brakkvann     | 40        | 30            | 0                         |
| Saltvann      | 110,8     | 35            | 0                         |
| Algekultur    | 1,2       | 28            | $2,4 \cdot 10^5$          |
| Saltvann bunn | 8         | 35            | 0                         |
| Total         | 160       | 33,3          | 1800                      |

Brakkvann ble blandet med 35L sjøvann, med en salinitet estimert til 35‰ og 5L osmosebehandlet ferskvann, med en salinitet estimert til 0. Brakkvannsblending med en salinitet på 28‰ ble lagt inn i algetank via påfyllingstank.

Deretter ble saltvann lagt forsiktig inn i algetank, med en volumstrøm på 0,1L/min som gradvis er blitt øket. Dette er utført for å skape en skarp gradient mellom brakkvann som ble løftet opp i algetanken og sjøvann.

1,2L algekultur ble tilført under sjøvannet med en celletetthet på  $2,4 \cdot 10^5$  celler/mL inn i bunn av algetanken, etterfulgt av 8L sjøvann for å skylle rester av algekulturen i påfyllingstank og tilførselslanger inn i algetanken. Se graf i figur 42a som viser fyllenivå i tanken med hensyn på tid. Figur 42b illustrerer påfylling av de ulike lagene. Tid og tanknivå er blitt manuelt logget under påfylling slik at volumstrøm kan beregnes og kontrolleres under påfylling.

Algetanken er blitt fylt opp med totalt 160L, der 40L er brakkvann og 120L er sjøvann (inkludert 1,2L algekultur).



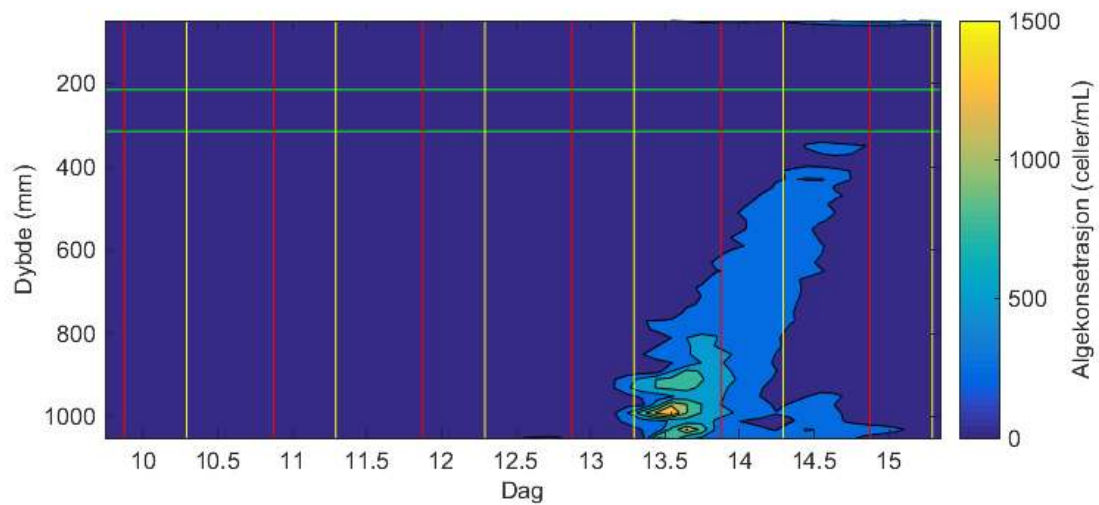
Figur 42: Påfylling av ulike lag i algetank.

Datainnsamling fra eksperimentet ble startet onsdag 26.04.2017, kl:16.00, 1t og 42min etter at algene ble tilført i tanken. Forsinkelsen skyldes for liten høydeforskjell mellom påfyllingstank og algetank, som ga svak volumstrøm inn algetanken på slutfasen av påfylling. Laserskanning ble utført to ganger i timen. Observasjoner fra eksperimentet er gitt i tabell 24 i vedlegg.

En oppsummering fra de visuelle observasjonene er at det ikke var mulig å se algekonsentrasjonen som ble tilført i algetanken under påfylling. Etter en uke kunne en se algeformasjoner ved overflaten. Det ble da igangsatt et forsøk på få algene til å migrere under haloklin ved å slå av LEDlys over algetanken og sette inn lysstoffrør under algetanken. Bunnen av algetanken er bygget i pleksiglass og er gjennomsiktig, slik at lysstoffrørene er i stand til å bestråle algetankens innhold.

Effekten av dette er vanskelig verifisere da datainnsamling og generering av datafiler var korrumpert frem til 05.05.2017, kl 11.53. Etter dette ble måledata generert suksessfylt i datafiler til eksperimentet ble avsluttet. Profileringsfrekvens ble redusert fra 6 til 1 gang per time. Labview programmet stoppet flere ganger underveis i eksperimentet, og cRIO kontrolleren måtte formateres og reinstallerer etter hver programkrasj. Årsaken til programkrasj ble ikke oppdaget før i eksperiment 3.

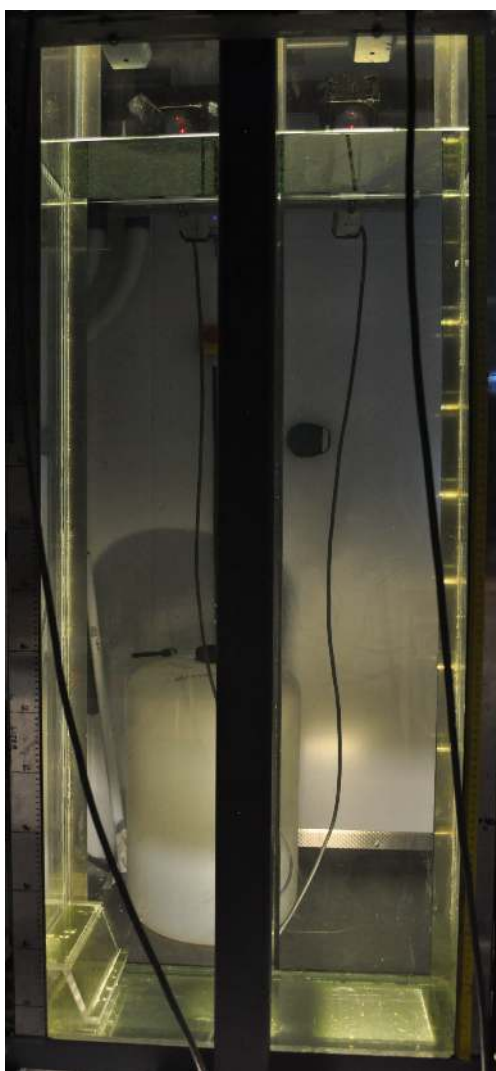
Se konturplott av tilgjengelige eksperimentelle data fra dag 9 til 15 nedenfor i figur 43.



Figur 43: Konturplott fra eksperiment 2.

Horisontalle grønne linjer markerer haloklin med grenser, vertikale gule indikerer linjer -start lys, vertikale røde linjer -start mørke

Eksperimentet og datainnsamling ble avsluttet torsdag 11.05.2017, kl:10.00. Celleprøve ble tatt fra bunn og topp på algetanken uten omrøring, der  $1 \cdot 10^3$  celler/mL ble telt i mikroskop på levende celler uten fiksering. Flere av mikroalgene hadde kastet flageller og gulnet samtidig som de var lite aktive svømmere. Nedenfor er det vist bilde av algetanken under eksperiment i figur 44.



Figur 44: Bilde av algetank fredag 05.05.2017, kl.10:40

### 4.3 Eksperiment 3, *Tetraselmis suecica*, hvitt lys

Eksperiment 3 er siste eksperiment der algetypen *Tetraselmis suecica* er benyttet. Eksperimentet har gitt interessante resultater til tross for at datainnsamlingen måtte avsluttes etter 7 dager på grunn av mekaniske utfordringer med gir- og lagerhavari. Hvitt lys (rød, grønn og blå LEDlys) ble brukt som lyskilde med 100% intensitet, som tilsvarer  $200\mu\text{mol}/\text{sm}^2$ . Døgnsyklus lys:mørke ble satt til 14:10, lys start kl:07.00 og mørke ble aktivert kl:21.00. Profilerings ble utført hvert 10. minutt. Algeveksten har vært sterk i løpet av eksperimentets varighet, se eksperimentelle data i tabell 5.

Tabell 5: Startverdier for eksperiment 3

| Vannlag       | Volum [L] | Salinitet [%] | Konsentrasjon [celler/mL] |
|---------------|-----------|---------------|---------------------------|
| Brakkvann     | 71,5      | 29            | 0                         |
| Saltvann      | 87,5      | 34,4          | 0                         |
| Algekultur    | 20        | 34,9          | $76 \cdot 10^3$           |
| Saltvann bunn | 2,5L      | 34,9          | 0                         |
| Total         | 181,5     | 32,3          | $8,4 \cdot 10^3$          |

Etter avslutning av eksperimentet ble prøver for bestemming av cellekonsentrasjon og næringstoffinnhold tatt ved overflate og fra bunn av tanken, måleverdier er gitt i tabell 6.

Tabell 6: Resultater for eksperimentet 3

| Vannlag        | Nitrat $\mu\text{mol}/\text{L}$ | Nitritt $\mu\text{mol}/\text{L}$ | Silikat $\mu\text{mol}/\text{L}$ | Fosfat $\mu\text{mol}/\text{L}$ | Alger celler/mL   |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| Brakkvann topp | 0,7                             | 0,08                             | 8,9                              | 0,05                            | $5,7 \cdot 10^5$  |
| Saltvann bunn  | 8,1                             | 0,13                             | 17,6                             | 1,69                            | $2,19 \cdot 10^3$ |

Vi estimerer cellekonsentrasjon i tanken ved å anta at algekonsentrasjonen øker lineært fra bunn og opp til overflaten.

$$N^*_t \approx \frac{N^*_1 + N^*_2}{2} = \frac{(5,7 \cdot 10^5 + 2,19 \cdot 10^3)\text{celler/mL}}{2} \approx 2,8 \cdot 10^5 \text{celler/mL}$$

Ved telling av celler ved start av eksperimentet var majoriteten av cellene i delingsfasen, se. tabell 5. Etter avsluttet eksperiment ble det tatt prøve fra overflate

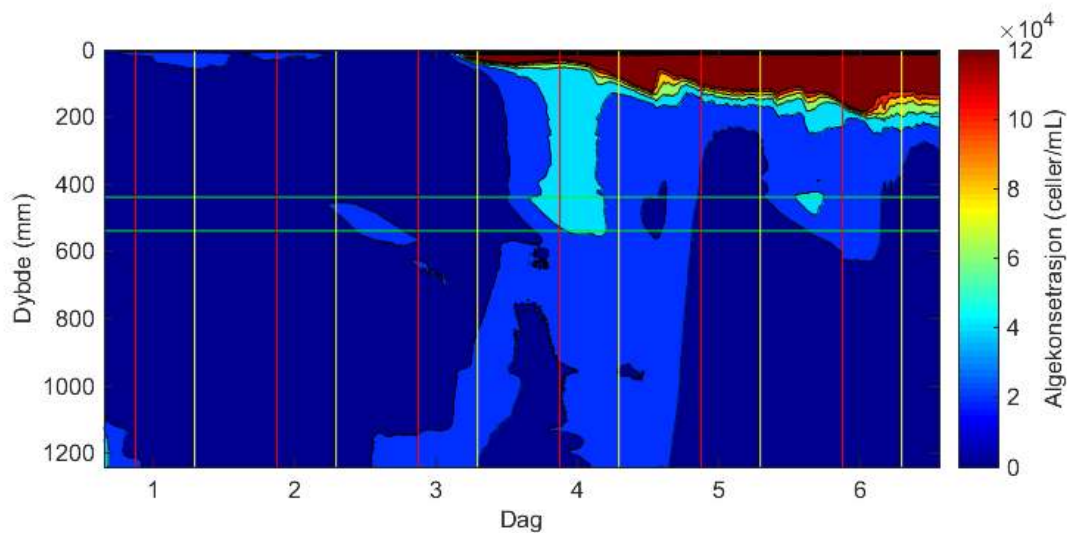
der cellene var mobile og svømte raskt, i bunnprøven var det færre svømmende celler, omkring 10% av cellene svømte.

Nedenfor er vekstresultat for eksperiment 3 vist i tabell 7, der  $N_1$  er startverdi og  $N_2$  er verdi ved avsluttet eksperiment.

Tabell 7: Resultater for eksperiment 3

| $N_1$             | $N_2$             | $\mu$ |
|-------------------|-------------------|-------|
| celler            | celler            | del/d |
| $1,52 \cdot 10^9$ | $45,4 \cdot 10^9$ | 0,316 |

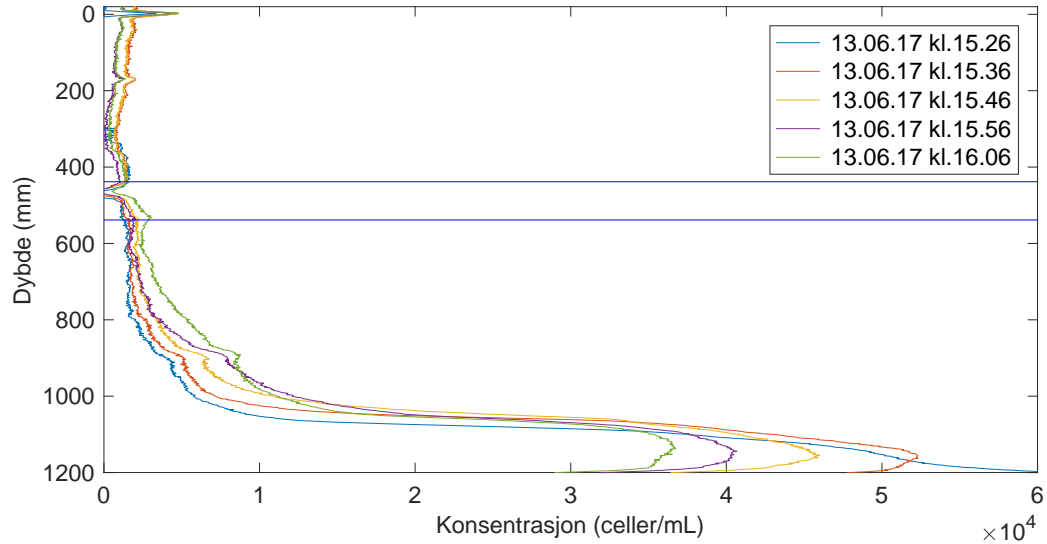
For å få et overblikk av utviklingen i eksperimentet ble alle datafiler slått sammen og plottet i et konturplott se konturplott nedenfor i figur 45.



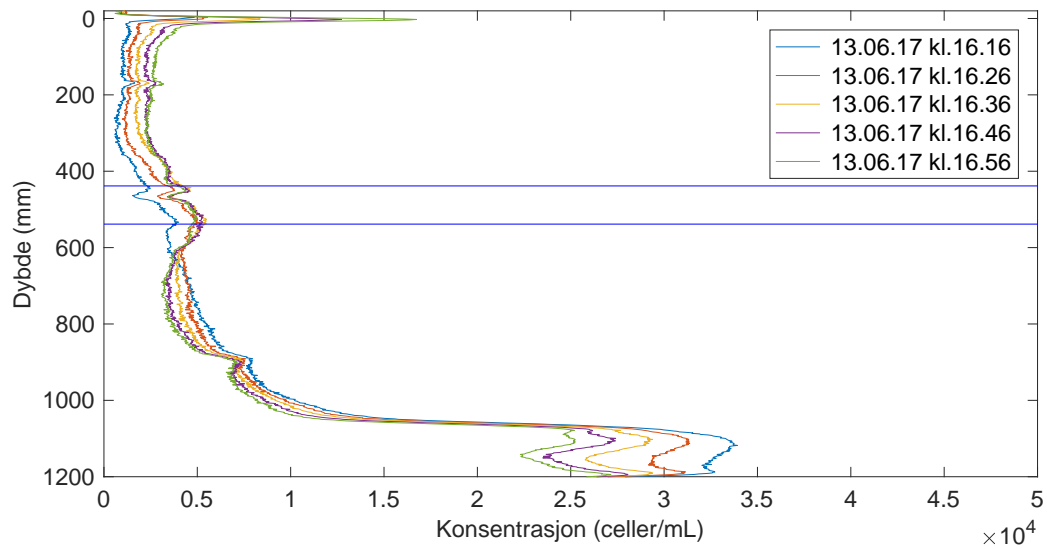
Figur 45: Konturplott av eksperiment 3, fra dag 0 til 7  
 Horisontale grønne linjer markerer haloklin med grenser. Vertikale gule linjer indikerer start av lysperiode. Vertikale røde linjer indikerer start av mørkeperiode. Døgnsyklus 14:10.

Som en ser av konturplottet er det mulig å se konsentrasjonsendring i de enkelte dybdeintervallene over hele eksperimentet. Algekonsetrasjonen i overflaten øker kraftig fra dag 3 og utover i eksperimentet. Det er vanskelig å se raske endringer i konsentrasjoner og vertikalforflytning i konturplottet.

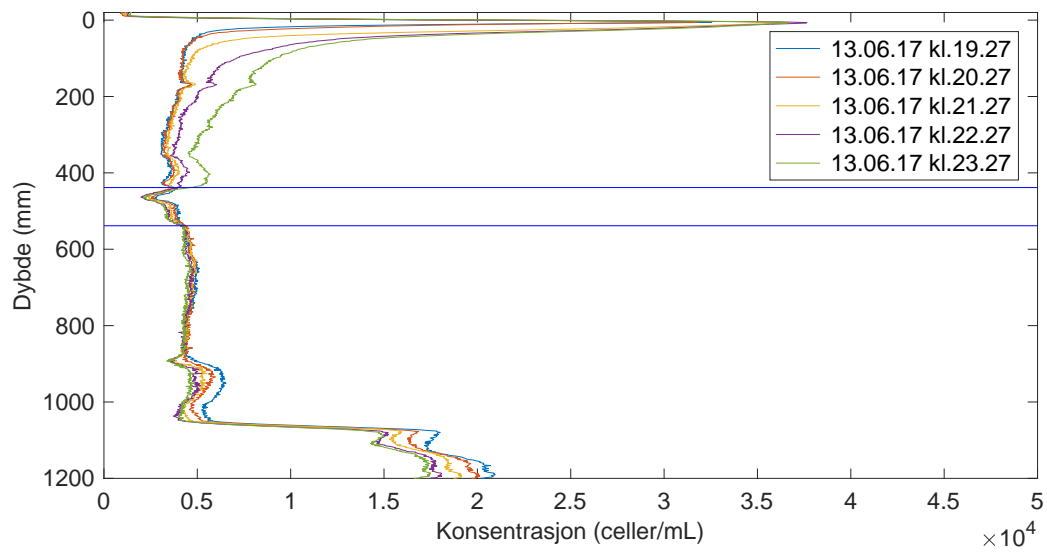
Det ble derfor benyttet xy-plott for å få frem detaljer i mikroalgenes vertikale forflytning. Utvalgte profileringer av eksperiment 3 er vist i x-y plott fra figur 46-52.



Figur 46: Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 1. Start av eksperiment etter innlegging av algekultur i bunn. Horisontale blå linjer markerer haloklin med grenser

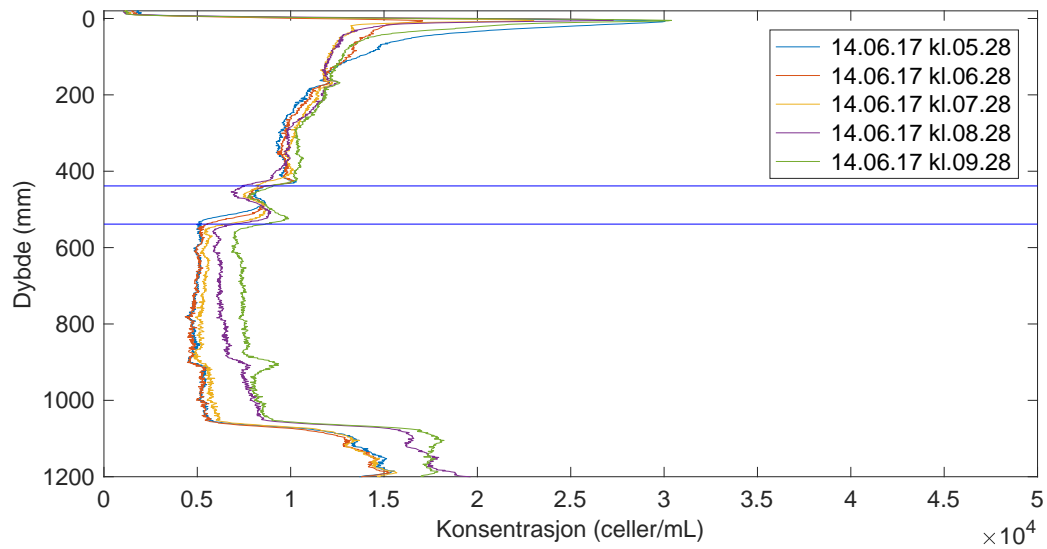


Figur 47: Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 2  
 Algene beveger seg mot overflaten og lyskilden, konsentrasjonen synker under haloklin og øker over haloklin.

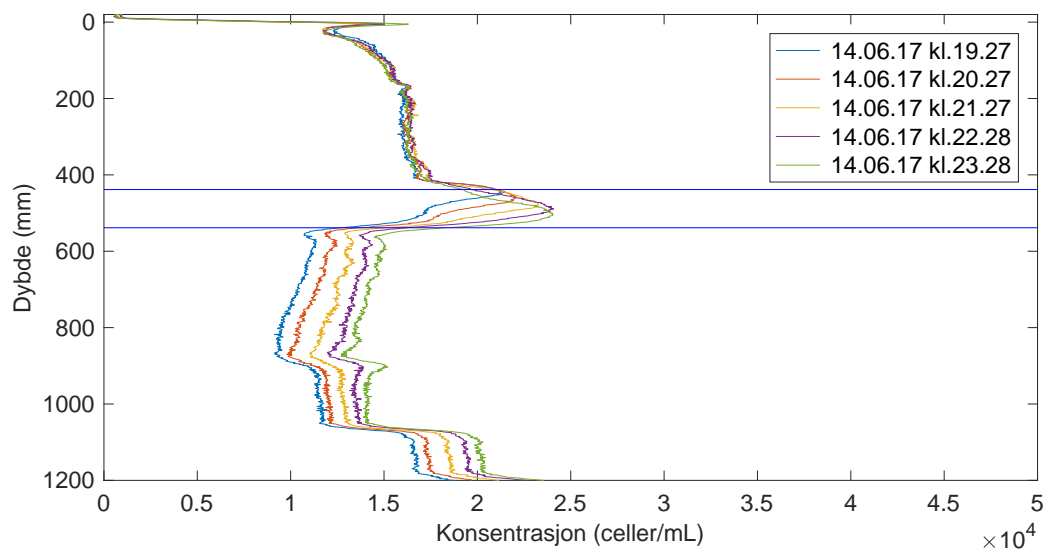


Figur 48: Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 3  
 Overgang fra lys til mørke kl:21.00. Algene trekker tilsynelatende fortsatt til overflaten etter mørke.

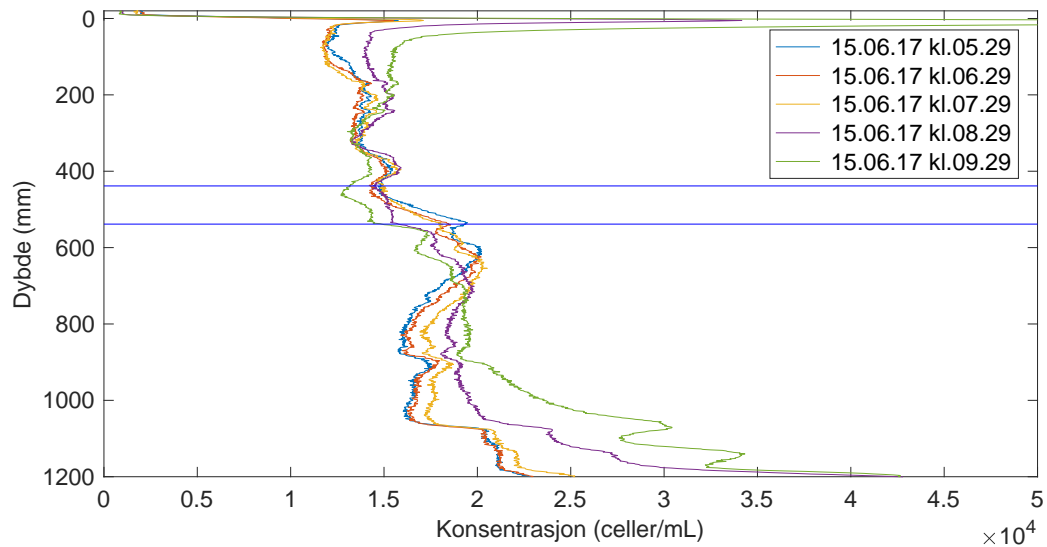




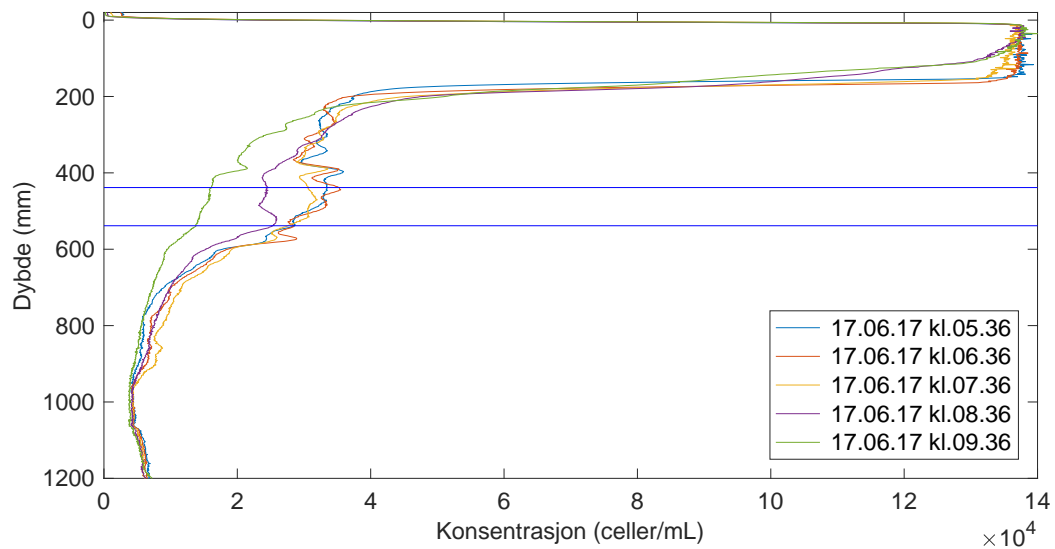
Figur 49: Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 4  
 Overgang fra mørke til lys kl:07.00. I løpet av natten har algekonsentrasjon sunket ved overflaten. Algene vandrer mot overflaten etter lysaktivering.



Figur 50: Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 5  
 Algene starter migrering fra brakkvann og gjennom haloklin, før overgang fra lys til mørke blir aktivert kl:21.00.



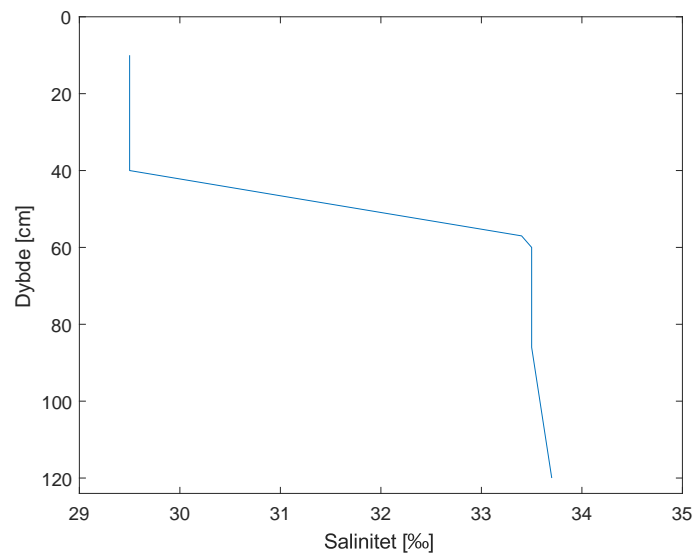
Figur 51: Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 6  
 Overgang fra mørke til lys aktivert kl:07.00. Mikroalgene øker konsentrasjon over og under saltgradient, og reduserer konsentrasjon ved saltgradient.



Figur 52: Algekonsentrasjon eksperiment 3, plott 10  
 Roligere vertikal vandring gjennom haloklin, ved overgang fra mørke til lys.  
 Fortsatt økt konsentrering av mikroalger i overflaten.

Tid og volum ble logget under påfylling av algetanken under forberedelse av eksperimentene. Data er presentert som x-y plott i vedlegg. Måling av saltinnhold i algetanken ble utført etter eksperimentet var avsluttet for å verifisere saltgradientens eksistens.

Algetankens salinitetsprofil ble målt manuelt etter at eksperimentet var avsluttet. Dette ble utført for å kontrollere at gradienten var intakt under hele eksperimentet. Data er presentert som x-y plott i figur 53 nedenfor.



Figur 53: Måling av saltgradient eksperiment 3

Som vi ser av figur 53 er saltgradienten intakt og sterk. Eksperimentelle observasjoner er notert underveis og er presentert i tabell 25 i vedlegg.

#### 4.4 Eksperiment 4, *Tetraselmis chui*, hvitt lys

Eksperiment 4 benyttet algekulturen *Tetraselmis chui* som forsøksorganisme. Kulturen ble dyrket frem i bioreaktor ved UiB og har vist seg å være en lite aktiv svømmer der omtrent 10% av cellene har vært aktive svømmere. Resterende mikroalger har inntatt en vegetativ tilstand.

Eksperiment 4 inngår som en serie med fire eksperimenter med *Tetraselmis chui*, der dette eksperimentet ble utført med hvitt lys. Lysintensiteten ble justert til  $80\mu\text{mol}/\text{sm}^2$ . Det er rødt, grønn og blå LEDlys som simulerer hvitt lys i dette eksperimentet. Døgnsyklus lys:mørke ble satt til 14:10, lys start kl:07.00 og mørke ble aktivert kl:21.00. Profilerings ble utført hvert 15. minutt. Nedenfor er startverdier for eksperiment 4 gitt i tabell 8.

Tabell 8: Startverdier for eksperiment 4

| Vannlag       | Volum<br>L | Salinitet<br>‰ | Konsentrasjon<br>celler/mL |
|---------------|------------|----------------|----------------------------|
| Brakkvann     | 71,5       | 29             | 0                          |
| Saltvann      | 88,5       | 34,2           | 0                          |
| Algekultur*   | 20         | 34,8           | $75 \cdot 10^3$            |
| Saltvann bunn | 1,5        | 34,9           | 0                          |
| Total         | 181,5      | 32,2           | $8,2 \cdot 10^3$           |

Etter avslutning av eksperimentet ble prøver for bestemming av cellekonsentrasjon og næringstoffinnhold tatt ved topp, rett under overflate, og bunn ved tapping. Deretter ble salinitet målt mot dybde i tanken med saltmåler. Til slutt ble alge-tanken grundig rørt, spesielt på bunn der mesteparten av mikroalgene befant seg. Direkte etter tanken var blandet ble det tatt prøve for bestemming av algekon-sentrasjon, måleverdier er gitt i tabell 9. I tillegg ble det kjørt en siste profilering som er vist i figur 72, for å kunne bestemme cellekonsentrasjon. Gjennomsnittet av avsluttende profilering etter omrøring er  $1358\text{celler}/\text{mL}$ , noe som samsvarer dårlig med konsentrasjon bestemt ved celledelling i mikroskop på  $2,5 \cdot 10^4\text{celler}/\text{mL}$ . Dette kan tyde på at algekonsentrasjon under kalibrering *Tetraselmis chui* har vært høyere enn antatt, og en har derfor fått feil kalibreringskurve. En kan likevell studere vertikalvandringen til mikroalgene, selv om konsentrasjonen ikke er direkte representativ.

Tabell 9: Måleverdier etter avsluttet eksperiment 4

| Vannlag        | Nitrat<br>μmol/L | Nitritt<br>μmol/L | Silikat<br>μmol/L | Fosfat<br>μmol/L | Konsentrasjon<br>celler/mL |
|----------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------------------|
| Brakkvann topp | 1,1              | 0,10              | 9,9               | 0,17             | $4 \cdot 10^4$             |
| Saltvann bunn  | 192,3            | 1,27              | 12,2              | 16,28            | 0                          |
| Etter omrøring | n/a              | n/a               | n/a               | n/a              | $2,5 \cdot 10^4$           |

Det ble ikke tatt prøve av næringsstoffer etter omrøring, derfor er verdier angitt som n/a i tabell 9. Prøvetaking av næringsstoffer fra bunn av algetank viser unormalt høye konsentrasjoner av nitrat, silikat og fosfat. Dette skyldes trolig utilstrekkelig spyling fra bunnventil før prøvetaking. Fordampede sjøvannsrester har da blitt liggende igjen i rørsystem og blitt med i prøven. Grunnen til at vi ikke kunne finne mikroalger i bunnprøven, kan være fordi de var få eller ingen svømmende *Tetraselmis chui* celler på bunnnivå under prøvetaking.

Beregning av totalt antall algeceller utføres ved å multiplisere algekonsentrasjon med tankvolum,  $N = N^* \cdot V$ . Vekstrater ( $\mu$ ) er gitt som delinger per døgn (del/d) og kan beregnes med ligning nedenfor [9]:

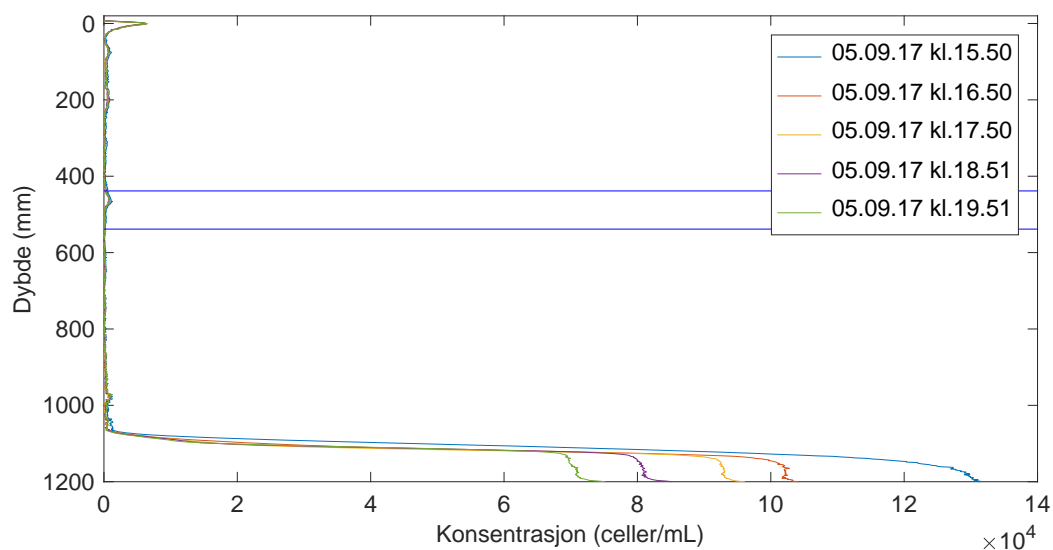
$$\mu = \frac{\ln(N_2/N_1)}{\ln(2)/t} \quad (49)$$

Nedenfor er vekstresultat for eksperiment 4 vist i tabell 10, der  $N_1$  er startverdi og  $N_2$  er verdi ved avsluttet eksperiment.

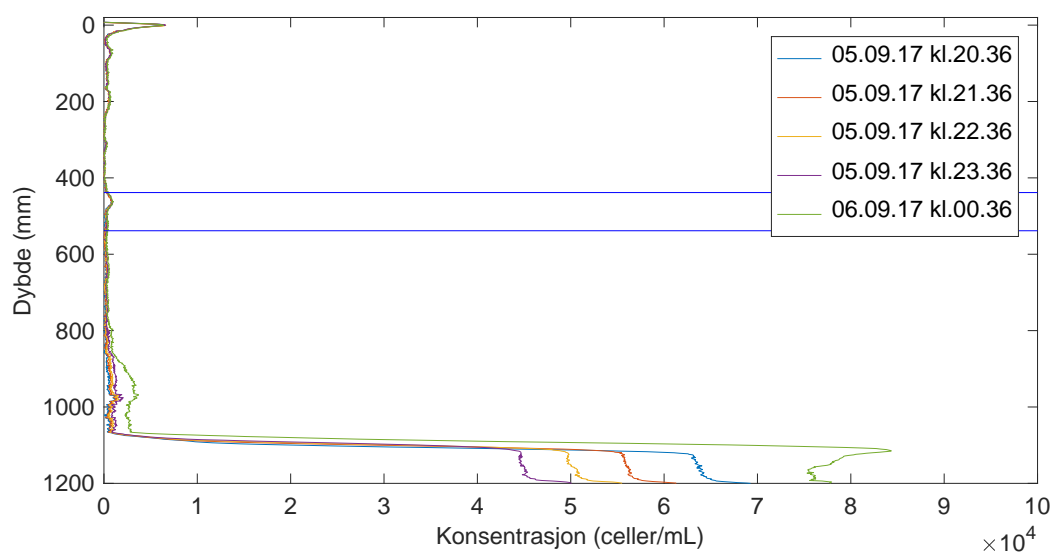
Tabell 10: Resultater for eksperiment 4

| $N_1$<br>celler   | $N_2$<br>celler   | $\mu$<br>del/d |
|-------------------|-------------------|----------------|
| $1,49 \cdot 10^9$ | $4,54 \cdot 10^9$ | 0,201          |

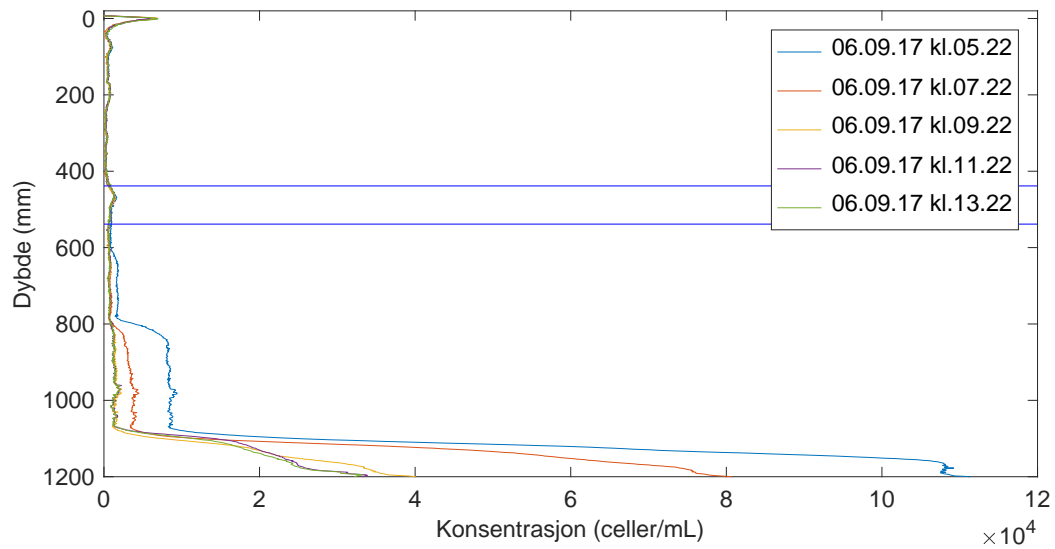
I eksperiment 4 har vi hatt 0,201 celledelinger per døgn med hvitt lys og  $80 \mu\text{mol}/\text{sm}^2$  lysintensitet. De aller fleste algecellene la seg på bunn kort tid etter start av eksperimentet og kun et fåtall av algecellene var aktivt svømmende. Se utvalgte profileringer fra eksperimentet i figur 54 til 72.



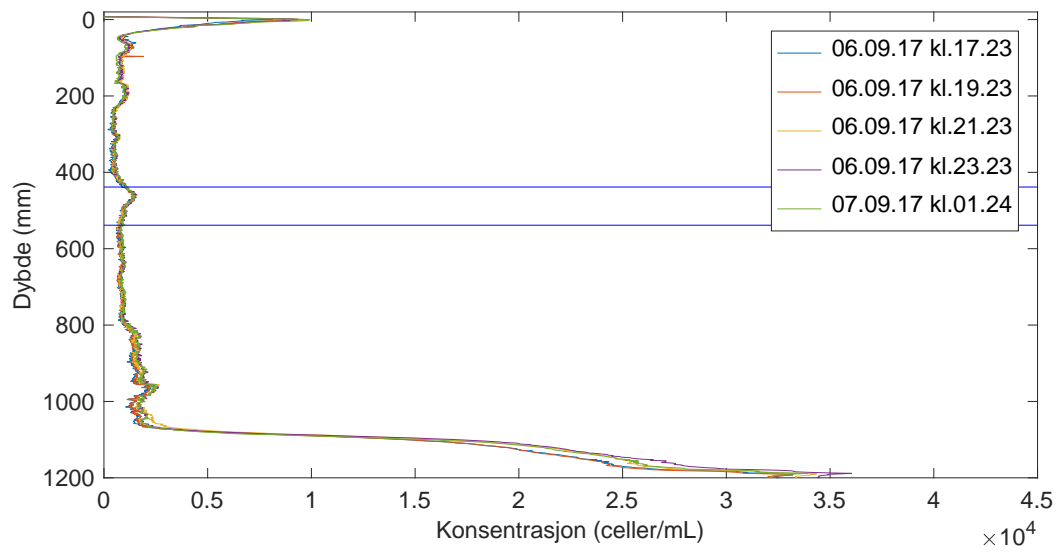
Figur 54: Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 1  
 Start av eksperiment kl:15.35, en kan tydelig se hvordan algene søker mot bunn av tanken. Horisontale linjer indikerer haloklin med grenser.



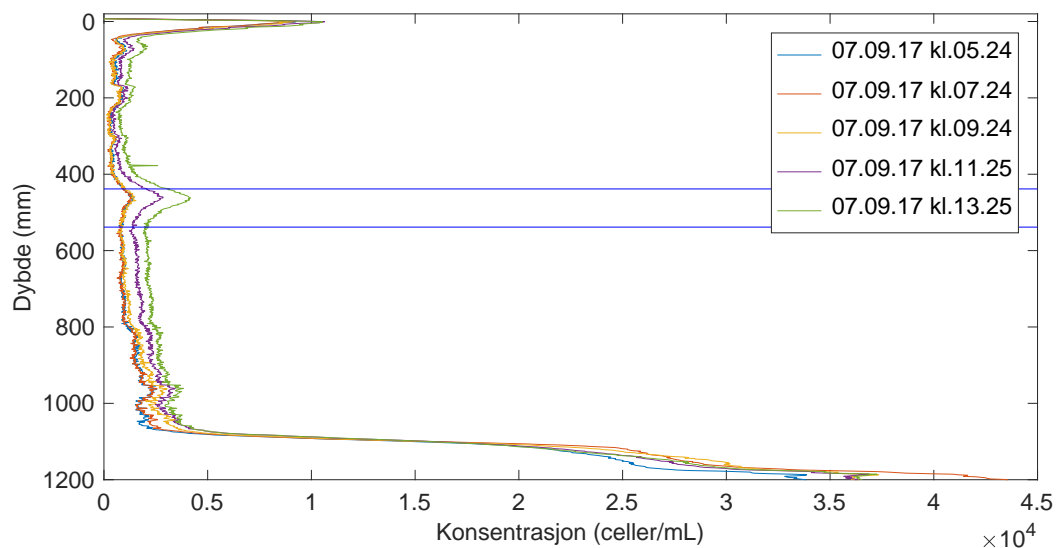
Figur 55: Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 2  
 Svak konsentrasjonsøkning over hele vannkolonnens dybde. Overgang fra lys til mørke kl:21.00.



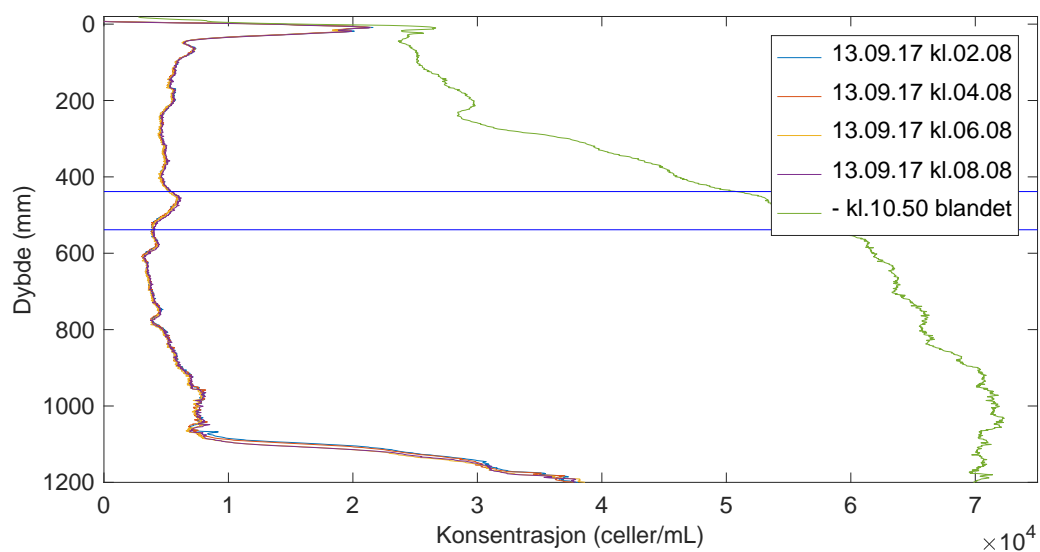
Figur 56: Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 3  
Overgang fra mørke til lys kl:07.00.



Figur 57: Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 4  
Overgang fra lys til mørke kl:21.00.



Figur 58: Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 5  
Overgang fra mørke til lys kl:07.00.



Figur 59: Algekonsentrasjon eksperiment 4, plott 6  
Siste profilering etter avsluttet eksperiment, og blanding av vannmasser i  
algetank kl:10.50.



## 4.5 Eksperiment 5, *Tetraselmis chui*, rødt lys

Eksperiment 5 ble utført med rødt LEDlys som lyskilde. Lysintensiteten ble justert til  $80\mu\text{mol}/\text{sm}^2$ . Påfylling av brakkvann, saltvann og algekonsentrasjon ble utført likt som i eksperiment 3 og 4, se figur 84 i vedlegg. Saltgradienten ble derfor lagt til samme posisjon som tidligere nevnte eksperimenter på 488mm dybde, dette er verifisert under måling av saltgradient. Døgnsyklus lys:mørke ble satt til 14:10, lys start kl:07.00 og mørke ble aktivert kl:21.00. Profilerings ble utført hvert 15. minutt. Startverdier for eksperimentet er gitt i tabell 11.

Tabell 11: Data for eksperimentet 5 ved start

| Vannlag       | Volum<br>L | Salinitet<br>‰ | Konsentrasjon<br>celler/mL |
|---------------|------------|----------------|----------------------------|
| Brakkvann     | 71,5       | 29             | 0                          |
| Saltvann      | 87,5       | 34,4           | 0                          |
| Algekultur*   | 20         | 34,9           | $76 \cdot 10^3$            |
| Saltvann bunn | 2,5        | 34,9           | 0                          |
| Total         | 181,5      | 32,3           | $8,4 \cdot 10^3$           |

Etter avslutning av eksperimentet ble prøver for bestemmning av cellekonsentrasjon og næringstoffinnhold tatt ved topp, rett under overflate og bunn, ved tapping. Deretter ble salinitet målt mot dybde i tanken med saltmåler. Til slutt ble algetanken grundig rørt, spesielt på bunn der mesteparten av mikroalgene befant seg. Direkte etter tanken var blandet ble det tatt prøve for bestemmning av algekonsentrasjon, måleverdier er gitt i tabell 12. I tillegg ble det kjørt en siste profilering som er vist i figur 65.

Tabell 12: Måleverdier etter avsluttet eksperimentet 5

| Vannlag        | Nitrat<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Nitritt<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Silikat<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Fosfat<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Alger<br>celler/mL |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Brakkvann topp | 7,5                                | 0,23                                | 10,0                                | 0,47                               | 125                |
| Saltvann bunn  | 60,4                               | 0,66                                | 8,2                                 | 4,08                               | $14,0 \cdot 10^3$  |
| Etter omrøring | n/a                                | n/a                                 | n/a                                 | n/a                                | $13,5 \cdot 10^3$  |

Det ble ikke tatt prøve av næringsstoffer etter omrøring, derfor er verdier angitt som n/a i tabell 12. Prøvetaking av næringsstoffer fra bunn av algetank viser unormalt høye konsentrasjoner av nitrat. Dette skyldes trolig utilstrekkelig spyling

fra bunnventil før prøvetaking. Fordampede sjøvannsrester har da blitt liggende igjen i rørsystem og blitt med i prøven.

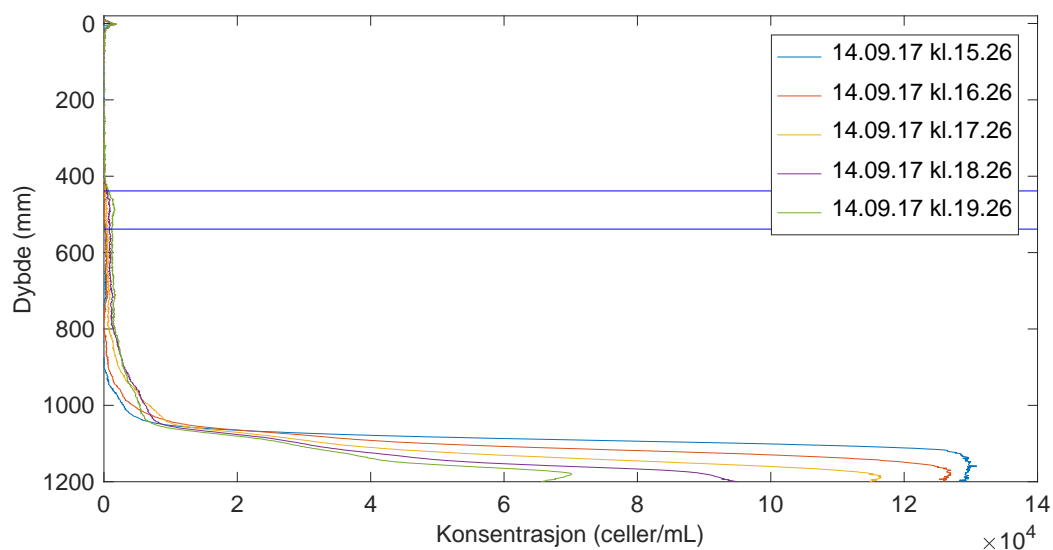
Nedenfor er vekstresultat for eksperiment 4 vist i tabell 13, der  $N_1$  er startverdi og  $N_2$  er verdi ved avsluttet eksperiment.

Tabell 13: Resultater for eksperiment 5

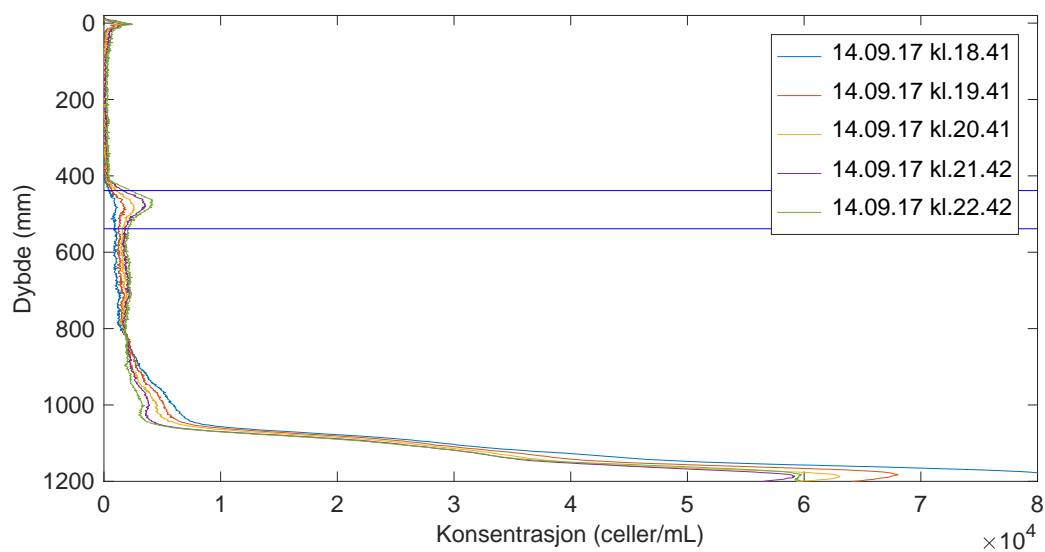
| $N_1$             | $N_2$             | $\mu$ |
|-------------------|-------------------|-------|
| celler            | celler            | del/d |
| $1,52 \cdot 10^9$ | $2,45 \cdot 10^9$ | 0,114 |

I eksperiment 5 har vi hatt 0,114 celledelinger per døgn med rødt lys og  $80\mu\text{mol}/\text{sm}^2$  lysintensitet. I dette eksperimentet har vi registret lysavhengig migrering gjennom haloklin, migreringen startet før overganger mellom lys og mørke. Dette tolkes ved å sammenligne profileringene før og etter overganger mellom lys og mørke. Se utvalgte profileringer fra eksperimentet i figur 60 til 65.

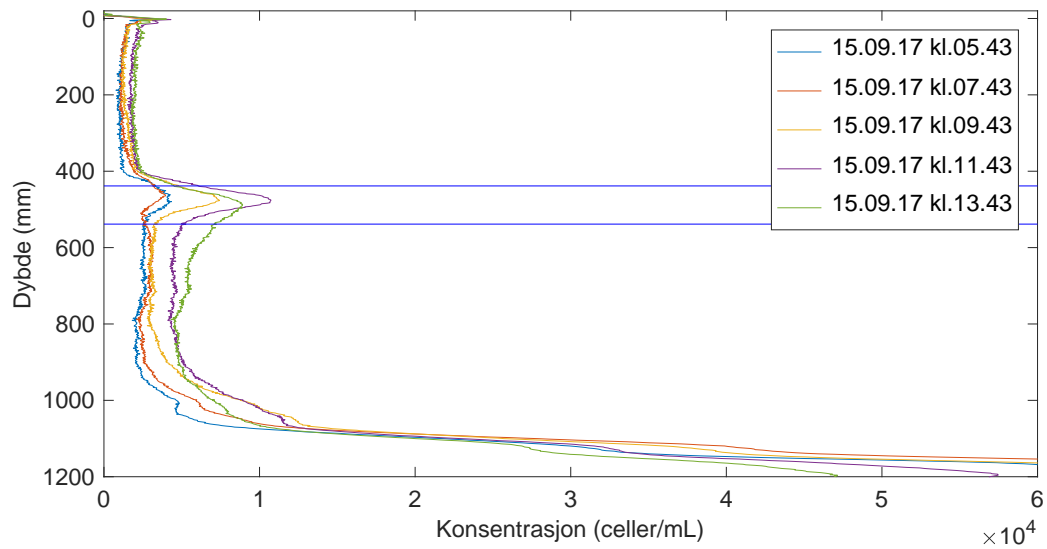
Det ble observert klumpeformede mørke organismer på bunn av algetank. Det var synlige spor i bunnlaget av levende og fotosynteseaktive mikroalger etter den klumpeformede organismen. Det ble antatt at det var en uønsket organisme som hadde kommet inn i tanken ved tilfeldigheter eller forurensing. Det ble derfor ikke iverksatt noe tiltak for å artsbestemme organismen, siden det var å betrakte som ett engangstilfelle.



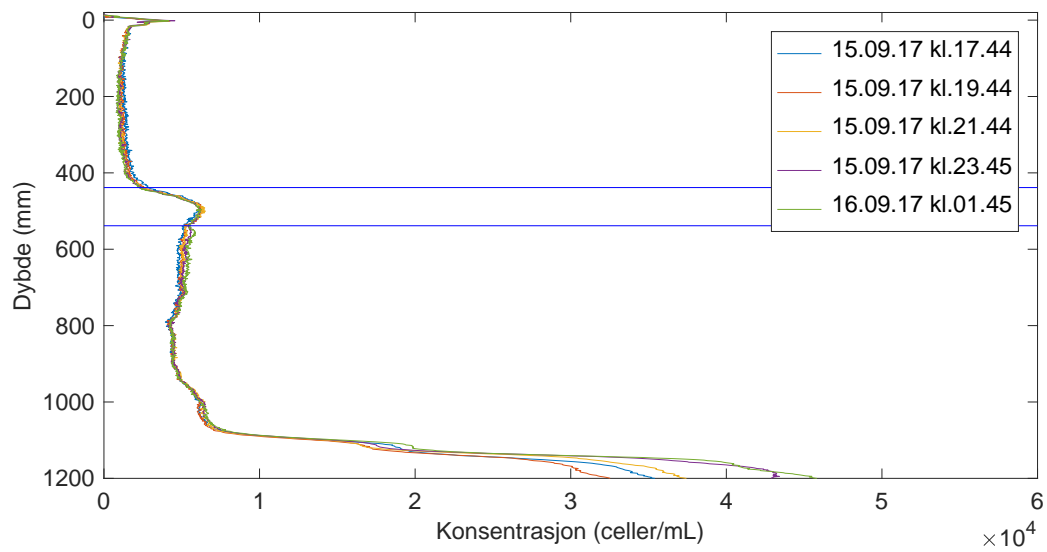
Figur 60: Profilerings eksperiment 5, plott 1  
 Start av eksperimentet kl:14.56, en kan se at mikroalgene legger seg gradvis ned på bunn. Horisontale linjer indikerer haloklin med grenser.



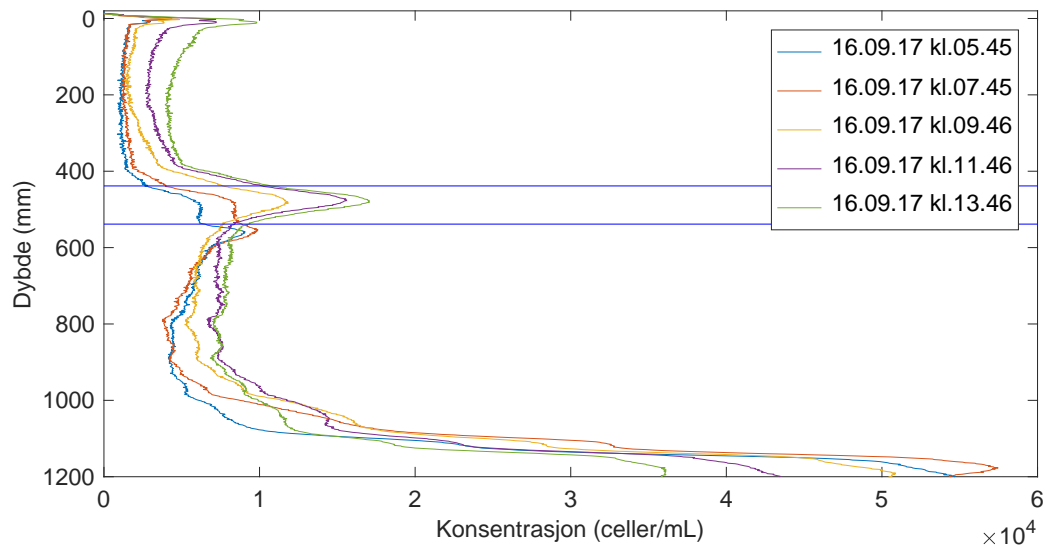
Figur 61: Profilerings eksperiment 5, plott 2  
 Overgang fra lys til mørke kl:21.00. Mikroalgene forflytter seg inn i haloklin fra bunnlag.



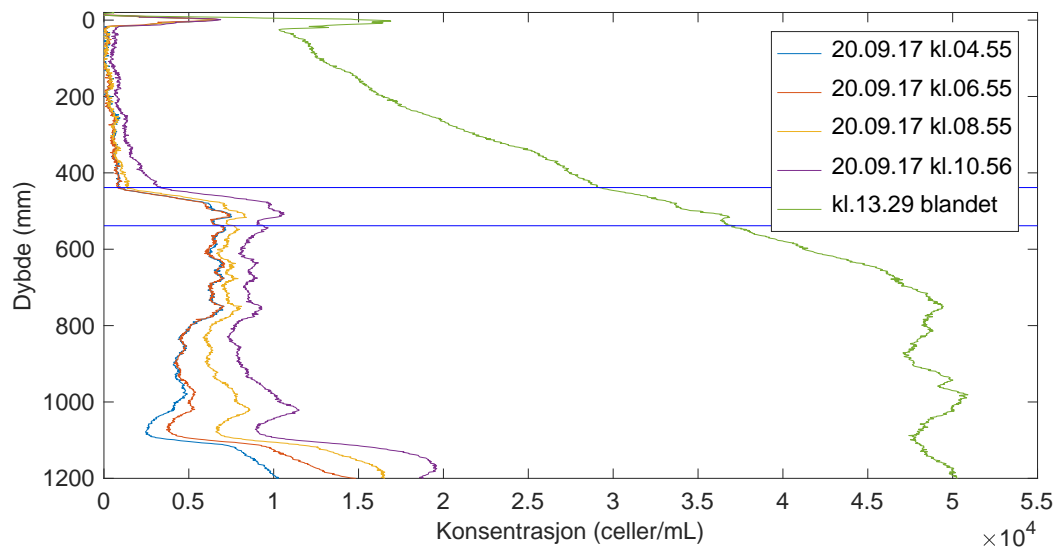
Figur 62: Algekonsentrasjon eksperiment 5, plott 3  
 Overgang fra mørke til lys kl:07.00. Mikroalgene migrerer fra bunn og til haloklin, noen få algeceller svømmer videre til overflaten.



Figur 63: Algekonsentrasjon eksperiment 5, plott 4  
 Overgang fra lys til mørke kl:21.00. Algene forflytter seg jevnt og sakte til bunn.



Figur 64: Algekonsentrasjon eksperiment 5, plott 5  
 Overgang fra mørke til lys kl:07.00. Vertikal migrering mot overflaten gjennom haloklin fra saltvannslag.



Figur 65: Algekonsentrasjon eksperiment 5, plott 6  
 Siste profilering etter avsluttet eksperiment, og blanding av vannmasser i algetank kl:13.29.

## 4.6 Eksperiment 6, *Tetraselmis chui*, grønt lys

Eksperiment 6 ble utført med grønn LEDlys som lyskilde. Lysintensiteten ble satt til maks intensitet som var  $50\mu\text{mol}/\text{sm}^2$ , altså  $30\mu\text{mol}/\text{sm}^2$  lavere enn i eksperiment 4 og 5. Påfylling av brakkvann, saltvann og algekonsentrasjon ble utført likt som i eksperiment 3 til 5, se figur 84 i vedlegg. Saltgradienten ble derfor lagt til samme posisjon som tidligere nevnte eksperimenter på 488mm dybde. Døgnsyklus lys:mørke ble satt til 14:10, lys start kl:07.00 og mørke ble aktivert kl:21.00. Profilerings ble utført hvert 15. minutt. Startverdier for eksperimentet er gitt i tabell 14.

Tabell 14: Data for eksperimentet 6 ved start

| Vannlag       | Volum<br>L | Salinitet<br>‰ | Konsentrasjon<br>celler/mL |
|---------------|------------|----------------|----------------------------|
| Brakkvann     | 71,5       | 28,7           | 0                          |
| Saltvann      | 87,5       | 34,6           | 0                          |
| Algekultur*   | 20         | 34,7           | $76 \cdot 10^3$            |
| Saltvann bunn | 2,5        | 34,7           | 0                          |
| Total         | 181,5      | 32,3           | $8,4 \cdot 10^3$           |

Etter avslutning av eksperimentet ble prøver for bestemmning av cellekonsentrasjon og næringstoffinnhold tatt av ved topp, rett under overflate og bunn, ved tapping. Deretter ble salinitet målt mot dybde i tanken med saltmåler. Til slutt ble algetanken grundig rørt, spesielt på bunn der mesteparten av mikroalgene befant seg. Direkte etter tanken var blandet ble det tatt prøve for bestemmning av algekonsentrasjon, måleverdier er gitt i tabell 15. I tillegg ble det kjørt en siste profilering som er vist i figur 72.

Tabell 15: Måleverdier for eksperimentet 6

| Vannlag        | Nitrat<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Nitritt<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Silikat<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Fosfat<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Alger<br>celler/mL |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Brakkvann topp | 8,9                                | 0,26                                | 9,7                                 | 0,65                               | $4 \cdot 10^4$     |
| Saltvann bunn  | 0,6                                | 0,06                                | 7,3                                 | 0,39                               | 0                  |
| Etter omrøring | n/a                                | n/a                                 | n/a                                 | n/a                                | $2,5 \cdot 10^4$   |

Det ble ikke tatt prøve av næringsstoffer etter omrøring, derfor er verdier angitt som n/a i tabell 15. Prøvetaking av næringsstoffer fra bunn av algetank viser

unormalt høye konsentrasjoner av nitrat. Dette skyldes trolig utilstrekkelig spyling fra bunnventil før prøvetaking. Fordampede sjøvannsrester har da blitt liggende igjen i rørsystem og blitt med i prøven.

Nedenfor er vekstresultat for eksperiment 6 vist i tabell 16, der  $N_1$  er antall celler ved start og  $N_2$  er antall celler ved avsluttet eksperiment.

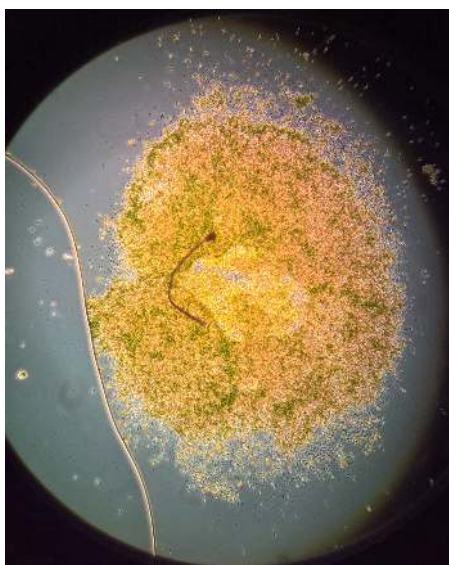
Tabell 16: Resultater for eksperiment 6

| $N_1$             | $N_2$             | $\mu$  |
|-------------------|-------------------|--------|
| celler            | celler            | del/d  |
| $1,52 \cdot 10^9$ | $9,08 \cdot 10^8$ | -0,125 |

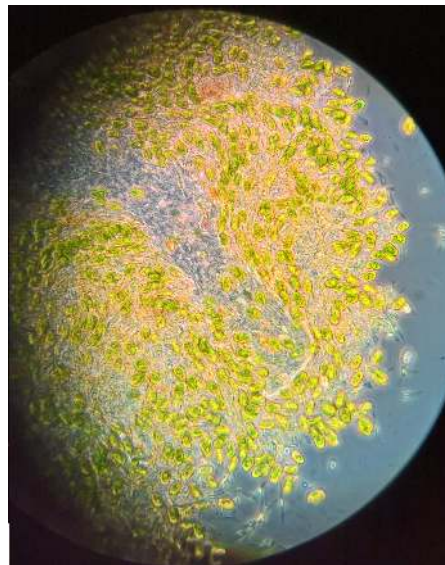
I eksperiment 6 har vi tilsynelatende hatt på -0,115 celledelinger per døgn med grønt lys og  $50\mu\text{mol}/\text{sm}^2$  lysintensitet. Dette vil si at celleveksten er negativ, det må sies at dette kan være en feilmåling, da det var svært vanskelig røre opp algene som hadde sugd seg fast på bunn. Det ble brukt nal med forlenger for å klare røre opp algene på bunn. Dette var vanskelig å få til i overgang til tappeventil og innvendige hjørner. Der algene også hadde inntatt vegetativ posisjon på bunn. Det er likevell rimelig å anta at negativ cellevekst er riktig med tanke på svak lysstyrke,  $30\mu\text{mol}/\text{sm}^2$  mindre enn i eksperiment 4 og 5.

Se utvalgte profileringer fra eksperimentet i figur 60 til 65.

De karakteristiske klumpeformede mørke organismene dukket også opp i dette eksperimentet. Det var synlige spor i bunnlaget av levende og fotosynteseaktive mikroalger etter den klumpeformede organismen. Det virket sannsynlig at den livnærte på *Tetraselmis chui* kulturen. For å artsbestemme organismen ble en prøve tatt fra bunnen ved hjelp av en glasspipette og 1,8m lang silikonslange. Etter en vellykket prøvetaking ble prøven studert i mikroskop, vi kunne konsantere at organismen var *Tetraselmis chui* som hadde inntatt en klumpeformet formasjon. Se utvalgte bilder fra mikroskop i figur 66.

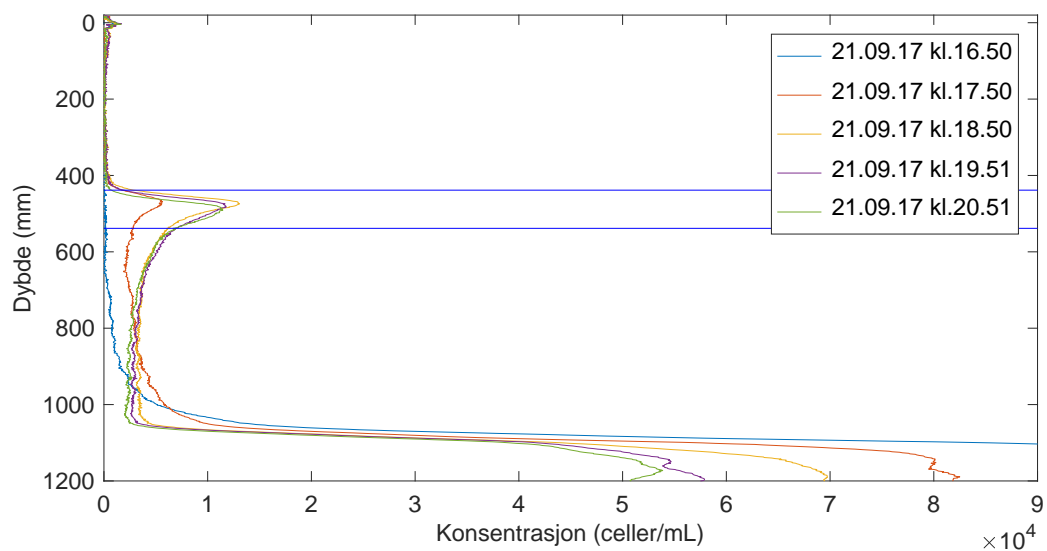


(a) Klumpeformet algeformasjon



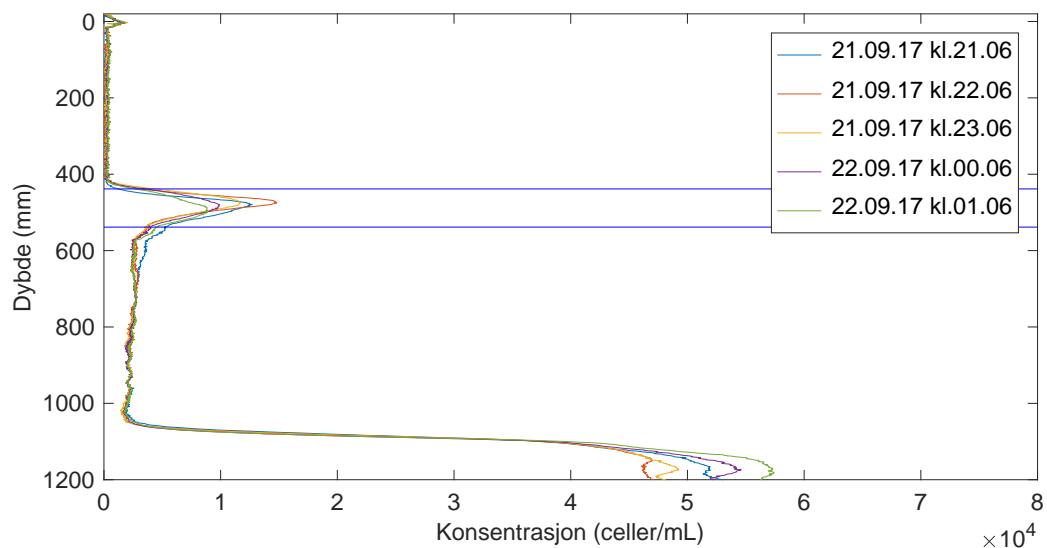
(b) Nærbilde av algeformasjon

Figur 66: Utvalgte mikroskopbilder av klumpeformede algeformasjoner med *Tetraselmis chui*.

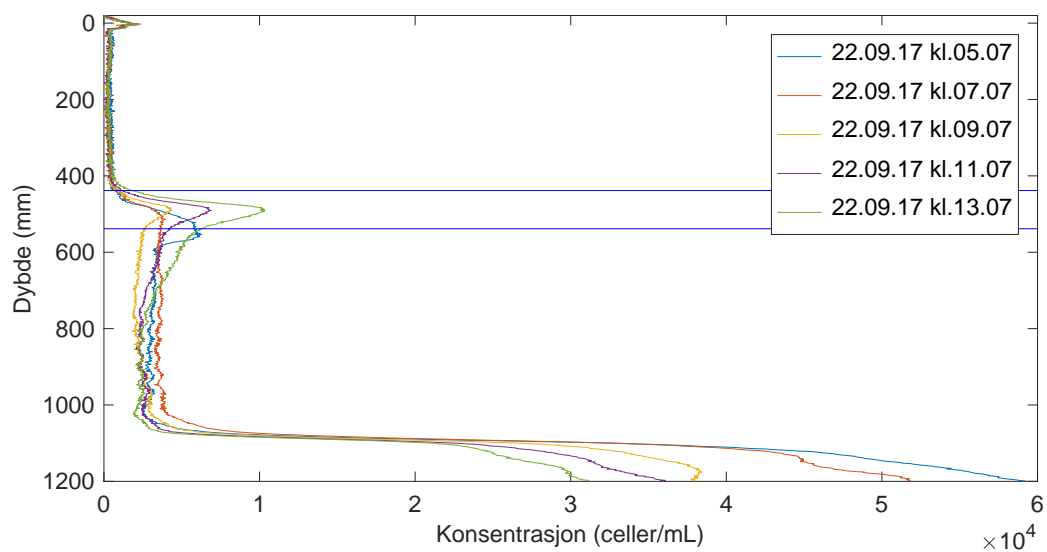


Figur 67: Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 1  
Start av eksperimentet kl:16.50, en kan se de algene som ikke legger seg på bunn samler seg i haloklin.

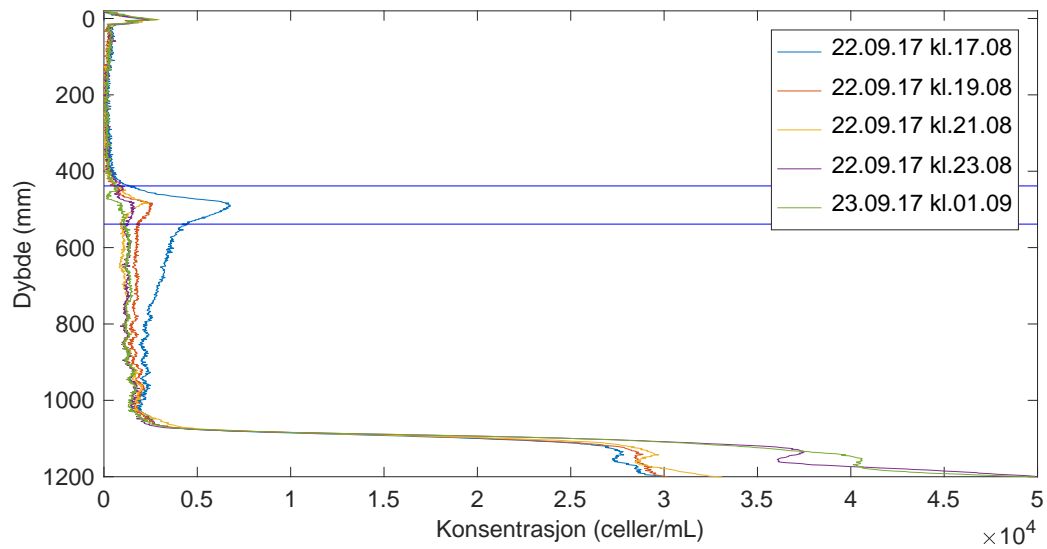




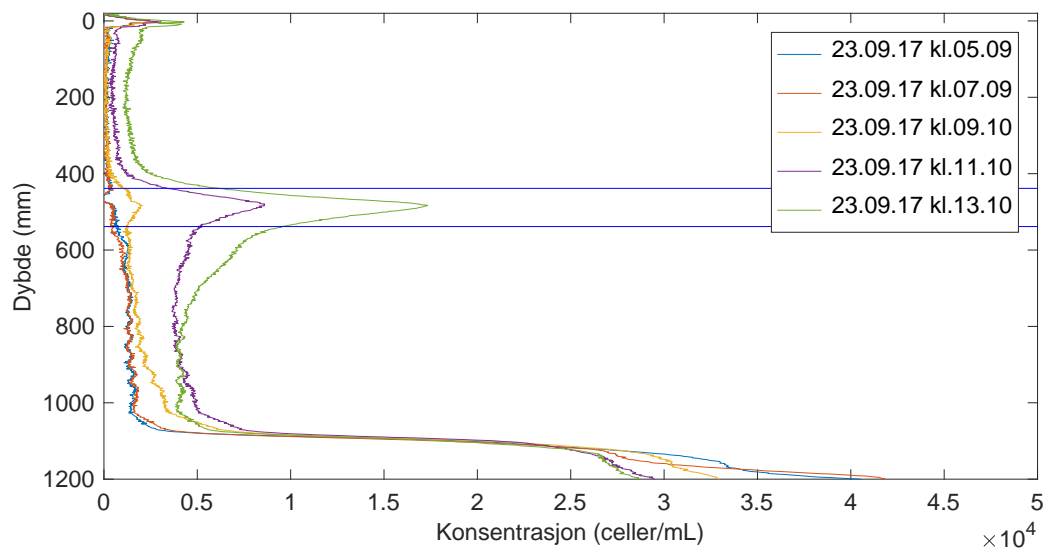
Figur 68: Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 2  
 Overgang fra lys til mørke kl:21.00. Algene begynner gradvis å trekke ut av haloklin og ned på bunn.



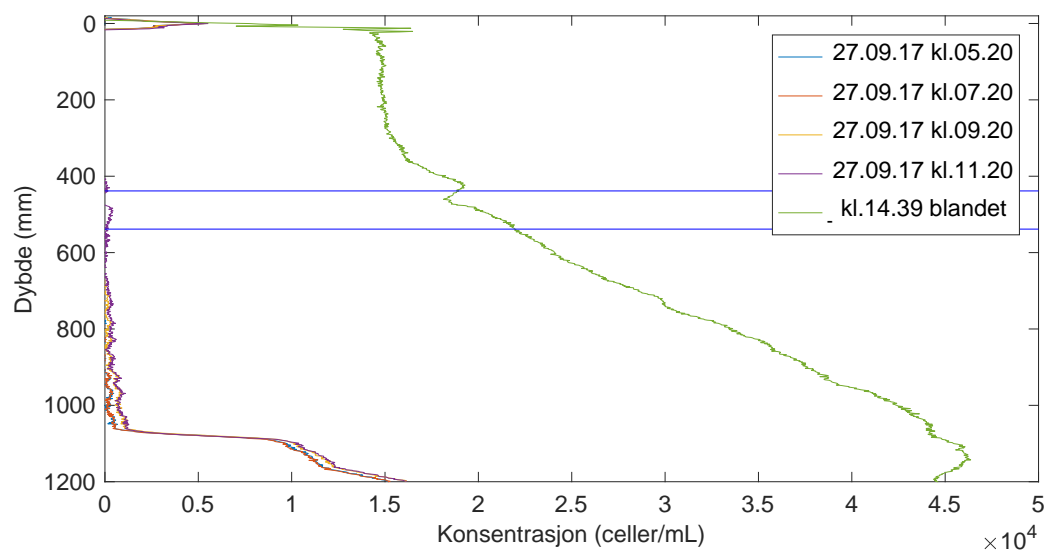
Figur 69: Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 3  
 Overgang fra mørke til lys kl:07.00. Algene trekke oppover mot haloklin og blir værende i saltgradient.



Figur 70: Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 4  
 Overgang fra lys til mørke kl:21.00. Algene trekker seg ut av haloklin og går mot bunn.



Figur 71: Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 5  
 Overgang fra mørke til lys kl:07.00. Algene migrer opp fra bunn og inn i haloklin der majoriteten blir værende, og en liten andel går videre til brakkvannet.



Figur 72: Algekonsentrasjon eksperiment 6, plott 6  
 Siste profilering etter avsluttet eksperiment, og blanding av vannmasser i algetank kl:10.50.

## 4.7 Eksperiment 7, *Tetraselmis chui*, Blått lys

Eksperiment 7 ble utført med blå LEDlys som lyskilde. Lysintensiteten ble justert til  $80\mu\text{mol}/\text{sm}^2$ . Lys/mørke syklus ble satt til 14 timer lys og 10 timer mørke. Med lys start kl:07.00, og mørke kl:21.00. Påfylling av brakkvann, saltvann og algekonsentrasjon ble utført likt som i eksperiment 3 til 6, se figur 84 i vedlegg. Saltgradienten ble derfor lagt til samme posisjon som tidligere nevnte eksperimenter på 488mm dybde. Døgnsyklus lys:mørke ble satt til 14:10, lys start kl:07.00 og mørke ble aktivert kl:21.00. Profilerings ble utført hvert 15. minutt. Startverdier for eksperimentet er gitt i tabell 17.

Tabell 17: Data for eksperimentet 7 ved start

| Vannlag       | Volum<br>L | Salinitet<br>‰ | Konsentrasjon<br>celler/mL |
|---------------|------------|----------------|----------------------------|
| Brakkvann     | 71,5       | 28,8           | 0                          |
| Saltvann      | 87,5       | 34,7           | 0                          |
| Algekultur*   | 20         | 34,8           | $75,9 \cdot 10^3$          |
| Saltvann bunn | 2,5        | 34,8           | 0                          |
| Total         | 181,5      | 34,4           | $8,4 \cdot 10^3$           |

Etter avslutning av eksperimentet ble prøver for bestemmning av cellekonsentrasjon og næringstoffinnhold tatt av ved topp, rett under overflate og bunn, ved tapping. Deretter ble salinitet målt mot dybde i tanken med saltmåler. Til slutt ble algetanken grundig rørt, spesielt på bunn der mesteparten av mikroalgene befant seg. Direkte etter tanken var blandet ble det tatt prøve for bestemmning av algekonsentrasjon, resultater gitt i tabell 18. I tillegg ble det kjørt en siste profilering som er vist i figur 79.

Tabell 18: Resultater for eksperimentet 7

| Vannlag        | Nitrat<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Nitritt<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Silikat<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Fosfat<br>$\mu\text{mol}/\text{L}$ | Alger<br>celler/mL |
|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| Brakkvann topp | 8,3                                | 0,23                                | 9,7                                 | 0,56                               | 0                  |
| Saltvann bunn  | 0,5                                | 0,04                                | 7,4                                 | 0,00                               | $8,3 \cdot 10^3$   |
| Etter omrøring | n/a                                | n/a                                 | n/a                                 | n/a                                | $10,1 \cdot 10^3$  |

Det ble ikke tatt prøve av næringsstoffer etter omrøring, derfor er verdier angitt som n/a i tabell 15.

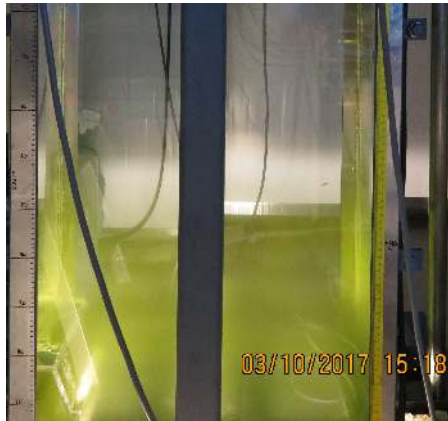
Nedenfor er vekstresultat for eksperiment 4 vist i tabell 13, der  $N_1$  er startverdi og  $N_2$  er verdi ved avsluttet eksperiment.

Tabell 19: Resultater for eksperiment 7

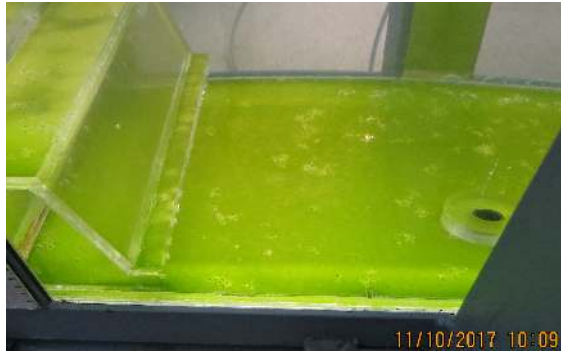
| $N_1$             | $N_2$             | $\mu$ |
|-------------------|-------------------|-------|
| celler            | celler            | del/d |
| $1,52 \cdot 10^9$ | $1,83 \cdot 10^9$ | 0,038 |

I eksperiment 7 har vi hatt 0,038 celledelinger per døgn med blått lys og  $80\mu\text{mol}/\text{sm}^2$  lysintensitet. Se utvalgte profileringer fra eksperimentet i figur 74 til 79.

Valgte kameraløsning viste seg å være mindre egnet til å verifisere endringer i hvitt lys og uegnet til å registrere endringer i tanken i rødt, grønt og blått lys. Det ble derimot tatt gode bilder etter avsluttet eksperiment av de karakteristiske klumpeformede algeformasjonene på bunn av algetank. Det ble utført et forsøk på å samle inn en prøve av algeformasjonene for mikroskopanalyse, men de gikk desverre i oppløsning under forsøket. Nedenfor er utvalgte bilder under og etter eksperimentet vist i figur 73.



(a) Påfylling av algekonsentrasjon.



(b) Algeformasjon på bunn etter endt eksperiment.

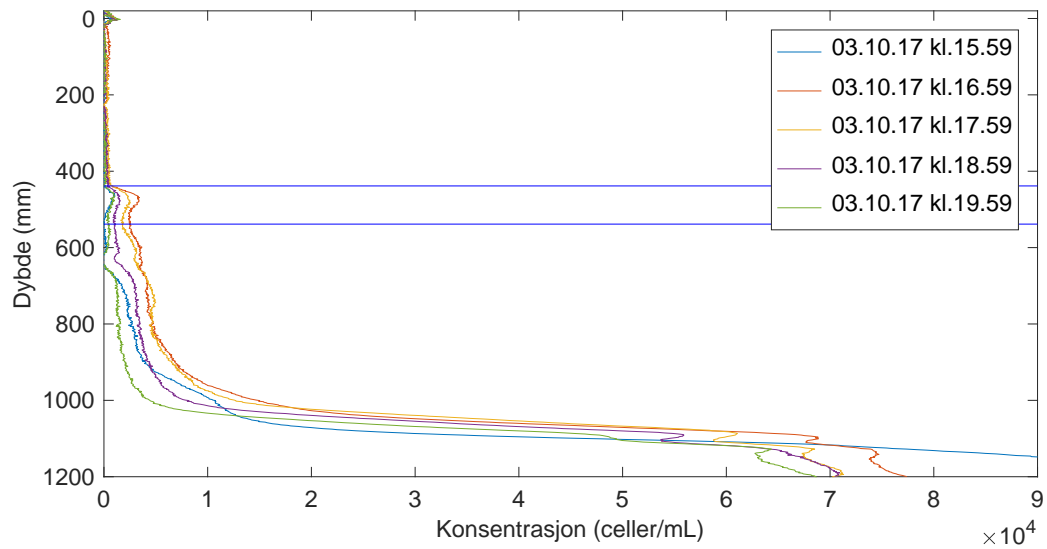


(c) Algetank ved start av eksperiment.

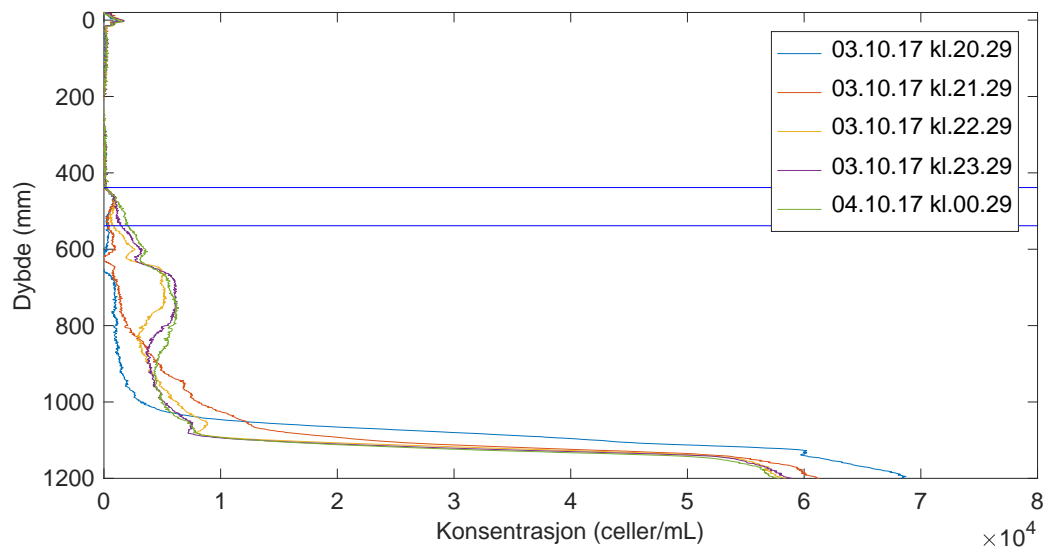


(d) Algetank ved slutt av eksperiment.

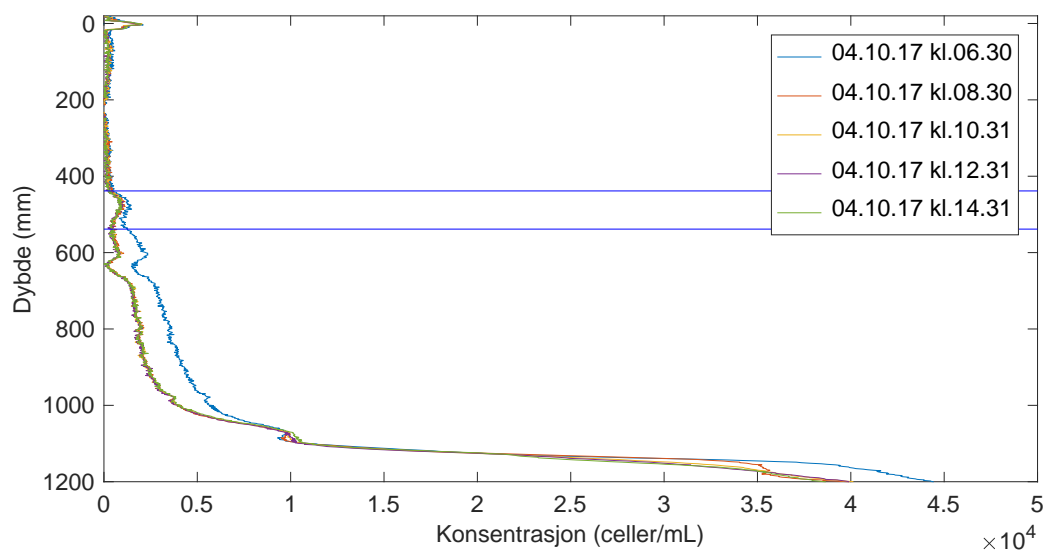
Figur 73: Utvalgte bilder fra eksperiment 7.



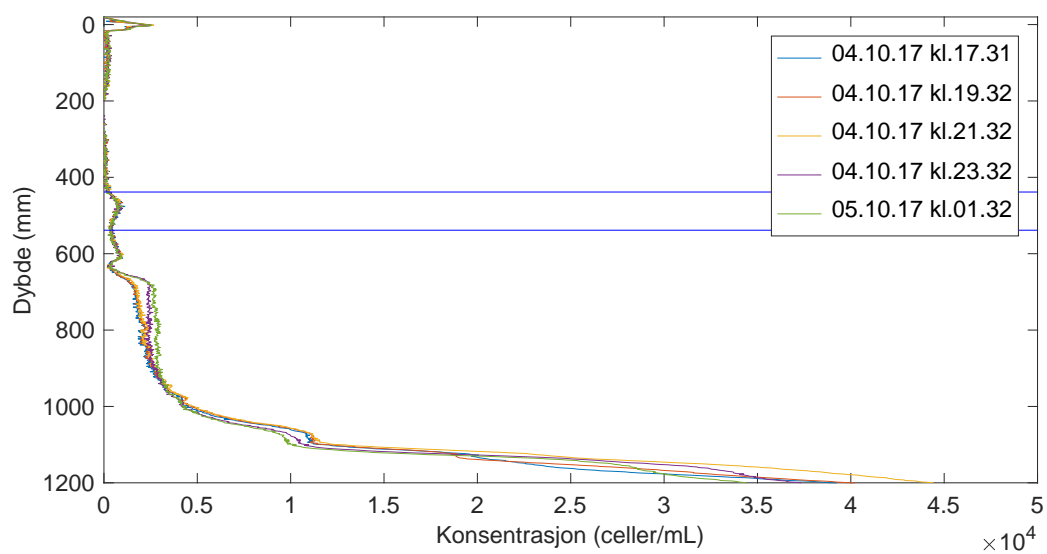
Figur 74: Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 1  
 Start av eksperiment kl:15.59. Horisontale linjer indikerer haloklin med grenser.  
 Algene lager seg en konsentrasjonstopp under haloklin.



Figur 75: Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 2  
 Overgang fra lys til mørke kl:21.00. Algene svømmer tilsynelatende gradvis mot  
 haloklin før de snur etter mellom kl: 21.29 og 22.29 og svømmer ned mot bunn.

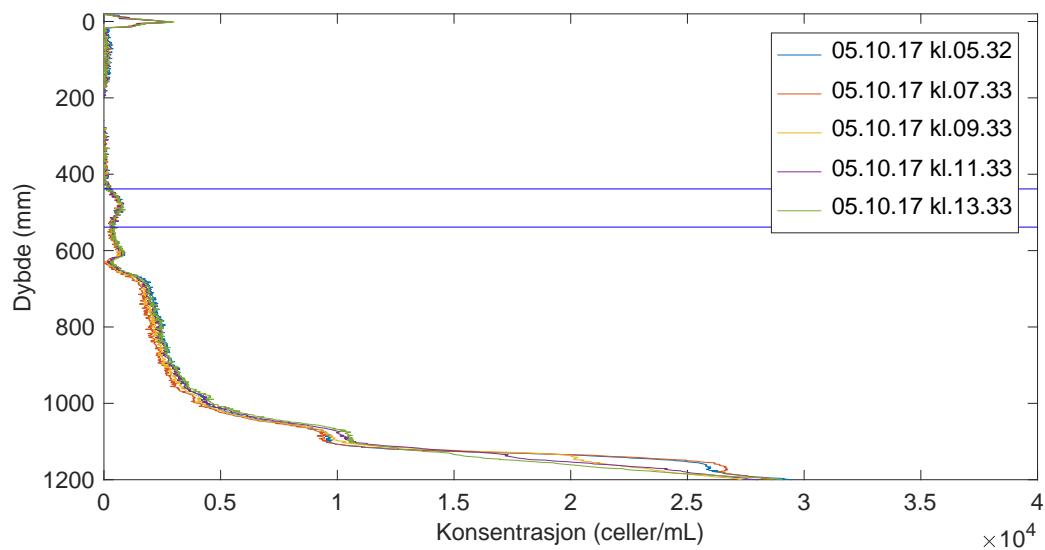


Figur 76: Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 3  
 Overgang fra mørke til lys kl:07.00. Svak vertikalflytning av alger mot bunn.

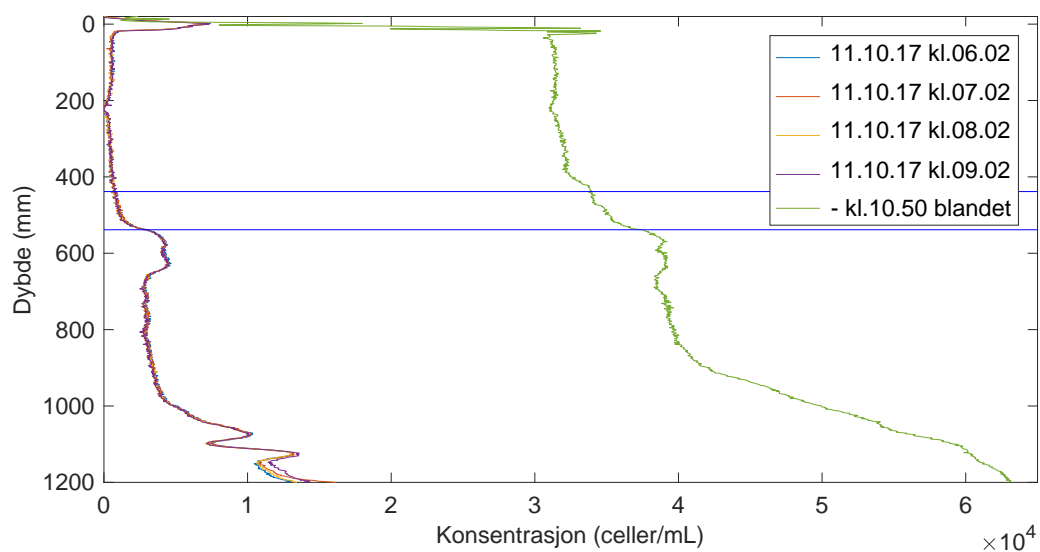


Figur 77: Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 4  
 Overgang fra lys til mørke kl:21.00. Liten vertikalflytning av alger.





Figur 78: Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 5  
Overgang fra lys til mørke kl:21.00. Svak vertikalflytning i algetanken.



Figur 79: Algekonsentrasjon eksperiment 7, plott 6  
Siste profilering etter avsluttet eksperiment, og blanding av vannmasser i algetank kl:10.50.

## 4.8 Sensorkalibrering med *Tetraselmis suecica*

Sensorkalibrering utført med følgende algekultur, *tetraselmis suecica*. Kalibreringsverdier er blitt benyttet i eksperiment 2 og 3 for å kunne finne algekonsentrasjoner. Algetanken ble først fylt opp med filtrert og temperert sjøvann til nivåhøyde 83mm fra bunn. Tankvolum ble deretter beregnet:

$$\begin{aligned}V_{tank} &= (b_{tank} \cdot d_{tank} \cdot h_{niv}) - V_{dyse} \\V_{dyse} &= A_{snitt} \cdot d_{tank} \\V_{dyse} &= ((5,5 + 6,5 + 1,8)cm \cdot 1cm) \cdot 27,5cm = 379.5cm^3 \\V_{tank} &= (52cm \cdot 27,5cm \cdot 8,3cm) - 379.5cm^3 \\V_{tank} &= 11869cm^3 - 379,5cm^3 = 11489,5mL\end{aligned}$$

Kalibreringsvolum ved start er da 111489,5mL og vil øke etter hvert som en tilsetter algekultur under kalibrering. Dette er det tatt hensyn til ved å legge inn en ekstra datakolonne for volum under kalibreringsmålingene. Konsentrasjonen i algekultur er  $1,2 \cdot 10^6$  celler/mL og doseringstilsetning er presentert i tabell nedenfor:

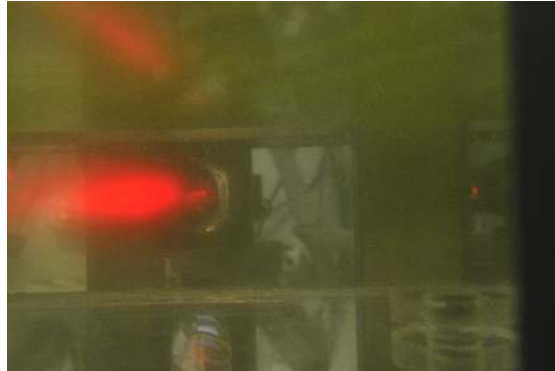
Tabell 20: Dosering av algekultur

| Dosering       | Totaltilsetting |
|----------------|-----------------|
| 1 mL dosering  | 0 - 30mL        |
| 5 mL dosering  | 30 - 150mL      |
| 10 mL dosering | 150 - 300mL     |
| 50 mL dosering | 300 - 800mL     |

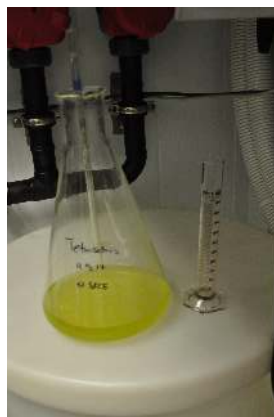
Fremgangsmåte for kalibrering er listet opp nedenfor:

1. Ta referansemåling av sensorintensitet med kun sjøvann i algetank.
2. Tilsette algekonsentrasjon i algetank (ca. 1,5m dropp) med pipette i henhold til doseringstabell 20.
3. Rør godt om i algetanken slik at alle cellene blir tilnærmet jevnt fordelt.
4. Vent 15 sekunder til vannmassene er stabile og ta sensorintensitetsmåling.
5. Doseringsmengde legges inn i måletabell sammen med sensorintensitet.

For å visualisere kalibreringen er det tatt med to bilder, ett av laserstrålen gjennom algetanken figur 80 og det siste av algekulturen som ble tilsatt med pipette, figur 81.



Figur 80: Nærbilde av laserstråle gjennom algetank, 15.05.2017, kl.10:40

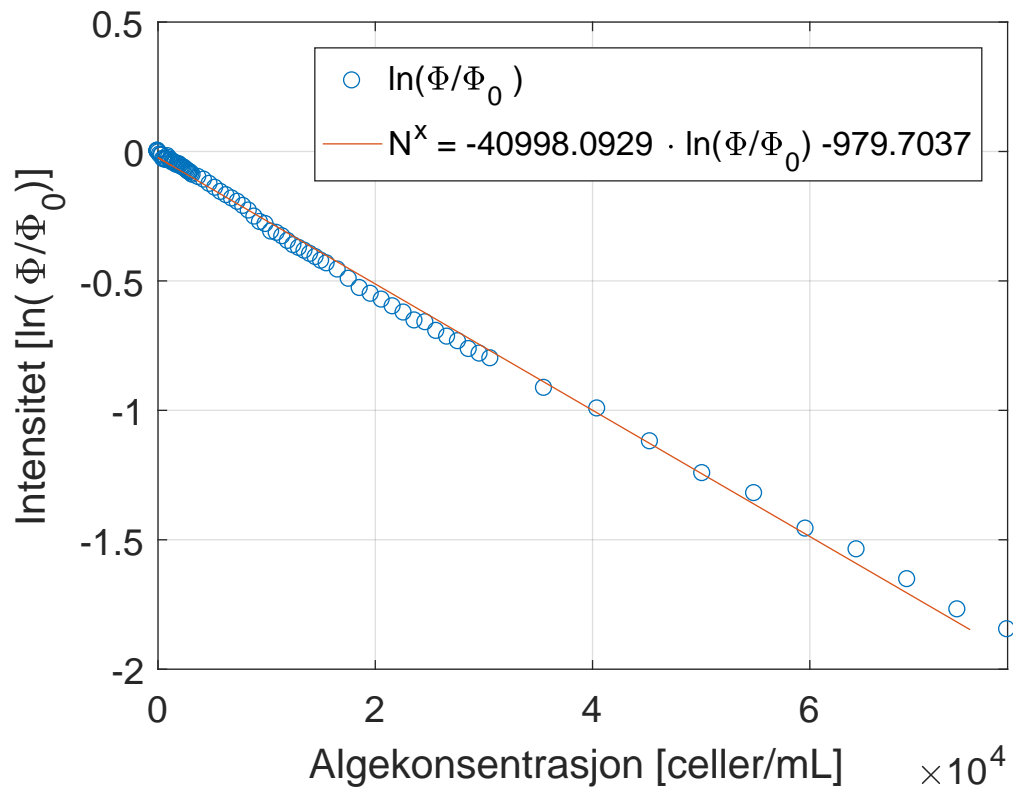


Figur 81: Algekultur med måleglass og pipette, mandag 15.05.2017, kl.16:20

Ligning 15 er lett modifisert for å forenkle matematiske beregninger.

$$N^* = \ln \frac{\Phi}{\Phi_0(s + b)}$$

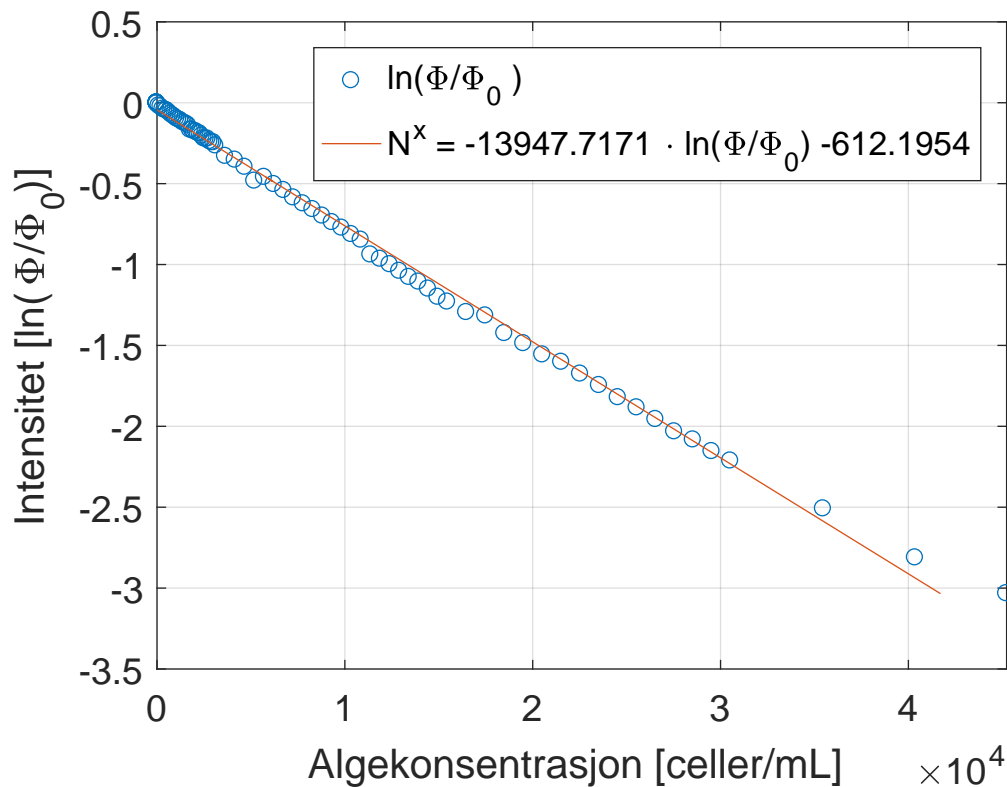
Når lysstrålen  $\Phi$  fra laser er målt under kalibrering og profilering, har vi laget en vektor av intensitetsmålingene.  $\Phi_0$  er den udempede lysstrålen og behandles i flere tilfeller som en variabel. Det er ikke tillatt å dele variabler på vektorer, men vektorer kan deles på variabler. Når vi bytter  $\frac{\Phi_0}{\Phi}$  med  $\frac{\Phi}{\Phi_0}$  får vi negativt fortegn, og dermed negativt stigningstall i kalibreringskurven. Kalibreringskurven er vist i figur 82.



Figur 82: Kalibrering med *Tetraselmis suecica*

## 4.9 Sensorkalibrering med *Tetraselmis chui*

Sensorkalibreringen med algekulturen *Tetraselmis chui* er blitt utført på samme fremgangsmåte som tidligere kalibrering med algekulturen *tetraselmis sueccia*. Algetanken ble fylt opp til samme nivåhøyde 83mm, som tilsvarer et volum på 11489,5mL. Tilsatt algekonsentrasjonen ble fortynnet til  $1,2 \cdot 10^6$ celler/mL. Dette ble utført for å få like start betingelser, slik at kalibreringsverdiene skal kunne sammenlignes. Nedenfor er kalibreringsplott vist i figur 83.



Figur 83: Kalibrering med *Tetraselmis chui*

En mulig årsak til den brattere stigningen i kalibreringskurven kan være at det var observert en hospiterende algekultur i algekonsentrasjonen. Der omtrent 50% av alle cellene var av *Tetraselmis chui* og resten var hospiterende og i vårt tilfelle uønskede algeceller.

## 5 Diskusjon

Den eksperimentelle vannkolonnen ble sammenstilt for over 20 år siden og bar preg av behov for vedlikehold og modifisering. Det var dårlig stabilitet av sensorrammen der lasere og optiske detektorer er montert. Dette var viktig å forbedre for å redusere feilmålinger og usikkerhet i målingene. Sensorrammen ble modifisert med nye lineærlagre, som ble montert i sensorrammens massesenter, noe som ga økt stabilitet og mindre vibrasjon under profilering av algetank.

Asynkronmotoren som løfter og senker sensorrammen under profilering har litt ujevn hastighet på grunn av sacking. Sackingen er avhengig av motstand i systemet slik at temperatur, smøreolje, og partikler i lineærlagrene vil påvirke profileringshastigheten. Dersom vi ser på eksperiment 6, varierer antall linjer i ascii formaterte datafiler med 938 ved start og 929 rett før avslutning. Lengden på datafilene er direkte avhengig av hastigheten til sensorrammen, fordi målinger blir utført hvert millisekund fra profileringen starter til den avsluttes.

Nedenfor er variasjon av sensorrammens hastighet prosent gitt i tabell 21.

Tabell 21: Variasjon av sensorrammens hastighet i prosent

| Eksp. nr.            | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hastighetssvariasjon | 3,23% | 2,96% | 0,31% | 3,43% | 0,75% | 1,90% | 0,96% |

Noe som er interessant å studere ut fra tabell 21 er at lineærlagrene var nye fra fabrikk i eksperiment 1, og vi hadde høy hastighetsvariasjon. På grunn av liten fleksibilitet og stor slitasje i lagrene som ble montert, ble de byttet etter eksperiment 3. Igjen fikk vi høy hastighetsvariasjon i eksperiment 4, med nye lagre. Hastighetvariasjonen ser ut til å synke etter et vist antall profileringer, og vi kan anta den vil holde seg under 2%. Beregning av sensorrammens posisjon under profilering baserer seg på tidligere målt fart under testkjøring. Derfor kan overnevnte usikkerhet brukes til å estimere usikkerhet i posisjon.

Noe som er viktig å belyse er usikkerheten i utførte kalibreringer, der vi har en usikkerhet i:

- Oppmåling av startvolum i algetank.
- Dosering av algekonsetrasjon under kalibrering.
- Fordeling av alger i algetanken under måling.
- Måling av lysintensitet med detektor.

Målenøyaktigheten under eksperimentene er svært avhengig av god og presis kalibrering. Dersom det blir begått feil eller slurv under kalibreringen vil vi kunne få kalibreringskurver med feil stigning og forskyvning.

Laboratoriet som ble benyttet til vannkolonnen var trangt å arbeide og bevege seg i, og det var hele tiden fare for å støte borti optiske detektorer og lasere. Dersom lasere eller detektorer ble stilt ut av fokus før igangsetting av et eksperiment, ville en få store feilmålinger som det var vanskelig å korrigere for, uten å kalibrere målesystemet i ettertid og reanalysere eksperimentet basert på rådata og nye kalibreringsverdier.

Det nye LEDpanelet med rødt, grønt, blått og UVA-lys fungerte tilfredstillende, med høy lysstyrke på maksimalt  $200\mu\text{mol}/\text{sm}^2$ . Det var likevel noe skjevt bølgespekter med hovedvekt av blått lys, og noe svakt grønt lys. Det eksperimentelle digitalkameraet som var tiltenkt å verifisere endringer i algetanken fungerte delvis, men bare under hvitt lys. Bildene ble likevel ikke skarpe og detaljerte nok, til at det var hensiktsmessig å inkludere flere av de i oppgaven. Det var svært vanskelig å se konsentrasjonsforskjeller og algeoppsamling i rødt, grønt og blått lys, både med det blotte øyet og med kameraets bilder.

Styre- og datainnsamlingsprogrammet fungerte som planlagt. Kontrolleren, cRIO fra NI som programmet ble kjørt på, var koblet til nettverk og en kunne overvåke eksperimentet hjemmefra. Dersom en koblet seg på cRIO eksternt under oppretting og skriving av filer, stoppet programmet og en måtte formatere og reinstallere programvare. Dette var noe stressende å utføre midt i eksperimentet. Derfor ble programmet endret fra å skrive til fil hvert millisekund, til å lagre måledata under profilering i en matrise. Datamatriksen ble først skrevet til fil når profileringen var fullført. Dette skulle sikre at programmet kunne skrive datafiler uforstyrret.

Det ble utført i alt 7 eksperimenter, der de 2 første var innledende eksperimenter for å teste det modifiserte eksperimentelle oppsettet. Eksperiment 3 benyttet algetypen *Tetraselmis suecica* som var svært mobil og svømmevillig under eksperimentet. Mikroalgen startet migrering gjennom haloklin før overgang lys til mørke, og mørke til lys. Økende biokonveksjon ble observert i eksperimentet og verifisert med digitalkamera.

Eksperiment 4-7 benyttet *Tetraselmis chui* som viste seg å være mindre mobil. Majoriteten la seg tilsynelatende på bunn i en vegetativ posisjon. Det må nevnes at eksperiment 4-7 ble gjennomført med lavere lysstyrke enn eksperiment 3, se detaljer i tabell 22 der også celledelinger per døgn er sammenlignet. Ved grønt lys i eksperiment 6 hadde vi negativ vekst med  $-0,125$  delinger per døgn (del/d), det vil si at vi målte færre algeceller ved avsluttet eksperiment enn ved start.

Tabell 22: Sammenligning av celledelinger per døgn

| Eksperiment                 | 3     | 4     | 5     | 6      | 7     |
|-----------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| $\mu\text{mol}/\text{sm}^2$ | 200   | 80    | 80    | 50     | 80    |
| Farge                       | Hvit  | Hvit  | Rød   | Grønn  | Blå   |
| del/d                       | 0,316 | 0,201 | 0,114 | -0,125 | 0,038 |



## 6 Konklusjon

Denne oppgaven har hatt som mål å forbedre eksisterende instrumenteringssystem for måling av mikroalgers vertikale forflytning i en vannkolonne (algetank). 20 år gamle optiske lasere og detektorer ble erstattet med nyere ekvivalente versjoner. Det ble designet og produsert nytt regulerbart LEDpanel med forsterkerkrets og høyere lysstyrke. Styre- og datainnsamlingsprogrammet ble modifisert, forenklet og implementert i programvarearkitekturen tilstandsmaskin, for enklere å kunne legge til funksjoner og oppgaver som programmet skal utføre.

Det ble tidlig identifisert behov for mekanisk oppgradering av algetanken i tillegg til oppgradering av instrumenteringssystemet. Opplagringen av sensorrammen med lasere og detektorer var plassert langt ute av rammens vektsenter. Dette hadde resultert i dokumentert vibrasjon fra algetanken under profilering. Sensorrammens lineærlagre var utslitt og ble skiftet med nye, som ble montert i massenteret. Denne oppgraderingen ga svært jevn og stabil profilering med lite vibrasjon.

Det eksperimentelle oppsettet ble deretter testet med to innledende eksperimenter, før vi i eksperiment 3 benyttet algekulturen *Tetraselmis suecica* og hvitt lys. Sterk og økende biokonveksjon fra overflaten og gradvis ned til haloklin ble registrert, med synkehastighet målt til 1,4mm/s. Dette eksperimentet hadde høyest verdi for celledeling per døgn, men hadde også høyest lysstyrke på 200  $\mu\text{mol}/\text{sm}^2$ .

Eksperiment 4-7 benyttet *Tetraselmis chui* som testorganisme. Algekulturen viste seg å være lite mobil, der majoriteten av mikroalgene la seg gradvis på bunn i en vegetativ formasjon etter oppstart av eksperimentene. I eksperiment 5 med rødt lys kunne vi registrere tydelig vertikal migrering gjennom haloklin, ved overganger mellom lys og mørke. Det ble observert at mikroalgene som migrerer ved overganger mellom lys og mørke, startet vertikal forflytning ett par timer før overgangen trer i kraft. Dette kan tyde på at mikroalgene *Tetraselmis suecica* og *Tetraselmis chui* har en indre biologisk klokke som er med på å styre deres vertikale forflytning.

## 6.1 Videre arbeid

I løpet av arbeidet med videreutvikling av instrumenteringssystemet til algetanken, og under kjøring av eksperimenter ble det identifisert flere forbedringstiltak som det ikke var tid eller kapasitet til å fullføre i denne masteroppgaven. Derfor blir disse forbedringsforslagene presentert som en anbefaling:

- Bytte ut defekte UVA-LED på LEDpanel, og teste LEDpanel.
- Bytte ut midlertidig motorkabel som er skjermet med aluminiumsfolie, med skjermet industrikabel for motordrift.
- Kontrollere og etterstrammes laserholdere, slik at de ikke går så lett ut av posisjon. Eventuelt skifte laserholdere dersom de er slitt.
- Kontrollere og utbedre kjededrift fra vinkelgir til horisontalaksling som løfter sensorramme.
- Bytte ut asynkronmotor med synkronmotor eventuelt steppermotor, for å få bedre kontroll på motorturtall og dermed sensorrammehastighet.
- Installere posisjonsmåler for sensorrammen, forslag til instrumenter er laseravstandsmåler og ultralydsensor for nivåmåling.
- Lage ny ripefri plexiglass tank for å fjerne bakgrunnstøy under målingene.
- Verifisere eksperimentelle resultater i oppgaven ved å gjenta relevante eksperimenter.

Et av de viktigste forbedringsforslagene til den eksperimentelle vannkolonnen, er å få tildelt større laboratorium. På denne måte kan en redusere sannsynligheten for at studenter eller personell, er uheldige og kommer borti og dermed feiljusterer lasere eller detektorer. Større laboratorium vil også gjøre det lettere å betjene og operere vannkolonnen.

## 7 Referanseliste

### Referanser

- [1] Egon Steineide. Konstruksjon og styring av eksperimental-rigg for registrering av mikroalger. Hovedfagsoppgave, Universitetet i Bergen, 1996.
- [2] Abdirahman M. Omar. Dynamic system for monitoring the vertical movements of micro-algae using laser light. Hovedfagsoppgave, Universitetet i Bergen, 1996.
- [3] Svein Rune Erga, Abdirahman M. Omar, Ingar Singstad og Egon Steinseide. An optical detection system for the study of fine scale vertical displacement of microalgae in an artificial water column. *Journal of Phycology*, 35(2):425–432, 1999.
- [4] Maren Dybwad. Utvikling og anvendelse av optisk utstyr til måling av mikroalgers vertikalvandring og sjøvanns optiske egenskaper. Hovedfagsoppgave, Universitetet i Bergen, 1998.
- [5] Sindre Fotland. Instrumentering av eksperimentell vannkolonne for studier av mikroalgers vertikalflytning. Mastergradsoppgave, Universitetet i Bergen, 2013.
- [6] Svein Rune Erga, Maren Dybwad, Øyvind Frette, Jon Kåre Lotsberg og Kjetil Aursland. New aspects of migratory behavior of phytoplankton in stratified waters: Effects of halocline strength and light on tetraselmis sp. (prasinophyceae) in an artificial water column. *Limnology and Oceanography*, 48(3):1202–1213, 2003.
- [7] Svein Rune Erga, Geir Christian Lie, Kjetil Aursland, Christine Daae Olseng, Øyvind Frette og Børge Hamre. Fine scale vertical displacement of phaeodactylum tricornutum (bacillariophyceae) in stratified waters: Influence of halocline and day length on buoyancy control. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 384(1):7–17, 2009.
- [8] Svein Rune Erga, Christine Daae Olseng og Lars Harald Aarø. Growth and diel vertical migration patterns of the toxic dinoflagellate protoceratium reticulatum in a water column with salinity stratification: the role of bioconvection and light. *Marine Ecology Progress Series*, 539(1):47–64, 2015.
- [9] Svein Rune Erga, Geir Christian Lie, Lars Harald Aarø, Øyvind Frette og Børge Hamre. Migratory behaviour of skeletonema grethae (bacillariophyceae) in stratified waters. *Diatom Research*, 30(1):13–25, 2015.

- [10] Carol Lalli og Timothy R. Parsons. *Biological Oceanography: An Introduction*. Butterworth-Heinemann, 1997.
- [11] Robert Edward Lee. *Phycology*. Cambridge, 2008.
- [12] Russell Leonard Chapman. Algae: the world's most important "plants" - an introduction. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(1):5–12, 2013.
- [13] John T. O. Kirk. *Light and Photosynthesis, in Aquatic Ecosystems*. Cambridge, 2007.
- [14] Carlos Eduardo de Farias Silva, Barbara Grisa, Eleonora Sforzaa, Nicoletta La Roccab og Alberto Bertuccoa. Effects of sodium bicarbonate on biomass and carbohydrate production in *synechococcus pcc 7002*. *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 49(1):241–246, 2016.
- [15] Mani Arora. Tetraselmis: An introduction. *The Botanica*, 174(1):155–175, 2016.
- [16] Thomas G. Ebrey. A new type of photoreceptor in algae. *PNAS*, 99(13):8463–8464, 2002.
- [17] Fabian Abiusi, Giacomo Sampietro, Giovanni Marturano, Natascia Biondi, Liliana Rodolfi, Massimo D'Ottavio og Mario R. Tredici. Growth, photosynthetic efficiency, and biochemical composition of tetraselmis *suecica* f&m-m33 grown with leds of different colors. *Diatom Research*, 111(5):956–964, 2014.
- [18] Arne S. Kristoffersen, Børge Hamre, Øyvind Frette og Svein R. Erga. Chlorophyll a fluorescence lifetime reveals reversible uv-induced photosynthetic activity in the green algae tetraselmis. *European Biophysics Journal*, 45(3):259–268, 2011.
- [19] Robert Ehrlich. *Renewable Energy*. CRC Press, 2013.
- [20] Gunnar S. Jensen. *BioAktivator*. Systime, 2017.
- [21] Ellef Wahlstrøm. *Automatiserte Anlegg*. Yrkesopplæring ans, 1998.
- [22] John P. Bently. *Prinsiples of Measurment Systems*. PEARSON, 2005.
- [23] Nyomi Uduman, Vivien Bourniquel, Michael K. Danquah og Andrew F.A. Hoadleye. A parametric study of electrocoagulation as a recovery process of marine microalgae for biodiesel production. *Elsevier, Chemical Engineering Journal*, 174(1):249–257, 2011.

- [24] Øyvind Frette, Svein Rune Erga, Jakob J. Stamnes og Knut Stamnes. Optical remote sensing of waters with vertical structure. *Applied Optics*, 40(9):1478–1487, 2001.
- [25] Attila Marosi. Cryptomining malware on nas servers. *SophosLabs*, side 1–6, 2016.
- [26] Aase Kristiansen, Øyvind Moestrup og Helle Nielsen. *Introduktion til Alger & Bakterier*. Nucleus, Lundingsgade 33, 8000 Århus C, 1981.
- [27] Geir Christian Lie. A study of vertical displacement patterns of the two marine diatoms *phaeodactylum tricornutum* and *skeletonema costatum*. Mastergradsoppgave, Universitetet i Bergen, 2003.
- [28] Lars Harald Aarø. Growth and vertical migration of *protoceratium reticulatum* (dinophyceae). Mastergradsoppgave, Universitetet i Bergen, 2006.
- [29] Kari Skjånes. Use of algae technology for production of biohydrogen from green microalgae. Doktorgradsoppgave, Universitetet i Bergen, 2011.
- [30] Jahn Throndsen. Alger, Nedlastet aug.2016.

## 8 Vedlegg

Oversikt over vedlegg:

1. Vedlegg A, Observasjoner og notater
2. Vedlegg B, Påfylling og salinitets plott
3. Vedlegg C, Eksperimentell prosedyre
4. Vedlegg D, Komponentliste
5. Vedlegg E, Elektrotegninger
6. Vedlegg F, Maskintegninger

## Vedlegg A, Observasjonstabeller

Observasjoner som er notert i eksperiment 1-7 er listet i tabell 23 til 29.

Tabell 23: Observasjoner for eksperiment 1

| Dato       | Klokke | Observasjon   |
|------------|--------|---|
| 19.04.2017 | 12.00  | Startet innfylling av saltvann under brakkvannsgradient.  |
| 19.04.2017 | 12.30  | Punkterte delvis gradient med luftboble under påfylling av saltvann.  |
| 19.04.2017 | 15.22  | Utførte to profileringer av gradienten, på grunn av usikker driftsikkerhet ble datainnsamling avsluttet kl:15.33.   |
| 20.04.2017 | 09.30  | Startet opp datainnsamling med profilering hvert 10min  |
| 20.04.2017 | 11.00  | Målte utvendig motortemperatur: 43°C  |
| 20.04.2017 | 11.45  | Kontrollert utvendig motortemperatur med termometer: 45°C   |
| 20.04.2017 | 12.10  | Utvendig motortemperatur: 43°C  |
| 20.04.2017 | 12.30  | Utvendig motortemperatur: 45°C  |
| 20.04.2017 | 13.45  | Utvendig motortemperatur: 42°C  |
| 20.04.2017 | 14.05  | Totalnivå i tank sunket fra 160L til 157L, grunnet lekkasje i ventilsete på påfyllingsventil, avsluttet datainnsamling.   |
| 21.04.2017 | 14.05  | Avsluttet eksperiment, ingen visuell endring av gradienten siden oppstart. Skiftet pakninger på kuleventil montert under påfyllingstank på grunn av lekkasje ved påfylling. |

Tabell 24: Observasjoner for eksperiment 2

| Dato       | Tid   | Observasjon   |
|------------|-------|---|
| 26.04.2017 | 14.30 | Ingen visuell synlig konsentrasjon av alger i bunn etter påfylling.   |
| 27.04.2017 | 13.00 | Ingen visuell synlig konsentrasjon av alger. Nivå i tank sunket til 158L, fra 160L. Lekkasje oppdaget i ventilsete på algetankens påfyllingsventil.                   |
| 28.04.2017 | 09.00 | Nivå sunket til 157L. Kunne skimte antydning til algeoppsamling i overflaten.   |
| 28.04.2017 | 15.15 | Overflatetemperatur i algetanken målt til 22°C, romtemperatur ble målt til 19,5°C.  |
| 29.04.2017 | 09.30 | Tanknivå sunket til 156L.   |
| 01.05.2017 | 14.15 | Nivå sunket til 155L. Utvendig motortemperatur målt til 29°C. Saltvannsgradient forskjøvet pga. lekkasje ligger nå på ca. 105,5-28cm høyde fra bunn.                  |
| 29.04.2017 | 09.30 | Nivå sunket til 156L.   |
| 01.05.2017 | 14.15 | 22,5°C i rommet, 21°C i vannet.   |
| 02.05.2017 | 09.30 | Tanknivå sunket til 154L, temperatur i rom 22,5C. 21°C i top av vannkolonne. Oppdaget at 14/10 døgnsyklus var forskyvet med 2,5timer, med start morgen kl.09.30.      |
| 02.05.2017 | 09.50 | Kan se algeformasjon i overflaten. Slo av LEDlys over algetank. Satte på 11W lysrør i bunn av tank, for å forsøke å få algene til migrere ned, under gradient.        |
| 02.05.2017 | 11.30 | 20Mpdata skrevet til Crio disk., ingen flere datafiler opprettet.   |
| 02.05.2017 | 14.00 | Algene befinner seg fortsatt ved overflaten i kolumnen, i tette formasjoner.  |
| 03.05.2017 | 09.20 | 154L i algetank. Algene befinner seg fortsatt i topp av kolonnen.   |
| 04.05.2017 | 09.20 | 153,5L i algetank.  |
| 05.05.2017 | 09.00 | 153,5L i algetank. Kunne skimte en svak grønn farge i resten vannkolonnen, noe som kan tyde på at algene har beveget seg. Lysrør ble slått av og ledlys ble slått på. |
| 08.05.2017 | 09.30 | 153L i algetank.  |
| 09.05.2017 | 15.00 | 153L i algetank.  |
| 10.05.2017 | 10.00 | 153L i algetank.  |
| 11.05.2017 | 10.00 | 153L i algetank. Eksperiment avsluttet.   |



Tabell 25: Observasjoner for eksp.3

| Dato     | Klokke | Observasjon   |
|----------|--------|---|
| 13.06.17 | 15.09  | 157L i tanken, Tykk algekonsentrasjon fra bunn som blir gradvis svakere og usynlig fra 25cm over bunn.  |
| 13.06.17 | 18.40  | Generell fortetting av algekultur ved og rett under overflaten. Fortetting av algekultur nært hjørner ved overflaten. Start på dannelse av 4 tykke vertikale algetråder 3-5 lange, ca. 0,5cm i diamet. Er dette tidlig fase av biokonveksjon? Dokumentert med nærbilde. Overflate-temperatur i vannet ble målt til ca. 33°C.  |
| 14.06.17 | 09,30  | Algetråder oppløst i brakkvannet. Fortsatt sterk konsentrasjon av alger i overflaten og i hjørner ved overflaten. Algene er tilsynelatende fordelt over hele kolonnen, noe sterkere konsentrasjon nært 0-40cm fra bunn.   |
|          | 14.45  | Sterkere konsentrasjon ved overflaten, spesielt i hjørnene av algetanken. Temperaturmåling med termometer, 23,5°C målt i rommet, 23,5°C målt ved overflaten i tanken.   |
|          | 15.00  | Ved fjerntilkopling og kopiering av datafiler fra cRIO via ftp rundt 14.29, sluttet programmet å kjøre. Feilkode: Labview Generic Error. Dette skyldes trolig at en fil ble kopiert samtidig som den ble forsøkt skrevet til av cRIO. Erfaring tilsier at derfor må unngå å koble seg på og kopiere fra cRIO når skriving av filer pågår. Løsning var å formatere og reinstallere programvare på cRIO og restarte datainnsamlingen. |
| 15.06.17 | 09.00  | Tykkere konsentrasjon av alger i overflaten, omtrent 1-2cm tykt konsentrertlag. Klart vann under overflaten og ned til haloklin. Under haloklin og ned til bunn var det en synlig jevn konsentrasjon av mikoralger. Luftbobler observert på pleksiglass over gradient. Kan skyldes fotosyntese fra alger evt. termisk oppvarming av vann som frigjør oksygenmolekyler.  |
|          | 09.00  | Algekultur synlig over gradient og under overflate. Fortsatt sterkere konsentrasjon under gradient, og sterkere konsentrasjon ved overflaten. Antydning til flere luftbobler på glass over gradient.  |

|          |       |  |
|----------|-------|--|
|          | 10.30 | Algekultur synlig over gradient og under overflate. Fortsatt sterkere konsentrasjon under gradient, og enda sterkere konsentrasjon ved overflaten. Antydning til flere luftbobler på glass over gradient.  |
|          | 11.50 | Sterkere konsentrasjon ved og rett under overflaten. Tendenser til mindre konsentrerte tykke tråder som strekker seg langsomt ned fra overflaten. Kan nesten se at det algetrådene som synker nedover i algetanken.  |
|          | 14.45 | Sterkere konsentrasjon ved overflaten spesielt i nordøstre hjørne. Tendenser til start av biokonveksjon med lengre diffuse tråder som henger ned fra overflaten.   |
| 19.06.17 | 10.30 | Ingen synlig konsentrasjon under haloklin. Svak synlig konsentrasjon over haloklin. Tykk biomasse fra overflaten og ned til 20cm fra haloklin. Sterk biokonveksjon. Mindre luftbobler på glass. Observert luftboble som løsnet fra bunn og gikk gjennom gradient før den gikk i oppløsning ved overflaten. |
|          | 11.00 | 2 identiske målinger av hastighet til biokonveksjonen: Synkehastighet, 70mm på 50sek = 1,4mm/sek. Ny luftboble løsnet og gikk gjennom haloklin og nådde overflaten.  |
|          | 13.00 | Stor slitasje på akslinger fra linearlagre.  |
|          | 15.00 | Ingen synlig algekonsentrasjon over haloklin. I overflaten var fargen skiftet fra sterk lysegrønn til lysgrønn/-gul. Tegn på biokollaps? Fortsatt biokonveksjon med lange tråder som beveget, men sterkere langs kortsiden av algekolonnen. Noe svakere konsentrasjon i midten av algekolonnen             |

Tabell 26: Observasjoner for eksp. 4

| Dato       | Klokke | Observasjon   |
|------------|--------|---|
| 05.09.2017 | 15.48  | Konsentrert algeblanding, fra bunn og opp 15cm, etter påfylling. 23°C i rommet  |
| 05.09.2017 | 00.30  | Underbelysning fortsatt på, slo av underbelysning.  |
| 06.09.2017 | 09.00  | Konsentrert algefilm med sterk grønnfarge på bunn, stor oksygenproduksjon.  |
| 06.09.2017 | 15.30  | Fortsatt sterkt konsentrert algefilm med sterk grønnfarge på bunn, stor oksygenproduksjon.  |
| 07.09.2017 | 09.00  | Synlig svak konsentrasjon av alger i overflaten, algene har dannet små formasjoner. Fortsatt sterkt konsentrert algefilm med sterk grønnfarge på bunn, stor oksygenproduksjon   |
| 07.09.2017 | 15.00  | Noe sterkere oppsamling av alger i overflaten. Fortsatt sterk konsentrert algefilm med tydelig grønnfarge på bunn, litt mindre oksygenproduksjon  |
| 08.09.2017 | 09.00  | Sterkere konsentrasjon av alger i overflaten, avtagende men fortsatt sterk konsentrasjon i bunn, mindre oksygenproduksjon   |
| 08.09.2017 | 14.15  | Stor luftboble oppservert med oppdrift fra bunn, dette kan ødelegge haloklin.   |
| 11.09.2017 | 10.00  | Avtagende konsentrasjon på bunnlag, noe høyere konsentrasjon ved overflaten. Tendenser til biokonveksjon fra overflate og 2cm ned i vannsøylen ved kantene på pleksiglasset. Algekulturen svømmer tilsynelatende lite, og har lett for å suge seg fast på bunn. |

Tabell 27: Observasjoner for eksp. 5

| Dato       | Klokke | Observasjon  |
|------------|--------|--|
| 14.09.2017 | 15.00  | Konsentrert algeblanding, fra bunn og 16cm opp, etter påfylling.   |
| 15.09.2017 | 09.00  | Dannelse av algeformasjoner på overflaten, sedimentering av mikroalger på bunn. Vanskelig å se evt. konsentrasjonsforskjeller pga. sterkt rødt lys i algetanken.   |
| 15.09.2017 | 13.30  | Sterkere dannelser av algeformasjoner på overflaten, sterk konsentrasjon av alger i lavere lag under gradient. Oksygenbobler observert på bunn ved sedimentert algelag. Vanskelig å skjelne farge på algene.   |
| 18.09.2017 | 19.00  | Mørke klumper på bunn, med spor etter seg. Hospiterende mikroorganismer? Noen oksygenbobler på bunn, samt tilsynelatende sterkere algekonsentrasjon på bunn. Noen oksygenbobler i overflaten.  |
| 19.09.2017 | 10.00  | Mikroalger har festet seg på plexiglass under haloklin. Sterkere konsentrasjon og mikroorgansime formasjoner i overflaten.   |
| 20.09.2017 | 09.30  | Flere mørke klumper på bunn.   |
| 20.09.2017 | 09.30  | Stoppet eksperiment kl: 12.43.   |
| 20.09.2017 | 12:34  | Ingen tråddannelse av alger i overflaten, men teppeaktig jevn akkumulering. Luftbobler i brakkvannslag over haloklin. Noen luftbobler observert på bunn, men mindre enn i forrige eksperiment. Relativt jevnt fordelt med alger som har festet seg på plexiglass under haloklin og ned til bunn. Fin klargrønnfarge på algene ved bunn og noen bobler som tyder på fotosyntese. Sorte partikler (muligens mikroorganismer) på bunn som mistenkes å spise alger som ligger på bunn, spor etter partiklene i bunnlaget av alger. |

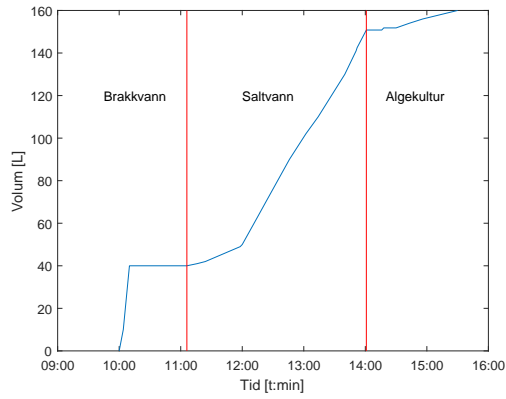
Tabell 28: Observasjoner for eksp. 6

| Dato       | Klokke | Observasjon   |
|------------|--------|---|
| 21.09.2017 | 16.15  | Konsentrert algeblanding, fra bunn og 15cm opp, etter påfylling.  |
| 22.09.2017 | 09.00  | Algene har lagt seg på bunn i tanken.   |
| 22.09.2017 | 15.30  | Ingen synlig endring.   |
| 25.09.2017 | 11.45  | Dannelse av algeformasjon på overflaten. Fortsatt tett konsentrasjon på bunn. Det har også oppstått svarte partikler på bunn. Samme form og utsende som i forrige eksperiment.  |
| 26.09.2017 | 08.50  | Fortsatt algeformasjon i overflaten og sterk konsentrasjon på bunn. Lite oksygenproduksjon, observert noen små oksygenbobler ved bunn og overflaten. De sorte partiklene på bunn har fått striper etter seg. Grunnet bevegelse? |
| 27.09.2017 | 12.00  | Antydning til bunnpartikler. Avsluttet forsøk.  |

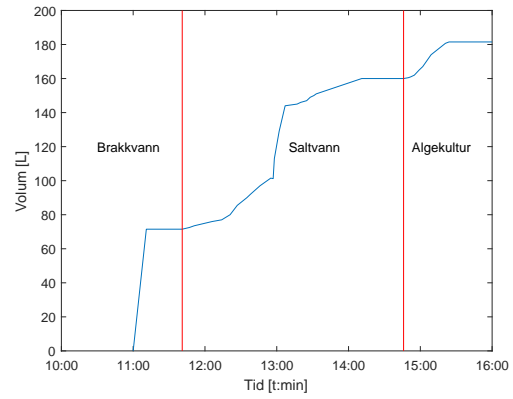
Tabell 29: Observasjoner for eksp. 7

| Dato       | Klokke | Observasjon  |
|------------|--------|--|
| 03.10.2017 | 15.15  | Algekonsentrasjon tett og fyldig fra 0-13cm i algetanken og diffus fra 13 til 18cm høyde fra bunn. Mulig litt for hurtig innfylling av algekultur, kan ha skapt turbulens i vannmassene.   |
| 04.10.2017 | 09.30  | Algene har lagt seg på bunn.   |
| 05.10.2017 | 13.45  | Svak oksygenproduksjon i bunn av tanken.   |
| 06.10.2017 | 09.30  | Oksygenproduksjon i bunn av tanken, så også partikkeldannelse på bunn.   |
| 07.10.2017 | 15.30  | Oppdaget nye problemer med filoppretting. Formater-te cRIO disk og reinstallede NI software via NI MAX, ukjent årsak. Oppdaget ellers ingen software problemer.  |
| 07.10.2017 | 15.40  | Kan skimte algekonsentrasjon ved overflaten ved bruk av lommelykt, ellers ikke mulig å se konsentrasjon. Observerte også oksygenproduksjon ved bunn og luftbobler på glasset fra 15cm fra bunn. Sorte algeformasjoner på bunn har økt i antall. Muligens også i størrelse, dette er vanskelig å verifisere da formasjonene er ca. 0,5-2mm i diameter, og kan gå i oppløsning ved prøvetaking. For studier av bunnvandrende algeformasjoner hadde en grunnere tank vært mer optimalt. |
| 09.10.2017 | 14.30  | Større oksygenproduksjon og flere algeformasjoner på bunn.   |
| 10.10.2017 | 14.45  | Fortsatt relativ økning av oksygenproduksjon og algeformasjon på bunn. Flere og større algekolonier på bunn. Oksygenproduksjonen skjer fortrinnsvis ved bunn nært algeformasjoner. Tilsynelatende også noe oksygenproduksjon ved overflaten.   |
| 10.10.2017 | 14.47  | Hører regelmessig tikking hvert 10 sekund. Lyd kommer fra kjede eller stort tannhjul på vertikalaksling. Mulig kjede trenger etterstramming evt. utskiftning.  |
| 11.10.2017 | 09.30  | Estimerte største algeformasjoner til 2-4mm i diameter.  |
| 11.10.2017 | 10.45  | Forsøk på samle opp noen av algekoloniene ble avsluttet etter 30min. prøving. Koloniene går i oppløsning når de suges opp i pipette. Mulig koloniene er mer løst bundet sammen enn i forsøk med grønt lys, der koloniene trolig var mindre i størrelse og omfang.  |
| 11.10.2017 | 10.50  | Blanding av vannmasser og siste skann av vannkolonnen.   |

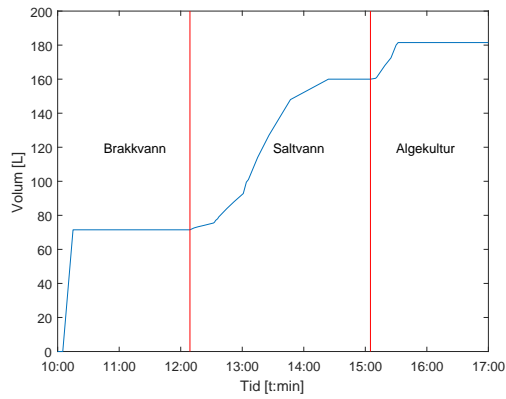
## Vedlegg B, Påfylling og salinitets plott



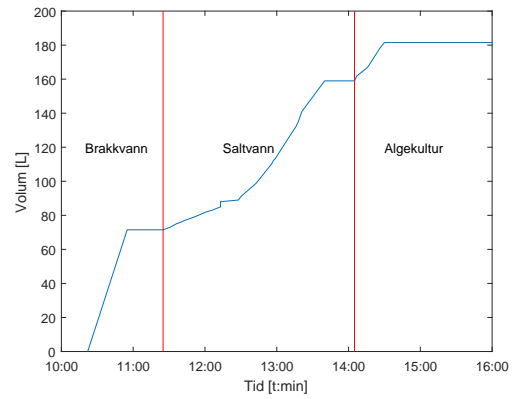
(a) Eksperiment 2



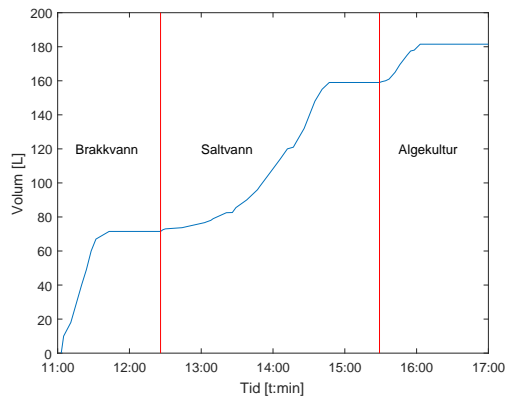
(b) Eksperiment 3



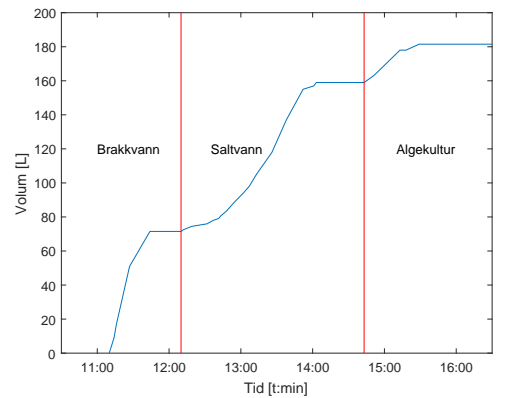
(c) Eksperiment 4



(d) Eksperiment 5

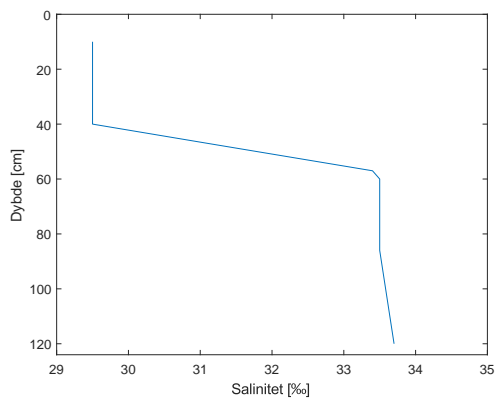


(e) Eksperiment 6

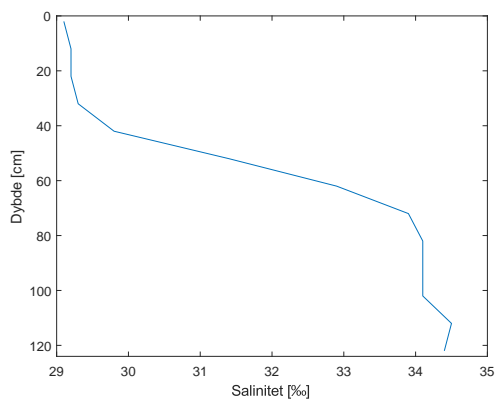


(f) Eksperiment 7

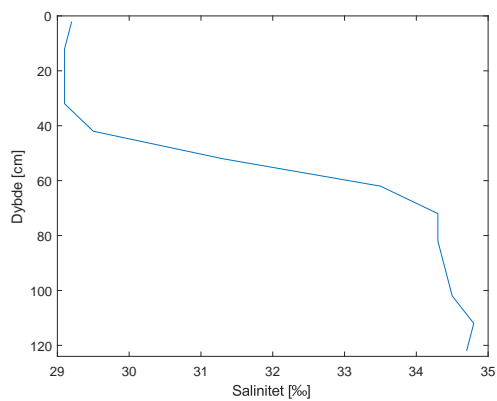
Figur 84: Påfylling av brakkvann, saltvann og algekultur i algetank, for eksperiment 3-7



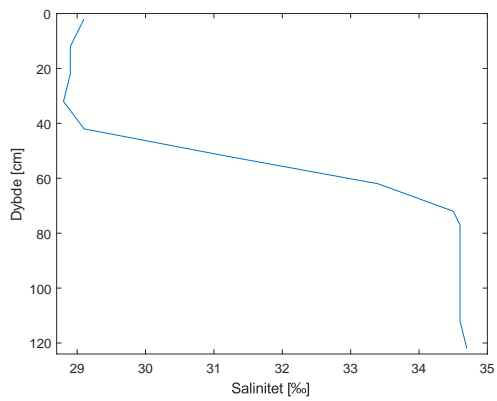
(a) Eksperiment 3



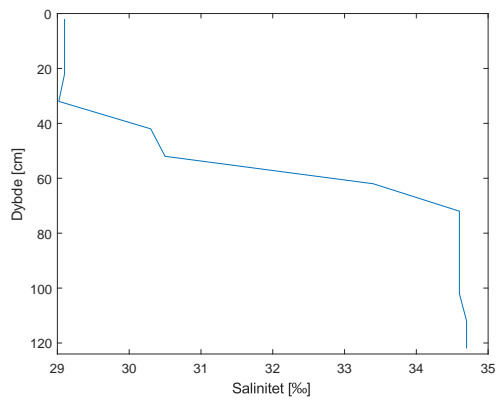
(b) Eksperiment 4



(c) Eksperiment 5



(d) Eksperiment 6



(e) Eksperiment 7

Figur 85: Salinitetsmåling etter endt eksperiment, for eksperiment 2-7



## Vedlegg C, Eksperimentell prosedyre

I eksperimentene som ble utført i oppgaven har følgende prosedyre for igangsetting og avslutning av eksperimentene blitt benyttet.

### 1. Forarbeid Vannbehandling

- (a) Tapp nødvendig mengde sjøvann, typisk 200L via lokalt nett og filtrer gjennom  $1\mu\text{m}$  posefilter, for unngå organiske og uorganiske partikler større enn  $1\mu\text{m}$  i diameter.
- (b) Lagre sjøvannet til temperatur har stabilisert seg til romtemperatur ca.  $20^\circ\text{C}$ . Det tar normalt tre dager før temperatur er stabilisert.

### 2. Teknisk forarbeid

- (a) Start opp Lab-pc og datainnsamlingssystem (cRIO). Koble til cRIO. Sikkerhetskopier eventuelle gamle datafiler. Tøm cRIO for eventuelle gamle datafiler.
- (b) Sjekk sensorintensitet, vurder om innstilling av optikk må justeres og om re-kalibrering er nødvendig.
- (c) Kontrollér renhet på tank og slanger, vask og skyll ved behov.
- (d) Smør og kontroller bevegende deler for slitasje.
- (e) Utfør testkjøring av sensorramme, sjekk at datafil fra laserskanning blir opprettet og er riktig formatert.
- (f) Kontrollér kameraets vinkel og zoom. Sjekk at minnebrikke har nødvendig plass til nye bildefiler, frigjør minneplass dersom nødvendig.

### 3. Påfylling av brakkevann

- (a) Bland øvre brakkevannslag med filtrert ferskvann fra spring og temperert filtrert sjøvann fra dunk, basert på utregnet og ønsket verdi på volum og salinitet. Salinitet og temperatur måles og noteres.
- (b) Steng påfyllingsventil og bunnventil på algetank. Åpne bunnventil og seteventil under påfyllingstank.
- (c) Pump opp brakkevannblanding i påfyllingstank.
- (d) Klem ut luftbobler på tilførselslangen mellom påfyllingstank og algetank og steng seteventil.
- (e) Åpne påfyllingsventil på algetank. Noter starttidspunkt og åpne forsiktig seteventil for rolig innfylling ( $1\text{L}/\text{min}$  -  $2\text{L}/\text{min}$ ). Påfyllingsdysen er flyttbar og kan bli forskjøvet ved påfyllingshastigheter større enn

2L/min. Noter tidspunkt og volum for ferdig innfylt brakkvannslag i algetank.

- (f) Unngå at luft kommer inn i påfyllingsslangen, steng seteventil når nivå i algetanken for brakkvannslag er oppfylt.
- (g) Drener eventuell gjenværende vann gjennom hurtigkobling under påfyllingstank.

#### 4. Påfylling av saltvann

- (a) Bland saltvannslag med filtrert ferskvann fra spring og temperert filtrert sjøvann fra dunk, basert på utregnet og ønsket verdi på volum og salinitet. Salinitet og temperatur måles og noteres.
- (b) Pump opp saltvannblanding i påfyllingstank.
- (c) Noter starttidspunkt og åpne forsiktig seteventil for rolig innfylling (0,1L/min - 0,6L/min). Dette for å bygge en skarp gradient mellom vannlagene. Vannmassene vil bli blandet og gradienten vil dermed gå i oppløsning om innfyllingen går for hurtig og det skapes turbulens. Noter tidspunkt og volum underveis for å kontrollere påfyllingshastigheten.
- (d) Unngå at luft kommer inn i påfyllingsslangen, steng seteventil når nivå i algetanken for saltvannslag er oppfylt.
- (e) Drener eventuell gjenværende vann gjennom hurtigkobling under påfyllingstank.

#### 5. Påfylling av algekultur

- (a) Tell antall celler for å finne konsentrasjon (celler/mL) i dyrket algekultur.
- (b) Beregn fortynning av algekulturen til ønsket konsentrasjon og volum.
- (c) Algekulturen fortynnes og blandes direkte i påfyllingstank.
- (d) Legg inn underbelysning under tank med lysstoffrør og slå av rombelysning, for å forsinke vertikalvandring til eksperimentet er igangsatt.
- (e) Noter starttidspunkt og åpne forsiktig seteventil for rolig innfylling (0,1L/min - 0,6L/min). Dette for å unngå å blande vannmassene og lage en svak gradient (0,1-0,2‰) mellom sjøvannet og fortynnet algekultur. Noter tidspunkt og volum underveis for å kontrollere påfyllingshastigheten.
- (f) Unngå at luft kommer inn i påfyllingsslangen, steng seteventil når nivå i algetanken for saltvannslag er oppfylt.

- (g) Etterskyll rolig med filtrert sjøvann fra påfyllingstank (2-3L) gjennom påfyllingsslangen og inn i algetanken til tanknivå er oppfylt. Dette for å sikre at minst mulig av algecellene sedimenterer i tilførselssystemet og ikke inngår i eksperimentene. Noter totalvolum, nivåhøyde tidspunkt. Steng ventiler og kople fra påfyllingsslangen til algetanken

## 6. Eksperimentell kjøring

- (a) Slå på kamera og kople til cRIO for igangsetting av eksperimentet.
- (b) Still inn ønsket døgnsyklus (start dag og lengde på dag), lysintensitet (%), profileringshastighet (antall skann per time) og eksperimentets varighet (i dager).
- (c) Start eksperimentet og datainnsamlingen.
- (d) Overvåk første profilering ved tilstedeværelse. Lytt til mekaniske vibrasjoner og se etter uregelmessige forstyrrelser på sensorintensitetene.
- (e) Noter biologiske observasjoner og overvåk profileringen daglig.
- (f) Direkte etter avsluttet eksperiment, ta separate prøver av cellekonsentrasjon og næringsstoffinnhold fra bunn og overflate i algetanken, og etter omrøring.
- (g) Overfør data fra kamera og datainnsamlingssystem.

## 7. Tapp ut og vask algetanken med springvann og spesialmopp.

## Vedlegg D, Komponentliste over nye deler

Komponentliste over nødvendige nye deler til oppgradering av vannkolonnen, er gitt i tabell nedenfor.

Tabell 30: Komponentliste med nye deler, Algetank, tegnings nr: 001

| Antall | Komponent                    | Produsent     | Modell                     |
|--------|------------------------------|---------------|----------------------------|
| 1      | Sensorramme                  | UiB           | Tegnings nr: 002           |
| 2      | Laser diode, 5.0mW 670nm     | Edmund Optics | #52-094                    |
| 2      | Laser diode detektor         | Edmund Optics | #58-760                    |
| 30     | Skjermet kabel               | Dataflex      | CY 2X2X0,25mm <sup>2</sup> |
| 2      | Optisk sensor module         | UiB           | Tegnings nr: 004           |
| 2      | Tandem lineærkulelager ø30   | SKF           | LTBR 30-2LS                |
| 1      | Fundamentramme               | UiB           | Tegnings nr: 003           |
| 1      | Monteringsplate koblingskap  | UiB           | Tegnings nr: 009           |
| 2      | Monteringsplate vendebryter  | UiB           | Tegnings nr: 010           |
| 1      | Monteringsvinkel endebryter  | UiB           | Tegnings nr: 011           |
| 1      | Vendebryter monteringsprofil | UiB           | Tegnings nr: 012           |
| 1      | Monteringsplate endebryter   | UiB           | Tegnings nr: 013           |
| 2      | PP-kuleventil 1/2"           | Haix          | PL-03012020                |
| 1      | PP Skråseteventil 3/4"       | Haix          | PL-03047077                |
| 3      | PP Muffe 1/2"                | Haix          | PL-05017055                |
| 3      | PP Ansatsnippel 1/2"         | Haix          | PL-05067055                |
| 2      | PP Albue innv. gj. 1/2"      | Haix          | PL-50507005                |
| 1      | Magnetpumpe                  | Iwaki         | MD-30RM + SC-4V            |

Tabell 31: Komponentliste med nye deler, Motordrift nr:005

| Antall | Komponent              | Produsent            | Modell            |
|--------|------------------------|----------------------|-------------------|
| 1      | Koblingsskap           | Fibox                | ARCA 504021       |
| 1      | Kortsslutningsvern 10A | -                    | -                 |
| 1      | Motorvern              | -                    | -                 |
| 1      | Kontaktor              | Omron                | J7K-AR-31         |
| 1      | Motorvern              | -                    | -                 |
| 1      | Nødstopp trykkbryter   | Schneider Electric   | XALK178F          |
| 1      | Frekvensomformer       | Bonfiglioli          | SYN10, S220 01 AF |
| 1      | Asynkron trefasemotor  | Bonfiglioli          | BN 27B4           |
| 1      | Vinkelgir              | Bonfiglioli          | WF27              |
| 2      | Endebryter             | Telemec              | -                 |
| 2      | Vendebryter            | BAUREIHE             | -                 |
| 1      | CompactRIO             | National Instruments | NI cRIO-9074      |
| 2      | Analog Input Module    | National Instruments | NI 9215           |
| 2      | Analog Output Module   | National Instruments | NI 9263           |
| 1      | Digital Output Module  | National Instruments | NI 9472           |
| 1      | Relé Module            | National Instruments | NI 9481           |

Tabell 32: Komponentliste med nye deler, kamera og temperaturmåling

| Antall | Komponent                 | Produsent | Modell                 |
|--------|---------------------------|-----------|------------------------|
| 1      | Digitalkamera             | Canon     | PowerShot G1 X Mark II |
| 1      | Strømadapter              | Canon     | ACK-DC100              |
| 1      | Minjack fjernutløser      | Canon     | RS-60E3                |
| 2      | NTC-thermistor            | EPCOS     | B57500K0103A001        |
| 2      | Motstand 1kOhm $\pm$ 0.1% | Arcol     | MRA0207 1K B 15PPM TA  |

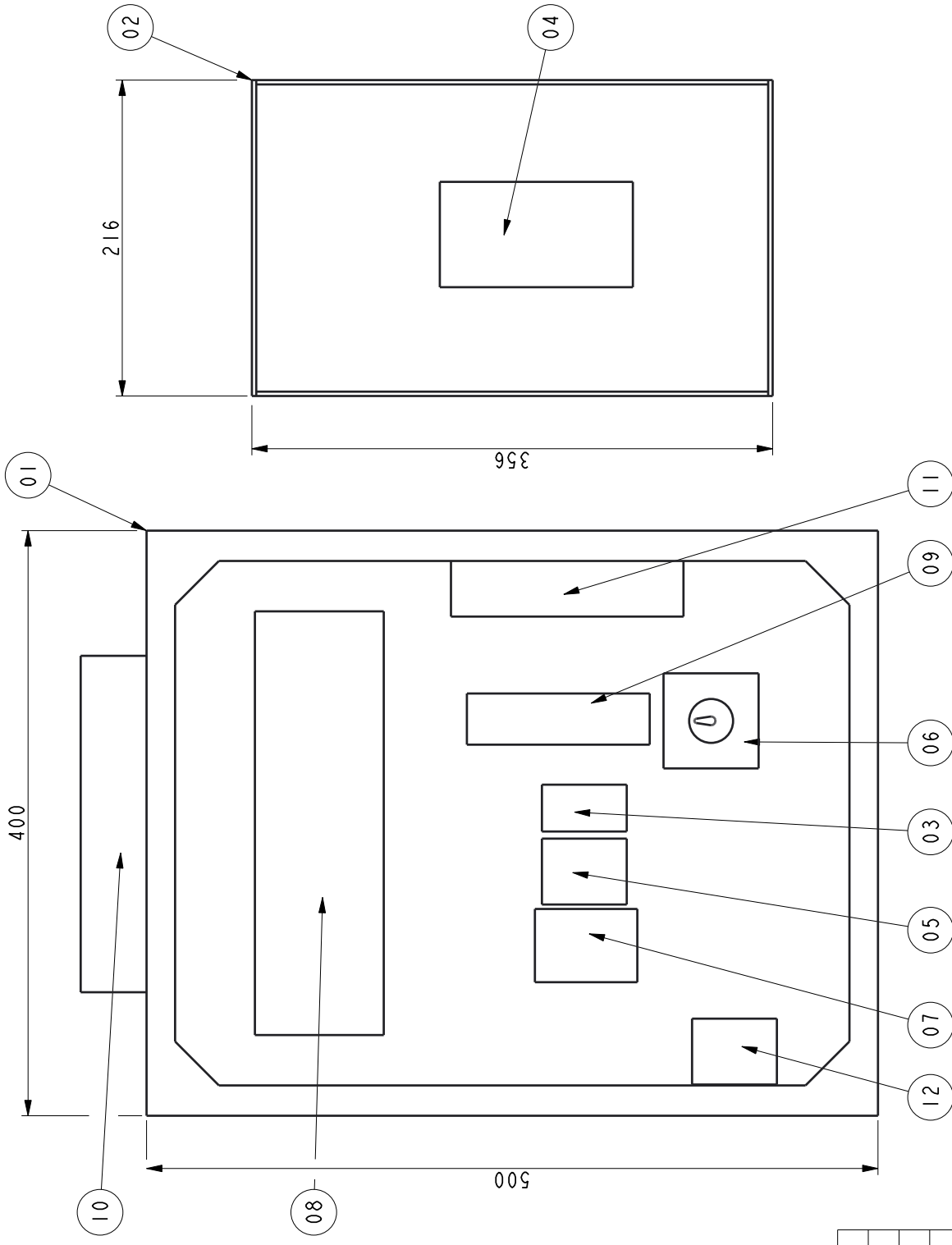
Tabell over deler brukt til LED-panel og forsterkrets er vist i tabell nedenfor.

Tabell 33: Komponentliste med nye deler, LEDpanel og forsterkerkrets

| Antall | Komponent                | Produsent    | Modell                    |
|--------|--------------------------|--------------|---------------------------|
| 1      | Spenningsforsyning 5V    | Mean Well    | HRPG-150-5                |
| 1      | LEDpanel                 | UiB          | Tegnings nr: 015          |
| 1      | Vinkelkontakt            | UiB          | Tegnings nr: 017          |
| 40     | Blå led diode            | OSRAM        | LD G5AP-4M4N-35-1         |
| 40     | Grønn led diode          | OSRAM        | LT G5AP-CZEX-36-1         |
| 40     | Rød led diode            | OSRAM        | LR G5AP-BZCZ-1-1          |
| 6      | UVA led diode            | Lite-On      | LTPL-C034UVH365           |
| 40     | SMD 24 $\Omega$ motstand | KOA          | RK73H2BTTD24R0F           |
| 80     | SMD 12 $\Omega$ motstand | Vishay       | CRCW120612R0FKEA          |
| 6      | SMD 1 $\Omega$ motstand  | Vishay       | CRCW12061R00FNEA          |
| 7      | Kabel                    | Lappkabel    | Ölflex classic 100 18G1,5 |
| 1      | Metallinnkapsling        | Hammond Man. | 275x175x65mm 1550J        |
| 8      | TO-3 PNP transistor      | ON Semicond. | MJ15016G                  |

## **Vedlegg E, Elektrotegninger**

Her presenteres elektrotegninger som er blitt utarbeidet for å kunne kople sammen motorstyring, LEDpanel og kamerastyring.

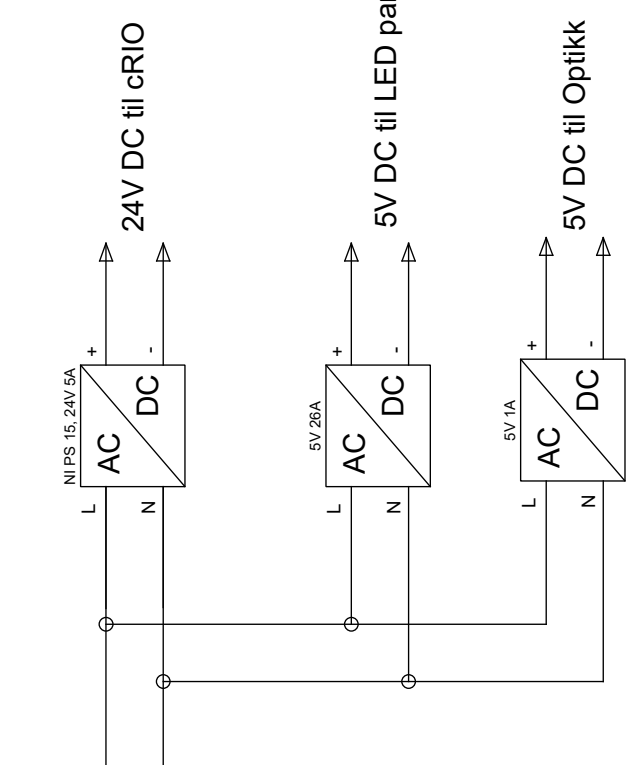
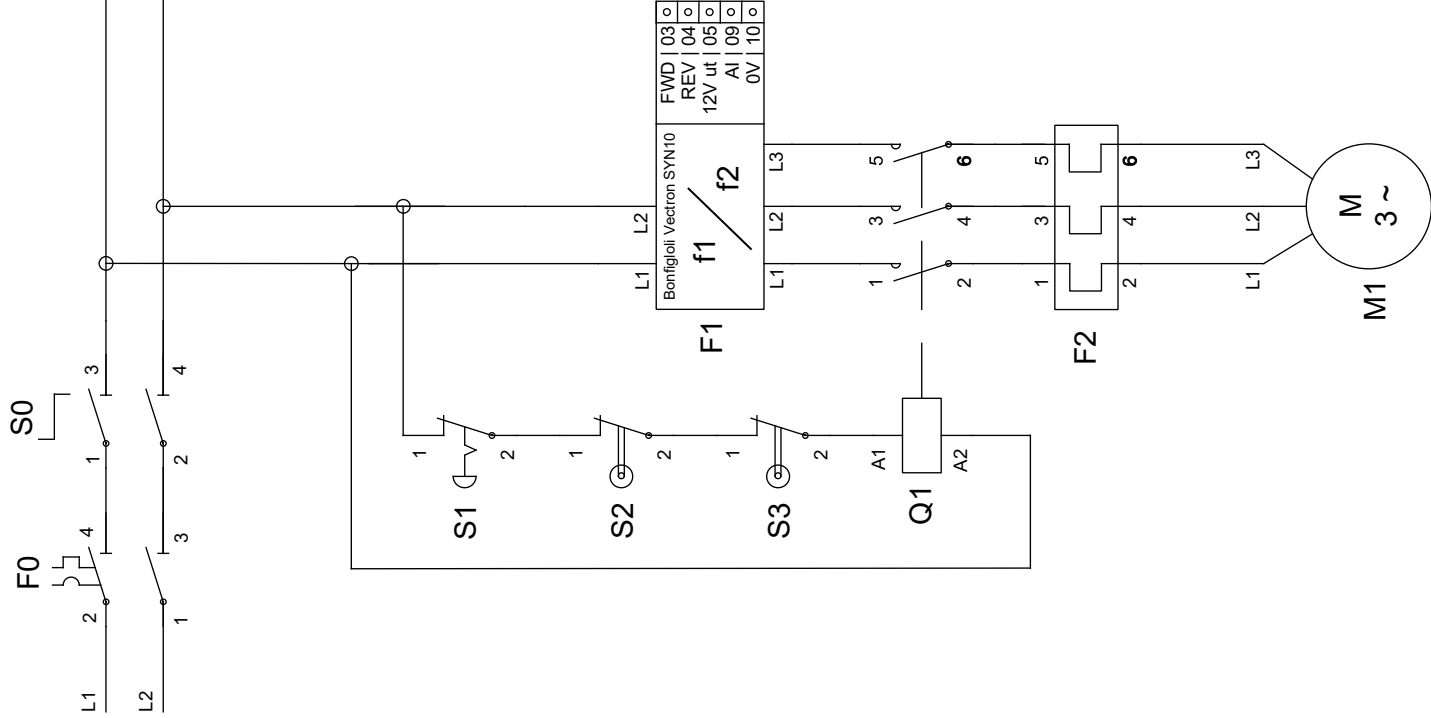


SCALE 0,333

| Pos | Beskrivelse                       |
|-----|-----------------------------------|
| 01  | Kontrollskap                      |
| 02  | Frekvensformerskap                |
| 03  | FO, Kortslutningsvern             |
| 04  | FI, Frekvensformer                |
| 05  | Q1, Kontaktor                     |
| 06  | S1, Sikkerhetsbryter              |
| 07  | F2, Motorvern                     |
| 08  | cRIO-9074 sannnidskontroller      |
| 09  | NI PS 15, 24V 5A (stromforsyning) |
| 10  | Forsterkerkrets for ledlys        |
| 11  | 5VDC 26A Strømforsyning ledlys    |
| 12  | 5VDC Strømforsyning (for optikk)  |

| Universitet i Bergen |  |          |            |
|----------------------|--|----------|------------|
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank     |          |            |
| Tegnings navn:       | Elektro og Instrument (sammenstilling) |          |            |
| Tegnings nr:         | 005-01                                 |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                        | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                      | 01       | 05.11.2016 |

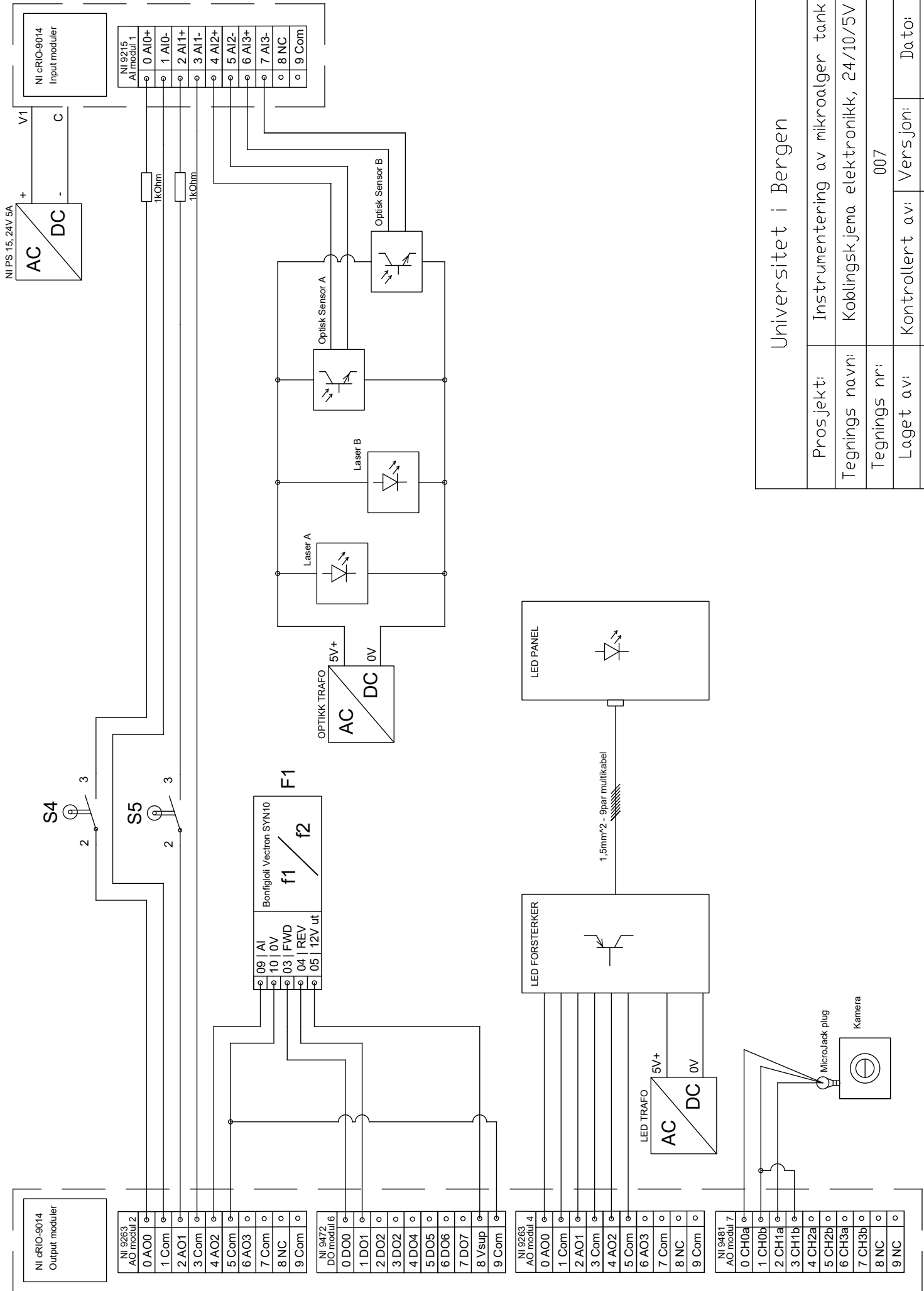




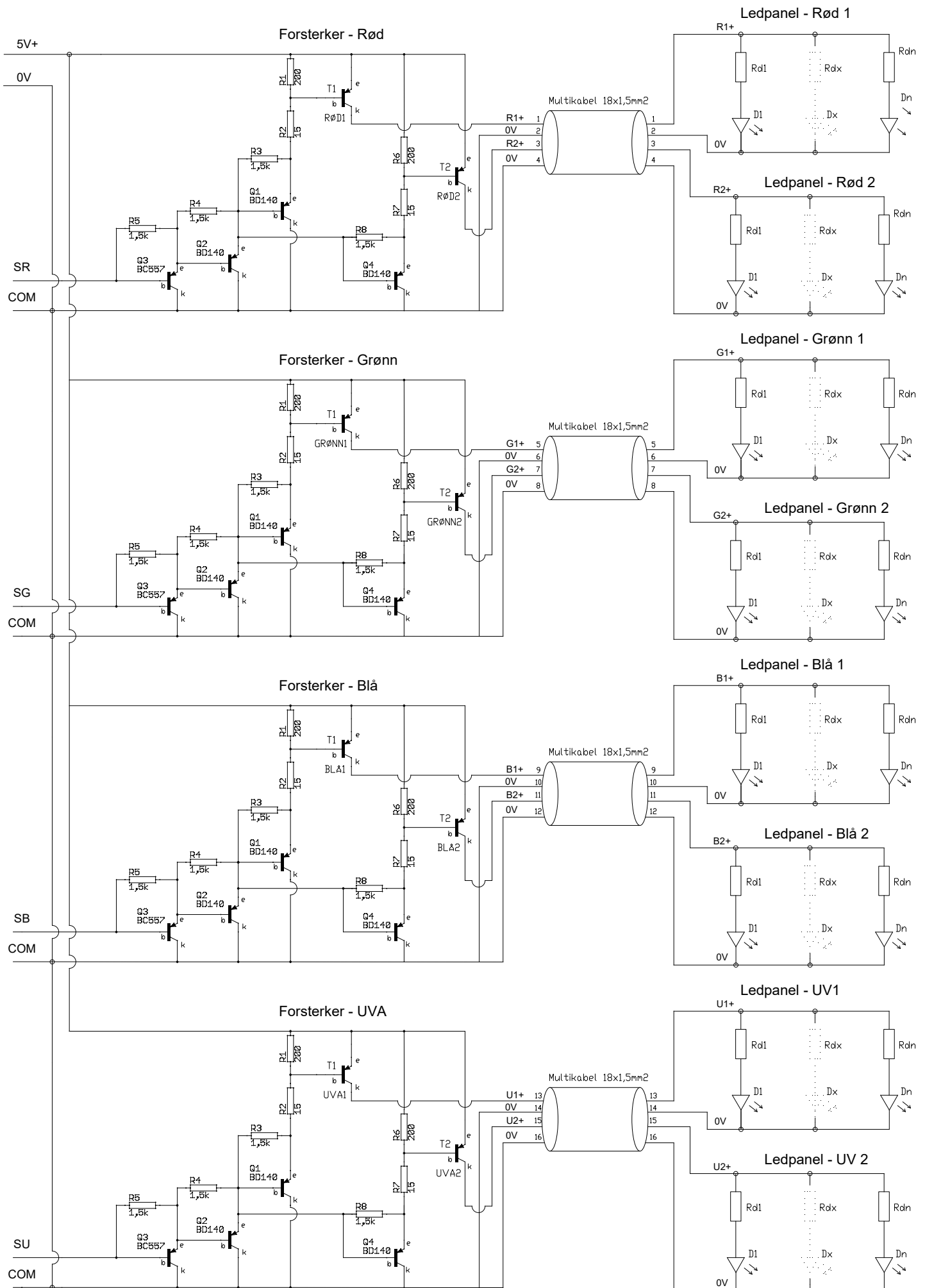
|        |    |   |
|--------|----|---|
| FWD    | 03 | o |
| REV    | 04 | o |
| 12V ut | 05 | o |
| AI     | 09 | o |
| 0V     | 10 | o |

Bonfiglioli Vectron SYN10  
f1 / f2

|                      |                                    |          |          |
|----------------------|------------------------------------|----------|----------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |          |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |          |
| Tegnings navn:       | Koblingskjema elektro, 230V        |          |          |
| Tegnings nr:         | 006                                |          |          |
| Løst av:             | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:    |
| DSI                  | -                                  | 02       | 11.09.17 |

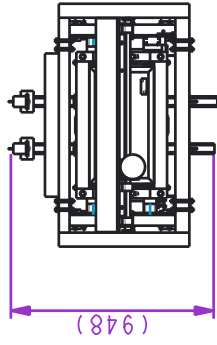
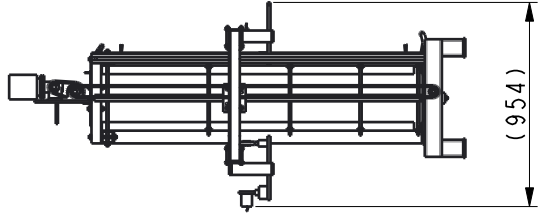
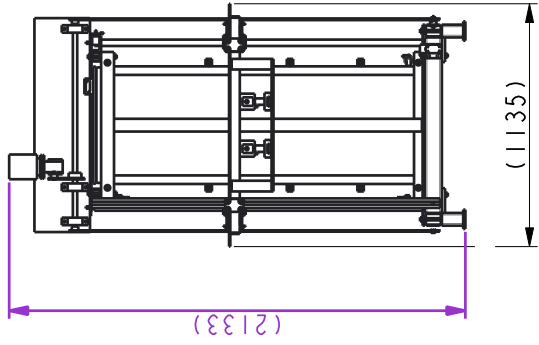


|                      |                                    |          |          |
|----------------------|------------------------------------|----------|----------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |          |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |          |
| Tegnings navn:       | Koblingskema elektronikk, 24/10/5V |          |          |
| Tegnings nr:         | 007                                |          |          |
| Løst av:             | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:    |
| DSI                  | -                                  | 02       | 26.09.17 |

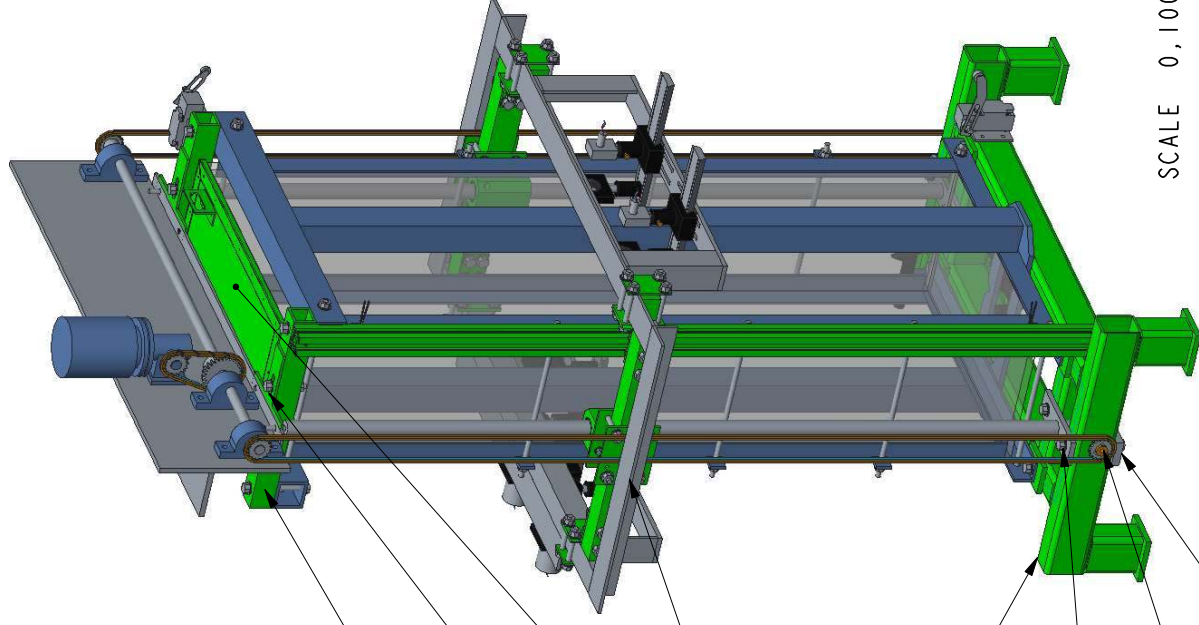


## **Vedlegg F, Maskintegninger**

Her presenteres maskintegninger av nye deler som er blitt produsert ved maskinverkstedet ved IFT.



SCALE 0,040



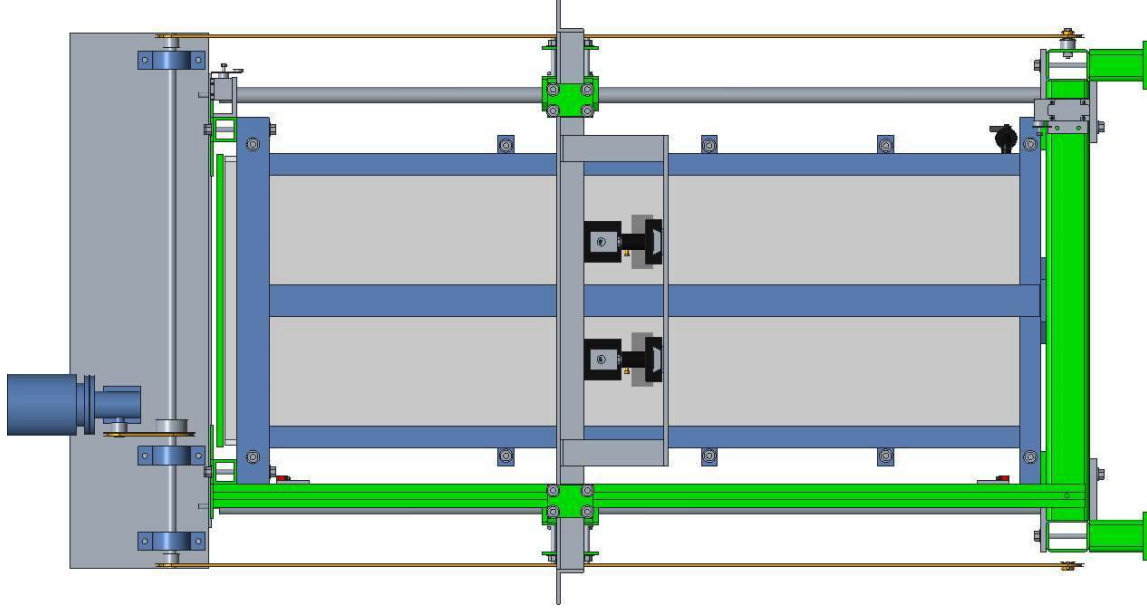
SCALE 0,100

Nye deler er merket  
grønn på tegning

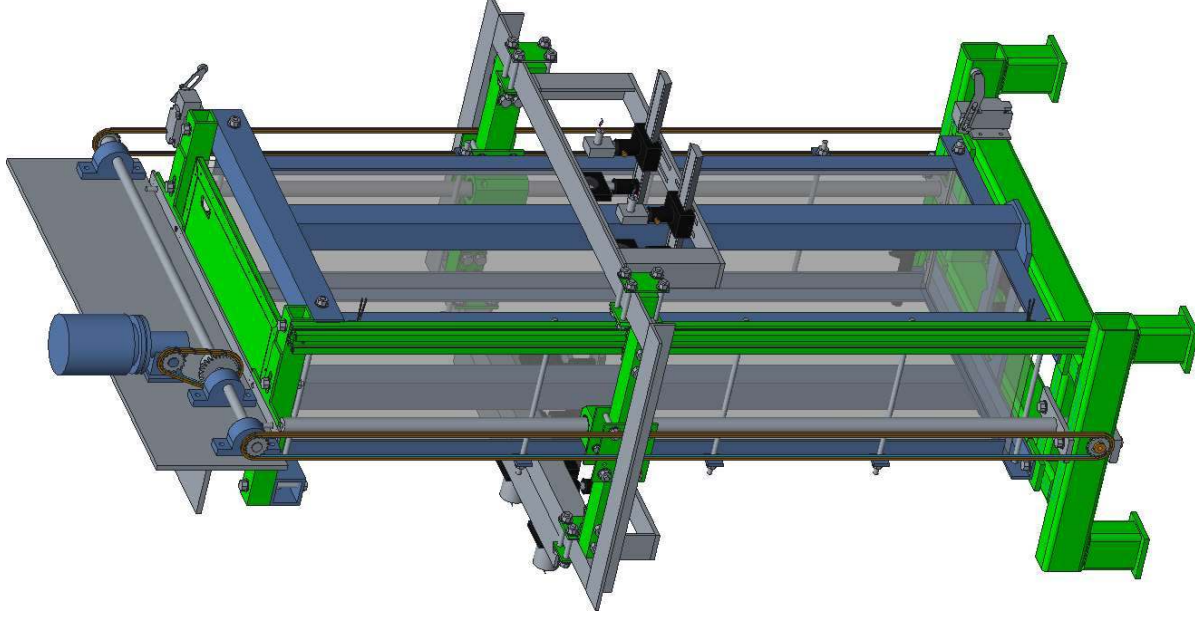
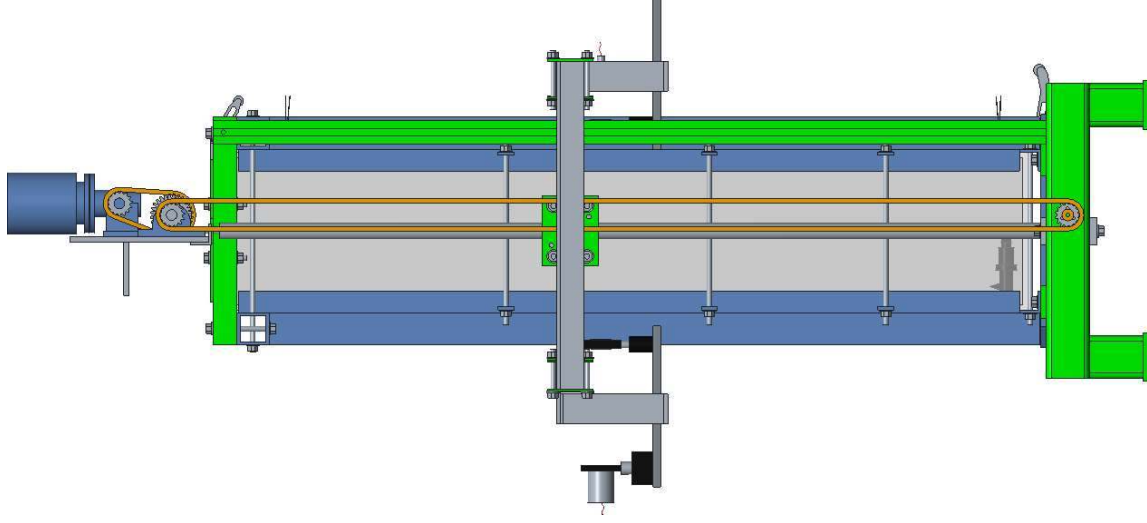


| Stk. | Pos | Beskrivelse                        |
|------|-----|------------------------------------|
| 1    | 01  | Sensorrygging, Tegnings nr. 002    |
| 4    | 02  | Firkantprofil 45x45                |
| 2    | 03  | Monteringsplate kors               |
| 2    | 04  | Fundamentrygging, Tegnings nr. 003 |
| 2    | 05  | Monteringsplate frihull            |
| 2    | 06  | Monteringsplate gjengenget         |
| 1    | 07  | Ledpanel                           |
| 4    | 10  | Sekskantskrue M12x30, 8.8          |
| 4    | 11  | Sekskantskrue M12x70, 8.8          |
| 4    | 12  | Sekskantskrue M12x120 8.8 / A4     |
| 48   | 20  | Underlagsskive M12                 |
| 42   | 30  | Mutter M12                         |
| 2    | 31  | Bolt, Mutter og skive M8           |

| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | Mikroalgetank (sammenstilling)     |          |            |
| Tegnings nr:         | 001-01                             |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 003      | 25.01.2017 |



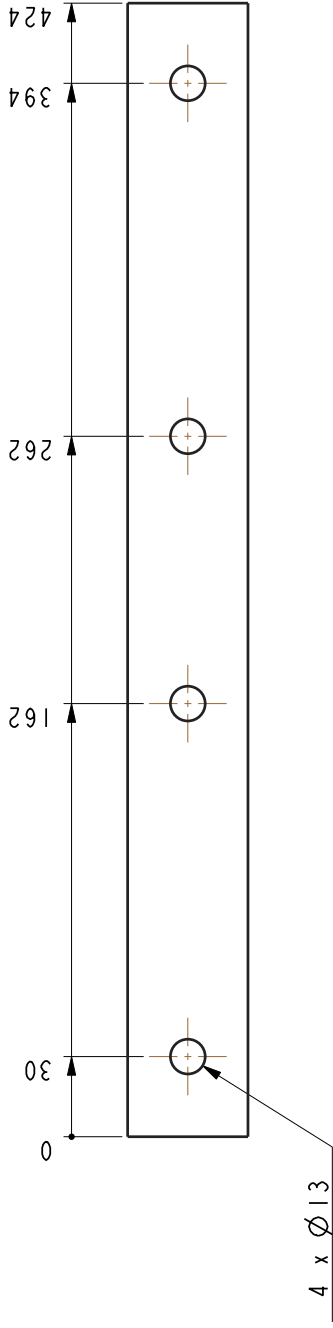
SCALE 0,100



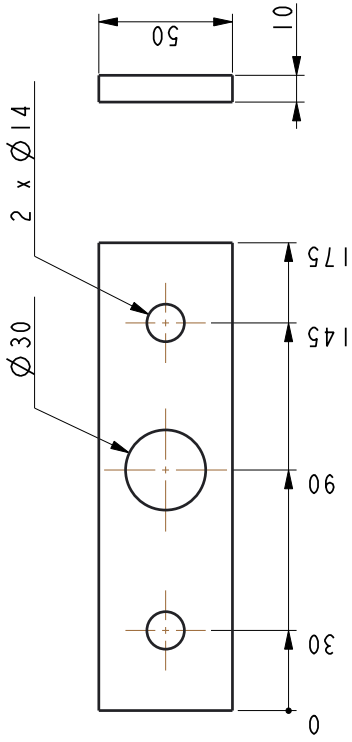
SCALE 0,100

Universitet i Bergen

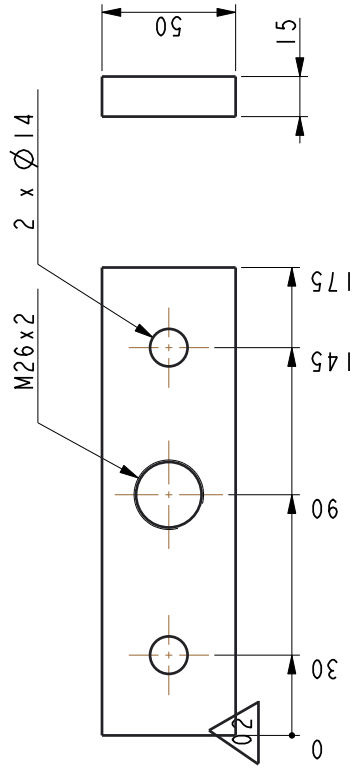
|                |                                    |                 |            |
|----------------|------------------------------------|-----------------|------------|
| Prosjekt:      | Instrumentering av mikroalger tank |                 |            |
| Tegnings navn: | Mikroalgetank (sammenstilling)     |                 |            |
| Tegnings nr:   | 001-02                             |                 |            |
| Laget av:      | ØSI                                | Kontrollert av: | -          |
|                |                                    | Versjon:        | 003        |
|                |                                    | Dato:           | 25.01.2017 |



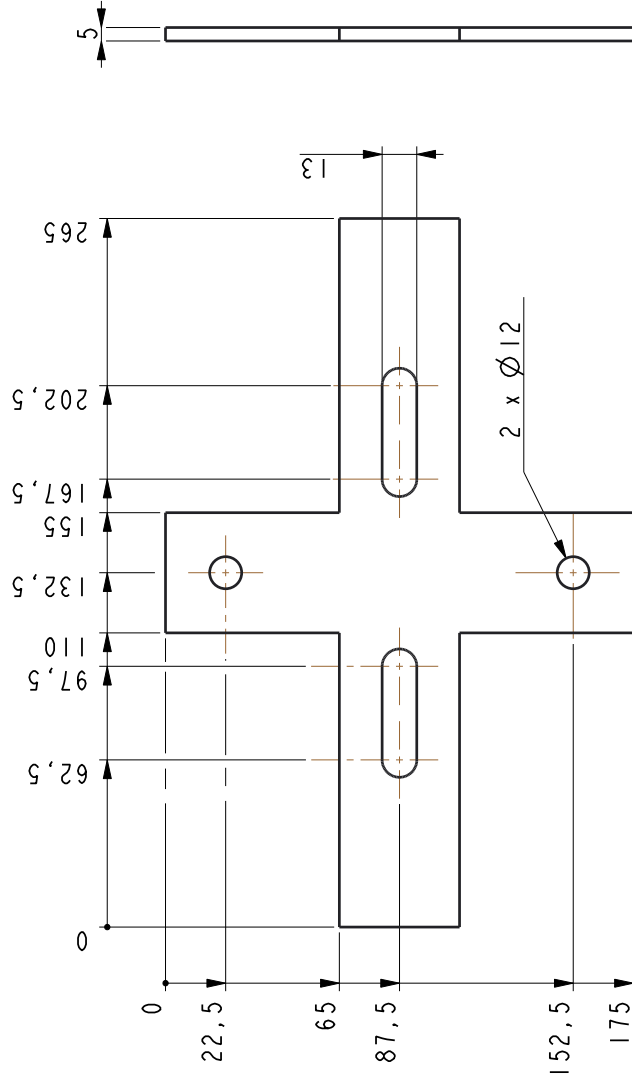
POS 02  
SCALE 0,500



POS 05  
SCALE 0,500

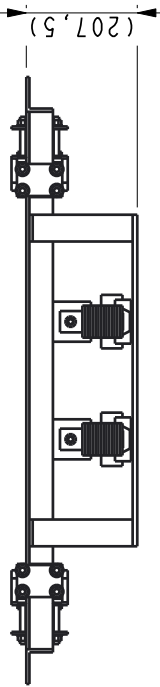


POS 06  
SCALE 0,500

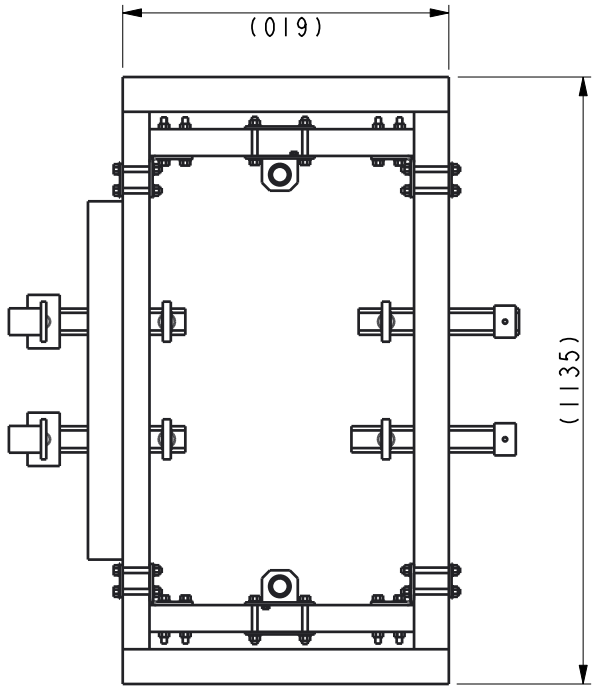


POS 03  
SCALE 0,500

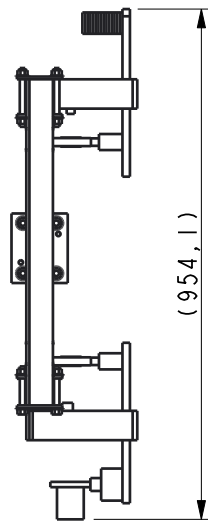
|                      |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | Mikroalgetank (deler)              |          |            |
| Tegnings nr:         | 001-03                             |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 02       | 25.11.2016 |



(954,1)



SCALE 0,100



30 20 11 05 01

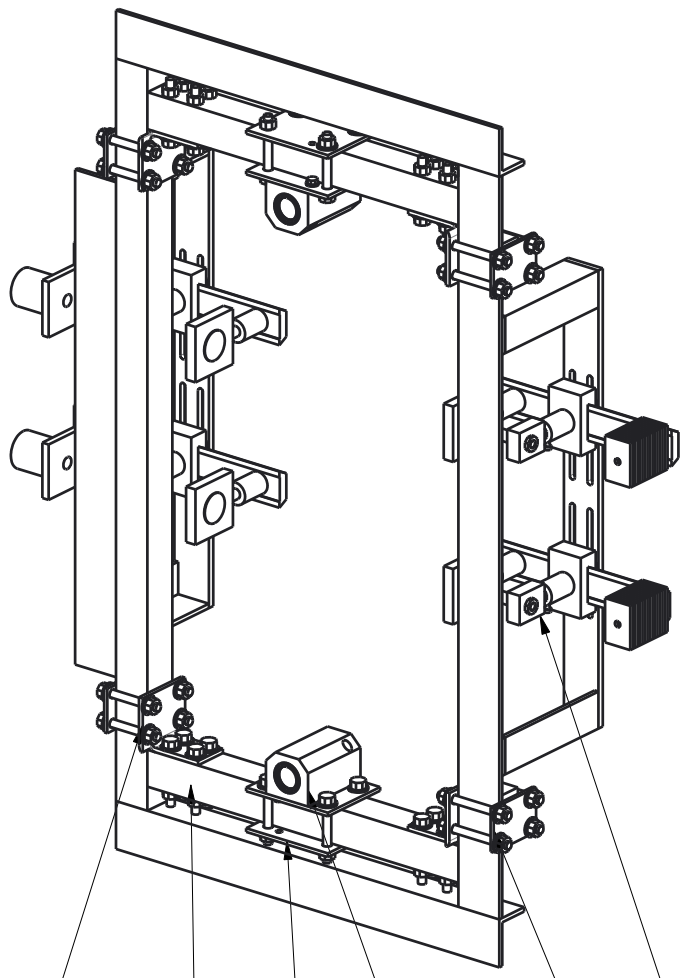
30 20 11 02

30 20 11 03

10 04

30 20 12 06 05 01

07



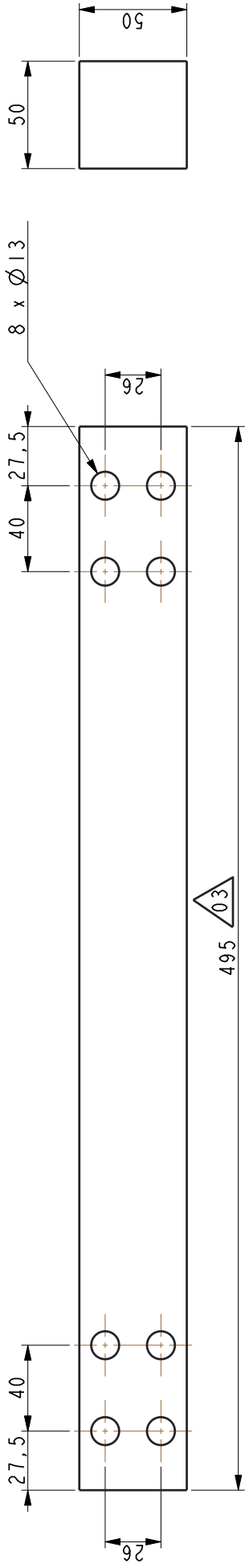
3D VIEW  
SCALE 0,150

| Stk. | Pos | Beskrivelse                              |
|------|-----|--|
| 4    | 01  | Monteringsvinkel sensorramme             |
| 2    | 02  | Aluminium profil 50x50                   |
| 8    | 03  | Monteringsplate lager                    |
| 2    | 04  | Tandem lineærlager SKF, LTBR 30-2LS      |
| 4    | 05  | Monteringsplate sensorramme              |
| 2    | 06  | Distansekløss sensorramme                |
| 2    | 07  | Optisk Detektor Module, Tegnings nr. 004 |
| 4    | 10  | Sekskantskrue M8x65, 8.8                 |
| 32   | 11  | Sekskantskrue M12x80, 8.8                |
| 16   | 12  | Sekskantskrue M12x100, 8.8               |
| 80   | 20  | Underlagskive M12                        |
| 40   | 30  | Mutter M12                               |

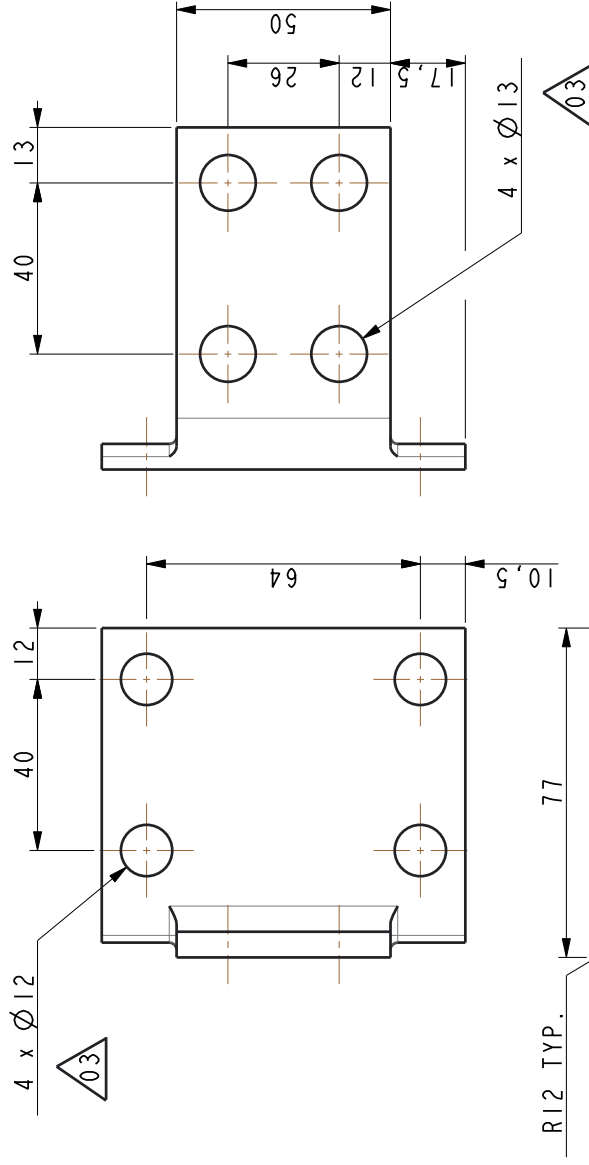
Bruk LOCTITE 222, gjengelåsingslim når sensorrammen er ferdig opprettet og sentrert på akslingene.

|                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| Universitet i Bergen |                                    |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |
| Tegnings navn:       | Sensorramme (sammenstilling)       |
| Tegnings nr.:        | 002-01                             |
| Laget av:            | Kontrollert av: Versjon:           |
| ØSI                  | - 03                               |
|                      | Dato: 03.01.2017                   |

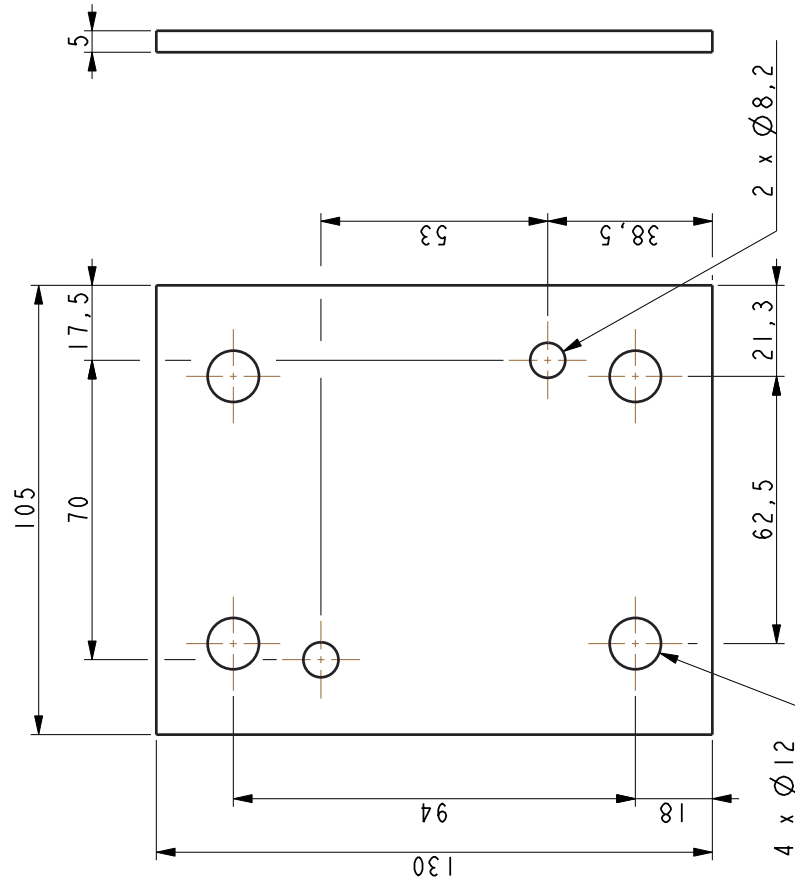




POS 02  
SCALE 0,500

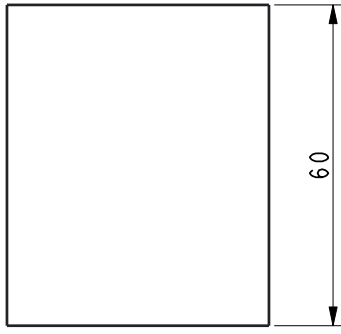
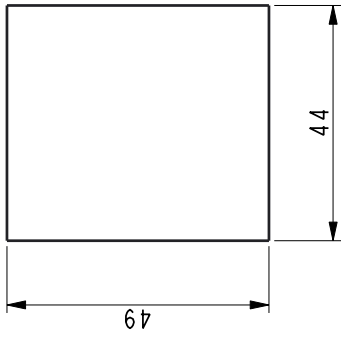


POS 1  
SCALE 0,800

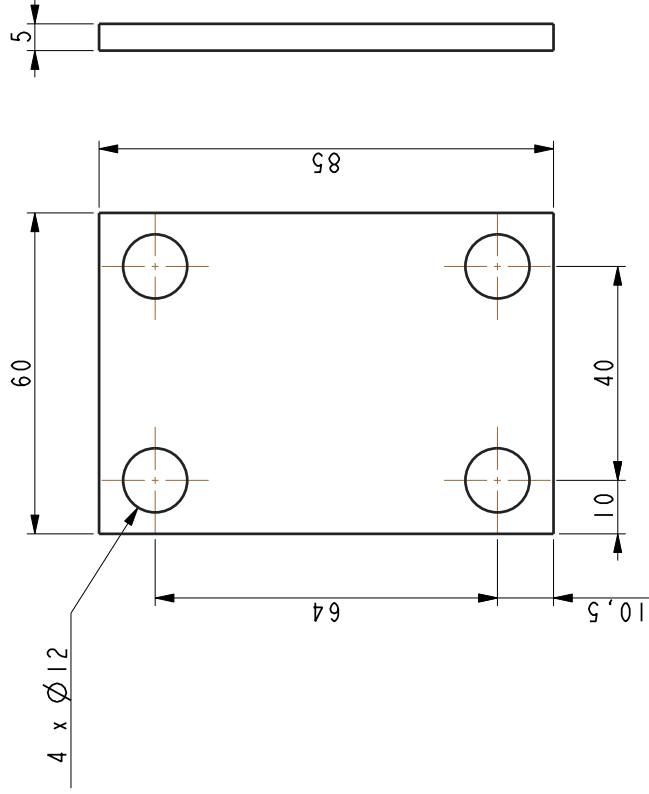


POS 03  
SCALE 0,800

|                      |                                    |                 |            |
|----------------------|------------------------------------|-----------------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |                 |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |                 |            |
| Tegnings navn:       | Sensorramme (deler)                |                 |            |
| Tegnings nr:         | 002-02                             |                 |            |
| Laget av:            | ØSI                                | Kontrollert av: | 03         |
|                      |                                    | Versjon:        | 03         |
|                      |                                    | Dato:           | 03.01.2017 |

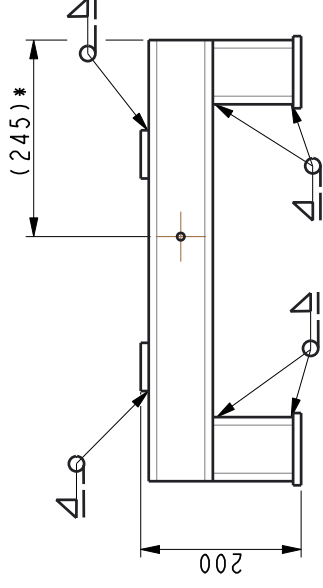
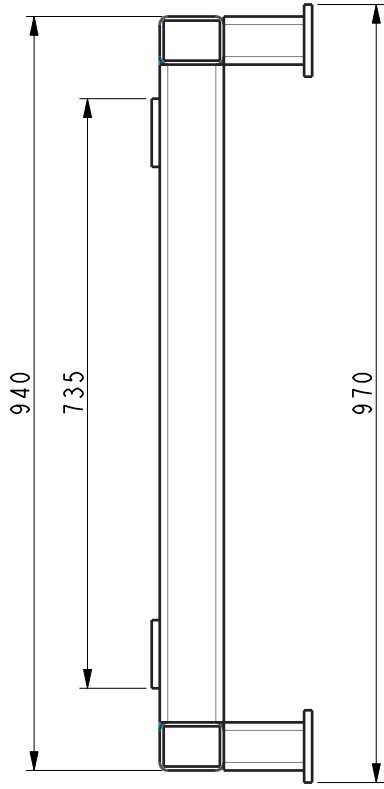


POS 06  
SCALE 1,000

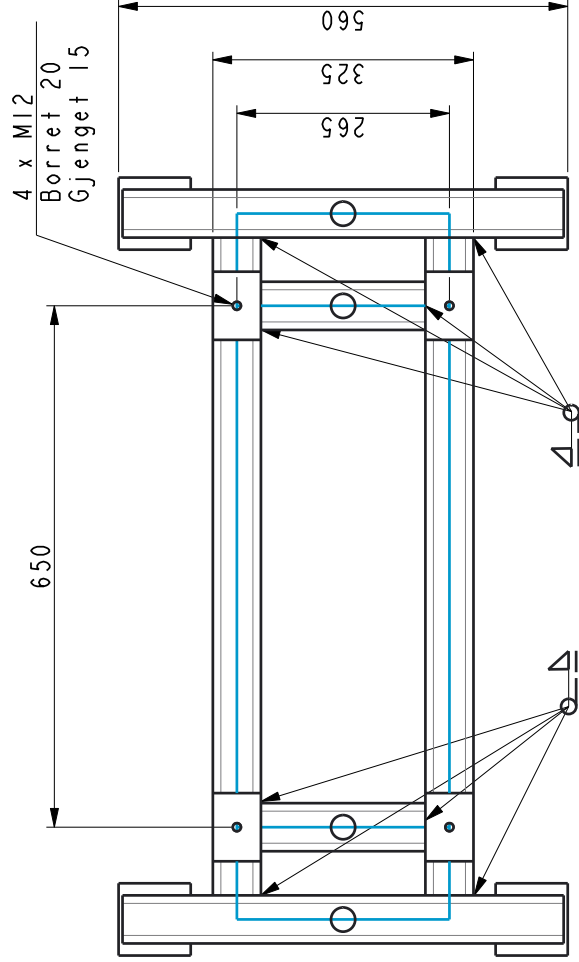


POS 05  
SCALE 1,000

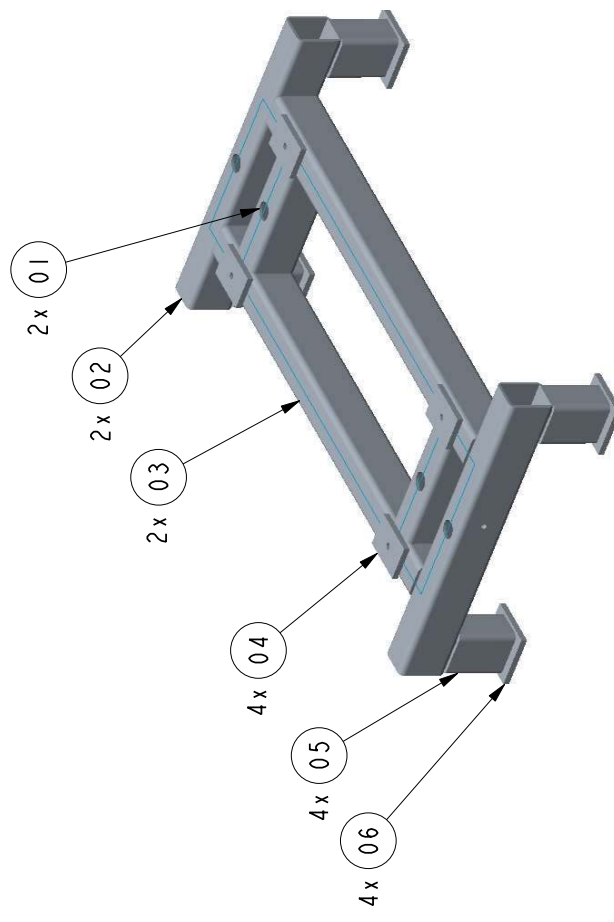
|                      |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | Sensorramme (deler)                |          |            |
| Tegnings nr:         | 002-03                             |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 03       | 03.01.2017 |



\* Samme orientering av POS 09 på motsatt side



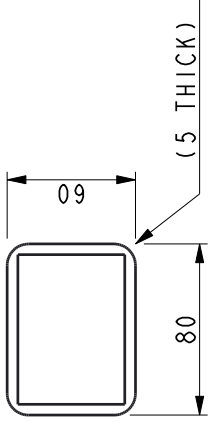
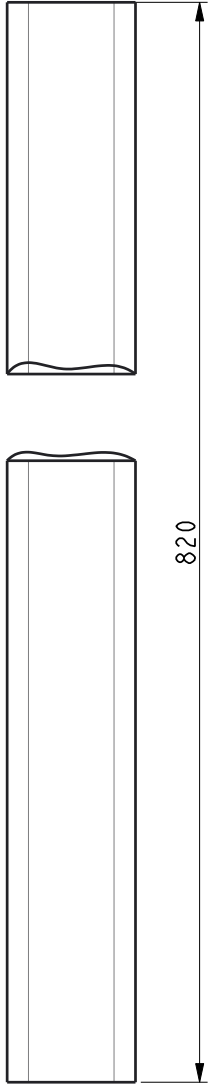
SCALE 0,150



SCALE 0,120

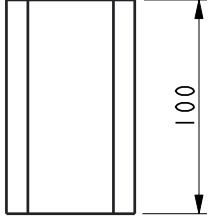
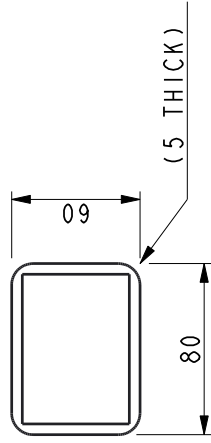
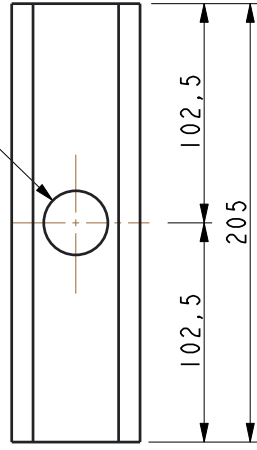
|                      |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | Fundamentramme                     |          |            |
| Tegnings nr:         | 003-01                             |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| OSI                  | -                                  | 01       | 04.11.2016 |

Anmerkninger:  
Delene sammenstilles og kilseises som anvist på tegning.



POS 03  
SCALE 0,400

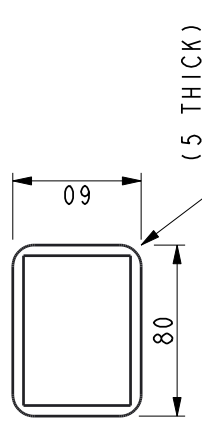
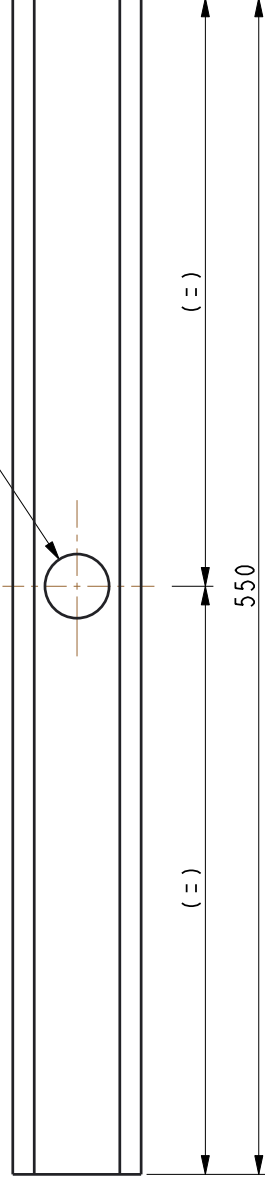
Ø30 borret gjennom



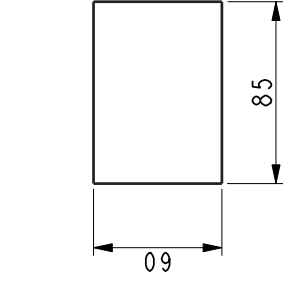
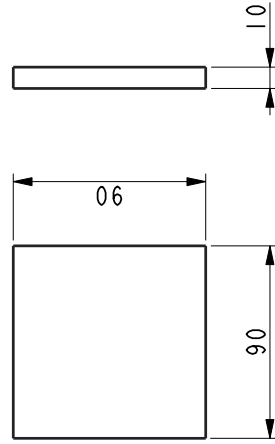
POS 01  
SCALE 0,400

POS 05  
SCALE 0,400

Ø30 borret gjennom



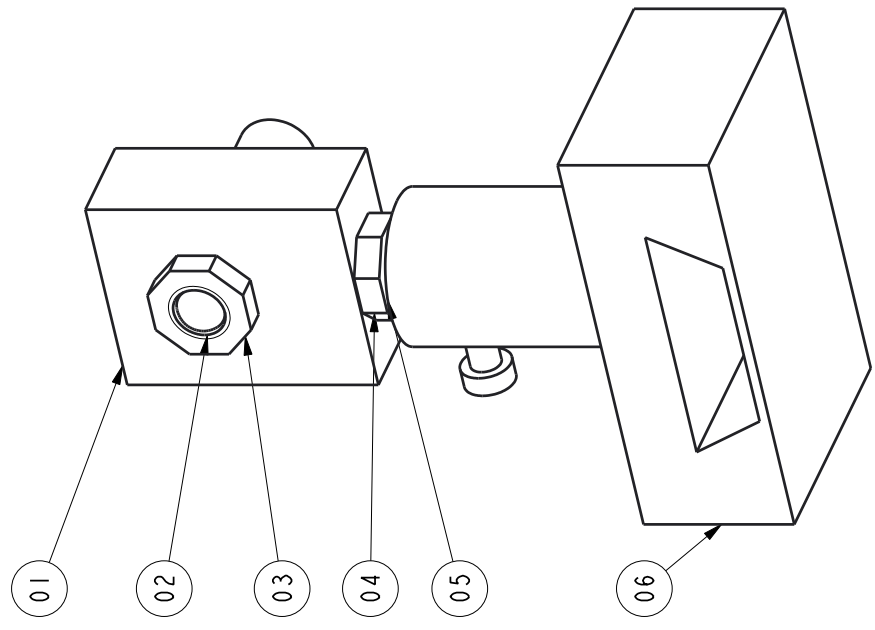
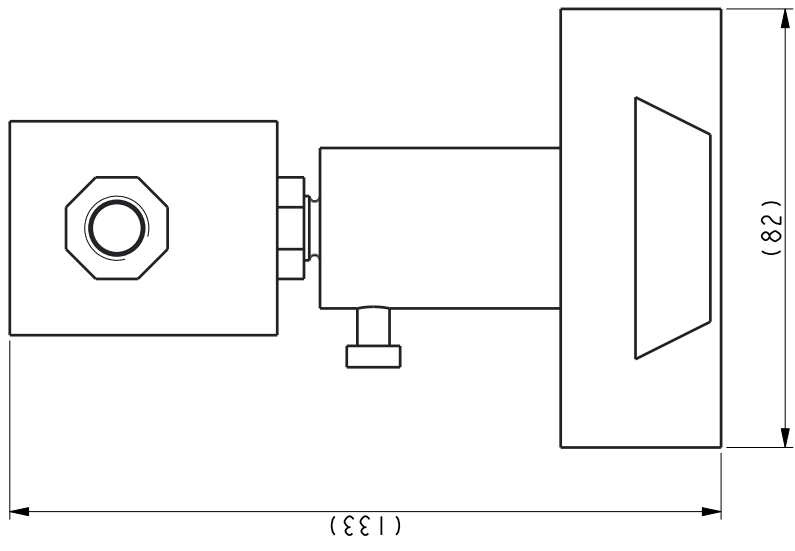
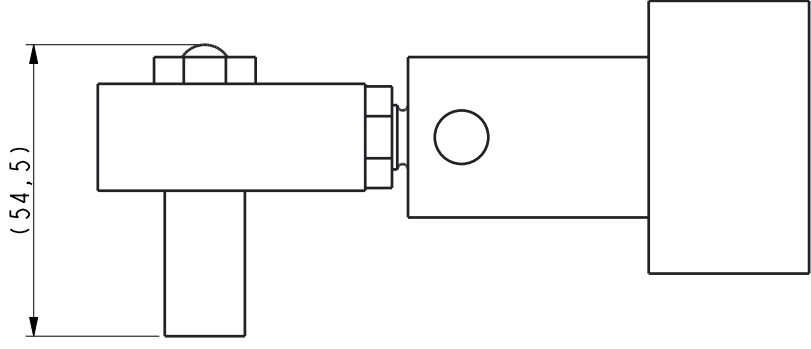
POS 02  
SCALE 0,400



POS 06  
SCALE 0,400

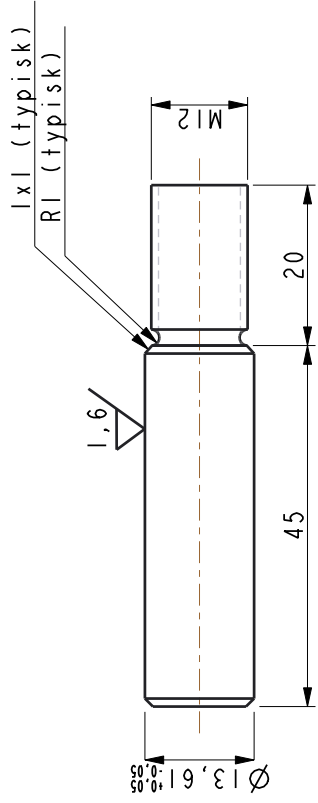
POS 04  
SCALE 0,400

|                      |                                    |
|----------------------|------------------------------------|
| Universitet i Bergen |                                    |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |
| Tegnings navn:       | Fundamentramme                     |
| Tegnings nr:         | 003-02                             |
| Laget av:            | Kontrollert av: Versjon: Dato:     |
| OSI                  | - 01 04.11.2016                    |

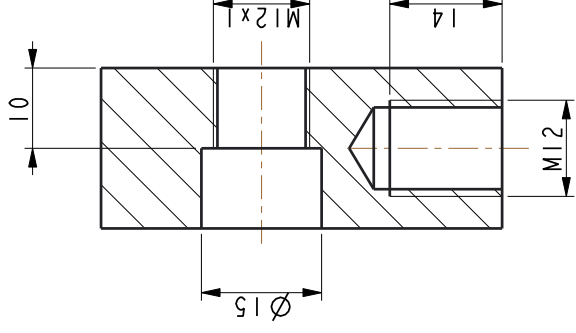
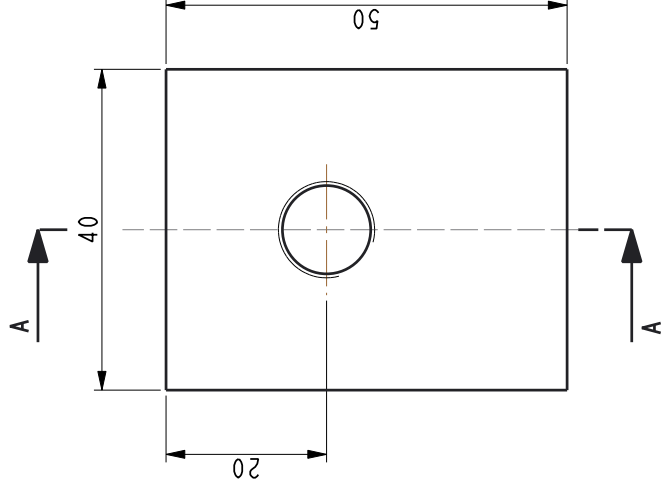


| Stk. | Pos | Beskrivelse                    |
|------|-----|--------------------------------|
| 1    | 01  | Detektor hus                   |
| 1    | 02  | Optisk detektor                |
| 1    | 03  | M12x1 halvmutter               |
| 1    | 04  | M12 halvmutter                 |
| 1    | 05  | Detektor aksling               |
| 1    | 06  | Detektor base for profilskinne |

| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | Optisk Sensor Module               |          |            |
| Tegnings nr:         | 004-01                             |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 01       | 25.11.2016 |



POS 5  
SCALE 1,500

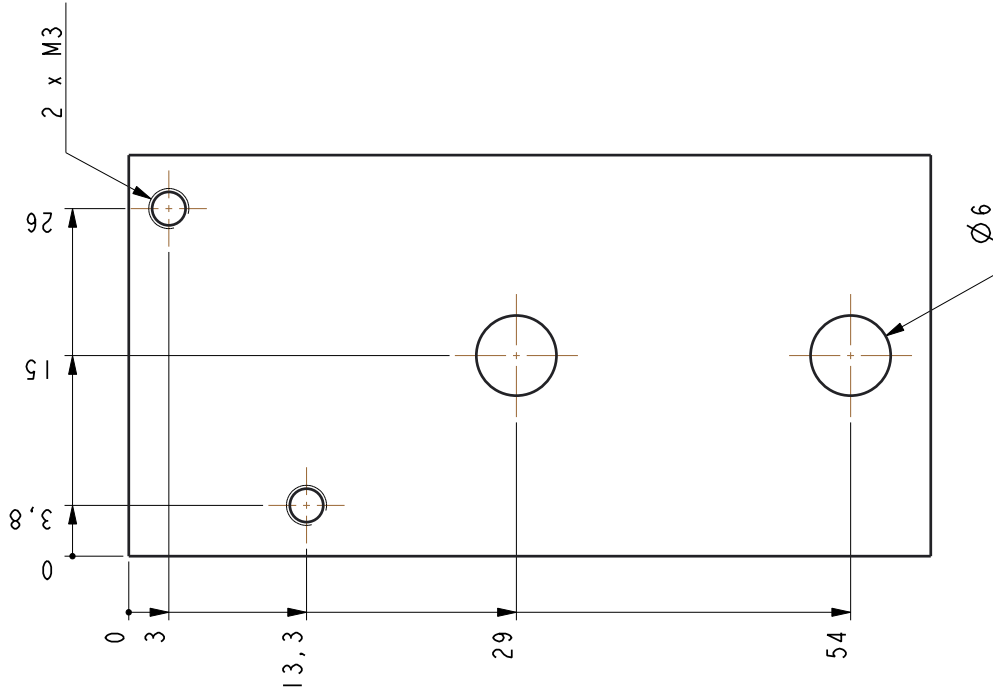


SECTION A-A



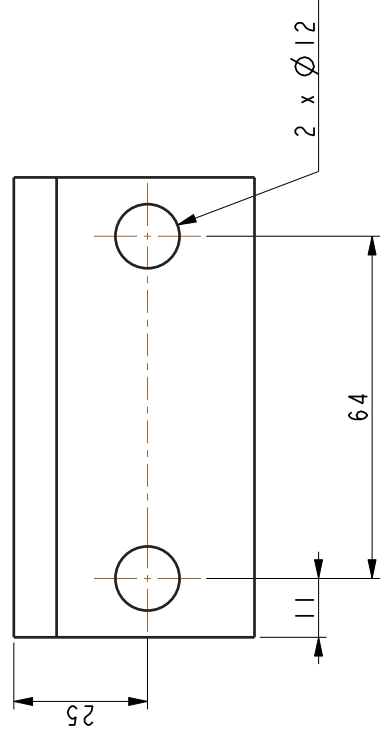
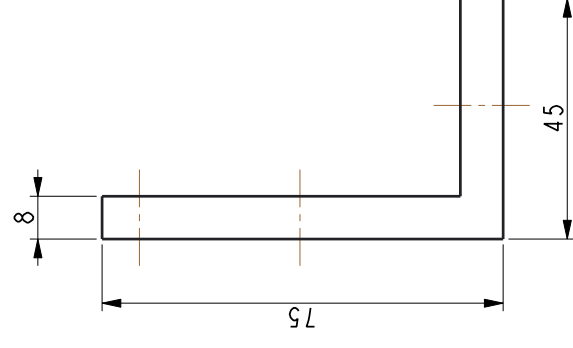
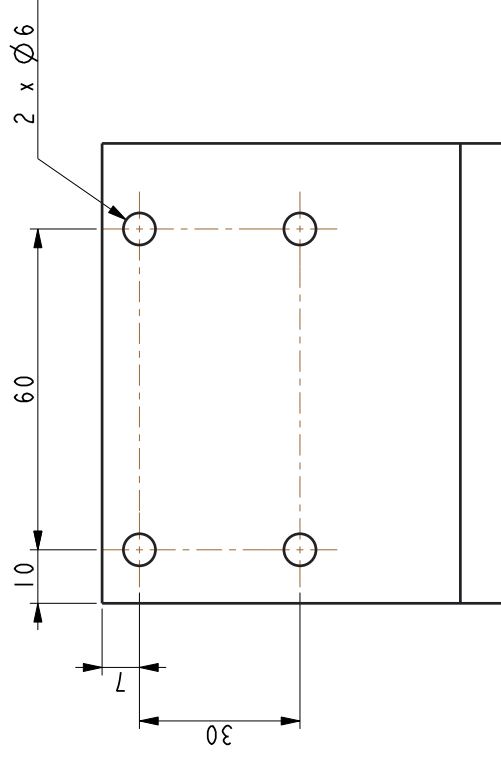
POS 1  
SCALE 1,500

|                      |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | Optisk Sensor Module               |          |            |
| Tegnings nr:         | 004-02                             |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 01       | 25.11.2016 |



SCALE 2,500  
 MATERIAL: ALUMINUM

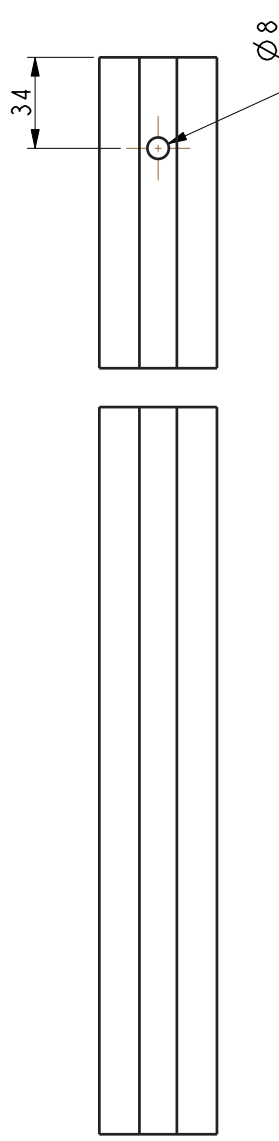
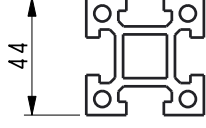
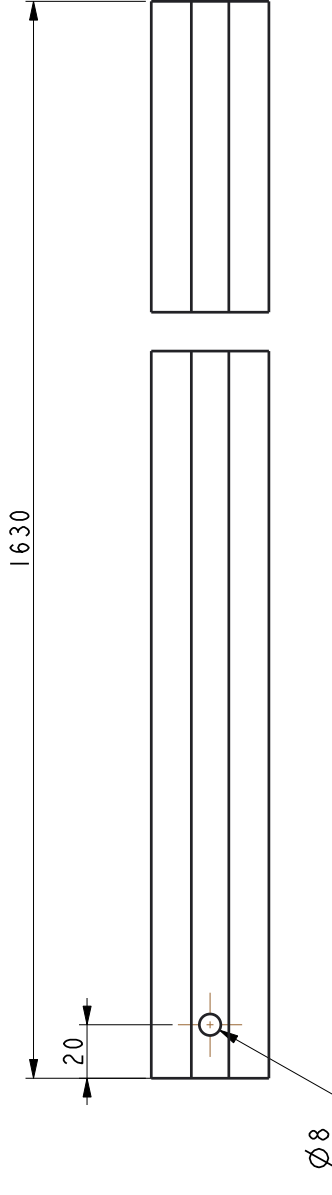
|                      |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | Monteringsplate vendebryter        |          |            |
| Tegnings nr:         | 010                                |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 01       | 25.01.2017 |



SCALE 1,000  
MATERIAL: ALUMINIUM

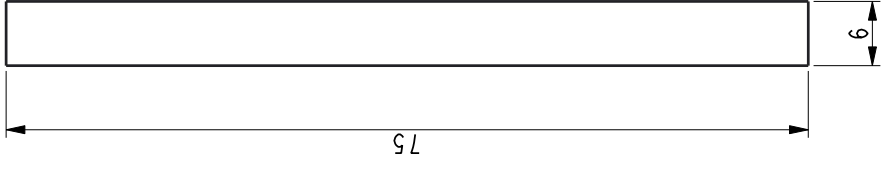
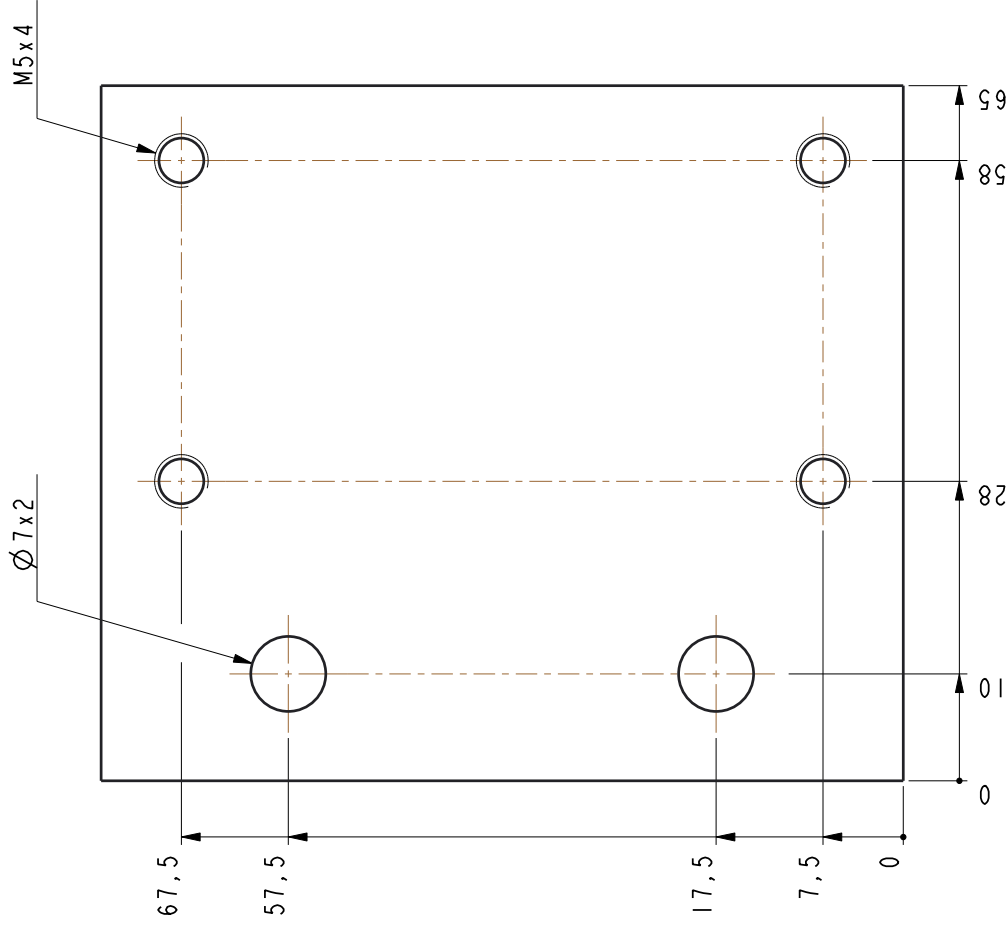
|                      |                                    |                 |            |
|----------------------|------------------------------------|-----------------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |                 |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |                 |            |
| Tegnings navn:       | Monteringsvinkel endebrøyter       |                 |            |
| Tegnings nr:         | 011                                |                 |            |
| Laget av:            | ØSI                                | Kontrollert av: | -          |
|                      |                                    | Versjon:        | 01         |
|                      |                                    | Dato:           | 25.01.2017 |





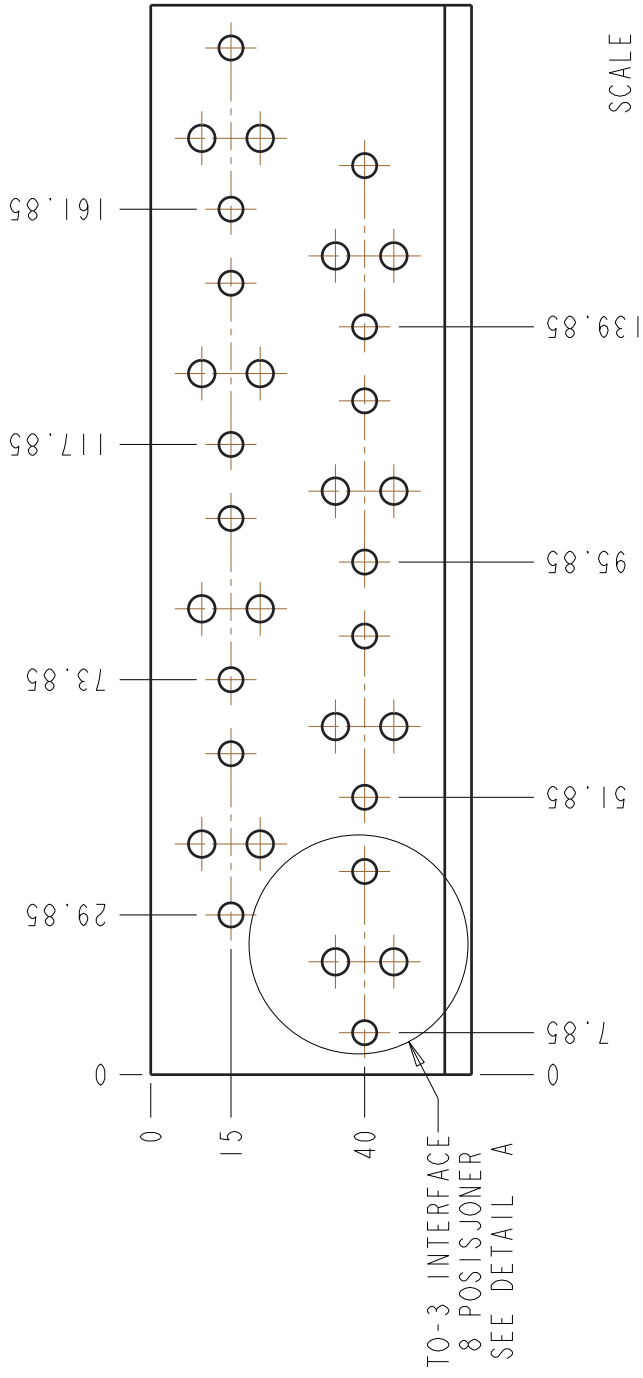
SCALE 0,500  
Flexlink 44x44 aluminiumsprofile

|                      |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | Vendebryter monteringsprofil       |          |            |
| Tegnings nr:         | 012                                |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 01       | 25.01.2017 |

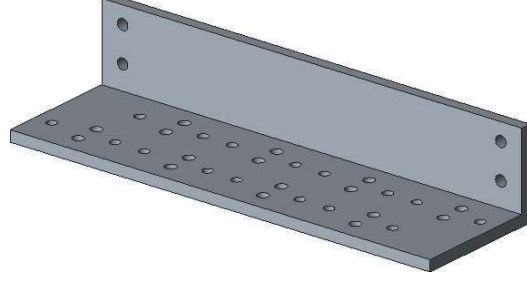
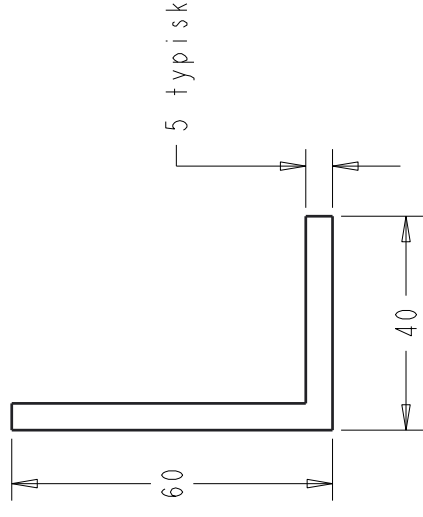
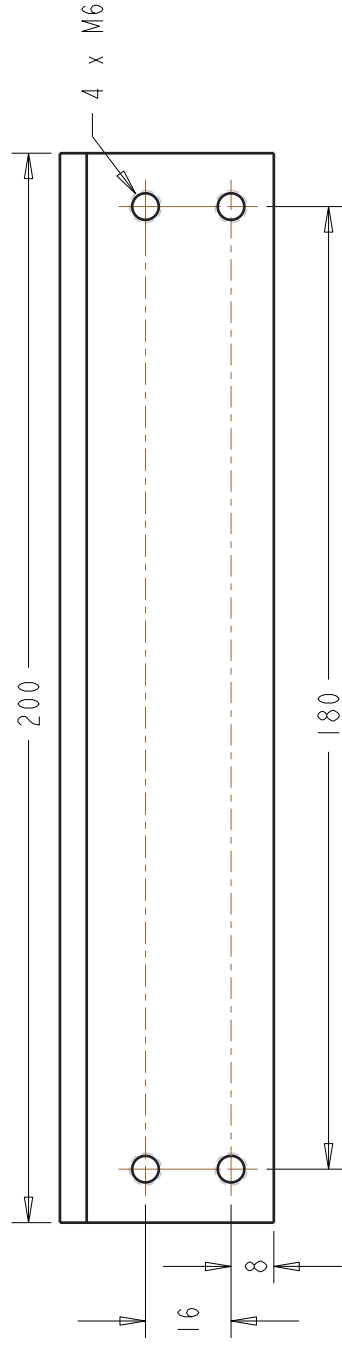


SCALE 2,000  
MATERIAL: ALUMINIUM

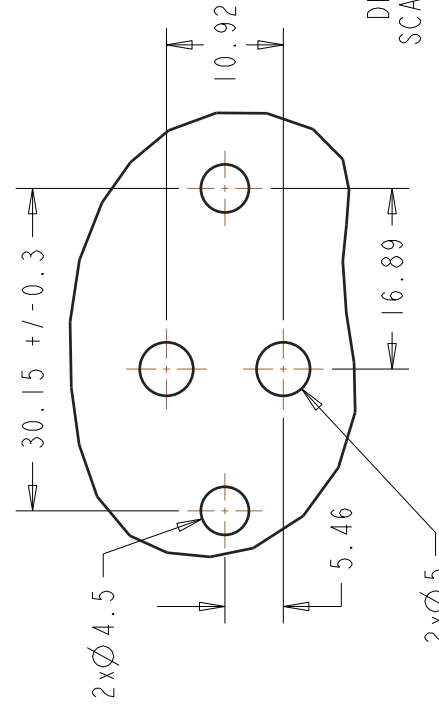
|                      |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | Monteringsplate endebytter         |          |            |
| Tegnings nr:         | 013                                |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 01       | 31.01.2017 |



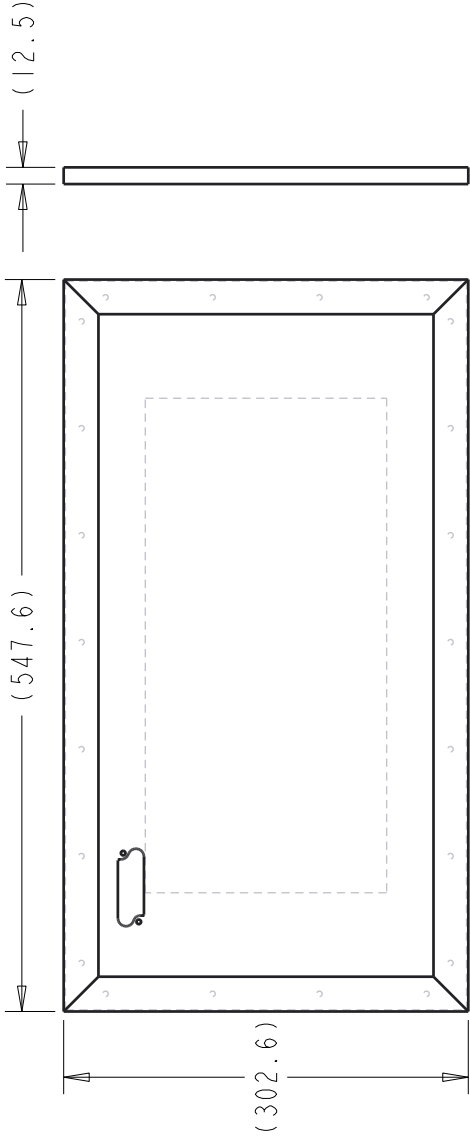
SCALE 1.000



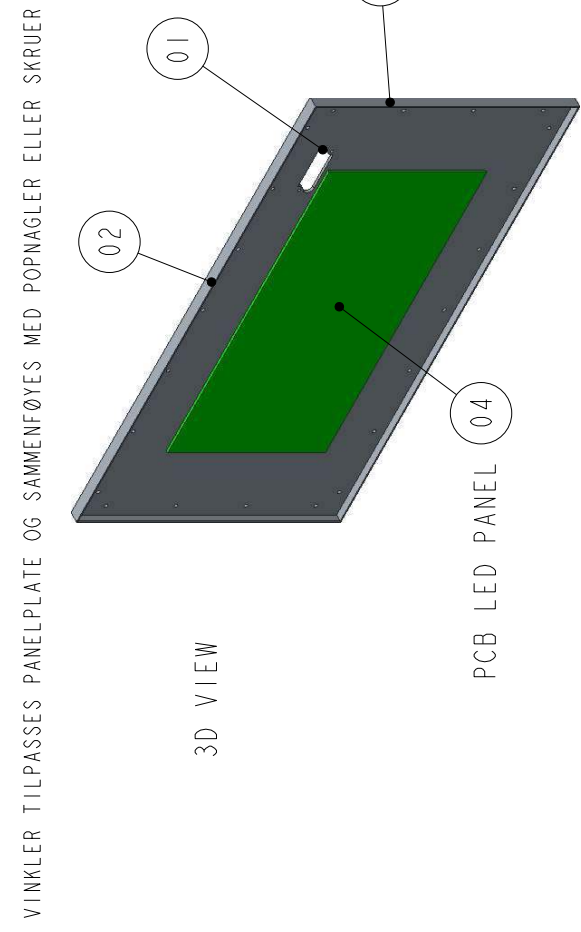
3D VIEW  
SCALE 0.500



|                      |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | TO-3 Transistor Brakket            |          |            |
| Tegnings nr:         | 014                                |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 01       | 31.03.2017 |

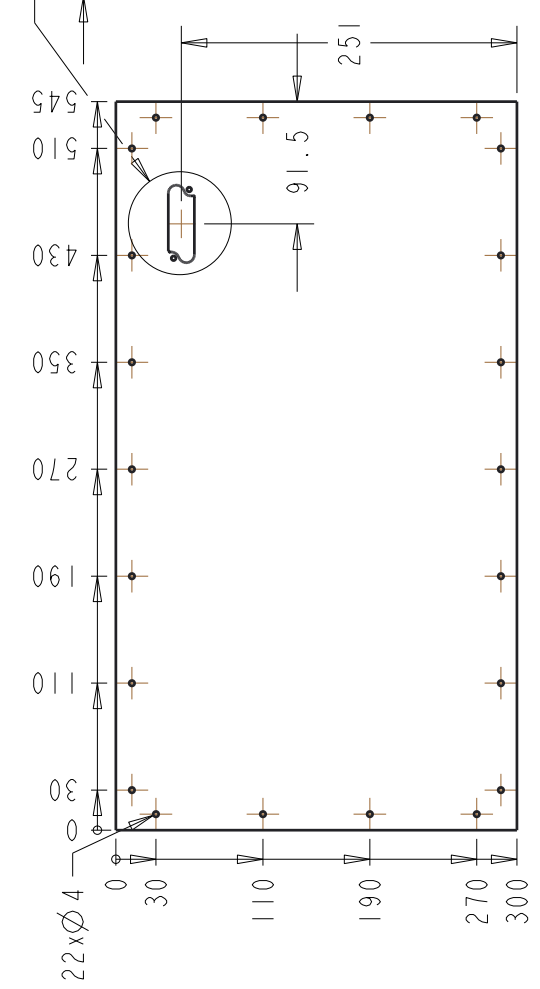


SAMMENSTILLINGSTEGNING  
SCALE 0.250



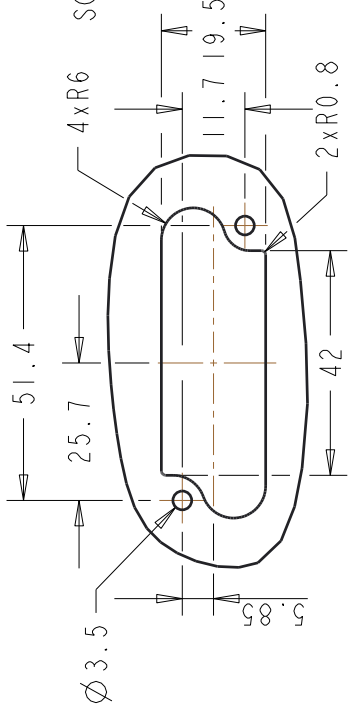
3D VIEW

PCB LED PANEL

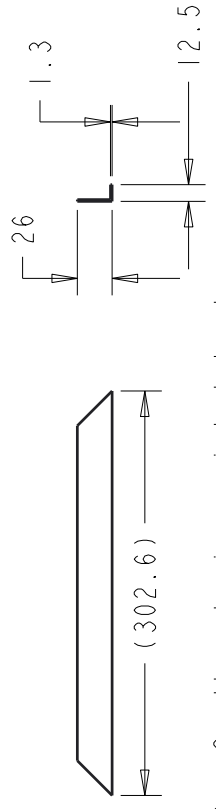


SEE DETAIL A

DETAIL A  
SCALE 1.000

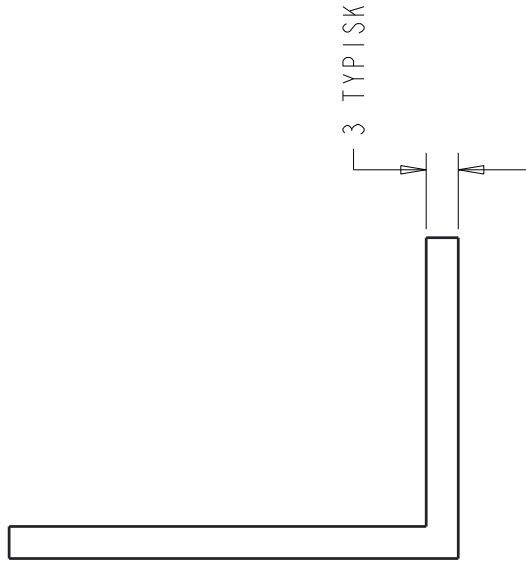
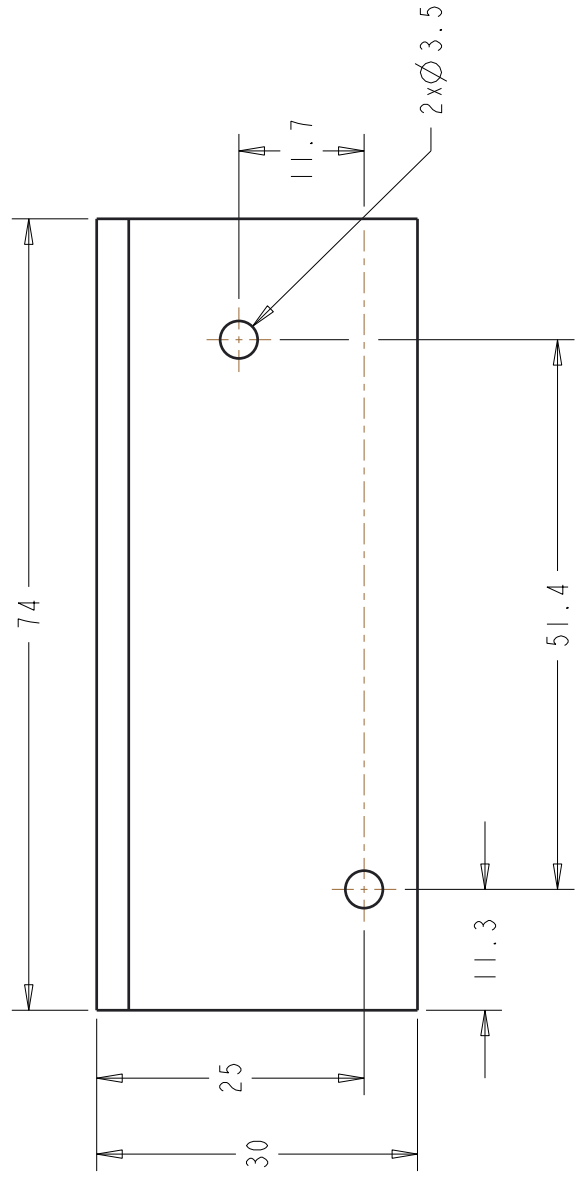
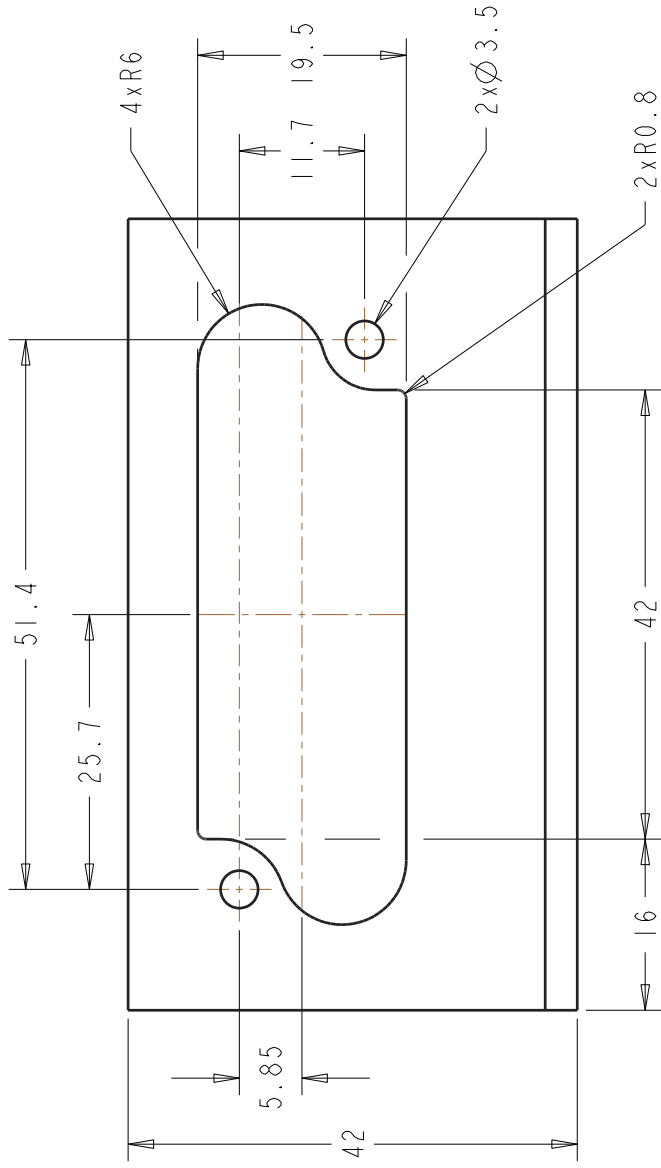


POS 2 - 2 stk. aluminiumsvinkel lang



POS 3 - 2 stk. aluminiumsvinkel kort

|                      |                                    |          |            |
|----------------------|------------------------------------|----------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |          |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |          |            |
| Tegnings navn:       | LYSPANEL                           |          |            |
| Tegnings nr:         | 015                                |          |            |
| Laget av:            | Kontrollert av:                    | Versjon: | Dato:      |
| ØSI                  | -                                  | 01       | 31.03.2017 |



|                      |                                    |                 |            |
|----------------------|------------------------------------|-----------------|------------|
| Universitet i Bergen |                                    |                 |            |
| Prosjekt:            | Instrumentering av mikroalger tank |                 |            |
| Tegnings navn:       | VINKEKONTAKT                       |                 |            |
| Tegnings nr:         | 017                                |                 |            |
| Laget av:            | ØSI                                | Kontrollert av: | -          |
|                      |                                    | Versjon:        | 01         |
|                      |                                    | Dato:           | 16.05.2017 |