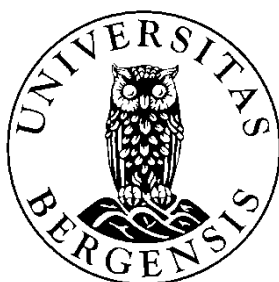


Universitetet i Bergen
Institutt for fysikk og teknologi



Mastergradsoppgave i
målevitenskap og instrumentering

Instrumentering av eksperimentell
vannkolonne for studier
av mikroalgers vertikalforflytning.

av

Sindre Fotland

2013

(Blank side)

Forord

Mastergradsprosjektet er utført ved forskningsgruppen for Nanofysikk og elektronikk ved Institutt for fysikk og teknologi, sammen med Institutt for mikrobiologi ved Universitet i Bergen.

Jeg vil spesielt takke min veileder professor Bjørn Tore Hjertaker for gode råd og veiledning under arbeidet med denne oppgaven.

Jeg vil også takke min veileder ved Institutt for mikrobiologi, førsteamanuensis Svein Rune Erga, for god veiledning, hjelp med eksperimenter og generell oppfølging i forbindelse med arbeidet. Jeg vil også takke professor Øyvind Frette ved Institutt for fysikk og teknologi for gode innspill.

Jeg vil videre takke overingeniør Rachid Maad ved Institutt for fysikk og teknologi for gode råd og hjelp i oppstartsfasen av prosjektet. I tillegg vil jeg takke overingeniør Werner Olsen og avdelingsingeniør Per Heradstveit ved Institutt for fysikk og teknologi for hjelp til design og produksjon av elektronikk i prosjektet. Til slutt også en takk til verkstedpersonellet ved Institutt for fysikk og teknologi for hjelp med å lage de mekaniske komponentene som var nødvendige i prosjekt arbeidet.

Til slutt vil jeg takke familien min for god støtte og Kristoffer for god korrekturlesing.

Bergen 1. juni 2013

(Blank side)

Sammendrag

Alger er viktig som primærprodusent i det marine økosystem. Det er derfor viktig at det oppnås større forståelse for hvordan alger lever og dør. For å kunne oppnå denne forståelsen må det gjøres tester og eksperimenter på hvordan ytre miljøfaktorer påvirker algenes vekst og egenbevegelse. Målesystem for å gjøre dette må være ikke-intrusive slik at de vertikale gradientene i disse miljøene ikke påvirkes av måleoppsettet. I dette prosjektet er det utviklet et system som muliggjør automatisk monitorering av vannkolonnen. Et eksisterende system med mange manuelle komponenter er oppgradert og automatisert. Målet med målesystemet er å monitorere den vertikale forflytningen samt vekst av alger i en eksperimentell vannkolonne under ulike miljøbetingelser.

Målesystemet er basert på optiske sensorer som er festet til en bevegelig ramme. Rammen kjøres vertikalt opp og ned på utsiden av en tank av pleksiglass ved hjelp av en elektrisk trefasemotor. For at rammen med sensorene skal snu når de har nådd toppen eller bunnen av tanken, er det festet vendebrytere i hver ende. I tillegg til disse er det også koblet inn sikkerhetsbrytere slik at ikke rammen kjøres for langt.

Når tanken er fylt med vann og alger blir lyset fra laserdioder som transmitteres gjennom tanken dempet av algene og påfølgende målt av detektorer den andre siden av tanken. Med hjelp av kalibrering og kjente variabler, kan algekonsentrasjonen så bestemmes. For å kunne variere forholdene er det laget et lyspanel basert på LED-lys med forskjellige bølgelengder, som kan kontrolleres ut i fra hvilken bølgelengde som ønskes. Alle disse elektriske komponentene; vendebrytere, sikkerhetsbrytere, laserdetektor, lyspanel og motor, er koblet til en sanntids datainnsamlingskontroller med innebygget FPGA og Ethernet tilkobling. Denne baserer seg på tilkobling av ulike inngangs- og utgangsmoduler, analoge eller digitale. Alle målesignaler i måleoppsettet blir samlet inn via denne kontrolleren, gjennom det lokale nettet og til en tilkoblet PC. På PC-en blir alle signalene behandlet ved hjelp av et LabVIEW-basert program, som gjør det mulig å ha mange valgmuligheter når en skal bestemme forholdene i tanken. Lyspanelet kan styres i forhold til intensiteten på lysene, hvilke bølgelengder som skal være på, hvor lenge lysene skal være på og av osv. Det er også mulig å kontrollere hvor ofte data skal samles inn fra målesystemet. Datainnsamlingsprogrammet som kjører på PC-en henter inn, behandler og lagrer data. Innsamlede data kan da bli presentert i hensiktsmessige grafer og resultatene kan analyseres.

For å sjekke at systemet fungerer i henhold til spesifikasjon ble det gjort eksperimenter på algetypen *Tetraselmis sp.* Disse eksperimentene viste at systemet fungerer som forventet, og resultatene er sammenlignbare med resultater fra tidligere studier på denne algetypen i en vertikal vannkolonne. Algene fremviste forventet oppførsel og beveget seg i vannkolonnen som forventet. Det er likevel fortsatt en del usikkerhet knyttet til nøyaktigheten av målingene. Dette skyldes blant annet at noen eldre sensorer er benyttet med ukjent usikkerhet, samt at det mekaniske oppsettet i målesystemet trenger forbedringer.

(Blank side)

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	14
1.1	Bakgrunn.....	15
1.1.1	Grønnalger	17
1.1.2	Spredning og absorpsjon av lys	20
2	Eksperimentelt oppsett for vannkolonne	23
2.1	Vannkolonne med elektrisk motor og mekaniske komponenter.....	24
2.1.1	Motorstyring	26
2.2	Lyspanel	30
2.2.1	Driverkrets for lyspanel	32
2.2.2	Verifikasjon av lyspanel	35
2.3	Optiske sensorer	38
2.4	Datainnsamlingssystem med LabVIEW-basert API.....	39
2.4.1	LabVIEW programmering	42
3	Eksperimenter	50
3.1	Forarbeid	50
3.2	Utførelse.....	51
3.3	Databehandling	52
3.3.1	Eksperiment 1	53
3.3.2	Eksperiment 2	56
3.3.3	Eksperiment 3	61
3.3.4	Eksperiment 4	65
4	Konklusjon.....	69
4.1	Videre arbeid.....	70
5	Referanseliste	72
6	Vedlegg	74

(Blank side)

Figurliste

Figur 1: Spektersensitivitet for pigmentene CSRA og CSRB.	17
Figur 2: Illustrasjon av algenes øyeflekk og elementene den inneholder.	18
Figur 3: Absorpsjonsspekter for <i>Tetraselmis sp.</i>	19
Figur 4: Tetraselmis sp.	19
Figur 5: Skjematisk tegning av det eksperimentelle oppsettet for vannkolonnen.	23
Figur 6: Det eksperimentelle oppsettet av vannkolonnen, del 1	24
Figur 7: Det eksperimentelle oppsettet av vannkolonnen, del 2	25
Figur 8: De to industrielle reléene som brukes i dette systemet.	26
Figur 9: Koblingsskjema for motor- styring og sikring.	28
Figur 10: Fordelingen av de ulike LED-pærer i lyspanelet.	30
Figur 11: Oppkobling av LED-pære med tilhørende spenninger og strøm.	31
Figur 12: Det ferdige LED-panelet.	31
Figur 13: Koblingsskjema for driverkrets for individuell styring av LED-pærene	32
Figur 14: Transistormodell.	33
Figur 15: Skissert måleoppsett for måling med radiometeret RAMSES ACC-VIS.	35
Figur 16: Irradians som funksjon av kontrollspenning for alle de ulike fargene.	36
Figur 17: Spekter for lyspanelet ved ulike avstander.	37
Figur 18: Lyssylinderens volum	38
Figur 19: Datainnsamlingskontrolleren NI cRIO-9074	39
Figur 20: Koblingsskjema for NI cRIO og de enkelte elektriske komponentene.	41
Figur 21: Blokkdiagram som viser prosessene i LabVIEW programmet.	42
Figur 22: LabVIEW brukergrensesnitt.	43

Figur 23: LabVIEW-programmets oppstart.....	44
Figur 24: Operasjoner på bakgrunn av brukervalg i LabVIEW-programmet.....	44
Figur 25: Motorstyring i LabVIEW-programmet.....	45
Figur 26: Lyskontroll i LabVIEW-programmet..	46
Figur 27: Filopretting i LabVIEW programmet.....	47
Figur 28: Datainnsamling i LabVIEW programmet.	48
Figur 29: Databehandling i LabVIEW-programmet.....	49
Figur 30: Avslutning av LabVIEW programmet..	49
Figur 31: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 1.....	53
Figur 32: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 1.	54
Figur 33: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 1..	54
Figur 34: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 2..	56
Figur 35: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 2.	57
Figur 36: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 2..	58
Figur 37: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 2.	59
Figur 38: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 3.	61
Figur 39: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 3.	62
Figur 40: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 3.	63
Figur 41: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 4.	65
Figur 42: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 4.	66
Figur 43: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 4..	67

Tabelliste

Tabell 1: Koblingskjema for motorstyring	29
Tabell 2: Oversikt over hvilke eksperimenter som er gjennomført.	51
Tabell 3: Oversikt over vedlegg på medfølgende CD.	74

(Blank side)

Liste over forkortelser

LED – Light Emitting Diode

API – Application Programming Interface

cRIO – compact Reconfigurable I/O

MAX – Measurement & Automation eXplorer

ADC – Analog to Digital Converter

DAC – Digital to Analog Converter

I/O – Input/Output

NI – National Instruments

PAR – Photosynthetic Active Radiation

FPGA – Field Programmable Gate Array

1 Introduksjon

For å øke forståelsen av grunnleggende funksjoner i pelagiske økosystemer, studerer man mikroalgers vertikale forflytning og organisering i vannkolonnen. Viktig i denne sammenhengen er å studere eksistensen av vertikale gradienter i dette miljøet. In situ studier av planteplankton er vanskelig da nødvendig undervannsinstrumenter kan forstyrre, eller til og med ødelegge, de vertikale gradientene og/eller påvirke antall celler.

Det ble allerede i 1999 startet arbeid ved Institutt for biologi, Universitet i Bergen, med et målesystem som skulle gjøre det mulig å studere mikroalgers vertikalforflytning i en eksperimentell vannkolonne. Dette systemet har gjennom de siste 10 årene blitt videreutviklet ved flere anledninger men er nå utdatert. Det er ønskelig å automatisere kjøring av eksperimenter på systemet slik at datainnsamling og databehandling blir mer effektivt. Det er også ønskelig med mer nøyaktige resultat og større repeterbarhet. Med det nye målesystemet blir dette virkeliggjort ved større kontroll over de ulike prosessene i systemet. Samtidig må det nye målesystemet verifiseres ved å utføre eksperimenter. Resultatene fra disse eksperimentene bør da samsvare med resultatene fra eksperimenter utført på det gamle målesystemet.

Hovedfokus i dette mastergradsprosjektet er derfor å lage et målesystem som inkluderer:

- Kontroll og automatisering av den eksperimentelle vannkolonnen.
- Forbedret datainnsamling.
- Optimalisert lyspanel med kontroll over styrke og lyskilder.
- Brukervennlig programvare med mer effektiv behandling av data.
- Verifisering av målesystemet ved hjelp av innledende eksperimenter på vannkolonnen.

1.1 Bakgrunn

Rundt to tredjedeler av jordas overflate er dekket av vann, hvor algene tjener som fundamentet for alle andre akvatiske organismer. Ved å konvertere CO₂ til organisk karbon og O₂, står disse fotosyntetiske organismene for mer enn halvparten av verdens totale primærproduksjon. Planteplankton står igjen for mellom 90 og 98 % av denne produksjonen mens tang og tare bidrar bare med 2 til 10 % (*Garrison 1996*). Planteplankton er da de dominerende fotosyntetiserende organismene i akvatiske økosystem. Mikroalger er den dominante komponenten i planteplankton. Derfor er det av vitenskapelig interesse å studere den resulterende oppførselen deres som følge av varierende innfallende lys og variasjonen i andre miljømessige parametre. I tillegg er det av interesse å studere de naturlige optiske egenskapene til algene generelt da disse er nødvendig for å kunne tolke målte data fra havvann. En annen like viktig oppgave er å studere mikroalgers evne til egenbevegelse. Dette gjøres best under kontrollerte betingelser i en eksperimentell vannkolonne. Hovedsakelig beveger mikroalger seg i en vannkolonne på to måter: Ved å regulere den biokjemiske oppbygningen deres på en slik måte at de blir lettere enn vann og dermed flyter oppover, ved å svømme, i.e. slå med flagellene (en slags hale på cellene). Måten de beveger seg på og svømmehastigheten varierer fra en art til en annen.

Videre er det viktig å kunne forklare hva som får cellene til å flytte seg fra en viss høyde og akkumulere seg i en annen. For kunne gjøre dette, er det viktig å overvåke de vertikale bevegelsene av mikroalger i kontrollerte laboratorieeksperimenter (*Omar 1996*).

For at en plante skal vokse er det fire krav som må oppfylles:

1. Energi i form av lysstråling
2. Uorganisk karbon i form av karbondioksid eller bikarbonat ioner
3. Næringssalter
4. Vann

Alger som lever i vann har fordelen at vann er lett tilgjengelig. Vannet vil derimot både absorbere og spre lys. Derfor vil både intensiteten og den spektrale kvaliteten til lys variere mye i forhold til dybden. Lystilgjengeligheten kan dermed være en begrensende faktor for det akvatiske økosystem. I tillegg må algene konkurrere om lyset med andre lysabsorberende komponenter i det akvatiske mediet. Dette har blant annet ført til at algene har utviklet egenskaper som gjør at de kan optimalisere absorpsjonen av lys (*J. T. Kirk 1994*). PAR-lys, dvs. lys som er tilgjengelig for fotosyntese, driver primærproduksjonen i havet. For mye ultrafiolett lys (UV-lys) er derimot skadelig. Både de organiske og de uorganiske bestanddelene i havet avhenger av nivåene av PAR-lys og UV-lys. Det er derimot nødvendig å få mer kunnskap om de marine lysnivåene og hvordan disse fysisk blir påvirket av partikulært og løst materiale. Ut ifra dette kan det oppnås bedre forståelse av det marine økosystemet og en mer pålitelig estimering av primærproduksjonen.

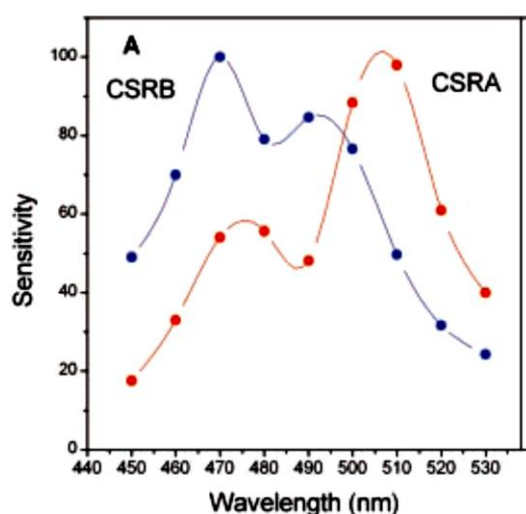
I naturlige vannkolonner finner vi en rekke ulike vertikale fordelingsmønstre av alger (*Bjørnsen og Nielsen 1991*), (*Rao og Sarojini 1992*), (*Erga, Omar, et al. 1999*). Vannsøylestabilitet spiller en viktig rolle i forhold til pelagisk primærproduksjon og til den vertikale struktur av planteplankton (*Erga og Heimdal 1984*), (*Bjørnsen og Nielsen 1991*), (*Erga, Dybwad, et al. 2003*). I fjorder og kystfarvann er saltinnholdet viktigste styrende faktor med hensyn til tettheten av sjøvann på grunn av ferskvann fra land. Derfor er haloklin (grenseflate mellom to vannlag med ulik saltholdighet) den største bidragsyteren til lagdelingen av disse farvannene. Det er også tydelig at styrken og varigheten av lagdelingen er av stor betydning for å initiere og opprettholde planteplanktonoppblomstringer (*Cloern 1984*), (*Frette, et al. 2001*), (*Erga, Dybwad, et al. 2003*). Lagdelte vannmasser råder ofte under lengre perioder med stille vær som ofte er tilfelle i løpet av sommeren (*Erga 1989*), (*Erga og Skjoldal 1990*), (*Erga, Dybwad, et al. 2003*). Dette fører til at en næringsstoff-utarmet eufotisk sone blir isolert fra dypere og næringsrikt vann av en sesongmessig pyknoklin (grenseflate mellom to vannlag med ulik tetthet). Essensielt i denne sammenhengen er den velkjente evnen mange arter har, nemlig å migrere. I denne sammenhengen er det snakk om vertikal migrasjon over flere meter opp og ned gjennom haloklin-laget under henholdsvis lyse og mørke perioder (*Villarino, et al. 1995*), (*MacIntyre, Cullen og Cembella 1997*), (*Erga, Omar, et al. 1999*). Dette gjør at mikroalgene oppsøker områder med hensyn til lys og næringsstoffer hvor forholdene er tilstrekkelig til å opprettholde veksten. Slike forhold er også rapportert å være gunstig for vekst av planteplankton flagellater (*Smayda 1980*), (*Cushing 1989*), (*Erga, Dybwad, et al. 2003*). Dette er vanligvis ansett for å være på grunn av deres evne til å svømme raskt opp og ned gjennom haloklin-laget for å tilfredsstille deres lys- og næringsbehov.

1.1.1 Grønnalger

Tidligere eksperimenter på målesystemet som videreutvikles ble gjort med algetypen *Tetraselmis sp.* Dette er en alge under klassen *Prasinophyceae* og gruppen *Chlorophyta*, dvs. grønnalger. Det er derfor naturlig at forsøkene som gjøres på det oppgraderte målesystemet også gjøres på denne typen alge.

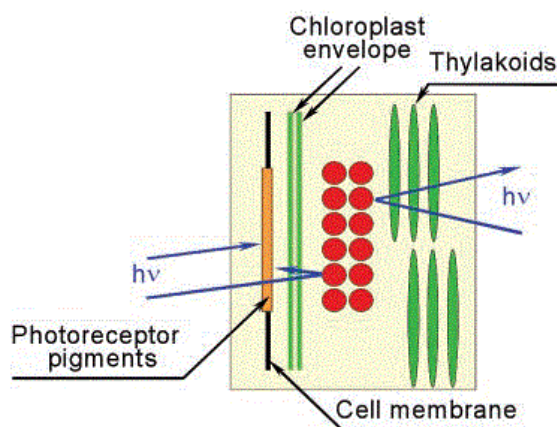
Grønnalgene er en av de største algegruppene. De finnes både i ferskvann og saltvann. Både den ytre og den indre strukturen varierer en del innenfor gruppen. Celleinndelingen kan variere mye, alt fra encellede alger til alger med cellevev. De encellede algene er nesten aldri kuleformet, noe som vanskeliggjør optisk måling. Dette fordi lyset ikke vil bli spredt og absorbert på en uniform måte. De indre strukturene hos en alge påvirker også de optiske målingene. Viktigste her er form i tillegg til antall, og fordelingen av de lysabsorberende kloroplastene. Siden alger kan bevege seg i en vannkolonne vil det også påvirke målingene. Hos noen alger foregår dette ved hjelp av flageller. Flagellen er en bevegelig organell som driver cellene gjennom vannet. Flagellen er typisk en bøyelig sylinder med diameter 0,2 μm og lengde på 10 til 40 μm . Flagellene er til stor hjelp når de frittstående algene skal orientere seg i forhold til lys. Dette gjør at de kan optimalisere fotosyntesen ved varierende lysstyrke. Algene registrerer først retningen til lyset, deretter overfører de signal til flagellen(e) før det oppstår en differensiert svømmebevegelse mellom flagellene (Dybwad 1998).

Algene registrerer lys ved hjelp av et sanseapparat, en fotoreseptor, som består av en øyeflekk og et lysfølsomt organ. Denne fotoreseptoren reagerer på en gitt lyskvalitet (spektralt bånd). Fotoreseptoren inneholder pigmentene CSRA og CSRB (*Chlamydomonas* sensory rhodopsins A og B). Disse pigmentene er vist å ha en høy sensitivitet for grønt (CSRA) og blått (CSRB) lys, se Figur 1, ved henholdsvis høye og lave lysintensiteter (Sineshchekov, Jung og Spudich 2002).



Figur 1: Spektersensitivitet for pigmentene CSRA og CSRB (Sineshchekov, Jung og Spudich 2002).

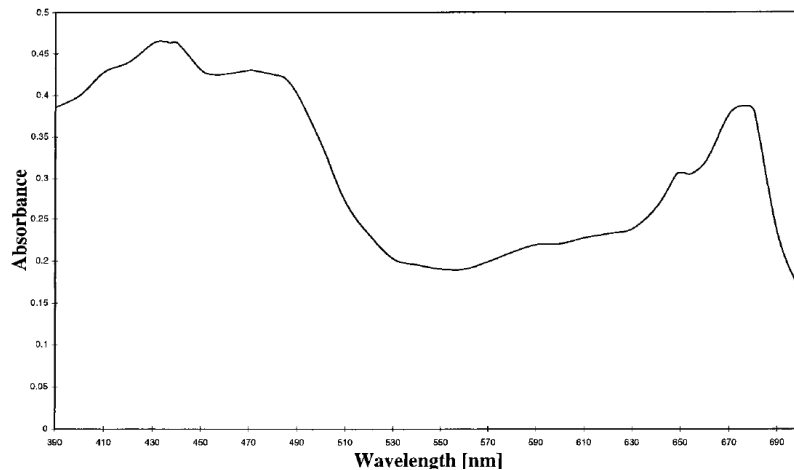
Øyeflekken fungerer som en gitterreflektor som reflekterer lys ut til det lysfølsomme organet, se figur 2. Dette organet overfører signalet til flagellen(e) og en retningsbestemt svømmebevegelse blir indusert. Algen oppnår maksimal hastighet ved at det er en kontinuerlig oppdatering av signalet, mottak og overføring. Algene roterer mens de svømmer, og det er trolig slik de oppfatter lysforskjeller. Lysforandringene som dette medfører for fotoreseptoren, gir de nødvendige signalkvaliteter som kan gi differensiert flagellbevegelse og dermed bestemt svømmeretning (Dybwad 1998). Forsøk utført på *Tetraselmis sp.* viser en maksimal svømmehastighet på 0,93 m/t fra bunn til haloklin og 0,7 m/t fra bunn til topp (Erga, Dybwad, et al. 2003). Ved maksimal hastighet bruker *Tetraselmis* ca. 0,20 s på å svømme sin egen kroppslengde. Til sammenligning bruker en blåhval ca. 22,5 s på å svømme sin egen kroppslengde mens en blåhai bruker ca. 0,21 s.



Figur 2: Illustrasjon av algenes øyeflekk og elementene den inneholder. Fotoreseptor pigmentene ligger sannsynligvis i cellens ytre, plasmamembran. De tette pigmentene indikert ved de fargede sirklene kan skjerme fotoreseptor pigmentene fra lys i en retning i forhold til den andre. Slik kan de svømmende, roterende algene kontinuerlig samle den romlige fordeling av lys (Ebrey 2002).

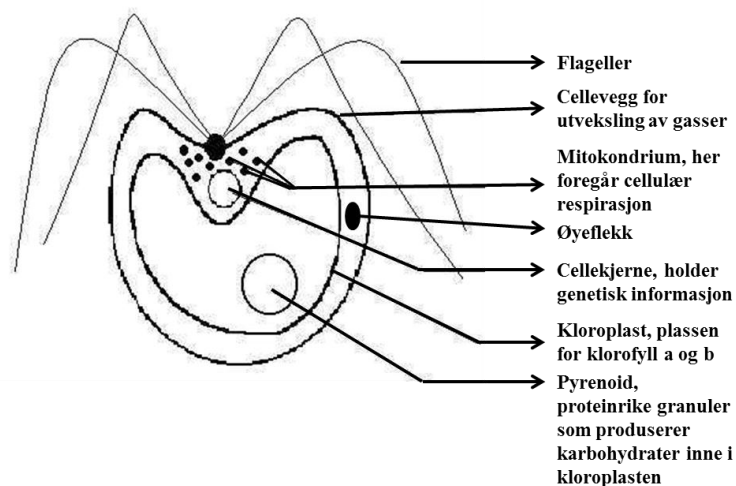
Som nevnt påvirkes de optiske egenskapene hos alger mest av de lysabsorberende kloroplastene. Denne organellen kan komme i mange forskjellige fasonger, antall og størrelser. Kloroplastene inneholder thylakoider, og det er i thylakoidene de fotosyntetiske pigmentene er plassert. Her blir det blant annet dannet O_2 , og i tillegg inneholder kloroplastene også DNA. Kloroplastene i bevegelige alger inneholder også en øyeflekk som er stedet for lysoppfattelse. De viktigste pigmentene i kloroplastene hos grønnalger er klorofyll a og b samt karotenoider. Det finnes totalt 5 typer klorofyll hos alger, som spiller en sentral rolle i algenes fotosyntese.

Absorpsjonsspekteret til celler av algetypen *Tetraselmis sp.* er vist i Figur 3. Celletettheten var $1,5 \cdot 10^6$ celler/mL. Toppene ved 437 og 677 nm skyldes klorofyll a, toppen ved 651 nm skyldes klorofyll b, og toppen fra 450 nm til 480 nm skyldes klorofyll b og karotenoidene. Dette viser hvilke bølgelengder som er effektive i fotosyntesen.



Figur 3: Absorbsjonsspekter for *Tetraselmis sp.* (Erga, Omar, et al. 1999).

Tetraselmis sp. er en encellet grønnalge, og cellene har oval og flattrykt form. På toppen av cellen er det en innfelling i celleveggen, som en vik. Fra bunnen av innfellingen kommer fire like flageller ut. *Tetraselmis sp.* kan ha tre ulike livssyklusstadier. De er inndelt i en bevegelig tilstand, en ubevegelig vegetativ tilstand og til slutt en tilstand som bare forekommer hos noen arter, en cyste-fase (blære med væske). *Tetraselmis sp.* reproduserer ved celledeling i den ubevegelige tilstanden (Dybwad 1998). Figur 4 viser en illustrasjon av oppbygningen til *Tetraselmis sp.*



Figur 4: *Tetraselmis sp.* (The Woodrow Wilson National Fellowship Foundation 2013).

1.1.2 Spredning og absorpsjon av lys

Det er bare to mekanismer for fotoner i vann; de kan bli absorbert eller de kan bli spredt. Absorpsjon og spredningsegenskapene til lys ved en gitt bølgelengde er gitt ved henholdsvis absorpsjonskoeffisienten, a , og spredningskoeffisienten, b . For å uttrykke disse koeffisientene kvantitativt må vi bruke enhetene absorptans, A , og scatterans, B .

Strålingsfluks, Φ , er definert som tidsraten for strømming av strålingsenergi. Hvis Φ_0 er den inngående strålingsfluksen i form av en parallell stråle på et fysisk system, Φ_a er den strålingsfluksen som blir absorbert av systemet og Φ_b er den strålingsfluksen som blir spredt av systemet, er A og B gitt ved (*J. T. Kirk 2011*):

$$A = \frac{\Phi_a}{\Phi_0} \quad (1)$$

$$B = \frac{\Phi_b}{\Phi_0} \quad (2)$$

Summen av absorptans og scatterans er demping, C . Dersom systemet er et uendelig tynt lag med tykkelsen Δr , blir A og B presentert som henholdsvis ΔA og ΔB . Da er absorpsjons- og spredningskoeffisientene gitt ved (*J. T. Kirk 2011*):

$$a = \frac{\Delta A}{\Delta r} \quad (3)$$

$$b = \frac{\Delta B}{\Delta r} \quad (4)$$

Dempningskoeffisienten, c , blir da:

$$c = a + b \quad (5)$$

der c er den delen av den innfallende fluksen som er absorbert og spredt, dividert på tykkelsen til laget. Hvis $\Delta C = \Delta A + \Delta B$ er c gitt som:

$$c = \frac{\Delta C}{\Delta r} \quad (6)$$

Siden det ikke er mulig å utføre målinger på uendelig tynne lag må det defineres uttrykk som gjør bruk av en kjent tykkelse, r . Dempningskoeffisienten, \underline{c} , er da gitt ved (*J. T. Kirk 2011*):

$$c = -\frac{1}{r} \ln(1 - C) \quad (7)$$

Ved neglisjerbar spredning gir det et uttrykk for absorpsjonskoeffisienten:

$$a = -\frac{1}{r} \ln(1 - A) \quad (8)$$

Ved neglisjerbar absorpsjon gir det et uttrykk for spredningskoeffisienten:

$$b = -\frac{1}{r} \ln(1 - B) \quad (9)$$

Ligning (7) kan uttrykkes på en annen måte:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-cr} \quad (10)$$

der Φ_0 er strålingsfluksen ved $r = 0$, Φ er strålingsfluksen ved r , og c er dempningskoeffisienten. Denne ligningen kalles Bouguer-Lamberts eksponentialligning for demping.

Verdien av c skyldes ikke bare demping på grunn av de suspenderte algecellene c_p , men også ikke-pigmenterte partikler mindre enn $1\mu\text{m}$ c_n , vannet i seg selv c_w , og oppløste partikler c_d . Det gir følgende ligning:

$$c = c_p + c_n + c_w + c_d \quad (11)$$

I eksperimentene blir de uønskede dempningsfaktorene ($c_n + c_w + c_d$) korrigert for og c_p kan da regnes ut som følger:

$$c_p = c - (c_n + c_w + c_d) \quad (12)$$

Nå kan c i (10) skiftes ut med c_p og en kan ved hjelp av (13) bestemme hvor mye algene bidrar til demping av lyset:

$$c_p = \frac{\ln\left(\frac{\Phi_0}{\Phi}\right)}{x} \quad (13)$$

For videre utregning antas det at alle algecellene har samme størrelse og form, at de er jevnt distribuert og at avstanden mellom cellene er tilstrekkelig til at spredningen er neglisjerbar. Da er det optiske dempningsarealet C_c (m^2) av en algecelle gitt av følgende ligning (Erga, Omar, et al. 1999):

$$C_c = \frac{c_p}{N^*} \quad (14)$$

hvor N^* er antall celler per volumenhet.

Ved å sette (14) inn i (13) får vi:

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

Det er da et tilnærmet lineært forhold mellom N^* og $\ln\left(\frac{\Phi_0}{\Phi}\right)$. Den optiske dempingsfaktoren er gitt ved følgende ligning:

$$C_c = \frac{1}{xs} \quad (16)$$

hvor s er stigningstallet til den lineære linjen. Dersom dette blir gjort før hvert eksperiment kan antall celler i det bestrålte området finnes med ligning 15 bare ved å måle Φ .

Det totale antall celler i et gitt dybdeintervall i tanken er gitt ved følgende ligning (*Erga, Omar, et al. 1999*):

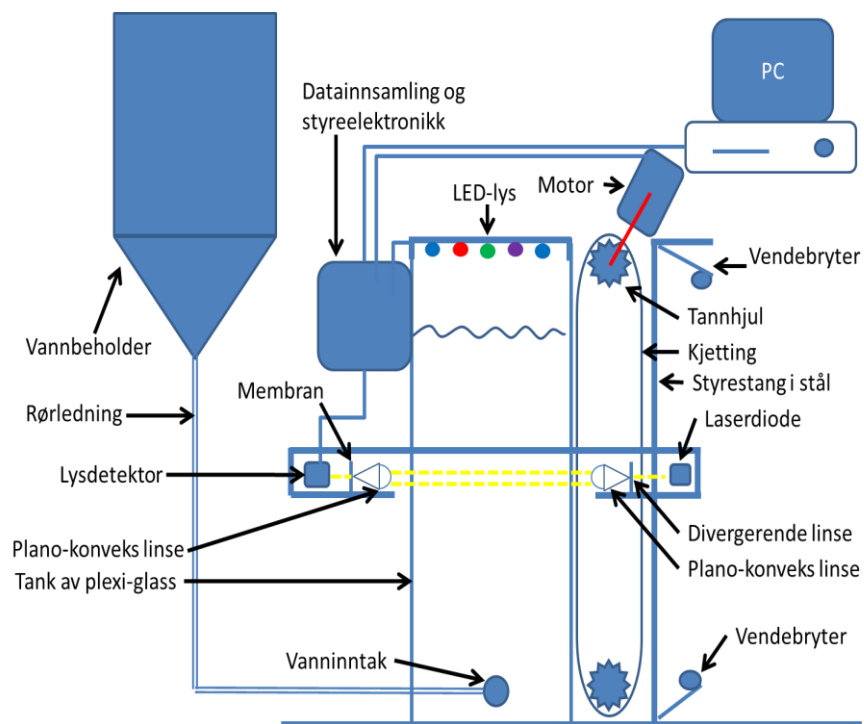
$$N = A \int_{h_1}^{h_2} N^* dh \quad (17)$$

der A er arealet av intervallet, og h_1 og h_2 er to valgte høyder i tanken.

2 Eksperimentelt oppsett for vannkolonne

Det eksperimentelle oppsettet for vannkolonnen er som vist skjematisk i Figur 5, og består av følgende:

1. Vannkolonne med elektrisk motor og mekaniske komponenter
2. Lyspanel
3. Optiske sensorer
4. Datainnsamlingsystem med LabVIEW-basert API



Figur 5: Skjematisk tegning av det eksperimentelle oppsettet for vannkolonnen.

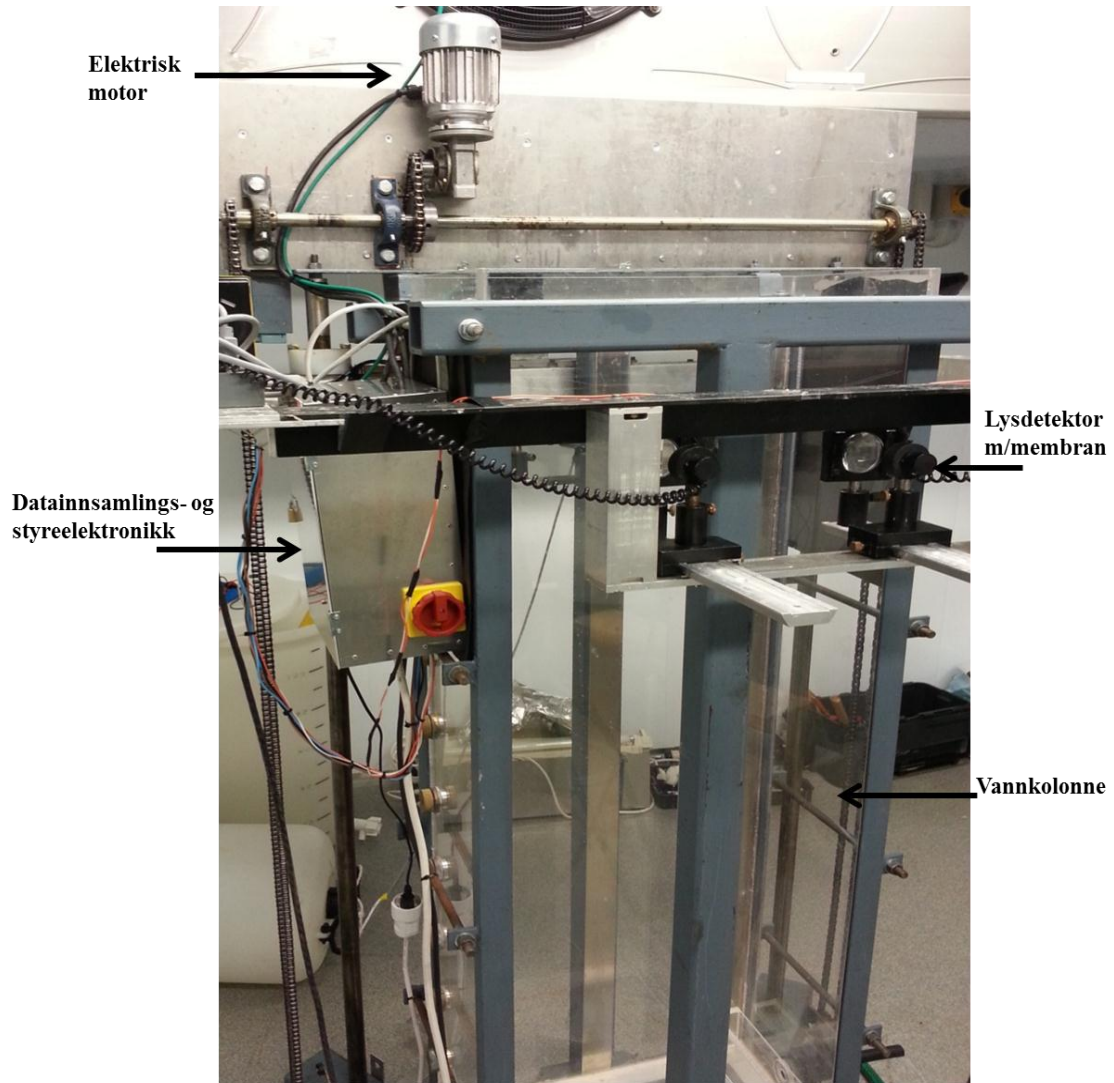
2.1 Vannkolonne med elektrisk motor og mekaniske komponenter

Den eksperimentelle vannkolonnen består av en gjennomsiktig plexi-glass tank med et horisontalt tverrsnitt på 52 x 27,4 cm og en høyde på 149 cm. Dette gir et volum på vannkolonnen på 212,3 liter. Kolonnen er montert i en stålramme omgitt av en bevegelig ramme påmontert et optisk deteksjonssystem. Rammen glir opp og ned langs to styringsstenger, og drives av en 3-fase elektromotor tilkoblet tannhjul og kjede. Det eksperimentelle oppsettet er vist skjematisk i Figur 5. Bilder av det eksperimentelle oppsettet er gjengitt i Figur 6 og Figur 7.

Monitoreringssystemet baserer seg på at jo mer alger som befinner seg i lysbanen til de optiske giverne/sensorene, jo større blir dempingen av det innsendte lyset. Algemengde, i.e. antall celler per ml, på ulike dyp beregnes ved at det tas opp en korrelasjonskurve mellom algekonsentrasjon og lysdemping før forsøkene igangsettes.



Figur 6: Det eksperimentelle oppsettet av vannkolonnen, del 1



Figur 7: Det eksperimentelle oppsettet av vannkolonnen, del 2

2.1.1 Motorstyring

Rammen, som det optiske deteksjonssystemet er festet på, kjøres opp og ned av en elektromotor. En vendebryter i hver ende sørger for at motoren snur når den er kommet til bunnen eller toppen. For å unngå uheldige tilstander i målesystemet er trefase-uttaket koblet via en nødstoppbryter. Slik er det mulig, hvis noe skulle gå galt, å unngå at det mekaniske systemet får varige skader. For å unngå overbelastning på motoren i form av for mye strøm, er koblingen fra trefaseuttaket til motoren sikret med en sikring som bryter koblingen ved strøm over 1 A. Deretter er trefasespenningen koblet via forskjellige relé slik at styring av motoren kan realiseres. Trefasespenningen blir også brukt til å forsyne datainnsamlingselektronikken som transformerer spenningen fra 230V til 12V.

Styringen av motoren er, som tidligere nevnt, basert på reléer og deres egenskaper som brytere. Generelt er et relé en elektrisitets-operert bryter. Et enkelt elektromagnetisk relé består av en spole av tråd viklet rundt en myk jernkjerne, et bærestykke av jern som gir en lav motstandsbane for magnetisk fluks, et bevegelig jern anker, og ett eller flere sett med kontakter. Ankeret er hengslet til bærestykket og mekanisk forbundet til en eller flere sett med bevegelige kontakter. Det holdes på plass av en fjær, slik at når releet ikke blir tilført energi er det en luftspalte i den magnetiske kretsen. Når en elektrisk strøm passerer gjennom spolen genererer den et magnetisk felt som aktiverer ankeret, og den resulterende bevegelsen av de bevegelige kontaktene enten lager eller bryter en forbindelse med en fast kontakt. Hvis settet av kontakter ble lukket når releet var deaktivert åpner bevegelsen kontaktene og bryter forbindelsen, og omvendt hvis kontaktene var åpne. Når strømmen til spolen er slått av, returnerer ankeret med en kraft, omtrent halvparten så sterk som den magnetiske kraften, til sin normale posisjon. Vanligvis er denne kraften levert av en fjær, men tyngdekraften brukes også ofte i industrielle motorstartere (*Wikipedia.org 2013*).

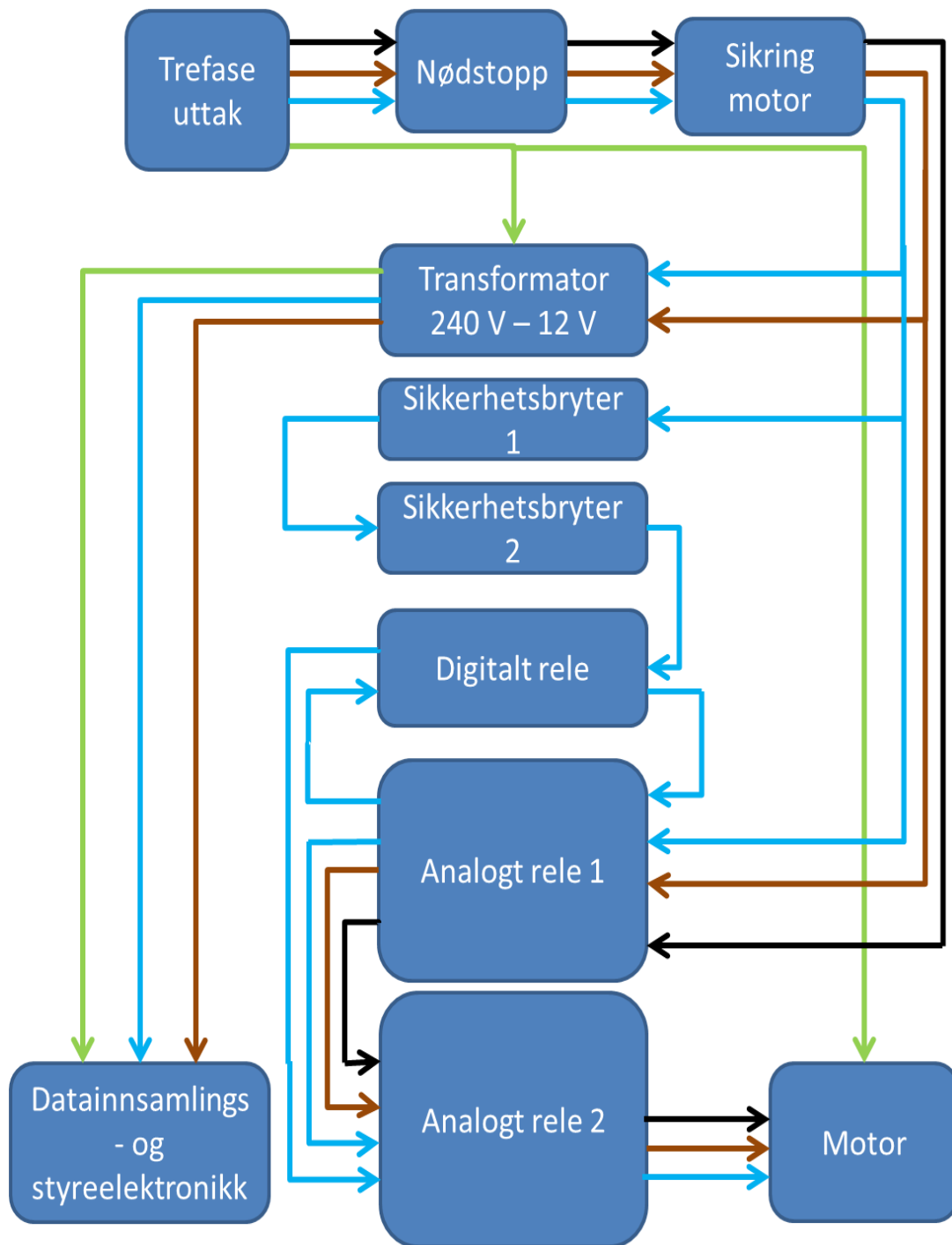


Figur 8: De to industrielle reléene som brukes i dette systemet. Tallene representerer kanaler og bokstavene ved siden beskriver kanalenes normale posisjon. A-kanalen er strømforsyning.

I det eksperimentelle oppsettet gjøres det bruk av to industrielle relé og et digitalt relé. De industrielle reléene har totalt 10 porter, hvorav to er strømforsyning og resten er inn/ut- ganger for hver kanal, i.e. fire kanaler. Reléene er laget slik at de fra fabrikk har ulike innstillinger på hver port. Det vil si at bryterne mellom portene har en gitt normal posisjon, enten lukket eller åpen. Innstillingene kalles normalt lukket eller normalt åpen. Når det settes strøm på reléet vil disse posisjonene bli motsatt. Figur 8 viser de to industrielle releene som brukes i dette måleoppsettet, henholdsvis *Telemecanique CA2KN22M7* og *Omron J7K-AR-31*.

Som sikring mot feil i datainnsamlingsprogramvaren (LabVIEW API) eller lignende, er det montert to sikkerhetsbrytere i hver ende av tanken. Disse slår inn og bryter koblingen mellom trefase og motor hvis motoren skulle bevege rammen forbi vendebryterne og ikke snu i tide. Disse sikkerhetsbryterne får tilført strøm fra sikringen, og bryterne er så koblet sammen. Den siste bryteren er koblet inn på kanal 1 på det digitale reléet. Kanal 1 er så koblet videre til strømforsyning på det første industrielle reléet, som i tillegg får en fase fra sikringen. Dette vil si at hvis skulle motoren bevege seg forbi vendebryterne og bryte koblingen i en av sikkerhetsbryterne, vil det ikke komme strøm inn på relé 1. Portene vil dermed være i sin normale posisjon. Koblingsskjema er vist i Figur 9. Dette vil igjen føre til at motoren ikke får strøm, se Tabell 1.

Foruten sikkerhetsbryterne er det digitale rele som styrer om motoren får strøm eller ikke. Siden det digitale releet kan styres manuelt, i motsetning til de analoge som har faste innstillinger, brukes dette til å sette retningen på motoren i tillegg til av/på. Som vist i Tabell 1 vil det ikke gå strøm inn på rele 1 når kanal 1 på det digitale rele er av. Dette vil være det samme som at sikkerhetsbryterne er koblet inn. Når kanal 1 er på vil det gå strøm til rele 1, som betyr at de normalt åpne kanalene på rele 1 vil lukkes, og det vil gå strøm gjennom dem. Rele 1 vil da levere en fase direkte til motoren. To faser vil gå gjennom de normalt lukkede kanalene på rele 2, og motoren vil være på med retning oppover slik den er montert. Dersom begge kanalene på det digitale rele slåes på, vil begge de analoge releene få strøm slik at deres kanaler vil være i sine unormale posisjoner. Det betyr at fasekoblingen inn på motoren nå er skiftet og en får ulik faseskift. Da vil motoren skifte retning og gå nedover. Alle koblingene er forklart i Tabell 1.



Figur 9: Koblingsskjema for motor- styring og sikring.

Rele		Kanal	AV		PÅ		
			Inn	Ut/minus for strømforsyning	Inn	Ut/minus for strømforsyning	
Innstilling digitalt rele kanal 1							
Innstilling digitalt rele kanal 2	Digitalt	1	Sikkerhetsbryter 2	-	Sikkerhetsbryter 2	Analogt rele 1; A1	
		2	-	-	Analogt rele 1; kanal 2	-	
	Digitalt	Strømforsyning (A1&A2)		-	-	Digitalt rele; kanal 1	-
		1 (44NO-43NO)	Trefase 1	-	Trefase 1	Motor 3	
	Analogt 1	2 (34NO-33NO)	Trefase 3	-	Trefase 3	Analogt rele 2; kanal 1 og 2, Digitalt rele; kanal 2	
		3 (22NC-21NC)	-	-	-	-	
	Analogt 2	4(14NO-13NO)	Trefase 2	-	Trefase 2	Analogt rele 2; A1, kanal 3 og 4	
		Strømforsyning (A1&A2)		-	-	-	
		1 (43NO-44NO)	-	-	Analogt rele 1; kanal 4	-	
		2 (31NC-32NC)	-	-	Analogt rele 1; kanal 2	Motor 2	
Analogt 2	3 (21NC-22NC)	-	-	Analogt rele 1; kanal 4	Motor 1		
	4(13NO-14NO)	-	-	Analogt rele 1; kanal 4	-		
	Digitalt	1	Sikkerhetsbryter 2	-	Sikkerhetsbryter 2	Analogt rele 1; A1	
	Digitalt	2	-	-	Analogt rele 1; kanal 2	Analogt rele 2; A2	
Analogt 1	Strømforsyning (A1&A2)		-	-	Digitalt rele; kanal 1	-	
	1 (44NO-43NO)	Trefase 1	-	Trefase 1	Motor 3		
	2 (34NO-33NO)	Trefase 3	-	Trefase 3	Analogt rele 2; kanal 1 og 2, Digitalt rele; kanal 2		
	3 (22NC-21NC)	-	-	-	-		
Analogt 2	4(14NO-13NO)	Trefase 2	-	Trefase 2	Analogt rele 2; A1, kanal 3 og 4		
	Strømforsyning (A1&A2)		-	-	-		
	1 (43NO-44NO)	-	-	Analogt rele 1; kanal 4	Digitalt rele; kanal 2		
	2 (31NC-32NC)	-	-	Analogt rele 1; kanal 2	Motor 1		
Analogt 2	3 (21NC-22NC)	-	-	Analogt rele 1; kanal 4	-		
	4(13NO-14NO)	-	-	Analogt rele 1; kanal 4	Motor 2		

Tabell 1: Koblingskjema for motorstyring. Viser hvordan reléene er koblet for å muliggjøre styring av motor. De tomme rutene betyr at det ikke er kobling inn/ut fra gjeldene kanal.

2.2 Lyspanel

Som nevnt i innledningen er målet med målesystemet å kunne studere mikroalgers migrasjon/vertikal forflytning i vannkolonnen under ulike betingelser. Lysforholdene i vann er vist å ha stor innvirkning på algene, og blir i dette eksperimentelle systemet en viktig variasjonsfaktor for miljøbetingelsene i vannet.

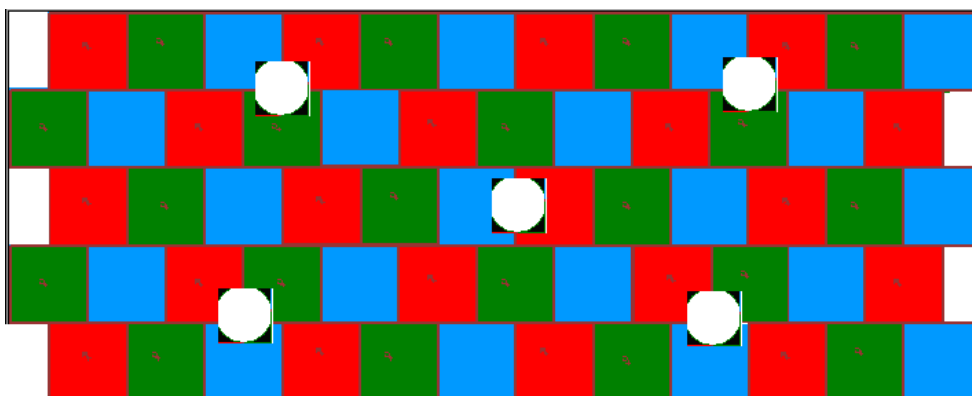
På grunn av den relativt høye lysintensiteten, i tillegg til den lave omformingsgraden av energi til varme, ble LED-pærer valgt som lyskilde. LED-pærer er dioder som fungerer som halvledere, og når de er slått på kan elektronene rekombineres med hull i enheten og frigjøre energi i form av fotoner. For å oppnå en viss bredde på lysspekteret er det valgt LED-pærer med fire ulike bølgelengder. PAR er den delen av det elektromagnetiske spekteret som alger kan gjøre nytte av i fotosyntesen. Lysintensiteten ved PAR er i bølgelengdeområdet 400-700nm, i.e. synlig lys. Det er derfor naturlig at det tas i bruk lys fra dette området.

De valgte bølgelengder i PAR-området er:

1. 469nm (blå)
2. 525nm (grønn)
3. 633nm (rød).

I tillegg er det inkludert en bølgelengde i UV-området i lyspanelet, 380nm (UVA). Dette for å se hvordan UV-stråling innvirker på algene i forhold til PAR.

For å oppnå lysstråling over et stort nok areal ble det valgt et kretskort med plass til 20 dioder for hver av bølgelengdene i PAR-området (totalt 60 dioder) og 5 dioder i UVA-området. Diodene er fordelt som vist i Figur 10. På grunn av antallet dioder må disse kobles i parallell, siden seriekobling ville kreve høyere spenning. Diodene som brukes er av typen Osram Semiconductors *LS E655-VIAB-1-1* (rød), *LT E63C-ABCA* (grønn), *LB E63C-T2V2* (blå) og Seoul Semiconductors av type *P8D136* (UV).



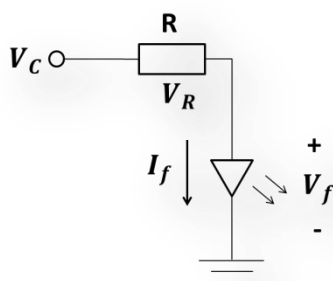
Figur 10: Fordelingen av de ulike LED-pærer i lyspanelet. Fargene representerer de ulike bølgelengdene i PAR-området. De hvite sirklene er UV-pærer.

Et kretskort ble produsert ved IFT som tilkoblingsgrunnlag for lyspanelet. Dette har dimensjonen 42x20cm. Lyspanelet består av 65 LED-pærer, i tillegg til motstander med verdier tilpasset hver enkelt type pære, som begrenser spenningen gjennom diodene slik at den ikke overstiger maksimal tillatt spenning. Motstandsverdiene regnes ut ved hjelp av *Kirchhoff's spenningslov*:

$$V_C = V_R + V_f = RI_f + V_f \quad (1)$$

$$R = \frac{V_C - V_f}{I_f} \quad (2)$$

hvor V_C er forsyningsspenning, V_f er diodenes framspenning og I_f er diodenes framstrøm, som vist i Figur 11.



Figur 11: Oppkobling av LED-pære med tilhørende spenninger og strøm.

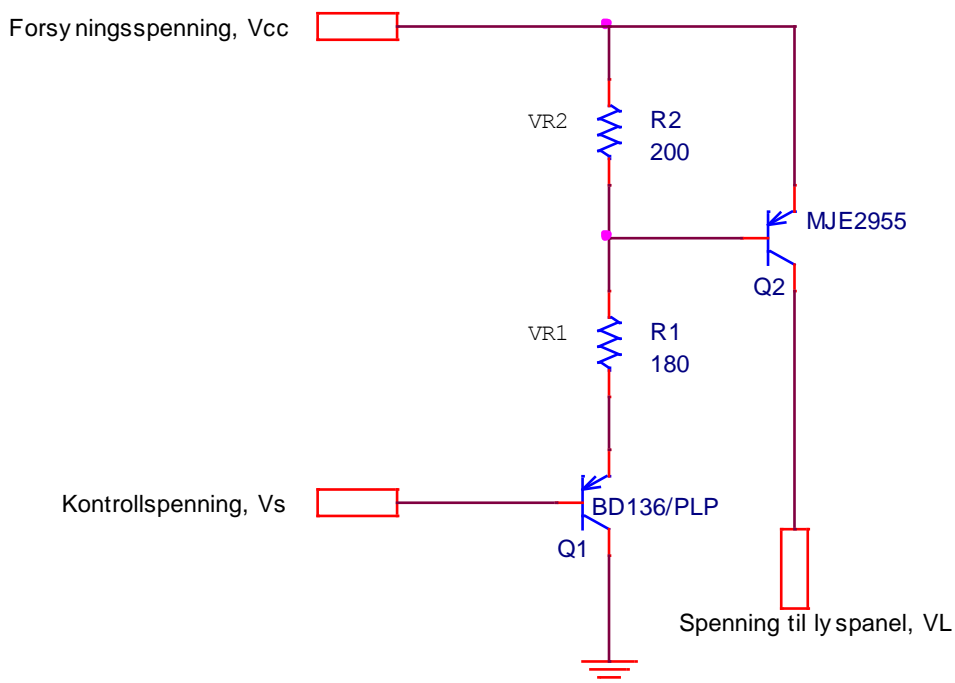
Disse er oppgitt i databladet til diodene slik at man enkelt kan finne riktige motstandsverdier for de ulike diodene. Ferdig montert kretskort er vist i Figur 12.



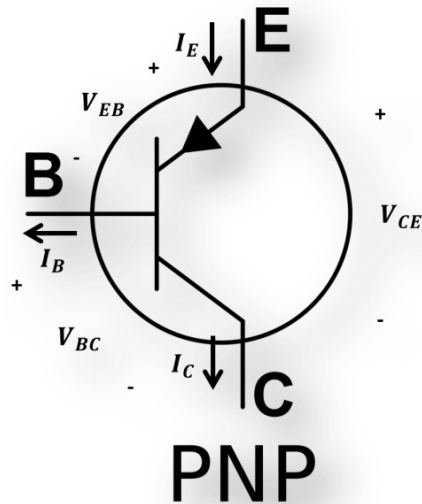
Figur 12: Det ferdige LED-panelet; et kretskort med påmonterte LED-pærer og med tilpassede motstandsverdier for hver farge.

2.2.1 Driverkrets for lyspanel

Det er ønskelig å kunne styre hver enkelt farge i lyspanelet individuelt slik at det er mulig å studere hvordan lys med ulike bølgelengde virker inn på algene. Lyspanelet styres via en sanntids datainnsamlingskontroller. Siden utgangsmodulene i datainnsamlingskontrolleren bare kan levere strøm på maksimalt 1mA, og maks intensitet på LED-pærene krever fra 30mA til 300mA, er det nødvendig med en egen driverkrets som leverer nødvendig strøm for LED-pærene avhengig av signalet fra utgangsmodulene på datainnsamlingskontrolleren. Dette kan gjøres ved strømførsterkningskrets basert på en transistorkobling som vist i Figur 13. Transistormodellen er vist i Figur 14 for bedre innsikt av retninger på strømmer og spenninger.



Figur 13: Koblingsskjema for driverkrets for individuell styring av LED-pærene tilhørende den eksperimentelle vannkolonnen.



Figur 14: Transistormodell. Viser retninger på strømmer og spenninger i en transistor.

Kretsen fungerer slik at spenningen fra kontrollsignalet (se Figur 13) avgjør hvor mye strøm forsyningsskilden (se Figur 13) må levere. I driverkretsen er det brukt to transistorer for å unngå overbelastning. Siden strømmen inn på basis av transistor Q2 er avhengig av spenningen på samme basis og spenningen ut fra emitter av transistor Q1, vil vi kunne kontrollere denne strømmen. Sammenhengen er gitt ved følgende ligninger:

$$V_{R1} = (V_{CC} - V_{EBQ2}) + (V_s + V_{EBQ1}) \quad (18)$$

$$I_{E1} = \frac{V_{R1}}{R1} \quad (19)$$

$$V_{R2} = V_{CC} - (V_{CC} - V_{EBQ2}) \quad (20)$$

$$I_{B2} = I_{E1} - \frac{V_{R2}}{R2} \quad (21)$$

Strøm og spenning ut på kollektor av Q2, som går til LED-panelet, finnes ved følgende ligninger:

$$V_{C2} = V_{CC} - V_{ECsat} \quad (22)$$

$$I_{C2} = I_{B2} * \beta_2 \quad (23)$$

der β er gitt som forsterkningskoeffisienten til transistoren og finnes i databladet.

For å sjekke at strømmene ikke overstiger det maksimale kontrollsignalet eller forsyningskilden kan levere, gjøres det bruk av følgende ligninger:

$$I_{B1} = \frac{I_{E1}}{(\beta_1+1)} \quad (24)$$

$$I_{E2} = \alpha_2 * I_{C2} \quad (25)$$

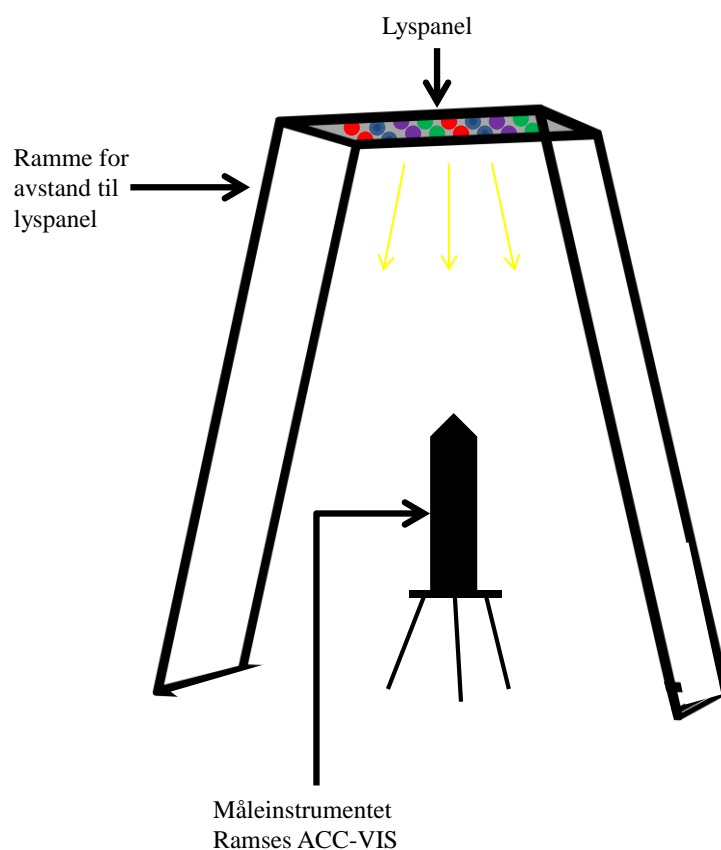
$$I_{CC} = I_{E2} + \frac{V_{R2}}{R2} \quad (26)$$

der α er gitt som: $\alpha = \frac{\beta}{\beta+1}$.

Siden det er 4 grupper med LED-pærer må hver av disse kobles gjennom hver sin krets, som vist ovenfor. Dette betyr at spenningskilden må kunne levere strøm som er lik summen av de utregnede strømmene I_{CC} . Valgt spenningskilde leverer 5,2 V og 5A. Kortet er utstyrt med en kobling for måling av spenning over de ulike LED-lysene i tillegg til kobling for å sette spenning på kretsen. Grunnen til å måle spenningen over LED-lysene er for å se på karakteristikken til lysene og kartlegge denne slik at programvaren kan programmeres mer effektivt.

2.2.2 Verifikasjon av lyspanel

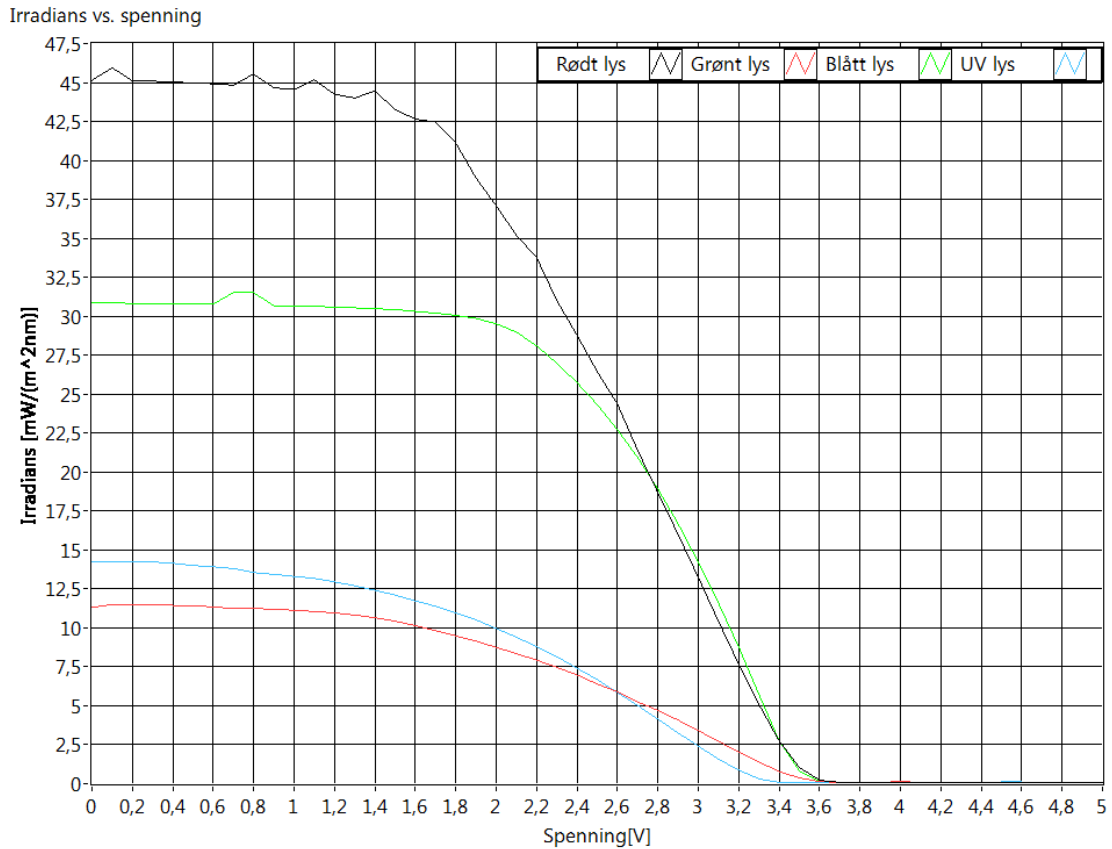
Funksjonaliteten til det designede lyspanelet ble verifisert ved hjelp av måleinstrumentet Ramses ACC-VIS, som er et hyperspektralt radiometer som måler lys i det synlige- og UV-spekteret. For å verifisere at lyspanelet tilfredsstillt våre krav, gjorde vi noen tester. Oppsettet for verifikasjonsmålingene er som vist i Figur 15. Medfølgende programvare til dette måleinstrumentet, kalt «MSDA_XE» ble benyttet til datainnsamling og presentasjon basert på et sett kalibreringsdata.



Figur 15: Skissert måleoppsett for måling med radiometeret RAMSES ACC-VIS.

Sammenhengen mellom kontrollsignal og irradians ble først målt. Irradians er gitt som strålingsfluksen per arealenheter av en overflate (*J. T. Kirk 2011*). For å regulere kontrollsignalet ble det laget et LabVIEW-basert program, som ble synkronisert med datainnsamlingen via MSDA_XE-programmet. For å kunne måle irradiansen bare fra lyspanelet må en fjerne alle andre lyskilder som for eksempel lys i tak. Avstanden mellom måleinstrument og lyspanel ble satt til 30 cm, lik den faktiske avstanden i det eksperimentelle oppsettet, og måleinstrumentet ble plassert i senter under lyspanelet.

Sammenhengen mellom kontrollspenning og irradians er vist i Figur 16. Som det fremkommer er dette en negativ eksponentiell funksjon som har nullpunkt ved ca. 3,6 V for alle diodegruppene. Påfølgende er karakteristikken til de ulike diodene avklart, og det kan programmeres med hensyn til dette.



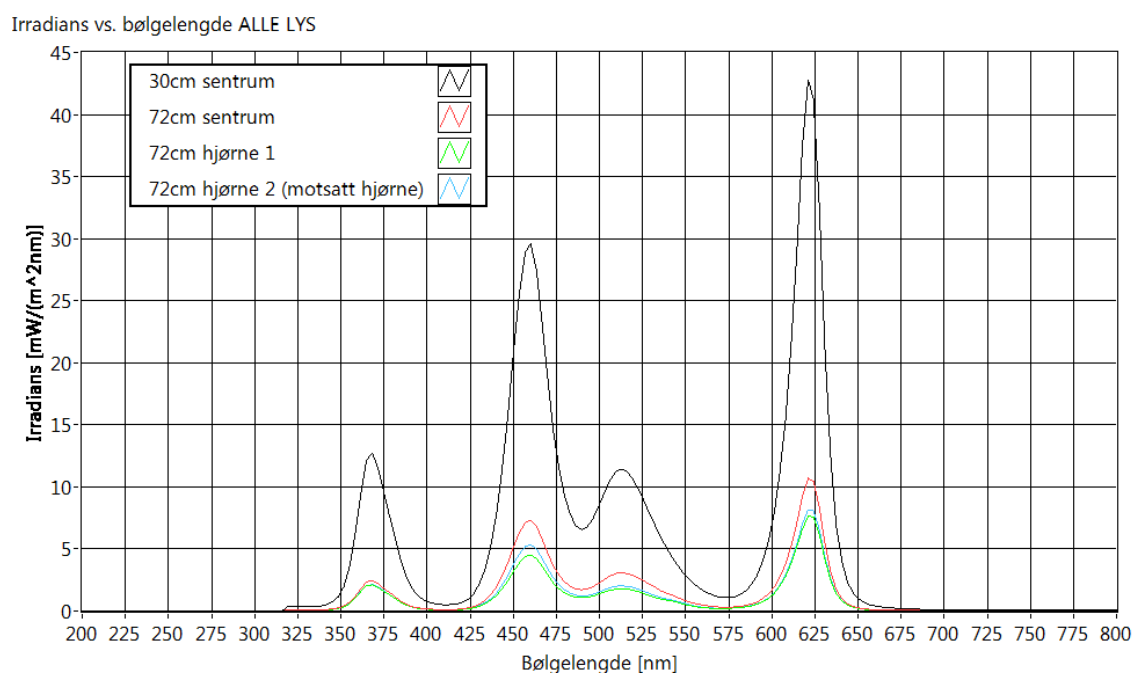
Figur 16: Irradians som funksjon av kontrollspenning for alle de ulike fargene (bølgelengdene).

Det neste vi testet var irradiansen ved ulike bølgelengder, i.e. hvordan spekteret faktisk ser ut. For å kunne si noe om hvordan lysforholdene er forskjellige steder i tanken, ble det målt irradians ved to ulike avstander mellom måleinstrument og lyspanel. I tillegg ble det målt ved ulik horisontal plassering av måleinstrumentet i forhold til lyspanelet. Først ble spekteret målt ved gjennomsnittsavstanden 30 cm og måleinstrumentet plassert i sentrum. Deretter ble avstanden økt til 72 cm for å undersøke forholdene mot bunnen av tanken. Ved denne avstanden ble også lysforholdene ved to hjørner på hver sin side av lyspanelet målt. Disse målingene ble utført direkte i MSDA_XE, og ga spektrene som vist i Figur 17.

Som det fremkommer er de ulike diodene godt synlig ved deres respektive bølgelengder. Det er derimot ikke så mye å måle mellom toppene, så i forhold til vanlig sollys er det ingen sammenligning. Dette er likevel tilfredsstillende for denne applikasjon, og irradiansene er høye nok til at lyset kan påvirke forholdene i den eksperimentelle vannkolonnen.

Det er viktig å merke seg at irradiansen reduseres kraftig når plasseringen er i midten av tanken, som illustrert i grafen i Figur 17. Dette betyr at det ikke er særlig gode lysforhold i nederste del av tanken og det vil kunne forventes at algene migrerer oppover mot overflaten.

Det kan også konkluderes fra grafen i Figur 17 at irradiansen vil være tilnærmet den samme over hele det bestrålte arealet, noe som eliminerer dette som potensiell feilkilde i det eksperimentelle oppsettet.



Figur 17: Spekter for lyspanelet ved ulike avstander og plassering av måleinstrument.

2.3 Optiske sensorer

For å monitorere algemigrasjon i vannkolonnen benyttes det sensorer som detekterer når det er alger i en gitt posisjon i kolonnen. Dette gjøres ved å sende lys gjennom vannkolonnen fra en side til den andre, og påfølgende bruke sammenhengen forklart i innledningen for å finne algekonsentrasjonen.

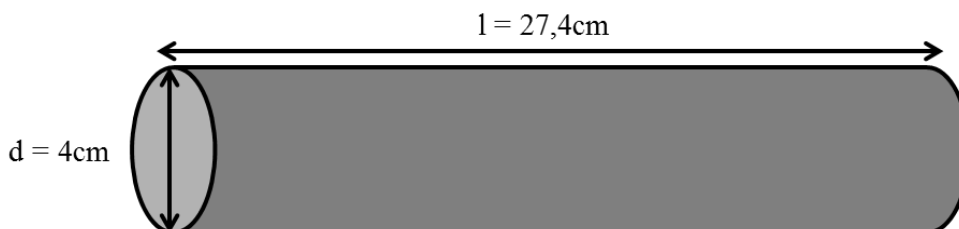
De to laser diodene som benyttes i det eksperimentelle oppsettet er de samme som ble benyttet ved tidligere forsøk på systemet. Disse er av type *Imatronic MediBrite Compact Series LDM145/670* med en bølgelengde på 670 nm og en strålingsintensitet på 4,5 mW. Denne bølgelengden er gunstig siden algene har en absorpsjonstopp for *klorofyll a* ved 677 nm. Strålegangen til laserlyset er illustrert i Figur 18. Laserne er plassert parallelt med avstand 24 cm, og hver av dem sender lys gjennom en divergerende og en plano-konveks linse. Den divergerende linsen sprer lyset slik at det stråler et større område, i vårt tilfelle en sirkel med diameter ca. 4 cm. Den plano-konvekse linsen kollimerer lyset mot en plano-konveks linse i andre enden av tanken. Denne linsen samler lyset til en mindre stråle som blir fokusert inn mot et fokuspunkt (membran) foran detektoren. Dette gjøres for at detektoren skal kunne detektere stor nok strålingsfluks til at det kan detekteres små forskjeller i lysdemping i tanken. Detektoren er koblet til en omformingsenhet som omformer detektert strålingsfluks målt i watt til spenning målt i volt. Spenningen blir så sendt inn på og målt av en analog inngang på cRIO-en. Forholdet mellom strålingsfluks og spenning er slik at 1mW tilsvarer 1V. På denne måten transformeres det enkelt fra målt spenning til detektert strålingsfluks i den optiske sensoren. Siden fokuspunktet stenger ute uønsket lys, vil detektorene måle hovedsakelig direkte overført strålingsfluks.

Volumet som hver laser belyser blir bestemt av diameteren og bredden på tanken. Dette er det maksimale volum som kan belyses. Volumet regnes ut ved hjelp av volumligningen for en sylinder:

$$V = \pi r^2 h$$

hvor r er radiusen og h er høyden av sylinderen, i.e. bredden av tanken. Det gir:

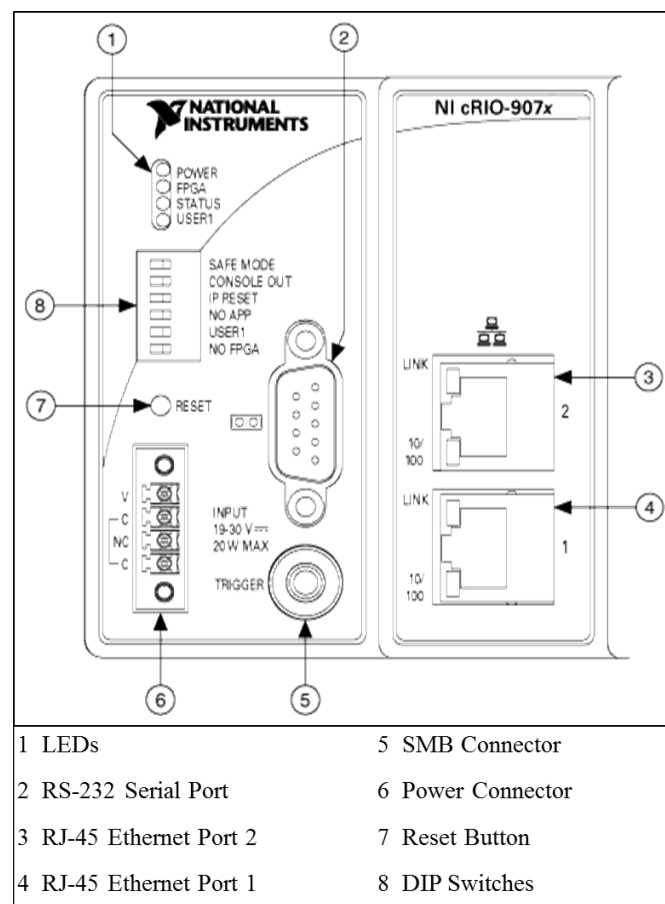
$$V = 3,14 * (2\text{cm})^2 * 27,4\text{cm} = 344,14 \text{ cm}^3$$



Figur 18: Lyssylinderens volum

2.4 Datainnsamlingssystem med LabVIEW-basert API

For effektiv automatisering av systemet er alle de elektroniske komponentene koblet til National Instruments CompactRIO NI cRIO-9074 (se Figur 19), som består av en 400MHz sanntidskontroller, 8 plasser i FPGA chassis for rekonfigurerbare I/O-moduler, to innebygde Ethernet-porter for tilkobling til PC, samt en RS232-port (National Instruments 2012). FPGA er en integrert krets satt sammen av en mengde logiske porter i en matrise. Koblingene mellom de logiske portene kan programmeres og slik få kretsen til å utføre oppgaver bestemt av bruker.



Figur 19: Datainnsamlingskontrolleren NI cRIO-9074

I det eksperimentelle oppsettet for vannkolonnen er cRIO-en koblet via det lokale nettet til PC-en, og programmeres derfra. Siden det lokale nettet i dette tilfellet baserer seg på statiske IP-adresser, må cRIO-ens MAC-adresse legges til i nettsystemet og en IP-adresse tildeles. PC-en kommuniserer via Ethernet-tilkoblingen med cRIO-en gjennom programvaren «Measurement & Automation Explorer» fra National Instruments. I «Measurement & Automation Explorer» er det mulighet for å styre/programmere eksterne datainnsamlingsystem som cRIO.

For å opprette kontakt mellom PC og det eksterne cRIO-systemet, må det konfigureres en statisk IP-adresse for cRIO-enheten. Når kontakt er opprettet mellom PC- og cRIO-enhetene, kan drivere og annen programvare installeres på cRIO-systemet slik at LabVIEW kan brukes til å programmere systemet.

Datainnsamlingen til cRIO-en baserer seg på bruk av I/O-moduler som blir montert i cRIO-chassiset. Det finnes mange ulike slike moduler, hver med sin funksjon.

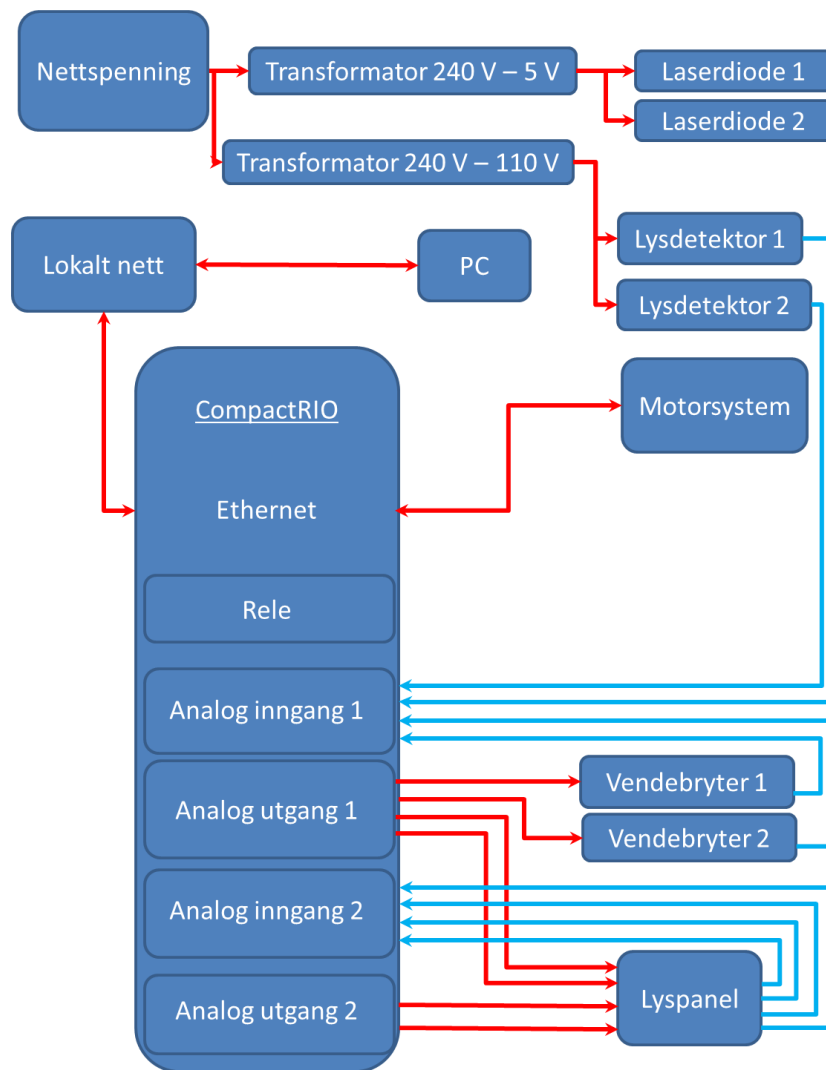
cRIO-modulene som er benyttet i det eksperimentelle oppsettet er:

1. NI 9215 – 4-kanals 16 bit analog inngangsmodul med spenningsområde $\pm 10V$.
2. NI 9263 – 4-kanals 16 bit analog utgangsmodul med samme spenningsområde. Maksimum strøm utgangsmodulen modulen kan levere er $\pm 1mA$.

De analoge I/O-modulene beskrevet ovenfor brukes til å måle/levere spenning og har innebygd ADC/DAC slik at signalet enkelt blir konvertert til et leselig signal for cRIO/PC og de elektroniske komponentene. Hver kanal i modulene har to innganger. For inngangsmodulen kan en da enten måle spenningsdifferanse mellom to punkt eller en kan måle spenning i forhold til jord.

I tillegg til IO-modulene brukes en relé-modul for styring av motoren. Denne er av typen NI 9481, og består av fire elektromekaniske reléutganger med koblingsnivåer 60VDC (1A), 30VDC (2A) og 250VAC (2A). Hver kanal i reléet har to innganger. Når reléet er slått på er det kontakt mellom disse inngangene. Når reléet er slått av er kontakten brutt mellom inngangene.

På grunn av de mange komponentene som skal styres i dette systemet har vi flere IO-moduler som vist i Figur 20. Det er også der vist hva de ulike modulene styrer.



Figur 20: Koblingsskjema for NI cRIO og de enkelte elektriske komponentene.

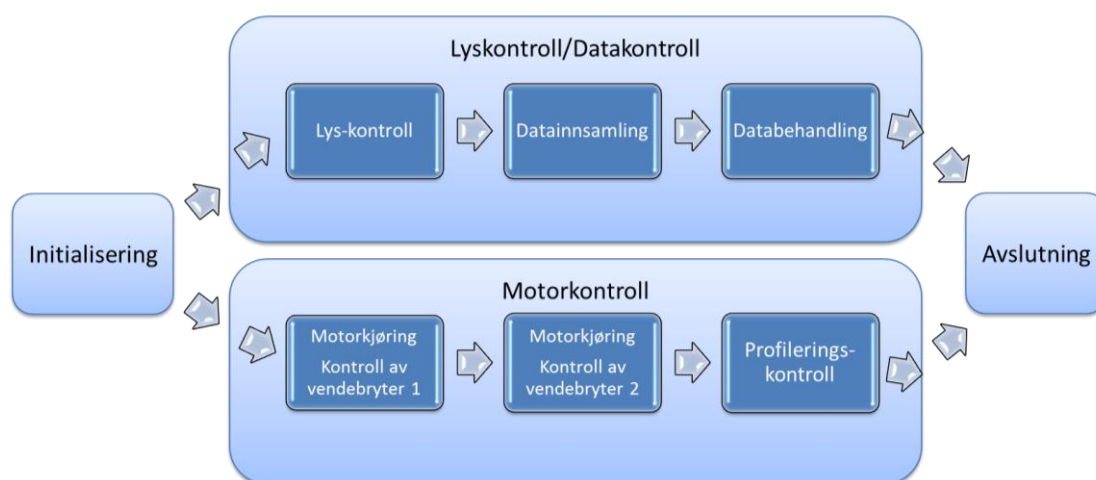
2.4.1 LabVIEW programmering

Datainnsamlings- og kontrollsystemet for den eksperimentelle vannkolonnen er basert på National Instruments LabVIEW utviklingsprogramvare, som muliggjør kjøring av automatiske profileringer av algemigrasjon i vannkolonnen. Programvaren gjør det også mulig å gjennomføre eksperimenter i vannkolonnen med web-basert overvåking, i.e. uten at laboratoriepersonell trenger å være til stede i laboratoriet for å overvåke eksperimentene.

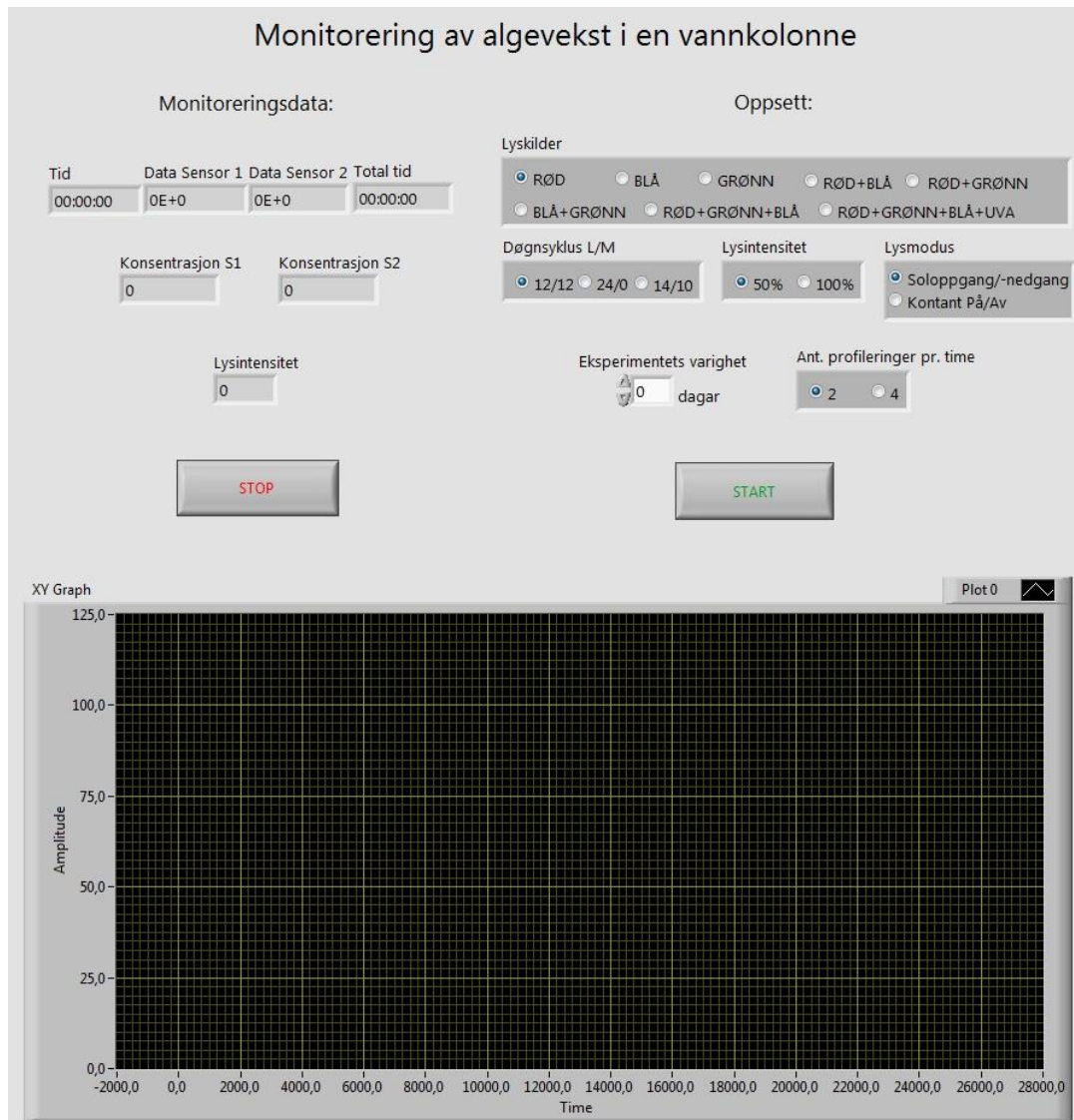
LabVIEW-programmet består av fire hoveddeler; først er det en initialiseringsdel, som setter alle parametrene i datainnsamlings- og kontrollprogrammet. De to neste delene består av to synkrone prosesserings-løkker. Siden cRIO-modulen består av en to-kjerners prosessor kan det kjøres to prosesser samtidig. Den første løkken styrer motoren og eksekverer en gang pr. millisekund. Den andre løkken innhenter og behandler data og kjøres en gang pr. sekund. Den siste hoveddelen av programmet innebærer nedstenging av programmeringsprosessene. Et blokkdiagram viser de ulike delene i Figur 21.

Det er behov for å kunne kjøre eksperimentene i vannkolonnen ved ulike betingelser, og det er derfor viktig at det er mulig på en enkel måte å velge disse ved oppstart av programmet. Brukergrensesnittet for programmet er vist i Figur 22, og som det fremkommer består den ene delen av LabVIEW-programmets front-panel av relevante eksperimentelle data, mens den andre siden er brukervalg som gjøres ved igangsettelse av eksperimentene.

De fleste valgene er knyttet til lyspanelet, og hvordan dette skal operere i løpet av eksperimentene. Det er mulig å velge hvilke LED-pærer som skal være på, styrken disse skal ha, varigheten av lys versus mørke, samt hvordan lyset skal fungere i overgangen lys/mørke eller omvendt. De andre valgene er varighet på eksperimentet og hvor mange profileringer som ønskes pr. time.



Figur 21: Blokkdiagram som viser prosessene i LabVIEW programmet.

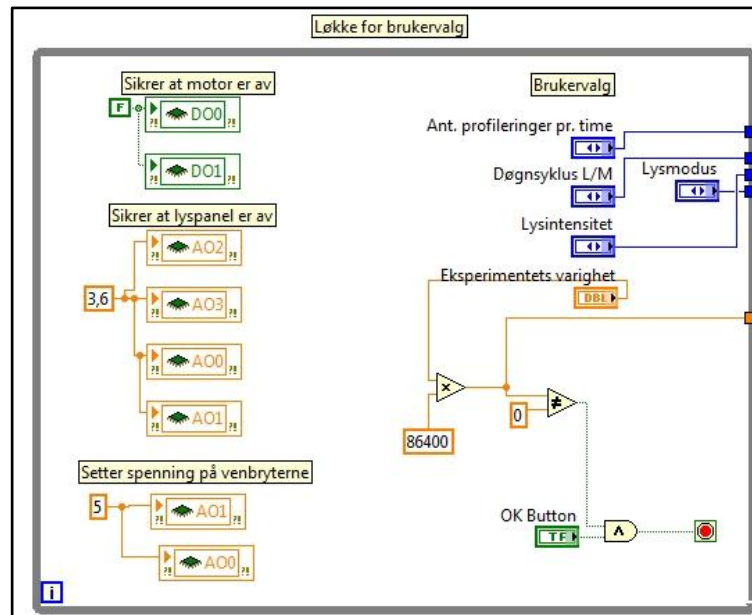


Figur 22: LabVIEW brukergrensesnitt.

Alle operasjonene programmet utfører er listet nedenfor med tilhørende figurer som viser hvordan operasjonen utføres i LabVIEW programmets blokkdiagram.

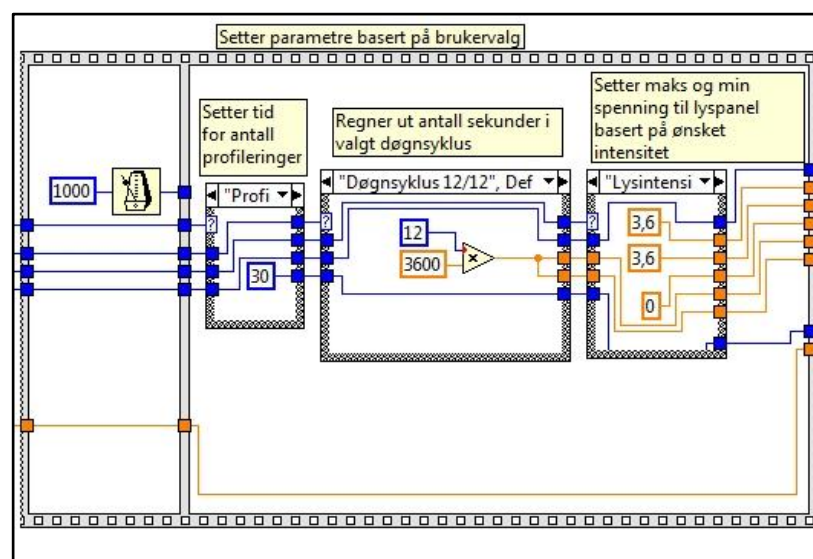
1. Initialisering

- a) Setter spenning på vendebryterne. Sikrer at motor er slått av før start. Sikrer at lyspanel er slått av før start. Innhenter brukervalg.



Figur 23: LabVIEW-programmets oppstart. Løkke for brukervalg og sikring.

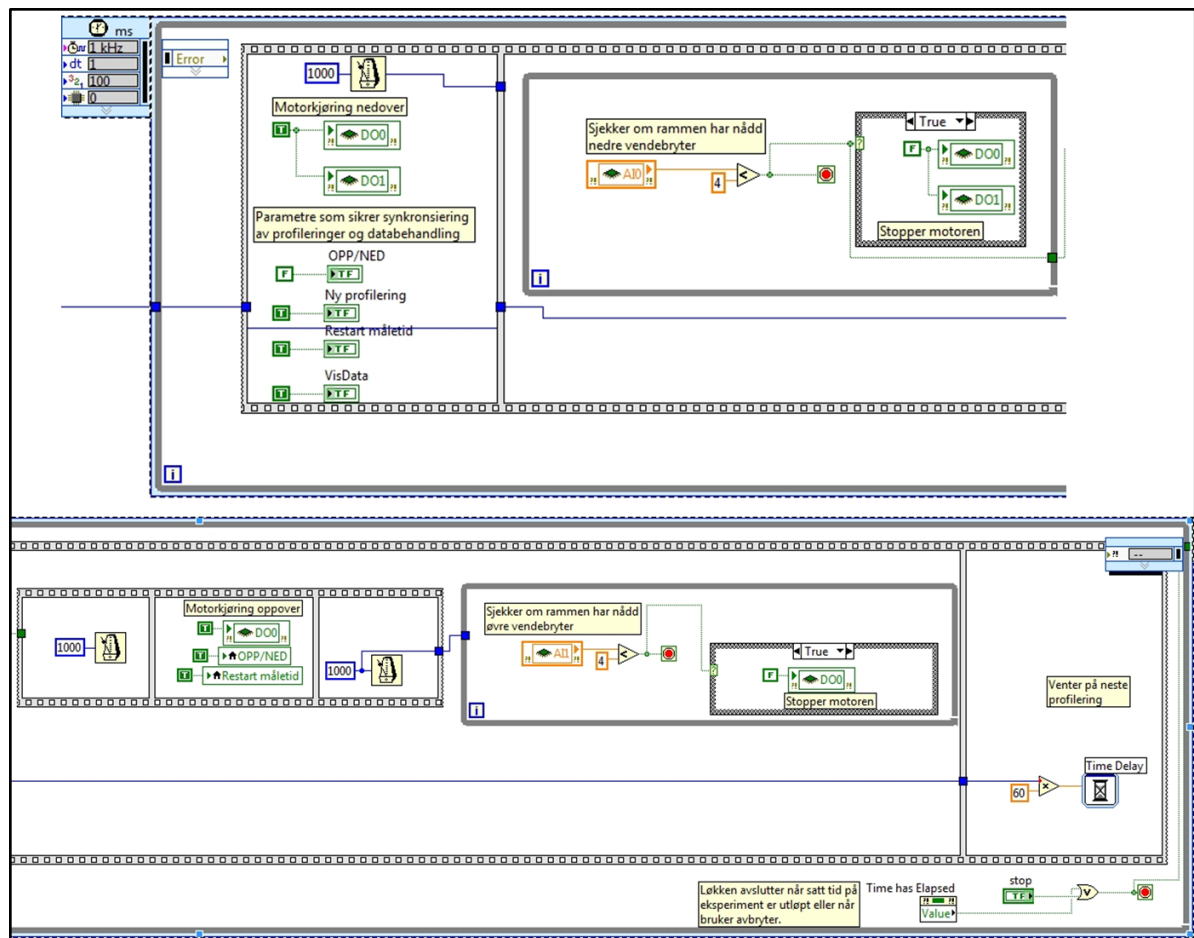
- b) Setter parametre basert på brukervalg. Setter antall minutter programmet skal vente i mellom profileringer. Regner ut og setter antall sekunder i valgt døgnsyklus. Setter maksimum og minimum spenning i tillegg til spenningsområde på lyspanelet, basert på valgt intensitet.



Figur 24: Operasjoner på bakgrunn av brukervalg i LabVIEW-programmet. Viser hvordan de ulike brukervalgene blir brukt til å sette ulike parametre som programmet gjør bruk av senere.

2. Motorkontroll

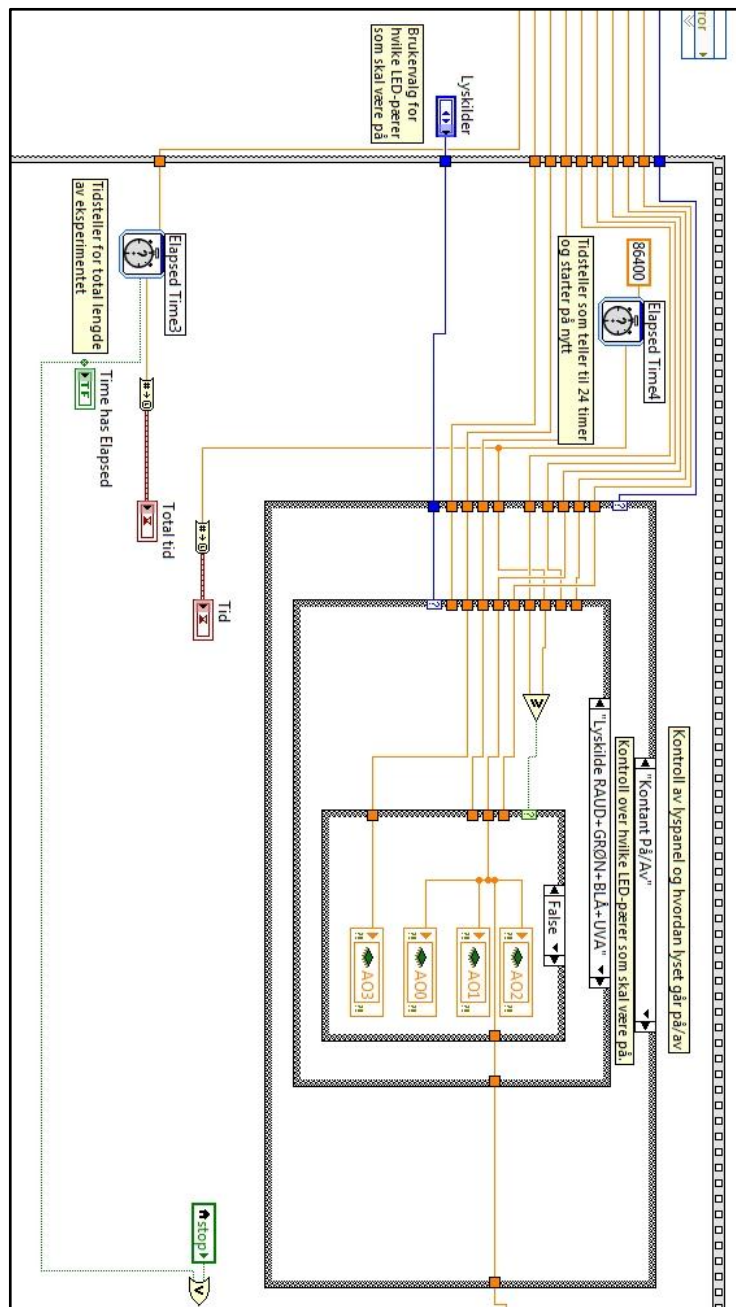
- a) Kontrollerer retningen på motoren ved kontroll av spenningen på vendebryterne. Når koblingen mellom inn og ut på vendebryterne blir brutt, i.e. programmet måler 0 V, snur motoren. Programmet kontrollerer så spenningen på motsatt vendebryter og slik fortsetter programmet til eksperimentet er over. Setter også parametre for synkronisering av profilering og databehandling. Etter hver utføring av løkken venter programmet på neste profilering.



Figur 25: Motorstyring i LabVIEW-programmet. Viser motorstyringsløkken og hvordan den fungerer. De to delene av figuren henger sammen.

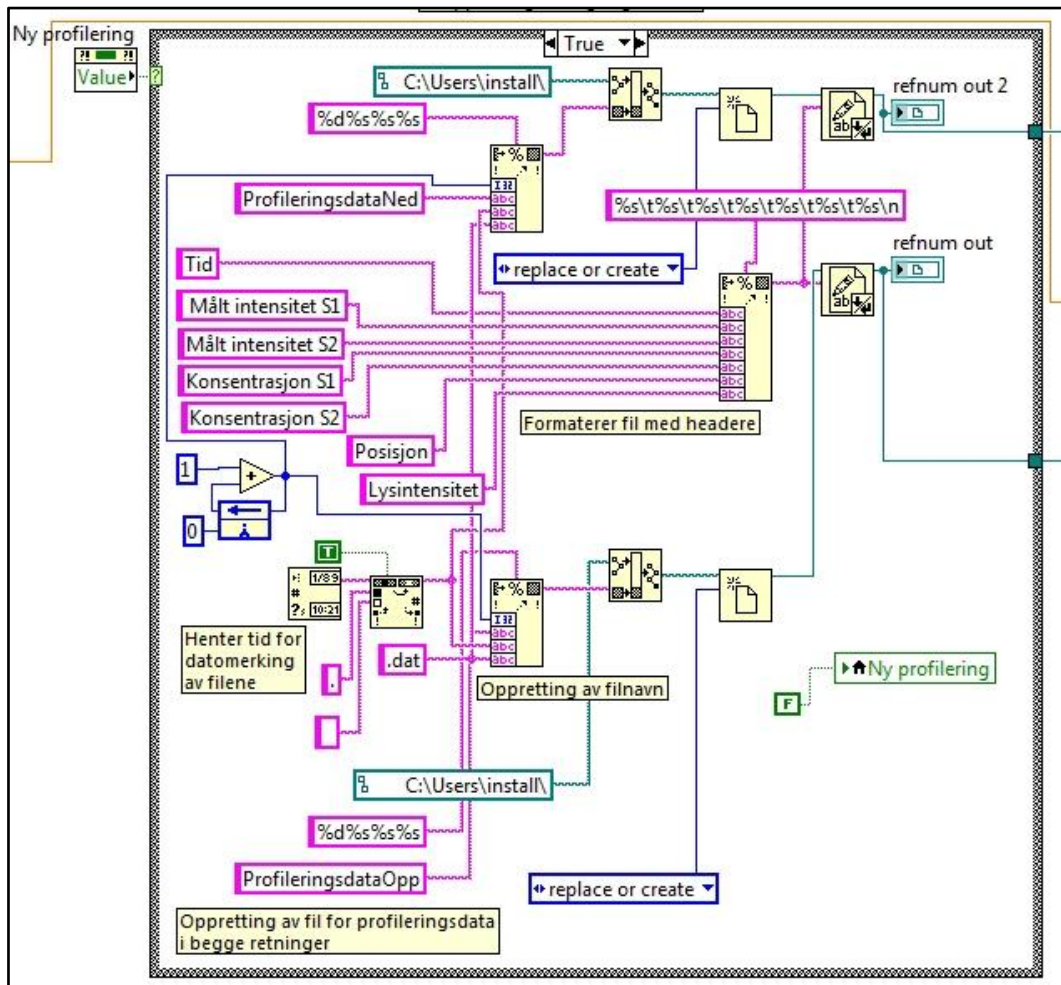
3. Lyskontroll/Datakontroll

- a) Kontrollerer spenning ut til LED-panel basert på brukervalg. Basert på brukervalg kommer lysene kontant på/av når tiden er inne eller lysene kommer gradvis på/av som en simulert sol- oppgang/nedgang. I tillegg settes valgte LED-pærer (basert på farger) på/av. Kontrollerer tiden for døgnsyklusen med en teller som starter på nytt etter 24 timer og kontrollerer avslutning av eksperimentet med en teller som teller til valgt lengde på eksperimentet.



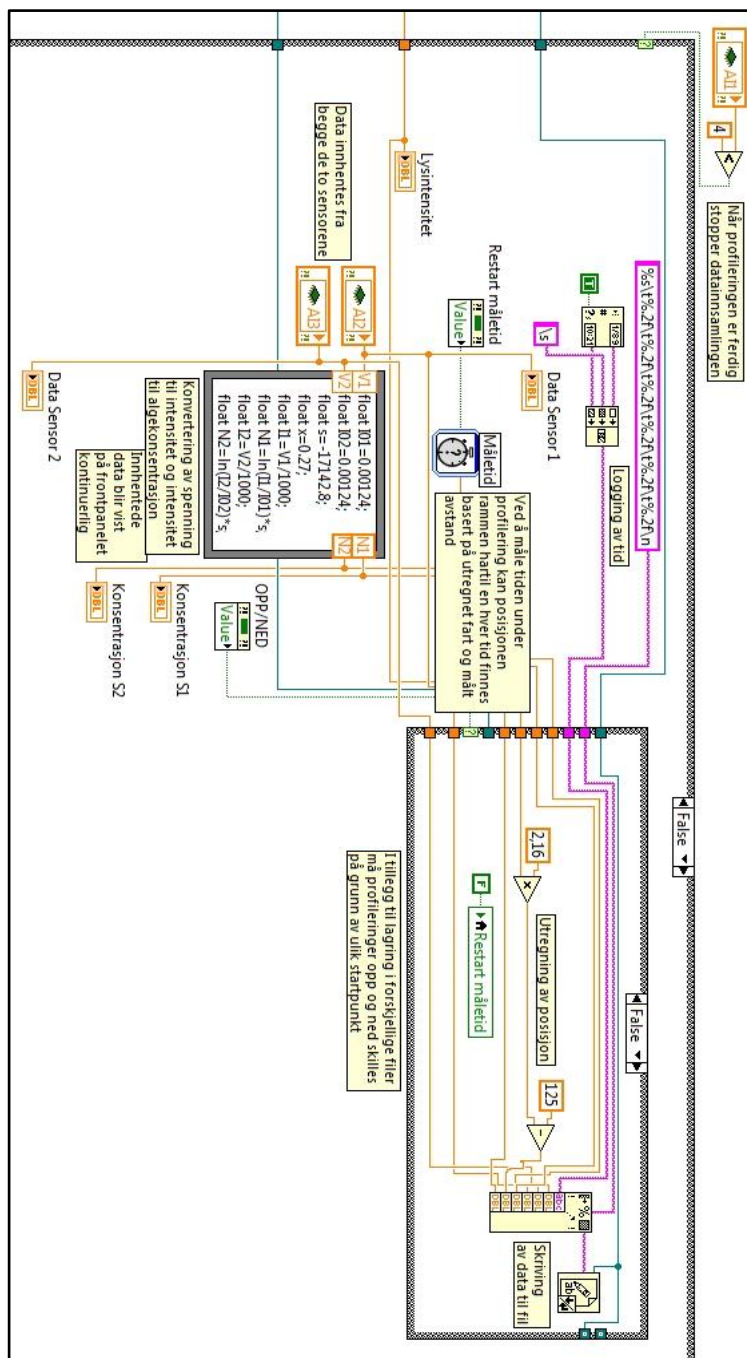
Figur 26: Lyskontroll i LabVIEW-programmet. Viser hvordan lyspanel kontrolleres samt tidskontroll i forhold til lengde på eksperiment og døgnsyklus. Dette er en del av den andre løkken som tar for seg datainnsamling og databehandling i LabVIEW programmet.

- b) Oppretter filer for hver profilering, opp eller ned, i ascii-format, filtype dat. Filene datomerkes og nummereres. De blir så formatert med nødvendige headere og tabulator. Filene er da klar til å bli skrevet data til når programmet innhenter disse. Når programmet venter på neste profilering opprettes det ikke filer.



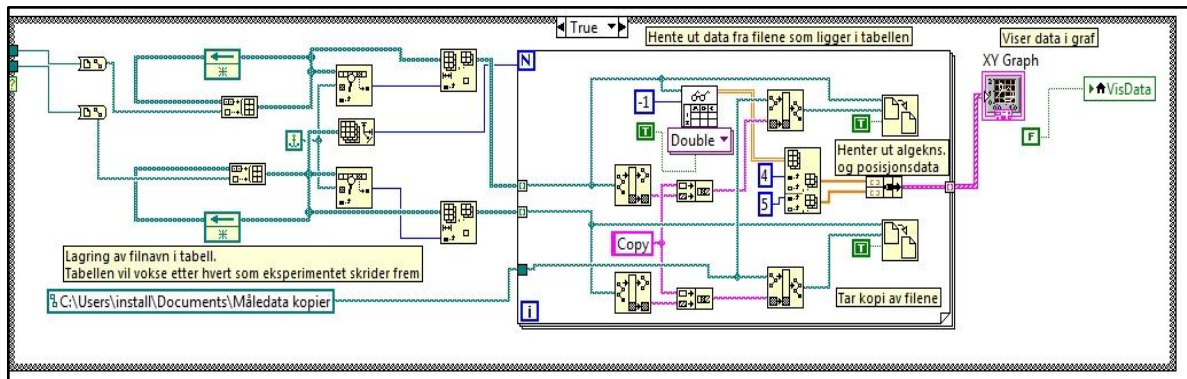
Figur 27: Filoppretting i LabVIEW programmet. Det opprettes nye filer for hver profilering og disse blir datomerket, nummerert og formatert før noe data blir skrevet til dem.

- c) Innhenter data fra sensorene, samt tiden kontinuerlig under kjøring av motor. Konverterer målt spenning til intensitet. Regner om intensitet til algekonsentrasjon basert på Bouguer-Lambert's lov. Regner ut posisjonen rammen har langs tanken ved hjelp av å måle tiden samt målt fart (på forhånd) og høyden på tanken. Viser innhentede data kontinuerlig på programmets frontpanel.



Figur 28: Datainnsamling i LabVIEW programmet. Innhenter data og behandler disse kontinuerlig og til slutt lagrer de i filer.

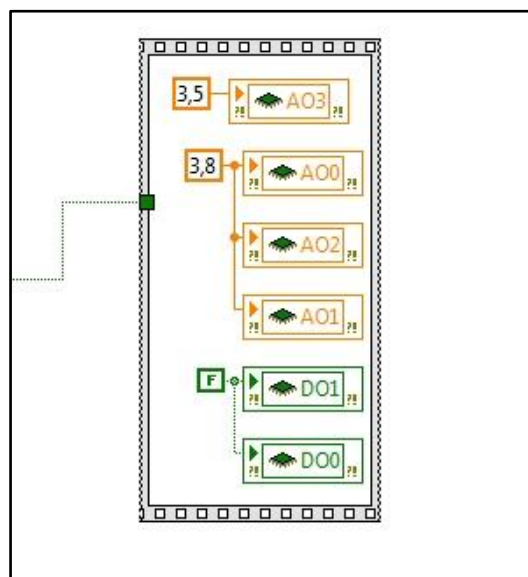
- d) Presenterer dybdenivå i tanken som funksjon av algekonsentrasjon grafisk og kontinuerlig. Dette gjøres ved å ta dataene fra den ene sensoren som funksjon av tilhørende posisjonsdata. De ulike grafene blir hele tiden tatt med videre slik at de viser utviklingen av algemigrasjonen i vannkolonnen til en hver tid. Programmet tar også kopi av filene i tilfelle noe skulle skje. Alt dette skjer mens programmet venter på å gjøre neste profilering.



Figur 29: Databehandling i LabVIEW-programmet. Presentasjon av innhentede data i graf, samt sikring av datafilene ved kopiering av disse.

4. Avslutning

- a) Ser til at motor og lys er slått av før programmet stenges ned.



Figur 30: Avslutning av LabVIEW programmet. Sikrer at alt er slått av.

3 Eksperimenter

For at det eksperimentelle systemet skal kunne brukes av biologer og/eller biologistudenter til å gjøre forskning på alger i vann må systemet fungere slik det er forventet at det skal. Å teste dette går ut på å gjøre enkle eksperimenter som baserer seg på eksperimenter gjort på det gamle målesystemet og se om resultatene stemmer overens. Siden dette systemet skal være mer pålitelig, og ha mindre eksperimentell måleusikkerhet, vil det dog være noen avvik fra tidligere resultat.

For å sjekke at systemet er pålitelig og gir de samme resultatene ved samme forhold i tanken hele tiden må det gjøres repeterbarhetsanalyse av systemet. Det vil si at de samme eksperimentene blir gjort flere ganger ved tilnærmet like eksperimentelle betingelser.

3.1 Forarbeid

Det finnes mange forskjellige algetyper å bruke i eksperimentene men det har tidligere år vært vanlig å bruke algetypen *Tetraselmis sp. (Prasinophyceae)*. Det er derfor naturlig å velge denne til testeksperimentene også. Før algene kan settes inn i den eksperimentelle vannkolonnen må de dyrkes opp til en akseptabel mengde. Dette blir gjort i et system som er laget for å gi optimale vekstforhold til algene. Denne dyrkingen tar normalt rundt 14 dager.

Før eksperimentene kan igangsettes må relasjonen mellom antall celler og intensiteten fra sensorene være kjent. Dette gjøres ved kalibrering. Kalibreringen forgår i en testtank hvor en kjent mengde celler blir tilsatt over en viss tidsperiode og intensiteten fra sensorene blir lest av. Den resulterende grafen av Den resulterende grafen av alge konsentrasjon som funksjon av $\ln\left(\frac{\Phi_0}{\Phi}\right)$ blir en tilnærmet lineær linje. Det optiske dempningsarealet C_c (cm^2) av en algecelle finnes da fra stigningstallet, s , til den lineære linjen, $C_c = \frac{1}{xs}$, som nevnt i innledningen. I dette prosjektet ble det ikke foretatt kalibrering. Siden det ikke var som mål å se på vekst eller mengde alger generelt i tanken, ble det gjort bruk av en kalibreringsverdi for stigningstallet funnet ved forsøk på det gamle målesystemet. Siden mengde alger tilsatt i eksperimentene er relativt lik kan denne gjøres bruk av. Innstillingen av sensorene er noe ulik etter at målesystemet er oppgradert og dermed vil bruk av nevnte kalibreringsverdi ikke være representativt for algemengden i disse forsøkene. Resultatene i dette prosjektet er presentert som dybde som funksjon av algekonsentrasjon. Denne algekonsentrasjonen er da bare ment som en illustrasjon på hvordan det kan se ut men er som nevnt ikke representativ for den faktiske mengden alger i tanken. Det viktigste i dette prosjektet er å se på hvordan algene beveger seg.

3.2 Utførelse

Før eksperimentene kan igangsettes må tanken fylles med vann og en saltgradient legges inn. Dette gjøres ved å blande saltvann med destillert ferskvann slik at saltinnholdet i vannet blir lavere. Dette vannet blir så tappet inn i tanken ved hjelp av naturlig trykk fra høydeforskjell mellom vannbeholder og tank. Deretter blir vanlig saltvann tappet inn. Dette må gjøres med stor varsomhet slik at ikke saltgradienten blir ødelagt. Til slutt blandes algene med vann og tappes inn på bunnen av tanken. Før noe vann kan tappes inn i tanken må det gjennom et filter $< 1\mu\text{m}$. Dette filteret sørger for at ikke uvedkommende partikler, bakterier og lignende ødelegger vekstvilkårene til algene samt eksperimentet som skal gjøres.

For å sette i gang eksperimenter stilles parametrene i styringsprogrammet inn og programmet startes. Siden valgmuligheten ved UVA-lys er ny i dette systemet er det naturlig å legge opp eksperimentene slik at UV-strålingens påvirkning på algene kan undersøkes spesielt. De eksperimentelle betingelsene var som vist i Tabell 2.

Eksperiment	Lys- innstillinger	Lys- styrke	Lys/mørke varighet	Profilerings- hastighet	Eksperimentets varighet
1	PAR, PAR+UVA etter ca. 1 uke	100 %	14/10	Hvert 30.min	2 uker
2	PAR	100 %	14/10	Hvert 15.min	1 uke
3	Blått lys	100 %	14/10	Hvert 15.min	1 uke
4	Rødt lys	100 %	14/10	Hvert 15.min	1 uke

Tabell 2: Oversikt over hvilke eksperimenter som er gjennomført.

3.3 Databehandling

Når eksperimentene er ferdig kjørt plottes innsamlede data i et nytt LabVIEW-basert program. Dette programmet laster inn de lagrede filene, velger ut hvilke filer som skal brukes (i.e. profileringer opp eller ned), og viser ønskede data i grafer, i dette tilfellet dybde som funksjon av algekonsentrasjon. Antallet profileringer som plottes i hver graf er normalt 3-5 men kan varieres dersom det er nødvendig for å se en større utvikling i tanken. Siden både utregnet konsentrasjon av alger og målt intensitet er lagret i datafilene kan en regne ut konsentrasjonen på nytt dersom det er behov for det. Det kan for eksempel være at sensorene er kommet ut av stilling og gir en annen maks intensitet enn normalt.

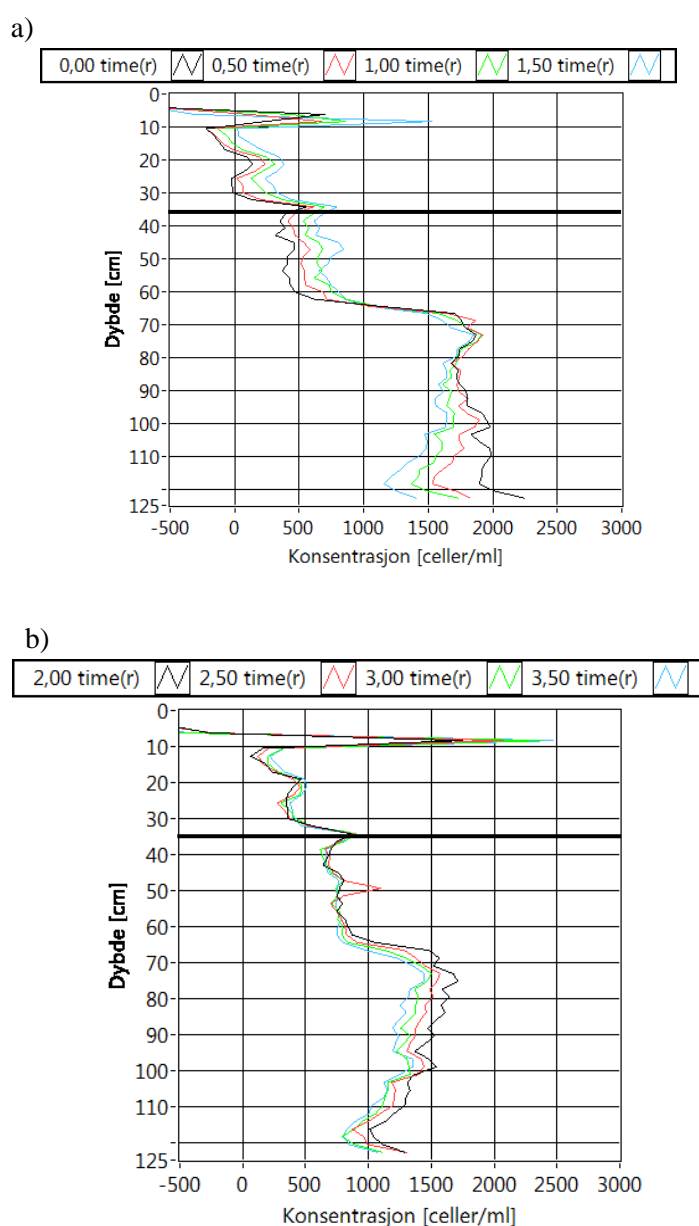
Databehandlingsprogrammet er bare laget for dette prosjektet og er noe som bør utvikles videre. En bedre visualisering av måledata er nødvendig for effektiv analysing av resultatene.

Resultatene i disse eksperimentene kommer fra profileringer oppover i tanken. Dette for å gjøre eksperimentene mer naturlig lik slik en ville gjort det i in situ studier. Hver profilering har en konsentrasjonstopp ved overflaten. Denne skyldes sensorenes overgang mellom vann og luft i tillegg til algene. Det er vanskelig å kompensere for sensorenes feilmålinger og dette er noe som bør ses mer på ved videre arbeid på systemet.

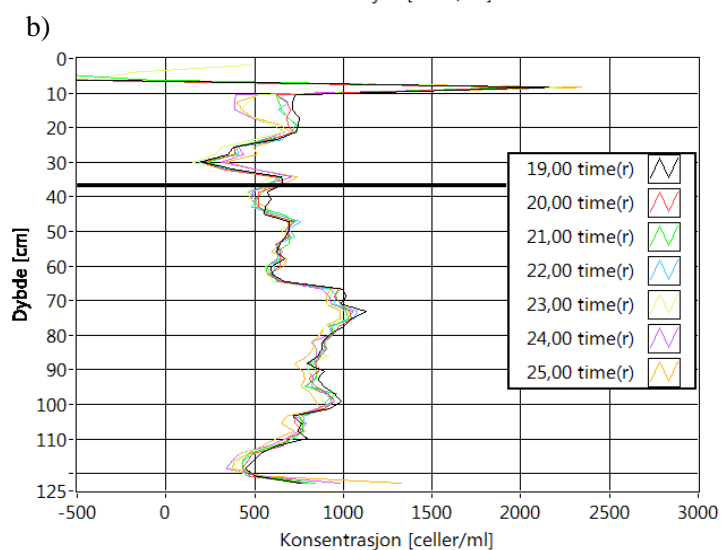
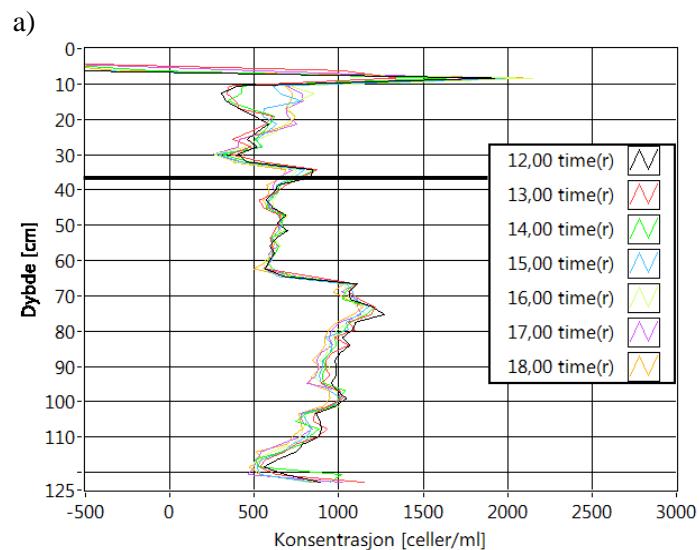
3.3.1 Eksperiment 1

Det første eksperimentet tok for seg migrasjon under PAR-lys i tillegg til å se på effekten av å sette på UVA-lys etter at migrasjonsmønsteret til algene var kartlagt. Eksperimentet bestod av 40 liter brakkvann med temperatur 21,3 °C i den øverste delen av tanken. Dette vannet hadde saltinnhold 28,8 promille. Den nederste delen bestod av 130 liter vann med temperatur 21 °C og saltinnhold 34,8 promille. Dette gir en saltgradient ved dybde 37 cm som illustrert i grafene under. Algene ble lagt inn med de siste 13 liter vann.

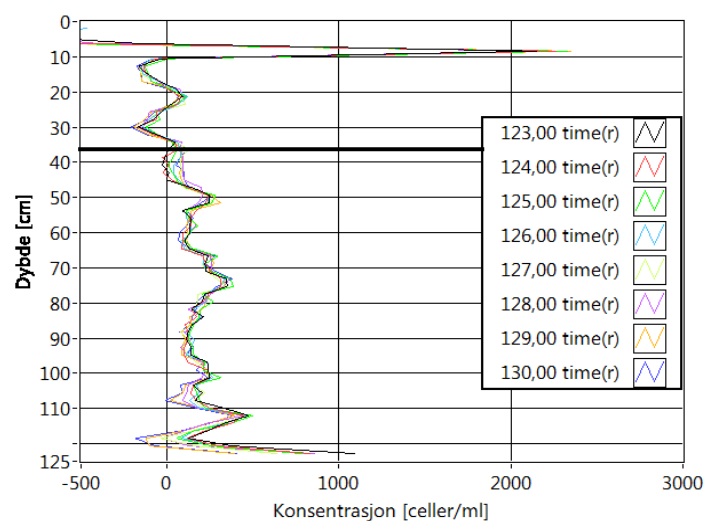
Grafene i Figur 31 -Figur 33 viser de viktigste hendelsene under eksperimentet.



Figur 31: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 1. Viser profileringer i starten av eksperimentet. Lyskilde er PAR-lysene. Posisjonen til haloklinen er illustrert ved den uthevede sorte linjen.



Figur 32: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 1. Grafene viser utviklingen i tanken ved overgangene lys/mørke og mørke/lys ved PAR-lys. Etter 14 timer blir lyset slått av og etter 24 timer blir lyset slått på.



Figur 33: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 1. Etter 124,5 timer blir UVA-lyset slått på i tillegg til PAR-lysene. Grafen viser utviklingen i tanken før og etter.

Figur 31a viser at allerede ved første profilering har algene beveget seg vekk fra bunnen og opp mot haloklinen. Dette skyldes at det tar tid å legge inn hele volumet med alger og dermed får en del tid til å bevege seg før målingene settes i gang. I de videre eksperimentene er det plassert lys på bunnen av tanken før målingene settes i gang slik at algene holder seg på bunnen. Figur 31b viser at ved hver profilering øker antallet av alger ved overflaten og det minker ved bunnen.

I Figur 32 er forskjellene mellom lys og mørk periode det første døgnet vist. Siden døgnsyklusen er 14/10 blir lyset slått av etter 14 timer og på igjen etter 24 timer. Algene begynner allerede før lyset er slått av å bevege seg nedover i tanken mot haloklinen, se Figur 32a. Dette kan tyde på en indre klokke som forteller algene at det nærmer seg en mørk periode. Når det nærmer seg lys periode begynner algene å bevege seg opp igjen mot overflaten, figur 32b. Også dette skjer før lyset faktisk er slått på. Dette mønsteret ble repetert hvert døgn av eksperimentet.

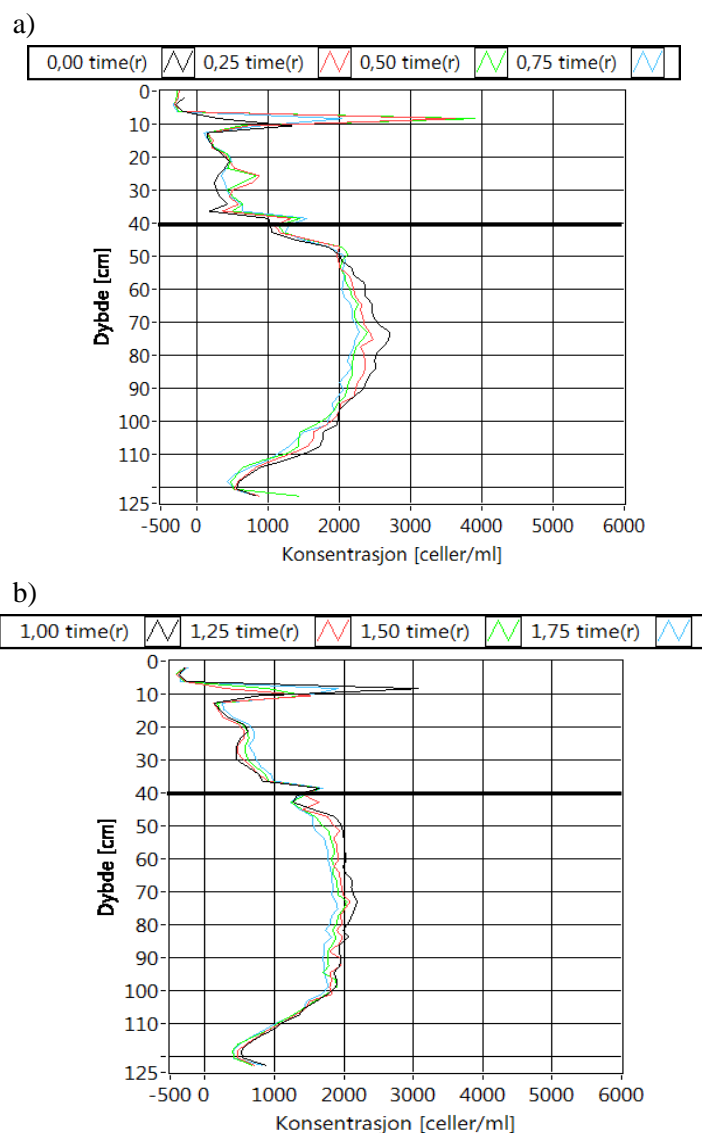
For å se hvordan UVA-lyset påvirker algene er det naturlig å se på profileringer både før og etter at UVA-lyset er slått på. Dette er vist i Figur 33. Det er vanskelig å se at UVA-lyset har noen særlig effekt på algene, men det skjer små forandringer i bunnen av tanken og rundt haloklinen.

Basert på analyse av resultatene kan en si at det ikke var mye bevegelse i tanken under eksperimentet. I starten var det en vertikal migrasjon slik at algene fordelte seg jevnt i tanken. En del brøt haloklinen raskt mens mange forble under haloklinen hele eksperimentet. Dette kan bety at lyset var tilstrekkelig dypt ned i tanken samtidig som saltgradienten ikke var sterk nok til å bidra til særlig migrasjon. Det var tydelige bevegelser i overgangene lys/mørke og mørke/lys. Bevegelsene startet i forkant av overgangene noe som kan tyde på at algene har en indre klokke som forteller når det nærmer seg mørke og lyse perioder. Denne klokken er mest sannsynlig kommer sannsynligvis av at algene er dyrket under samme døgnsyklus som eksperimentet bruker.

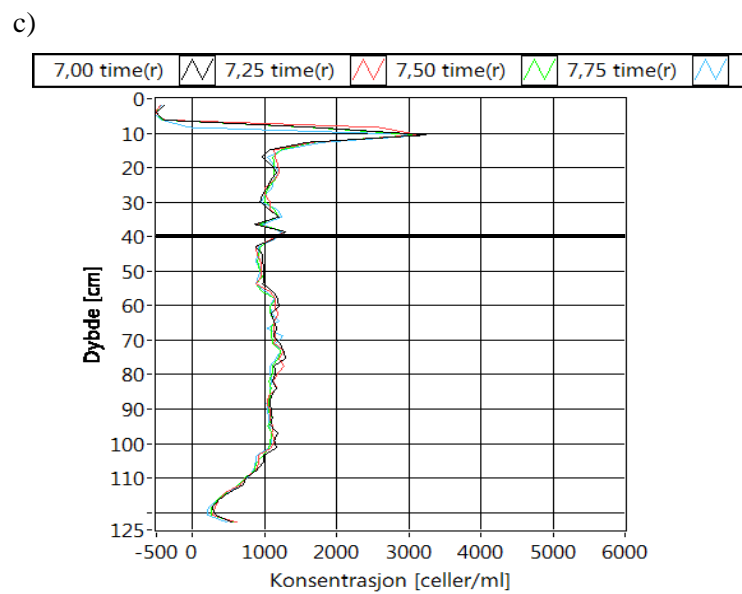
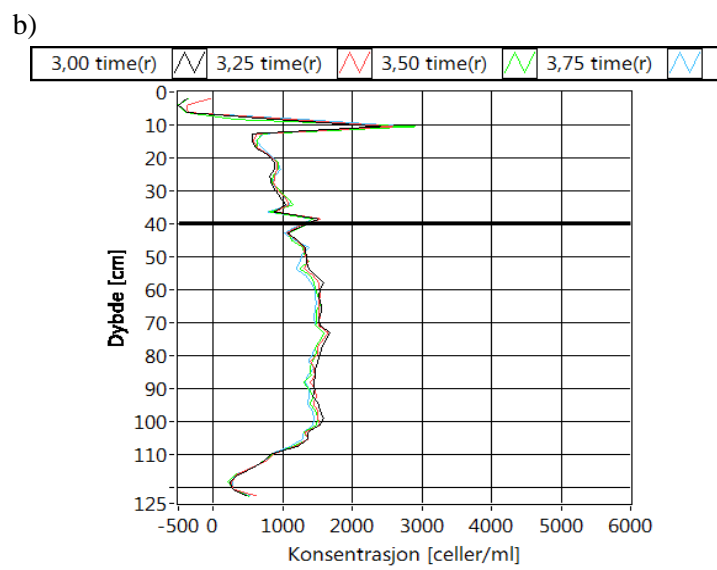
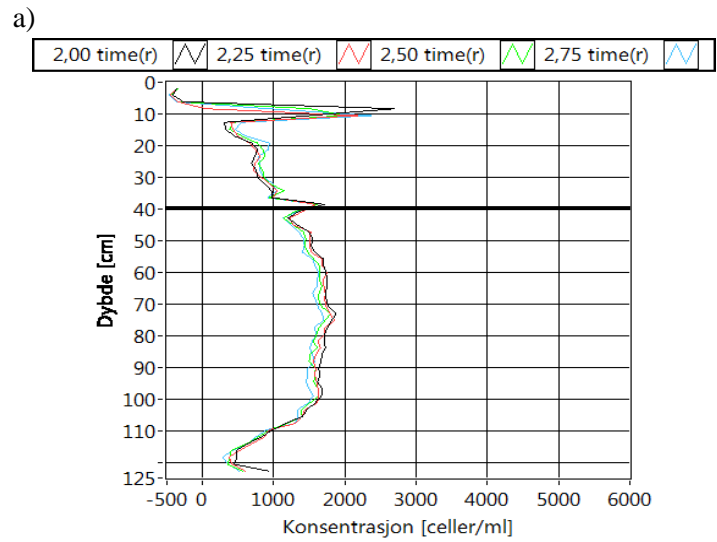
Effektene av UVA-lyset var minimale og det er sannsynlig at en må ta i bruk UVB-lys for å se større effekt.

3.3.2 Eksperiment 2

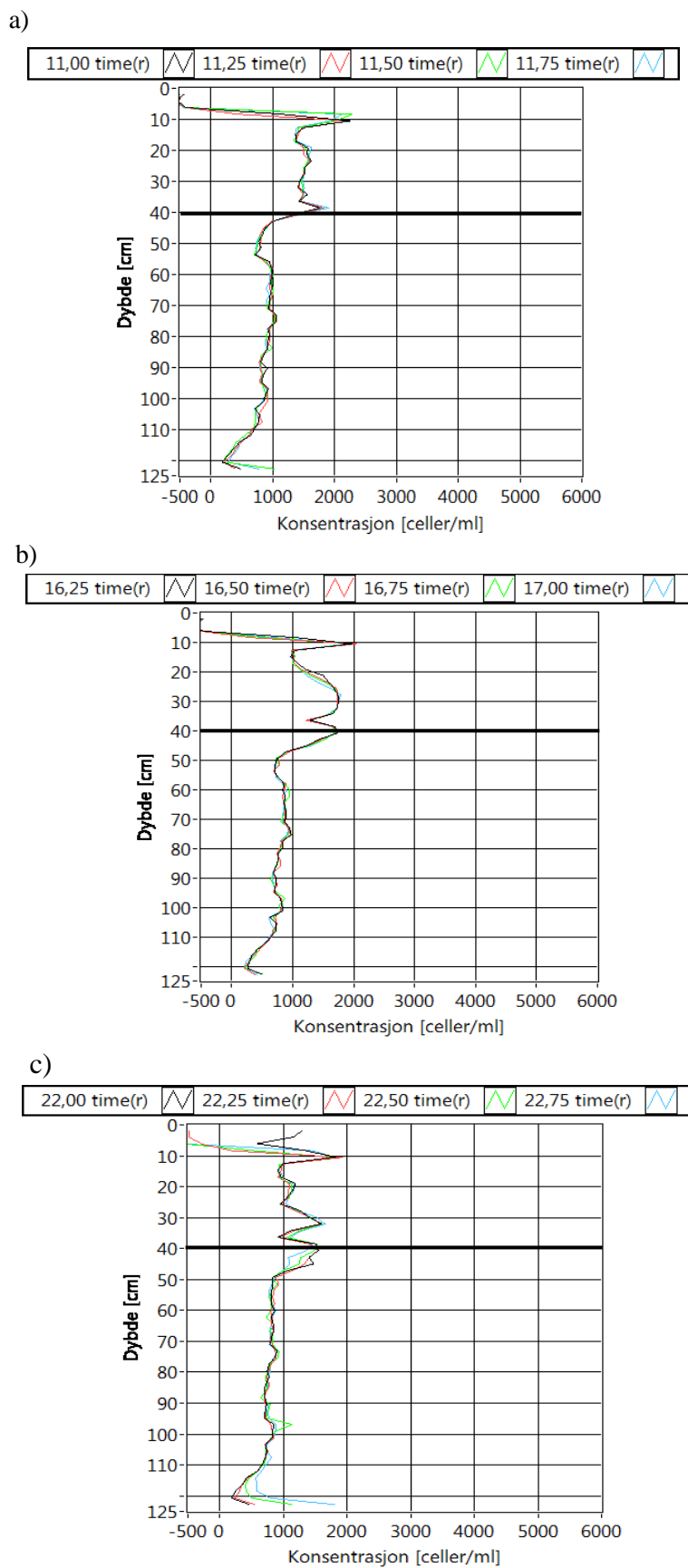
Det neste eksperimentet var ment som en repetisjon av det første. Eksperimentet bestod av 47 liter brakkvann med temperatur 20 °C og saltinnhold 29,2 promille. Det nederste laget bestod av 126 liter vann med temperatur 20,7 °C og saltinnhold 34,7 promille. Dette gir en saltgradient ved 40 cm som illustrert i grafene under. Algene ble lagt inn med de siste 13 liter sjøvann. Siden det første eksperimentet gav så pass liten effekt av UVA-lyset var det ingen hensikt å ta dette med i eksperiment 2. Profileringshastigheten var også litt lav etter første eksperiment siden det meste av aktivitet skjedde de første dagene, så denne ble hevet til hvert 15.min i de resterende eksperimentene. I tillegg ble også lengden av eksperimentet satt ned til 1 uke av samme grunn. Grafene i Figur 35 -Figur 37 viser de viktigste hendelsene.



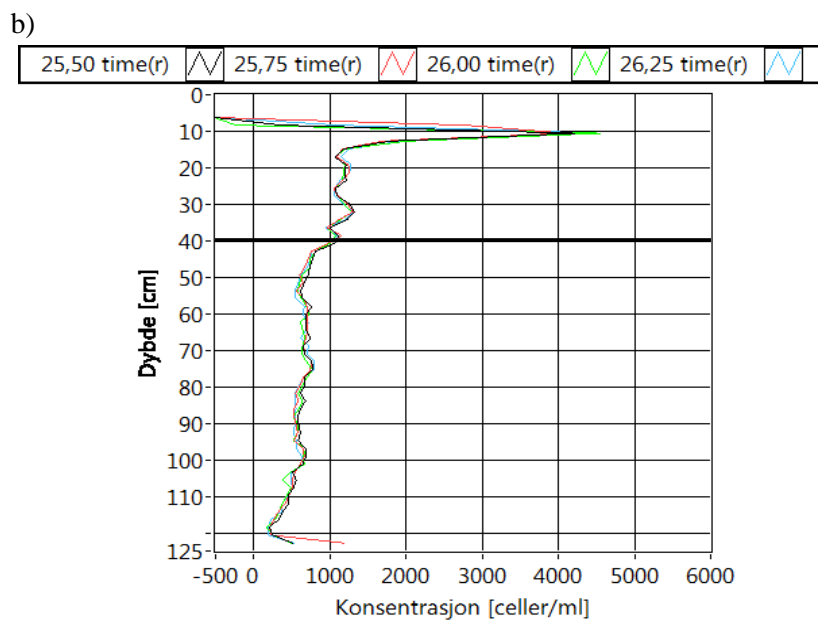
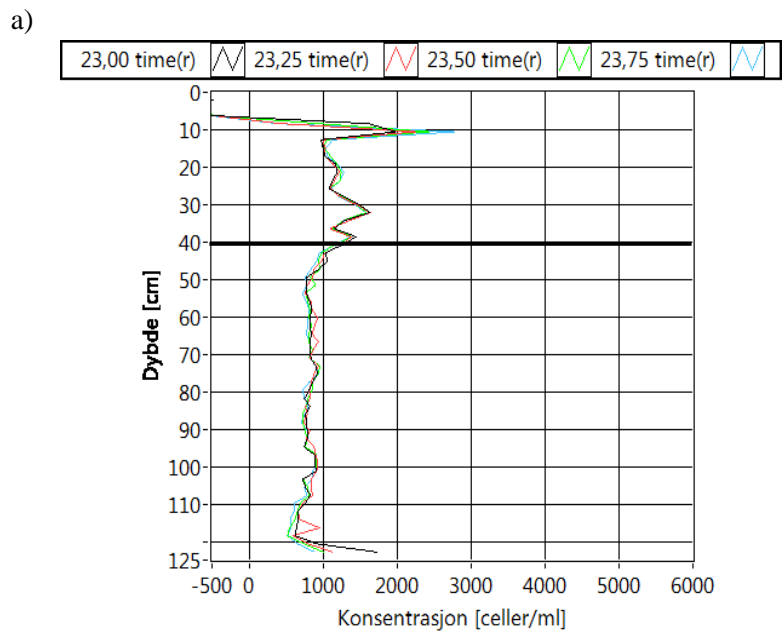
Figur 34: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 2. Viser starten av eksperimentet. Lyskilde er PAR-lysene. Posisjonen til haloklinen er illustrert ved den uthevede sorte linjen.



Figur 35: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 2. Viser timene etter at algene har stabilisert seg i tanken.



Figur 36: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 2. Viser utviklingen i tanken når det nærmer seg mørk periode(14 timer) og frem mot overgangen til lys periode, ved PAR-lys.



Figur 37: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 2. Viser utviklingen i tanken før og etter overgangen til lys periode (24 timer),

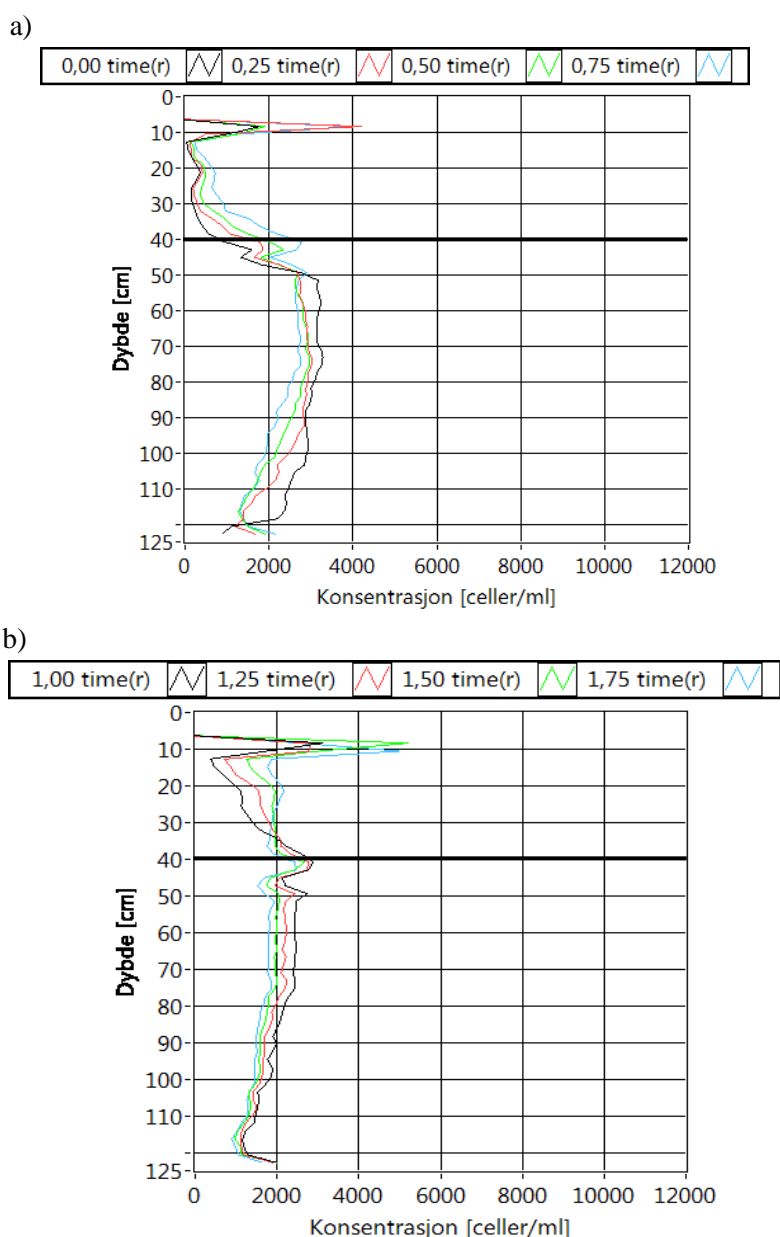
Også i dette eksperimentet er det tydelig at tiden det tar å legge inn alle algene spiller inn slik at en del alger allerede har begynte migrasjonen når eksperimentet settes i gang, se Figur 35a. Figur 35b viser at algene beveger seg sakte oppover i tanken mot haloklinen. Det dannes fort en konsentrasjonstopp rundt haloklinen. I Figur 35a og b har det dannet seg en konsentrasjonstopp ved overflaten. Figur 35c viser at etter 7 timer har algene stabilisert seg i tanken. De er jevnt fordelt under haloklinen og det er en konsentrasjonstopp rundt haloklinen i tillegg til en ved overflaten.

Allerede etter 11 timer begynner algene å bevege seg nedover mot haloklinen, se Figur 36a. Dette skyldes den mørke perioden som nærmer seg. Etter 16 timer og 15 min har det dannet seg to større konsentrasjonstopper henholdsvis rundt og rett over haloklinen, se Figur 36b. Når det nærmer seg lys periode synker antallet alger ved disse konsentrasjonstoppene samtidig som toppen ved overflaten øker igjen, se Figur 36c. Når den lyse perioden nærmer seg begynner algene å bevege seg opp igjen til overflaten, se Figur 37a. Når lyset er kommet på er algene tilbake der de startet før den mørke perioden, Figur 37b. Dette mønsteret gjentas gjennom eksperimentet.

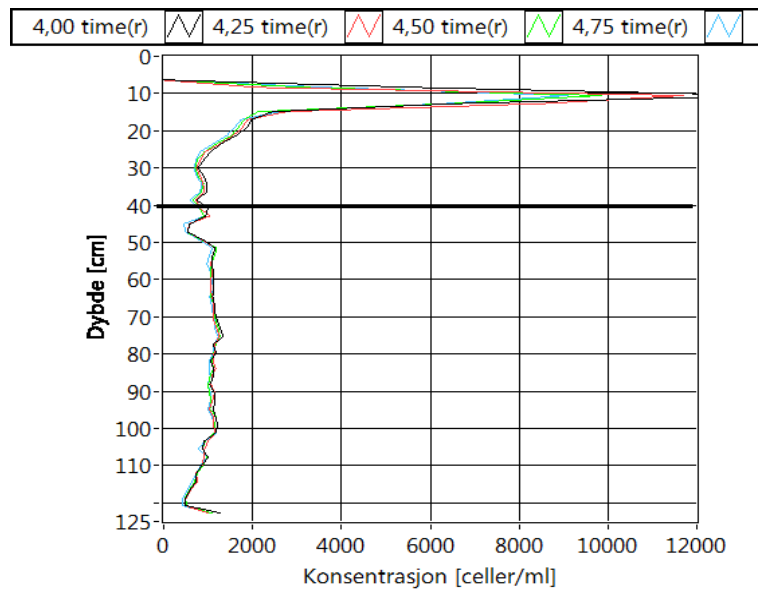
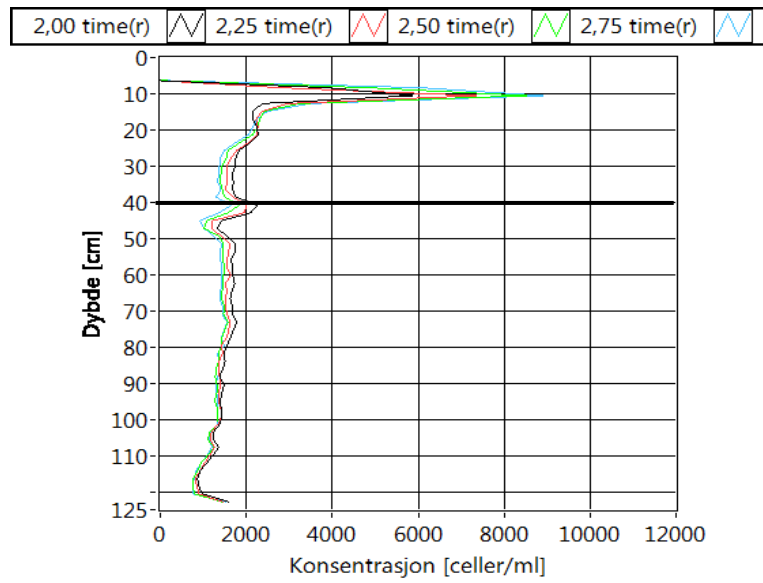
Det er tydelig, som i eksperiment 1, at algene har en indre klokke som forteller når de mørke og lyse periodene nærmer seg. Algene begynner da bevegelsene sine flere timer før lyset slås av eller på. Det at dette gjentas i begge de to første eksperimentene gjør at vi kan med god sannsynlighet fastslå at repeterbarheten er god.

3.3.3 Eksperiment 3

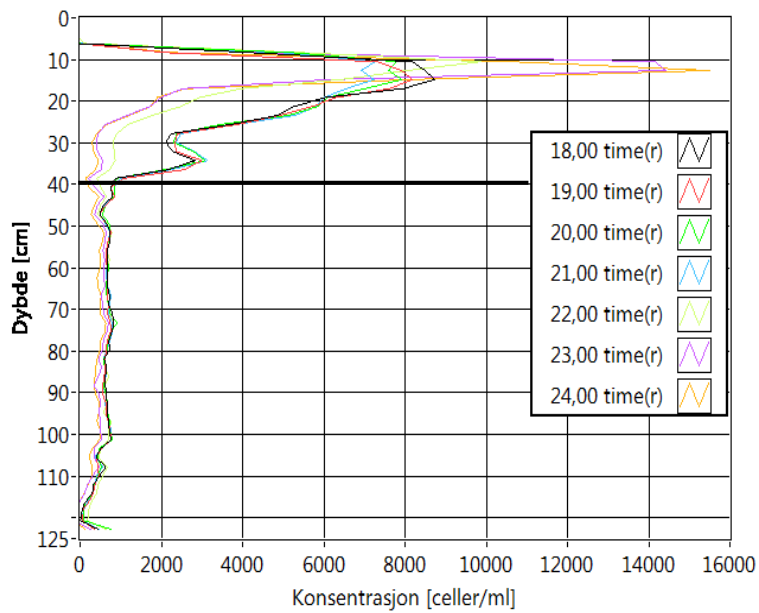
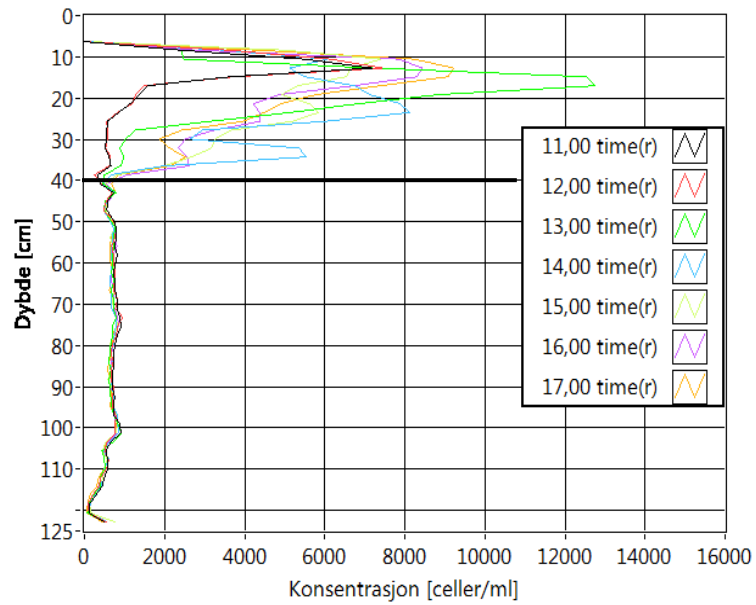
Det tredje eksperimentet tok for seg migrasjon under bare blått lys. Dette for å kartlegge hvilken effekt den spesifikke bølgelengden har på migrasjonen til algene. Eksperimentet bestod av 47 liter brakkvann med temperatur 21,3 °C og saltinnhold 29,8 promille. De resterende 126 literne vann hadde temperatur 21,3 °C og saltinnhold 34,8 promille. Dette gir en saltgradient ved dybde 40 cm som illustrert i grafene under. Algene ble lagt inn med de siste 13 liter sjøvann. Resultatene er vist i Figur 38 - Figur 40.



Figur 38: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 3. Viser starten på eksperimentet. Lyskilde er blått lys, bølgelengde 469 nm. Posisjonen til haloklinen er illustrert ved den uthevede sorte linjen.



Figur 39: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 3. Profileringer som viser at algene stabiliserer seg i tanken.



Figur 40: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 3. Viser utviklingen før og etter overgangene lys/mørke og mørke/lys ved blått lys.

Det meste av aktiviteten skjer de første timene som vist i Figur 38a og b. Da tiltrekker lyset algene og de beveger seg mot overflaten. Allerede etter 4 timer har omtrent alle algene nådd overflaten, se Figur 39. Denne raske stigningen kan ha noe med det svake lyset det blir av bare en lyskilde. Som vist under kapittelet om lyspanelet er det blå lyset mye svakere enn alle fire lysene sammen. Det betyr at algene må lenger opp i tanken for å kunne utnytte lyset slik de vil.

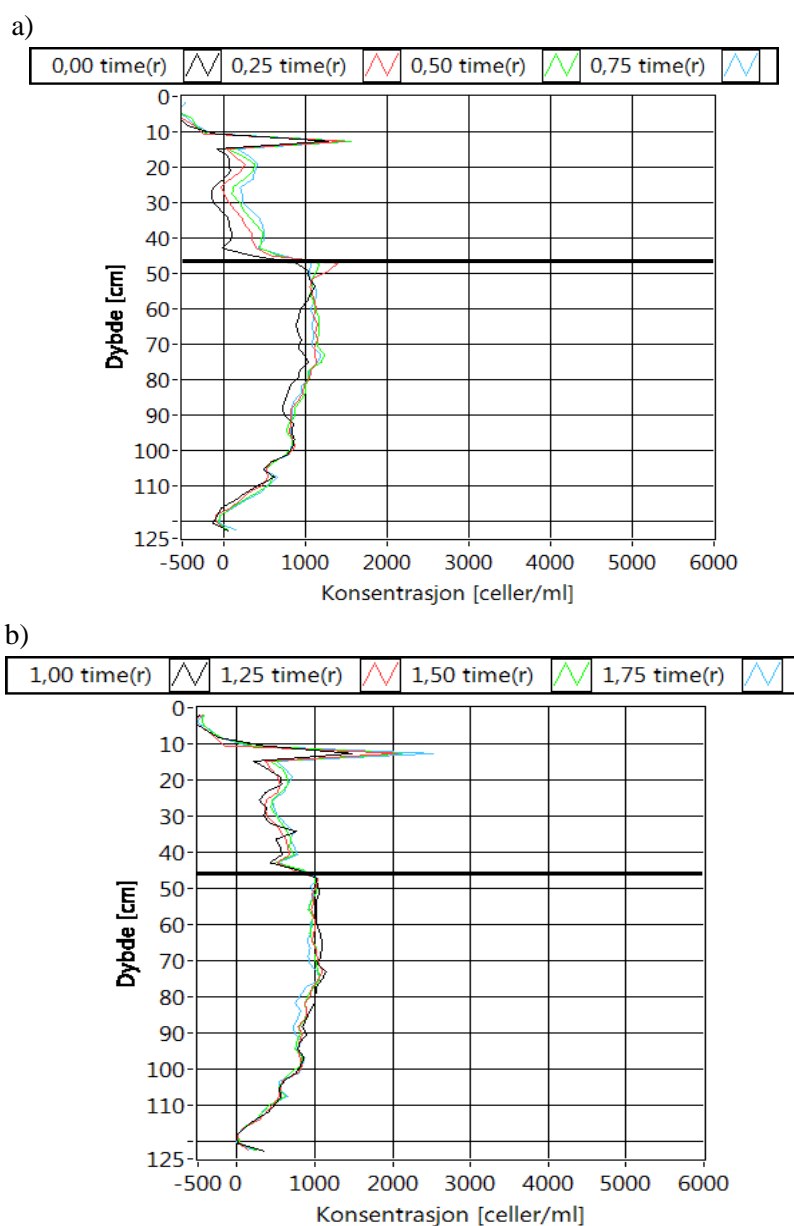
Figur 40 viser bevegelsesmønsteret til algene i overgangen mørke/lys og omvendt. Når den mørke perioden nærmer seg beveger algene seg ned mot haloklinen. Det dannes konsentrasjonstopper i området rundt haloklinen. Når den lyse perioden nærmer seg reverseres bevegelsene og når lyset er kommet på er algene tilbake der de startet. Dette er et repeterende mønster gjennom hele eksperimentet.

Dette eksperimentet viser de samme mønstrene som de forrige og understreker det faktum at algene har en indre klokke som nevnt i eksperiment 2. I dette eksperimentet er det et høyere antall alger, særlig etter den mørke perioden. Dette skyldes pigmentet CSRB som nevnt tidligere, som har høy sensitivitet for blått lys ved lav intensitet. Det gjør at flere alger beveger seg oppover i tanken og opp mot overflaten.

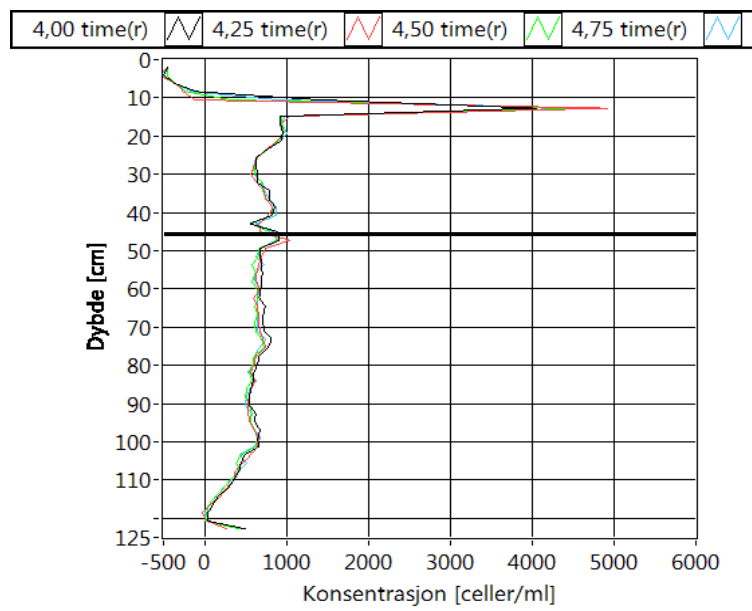
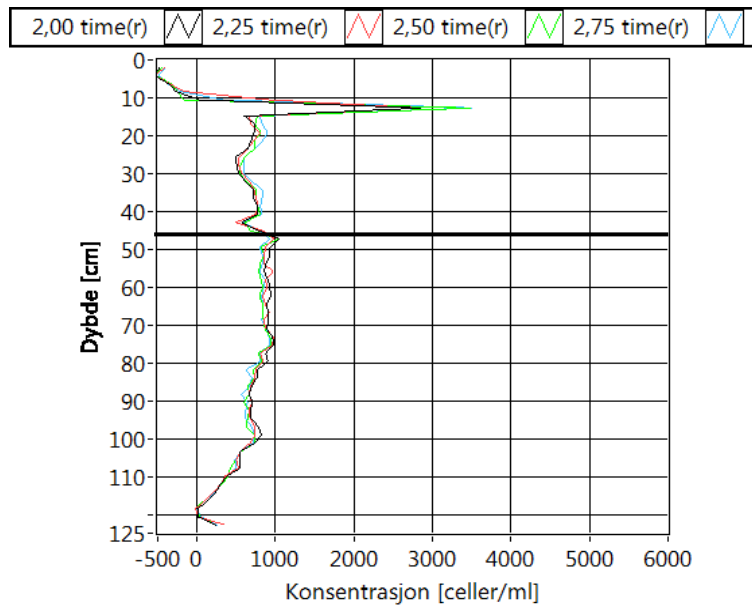
3.3.4 Eksperiment 4

Det fjerde eksperimentet tok for seg migrasjon under bare rødt lys. Dette for å kartlegge hvilken effekt den spesifikke bølgelengden har på migrasjonen til algene. Eksperimentet bestod av 49 liter brakkvann med temperatur 20,9 °C og saltinnhold 30,9 promille. De resterende 117 literne vann hadde temperatur 21,4 °C og saltinnhold 34,7 promille. Dette gir en saltgradient ved dybde 46 cm som illustrert i grafene under. Algene ble lagt inn med de siste 10 liter sjøvann. I dette forsøket ble de første 156 literne lagt inn 3 dager før algene ble lagt inn.

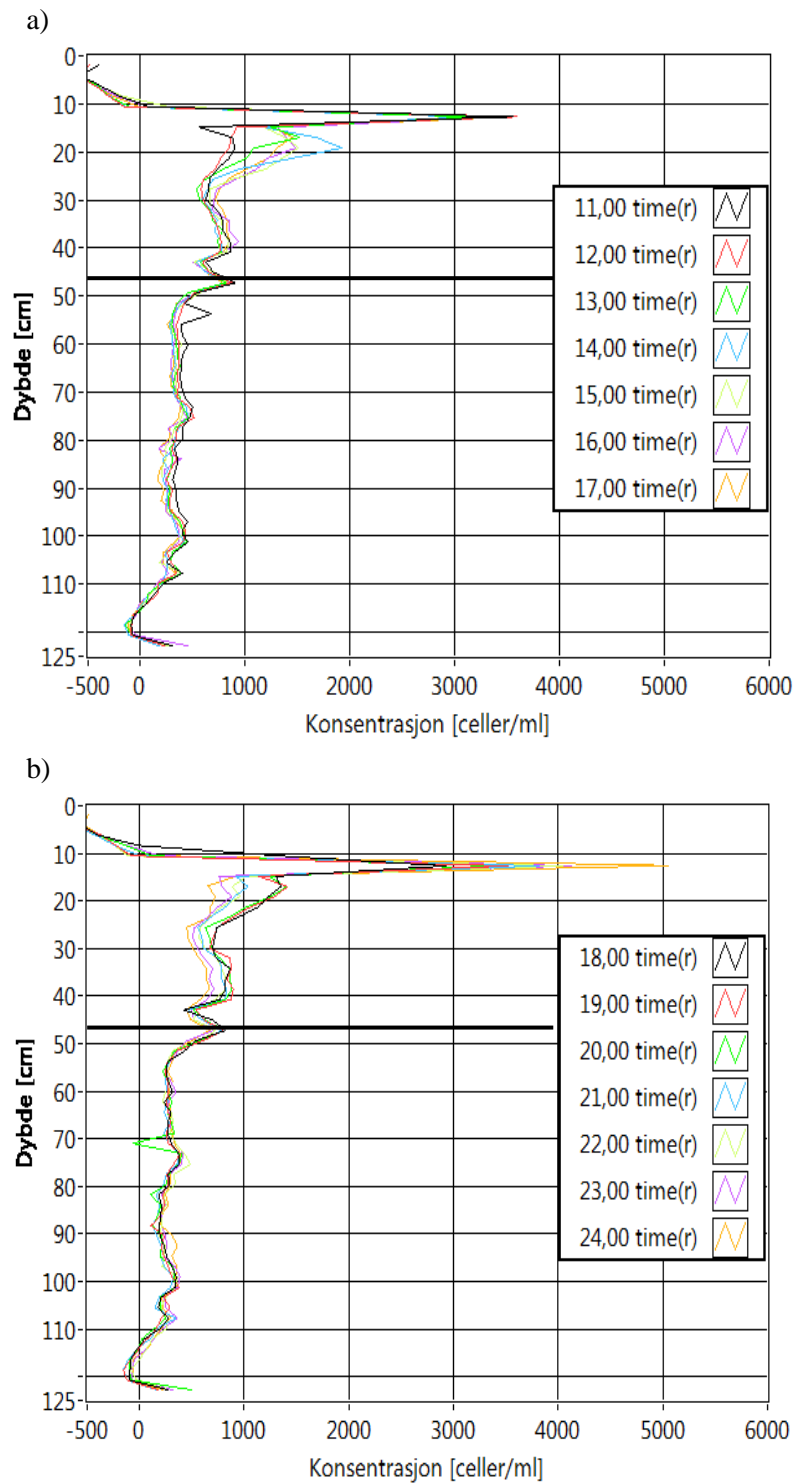
Resultatene er vist i Figur 41 - Figur 43.



Figur 41: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 4. Viser starten av eksperimentet. Lyskilde er rødt lys, bølgelengde 633 nm. Haloklinen er illustrert ved den uthevede sorte linjen.



Figur 42: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 4. Profileringer som viser at algene stabiliserer seg i tanken.



Figur 43: Utvalgte algeprofiler fra eksperiment 4. Viser utviklingen i tanken før og etter overgangene lys/mørke og mørke/lys ved rødt lys.

Det meste av aktiviteten skjer de første timene som vist i Figur 41. Da tiltrekker lyset algene og de beveger seg mot overflaten. Etter 4 timer har algene stabilisert seg i tanken og omtrent alle algene nådd overflaten, se Figur 42. Denne raske stigningen kan ha noe med det svake lyset det blir av bare en lyskilde. Som vist under kapittelet om lyspanelet er også det røde lyset mye svakere enn alle fire lysene sammen. Det betyr at algene må lenger opp i tanken for å kunne utnytte lyset slik de vil.

Figur 43 viser bevegelsesmønsteret til algene i overgangen mørke/lys og omvendt. Når den mørke perioden nærmer seg beveger algene seg ned mot haloklinen. Det dannes konsentrasjonstopper i området rundt haloklinen. Når den lyse perioden nærmer seg reverseres bevegelsene og når lyset er kommet på er algene tilbake der de startet. Dette er et repeterende mønster gjennom hele eksperimentet.

Dette eksperimentet viser de samme mønstrene som de forrige. I dette eksperimentet er det et lavere antall alger enn i eksperimentet med blått lys. Dette er en bekreftelse på at pigmentet CSRB har stor innvirkning på algene da det grønne lyset ikke førte til at like mange alger beveget seg oppover i tanken. Dette kunne vært enda mer bekreftet ved et eksperiment med grønt lys hvor irradiansen til det grønne lyset var høyere. Da ville pigmentet CSRA virket inn og like mange alger som i eksperiment 3 ville beveget seg opp i tanken.

4 Konklusjon

Målet med denne oppgaven var å designe og implementere et målesystem som kan monitorere oppførselen til mikroalger i en eksperimentell vannkolonne. Dette er gjort ved å automatisere og kontrollere det allerede eksisterende motorsystemet. Ved å innføre kontrollenheten CompactRIO fra National Instruments kan motor og alle komponenter knyttet til styring av motor, kontrolleres fra en PC via en LabVIEW-basert programvare. Vendebrytere i hver ende av vannkolonnen sørger for at programvaren får beskjed hver gang motoren må snu, slik at det er full kontroll på hvordan motoren oppfører seg. I tillegg er det gjennomført forbedringer for å sikre at feil ikke ødelegger hverken målesystemet eller eventuelle resultat fra eksperimentene. Sikkerhetsbrytere og sikringer er implementert både på selve motorkjøringen samt på hele målesystemet generelt. Instrumenteringen er enkel og kan enkelt videreutvikles etter behov.

Forbedret datainnsamling er også implementert. Ved hjelp av kontrollenheten innhentes relevante data enkelt for videre prosessering og analyse i programvaren. Dette gjør at manuell visualisering av data i form av instrumentdisplay unngås, og påfølgende kan flere feilkilder i målesystemet elimineres. Her er det også rom for flere datainnsamlingskanaler hvis det skulle vise seg å bli et behov.

For bedre kontroll med betingelsene i vannkolonnen var det også en målsetning i prosjektet å utvikle et optimalisert lyspanel, som ble realisert med LED-lys med forskjellig bølgelengde. Lyspanelet ble konstruert slik at hver bølgelengde kunne styres individuelt med hensyn på styrke via LabVIEW-programvaren. Programvaren sørger for utallige valgmuligheter ved bestemmelse av lysbetingelsene slik at det kan gjennomføres kontrollerte eksperimenter for å studere lysets innvirkning på alger.

For at det eksperimentelle systemet skulle kunne brukes av flest mulig, var det en forutsetning at en brukervennlig programvare ble utviklet. I tillegg skulle programvaren behandle data på en effektiv og oversiktlig måte. Ved bruk av LabVIEW-basert programvare kan alle de ulike del-systemene i måleoppsettet styres. Alle valg i forhold til eksperimentene (lengde osv.) og lysforholdene i tanken kan gjøres av bruker. Valgene gjøres med enkle knapper på programvarens GUI. For at bruker skal kunne følge med i eksperimentene er også presentasjon av data viktig. Derfor blir all relevant informasjon gjengitt i GUI-en, både i form av presentasjon av innhentede data samt i form av behandlede data og tidsinformasjon. Slik får bruker all nødvendig informasjon for å kunne trekke konklusjoner underveis.

For å verifisere funksjonaliteten til det eksperimentelle systemet måtte det testes. Verifisering av systemet er således en måte å teste om de tidligere nevnte målene er oppnådd. Ved å gjøre eksperiment på algetypen *Tetraselmis sp.* under ulike forhold, kan resultater sammenlignes både med tidligere arbeid på systemet men også med aksepterte teorier om hvordan alger oppfører seg. Resultatene som her er presentert viser at alger svømmer mot lys når de blir bestrålt. Farten varierer fra cellekultur til cellekultur. Antallet som når helt til overflaten varierer også, og det viser seg at jo mindre lys det er dypere i tanken jo flere trekker mot overflaten.

Ved overflaten stabiliserer algene seg helt til det nærmer seg mørke. Da beveger de seg ned mot saltgradienten i vannet, og når det nærmer seg lys periode beveger de seg opp igjen.

Denne bevegelsen starter gjerne et par timer før mørket/lyset inntreffer slik at en kan konkludere med at algene har en intern klokke som sier noe om når det nærmer seg mørke- og lysperiode. Disse funnene stemmer godt med tidligere arbeid og teorier. Derfor kan en konkludere med at systemet fungerer slik som ønsket. Det er derimot ikke konkludert med at systemet er komplett. Det har fortsatt forbedringspotensial særlig i forhold til usikkerhet rundt målingene.

4.1 Videre arbeid

Det er mange elementer i dette systemet som kan jobbes videre med og det er viktig å belyse disse for senere. Disse elementene er listet opp punkt for punkt nedenfor med tilhørende forklaring:

- De optiske sensorene i dette systemet er gamle og burde vært skiftet. Det er vanskelig å si noe om måleusikkerheten i dette systemet når sensorene er gamle og de ikke lenger er like pålitelige.
- Det mekaniske systemet er ikke like robust som det en gang var og bør gjøres noe med i forhold til stabilitet rundt rammen de optiske sensorene er festet til. Et alternativ er å feste rammen til fire stenger som den beveger seg rundt, i stedet for dagens to. I tillegg bør det drives kontinuerlig smøring og vedlikehold av de mekaniske komponentene.
- Slik systemet er designet nå er både de optiske sensorene og vendebryterne festet til den bevegelige rammen. Det betyr at kabler fra disse til kontrollenheten (cRIO) er i konstant bevegelse så lenge rammen er det. Det er ingen god løsning da kablene kan henge seg fast i kanter langs tanken. Det bør her ses på muligheten til å ha trådløs dataoverføring fra disse komponentene til kontrollenheten.

- Den elektriske motor har i dette systemet bare en hastighet. Det kan se ut som dette ikke er så gunstig da overgangen mellom luft og vann kommer for fort for de optiske sensorene. I tillegg er det en fordel viss sensorene får målt flere punkter under profileringen. Her kan de implementeres en frekvensomformer på trefasen til motoren slik at hastigheten kan varieres. En betingelse må være at frekvensomformeren kan implementeres via kontrollenheten eller på annen måte styres automatisk.
- For best mulig å simulere de naturlige forhold kan det være aktuelt å forbedre lyspanelet ytterligere. Som forklart tidligere er ikke den samlede lysstyrken lyspanelet generer i nærheten av hva sollys generer. For å nærme seg dette nivået kan en designe et lyspanel med enda flere LED-lys for hver bølgelengde.
- Simuleringen av sol- oppgang og nedgang er i dette systemet basert på en jevn økning av spenningen ut på lyspanelet. I virkeligheten fungerer ikke solens syklus slik. Her kan det gjøres grundigere arbeid med å finne en ligning som beskriver solens syklus bedre.
- Utføre et eksperiment med bare grønt lys som kilde.
- Gjenta alle eksperimentene for å se på repeterbarheten av algenes oppførsel.

5 Referanseliste

- Bjørnsen, P. K., og T. G. Nielsen. «Decimeter scale heterogeneity in the plankton during a pycnocline bloom of *Gyrodinium aureolum*.» *Marine Ecology - Progress Series*, 1991: 263-267.
- Cloern, J. E. «Temporal dynamics and ecological significance of salinity stratification in estuary (South San Francisco Bay, USA).» *Oceanol. Acta*, nr. 7 (1984): 137-141.
- Cushing, D. H. «A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified.» *J. Plankton Res.*, nr. 11 (1989): 1-13.
- Dybwad, M. «Utvikling og anvendelse av optisk utstyr til måling av mikroalgers vertikalvandring og sjøvanns optiske egenskaper.» Hovedfagsoppgave, Institutt for fysikk, Universitetet i Bergen, 1998.
- Ebrey, T. G. «A new type of photoreceptor in algae.» *PNAS* 99, nr. 13 (2002): 8463-8464.
- Erga, S. R. «I. the effect of water exchange processes and environmental factors on temporal and vertical variability of biomass.» *Ecological studies on the phytoplankton of Boknafjorden, western Norway*, 1989: 161-176.
- Erga, S. R., A. M. Omar, I. Singstad, og E. Steinseide. «An optical detection system for the study of fine scale vertical displacement of microalgae in an artificial water column.» *J. Pycol*, 1999: 425-432.
- Erga, S. R., M. Dybwad, Ø. Frette, J. K. Lotsberg, og K. Aursland. «New aspects of migratory behavior of phytoplankton in stratified waters: Effect of halocline strength and light on *Tetraselmis* sp. (Prasinophyceae) in an artificial water column.» *Limnol. Oceanogr.* 3, nr. 48 (2003): 1202-1213.
- Erga, S. R., og B. R. Heimdal. «Ecological studies on the phytoplankton of Korsfjorden, western Norway. The dynamics of a spring bloom seen in relation to hydrographical conditions and light regime.» *J. Plankton Res.*, nr. 6 (1984): 67-90.
- Erga, S. R., og H. R. Skjoldal. «Diel variations in photosynthetic activity of summer phytoplankton in Lindåspollene, western Norway.» *Marine Ecology - Progress Series*, 1990: 73-85.
- Frette, Ø., S. R. Erga, J. J. Stamnes, og K. Stamnes. «Optical remote sensing of waters with vertical structure.» *Appl. Opt.*, nr. 40 (2001): 1478-1487.
- Garrison, T. *Oceanography. An invitation to marine science*. Wadsworth Publishing Company, 1996.
- Kirk, J. T. O. *Light & Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. 2nd. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- Kirk, J. T.O. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. 3rd. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2011.
- MacIntyre, J. G., J. J. Cullen, og A. D. Cembella. «Vertical migration, nutrition and toxicity of the dinoflagellate *Alexandrium tamarense*.» *Marine Ecology - Progress Series*, 1997: 201-216.
- National Instruments. *What is CompactRIO*. 2012.
<http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/global/lang/no/pg/1/sn/n24:cRIO/fmid/102/> (accessed 2012).
- Omar, A. M. *Dynamic system for monitoring the vertical movements of micro-algae using laser light*. Hovedfagsoppgave, Bergen: Universitetet i Bergen, 1996.

- Rao, M. U., og Y. Sarojini. «Composition, abundance and vertical distribution of phytoplankton and fungi off Krishna and Godavary river mouths, east coast of India.» *Indian journal of marine sciences*, 1992: 128-132.
- Sineshchekov, O. A., K. H. Jung, og J. L. Spudich. «Two rhodopsins mediate phototaxis to low- and high-intensity light in *Chlamydomonas reinhardtii*.» *PNAS (The National Academy of Sciences)* 99, nr. 13 (2002): 8689-8694.
- Smayda, T. «Phytoplankton species succession.» I *The physiological ecology of phytoplankton.*, redigert av I. Morris, 493-570. Blackwell, 1980.
- The Woodrow Wilson National Fellowship Foundation . «Rutgers Lab Experiment.» *Woodrow*. April 2013.
<http://www.woodrow.org/teachers/esi/1999/princeton/projects/uv/rutgers.html>
 (funnet 2013).
- Villarino, M. L., F. G. Figueiras, K. J. Jones, X. A. Alvarez-Salgado, J. Richard, og A. Edwards. «Evidence of in situ diel vertical migration of a red-tide microplankton species in Ria de Vigo (NW Spain).» *Marine Biology*, 1995: 607-617.
- Wikipedia.org. *Wikipedia*. 2013. <http://en.wikipedia.org/wiki/Relay> (funnet 2012).

6 Vedlegg

Tabell 3 viser vedleggene som er plassert på medfølgende CD. I tillegg til filene beskrevet i tabellen ligger også denne rapporten vedlagt på samme CD.

Mappe	Filnavn	Beskrivelse
Datablad	Datablad BD135-136-139-140.pdf	Datablad for en av de to transistorene som er brukt i driverkretsene til LED-panelet
	Datablad MJ2955.pdf	Datablad for den andre transistoren som er brukt i driverkretsene til LED-panelet
	Datablad LED Blå.pdf	Datablad for blå LED brukt i LED-panelet
	Datablad LED Grønn.pdf	Datablad for grønn LED brukt i LED-panelet
	Datablad LED Rød.pdf	Datablad for rød LED brukt i LED-panelet
	Datablad LED UV.pdf	Datablad for UV LED brukt i LED-panelet
	NI 9074 Datasheet.pdf	Datablad for datainnsamlingskontrolleren brukt i målesystemet
	NI 9215 Datasheet.pdf	Datablad for inngangsmodule tilknyttet datainnsamlingskontrolleren
	NI 9263 Datashett.pdf	Datablad for utgangsmodule tilknyttet datainnsamlingskontrolleren
	NI 9481 Datasheet.pdf	Datablad for relemodule tilknyttet datainnsamlingskontrolleren
Programvare	Alge-monitorering 1.3.	Programvaren til målesystemet
	Algekonsentrasjoner 3.	Midlertidig programvare for visualisering av resultat fra eksperiment
	Test motor.vi	Grunnleggende program for styring av motor
Datafiler		Datafiler fra eksperimentene kjørt i arbeidet med rapporten. Ligger i undermapper basert på hvilke eksperimenter. Totalt nesten 2000 filer.

Tabell 3: Oversikt over vedlegg på medfølgende CD.