

Konstruksjon av spesialsentrifuge for simulering av lave g-nivåer

Bård Olav Johannessen

Master i lærerutdanning med realfag
Oppgaven levert: Juni 2008
Hovedveileder: Anders Carl G. Johnsson, PHYS

Forord

Denne oppgaven er avslutningen på mitt studium; 5-årig lærerutdanning i realfag (LUR) med matematikk og fysikk ved NTNU. Oppgaven har vært spennende, utfordrende og lærerik. Skulle bare ønske jeg hadde hatt mer tid, slik at jeg kunne vært med på videreutviklingen av denne prototypen som nå er bygget.

Det har vært svært lærerikt å samarbeide med to dyktige verksted på universitetet. Både det Mekaniske Verkstedet med Arnolf Bjølstad i spissen, og det Elektrioniske verkstedet med Arne Moholdt i ledelsen har vært helt suverene med samarbeid, ideer og ikke minst det arbeidet de har levert. Tusen takk til alle de involverte på verkstedet, dette kunne ikke blitt gjort uten dere.

Til Professor Anders Johnsson vil jeg si tusen takk for en god og praktisk oppgave, med mange utfordringer underveis. Og for konstruktive tilbakemeldinger både når jeg har hatt gode og dårlige ideer. Ønsker virkelig at du får kjørt mange gode forsøk med sentrifugen i framtiden.

Jeg vil også takke mamma og pappa for at de tok seg tid til å lese korrektur på oppgaven, det gav meg mange timer ekstra arbeid men det har satt positive spor gjennom hele oppgaven.

Til slutt vil jeg takke min samborer, Solveig, som i løpet av de siste 4 årene har fått meg i arbeid når jeg har vært lei hele universitetet. Og for å ha hentet meg, når jeg har vært oppslukt i arbeidet mitt. Tusen takk, hadde ikke klart det deg.

Forkortelser

<i>Forkortelse</i>	<i>Forklaring</i>
CCW	Canon Camera Window
EMCS	European Modular Cultivation System
ESA	European Space Agency
EV	Eksperiment Volum
ISPR	International Standard Payload Racks
ISS	Den Internasjonale Romstasjonen (International Space Station)
N-USOC	Norwegian User Support and Operation Center
PCC	Plant Cultivation Container
rpm	Omdreininger pr. minutt (rotation pr. minute)

Symboler

<i>Natur konstanter</i>	<i>Symbol</i>	<i>Verdi</i>
Jordens gravitasjonsakselerasjon	g_0	$9,81m/s^2$
Månens gravitasjonsakselerasjon	g_m	$1,62m/s^2$
Gravitasjonskonstant	G	$6,67 \times 10^{-11}m^3/kg \cdot s^2$
Boltzmanns konstant	k	$1,38 \times 10^{-23}J/K$

<i>Rotor parametere</i>	<i>Symbol</i>	<i>Enhet</i>
Sentripetalakselerasjon	a_s	m/s^2
Omløpstid	T	s
Radius	R	m
Frekvens	f	Hz
Vinkelfrekvens	ω	rad/s
Dreiemoment	Nm	Newton Meter

<i>Generelle identiteter</i>	<i>Symbol</i>	<i>Enhet</i>
En væskes viskositet	η	$Pa \cdot s$
En generell tid	t	s

Sammendrag

Målet med denne oppgaven har vært å konstruere og teste ut en spesialsentrifuge for simulering av lave g-nivåer i biofysikkeksperimenter, nærmere bestemt månens gravitasjon. Det blir gjort rede for hvilket teoretisk grunnlag den bygges på, og hvilke krav det stiller til sentrifugen og dens eksperimentvolum, EV.

Det teoretiske grunnlaget baserer seg på, hvordan en plante reagerer på gravitasjon, og hvordan man tidligere har simulert vektløshet for planter. Dette, i sammen med kunnskap om hvordan krefter virker i en sentrifuge, danner grunnlaget for hvor hvordan simuleringen kan utføres, og hvilke krav det stiller til sentrifugen. Det vil i oppgaven blir gjort rede for hvilket teoretisk grunnlag konstruksjonen baserer seg på, og hvilke antagelser som er gjort i den sammenheng.

Teorien stiller spesifikke krav til sentrifugen, og konstruksjonen må være praktisk i bruk . Under konstruksjonen har det vært valgmuligheter. Alternativene er tatt med, og valget som er tatt er begrunnet. Det er også tatt med hva som vil være ønskelig å gjøre med sentrifugen ved en forbedring av den konstruksjonen som er nå, hvor det viktigste er å få kameraet stabilt.

I den siste delen av oppgaven blir resultatene fra testene presentert, hva som er testet, og hva som er blitt notert under testingen. Under avslutningen tar jeg for meg resultatene og hvilke forbedringer som bør gjennomføres. På noen av problemene blir det også presentert en mulig løsning.

EMCS er en del av oppgaven. Min oppgave er å kontrollere akselerasjonstall for sentrifugen, og produsere grafikk som kan være til hjelp i tolkningen av resultatene. Det blir også forklart hva EMCS har i sammenheng med hoved oppgaven.

Bakerst i oppgaven er det en brukerveiledning for de som skal kjøre forsøk framover (se side 60).

Innhold

Forord	i
Forkortelser	ii
Symboler	iii
Sammendrag	iv
Innhold	v
1 Innledning	1
1.1 Gravitasjons krefter	1
1.2 Fritt fall	2
1.2.1 Fysiske betingelser for fritt fall	2
1.2.2 Biologiske effekter	3
1.3 ISS som laboratorium	4
1.4 Månen 2020	5
1.5 Simulering av vektløshet og lave gravitasjons tall	5
1.6 Mål med oppgaven	7
2 Bakgrunn - teori for sentrifugekonstruksjon	8
2.1 Gravitropisme - planters respons på tyngdekraften	8
2.1.1 Statolitter	8
2.1.2 Sedimentasjon av statolitter	9
2.1.3 Terskel for deteksjon av stimuli	11
2.2 Simulering av vektløshet	12
2.2.1 Enkeltceller	12
2.2.2 Større objekt	13
2.3 Simulering av vektløshet på avstand r fra rotasjonsaksen	14

2.4	Skjærkrefter	15
3	Sentrifuge: Mekanisk konstruksjon og motor	18
3.1	Grov skisse av konstruksjon	18
3.2	Konstruksjon av rotor	20
3.3	Motor	21
3.4	Konstruksjon av eksperimentelt volum, EV	22
4	Sentrifuge: Instrumenter	24
4.1	Kamera	24
4.1.1	Canon Camera Window, CCW	25
4.1.2	Automatiske bilder	27
4.2	LED - Light Emitting Diodes	27
4.2.1	LED - Historisk tilbakeblikk	27
4.2.2	Tidsstyring av lys	29
4.3	Utelatte instrumenter	30
5	Testresultat og eksperimenter	32
5.1	Springsevne havrefrø	32
5.2	Test resultat av spesialsentrifuge	34
5.2.1	Bygging av sentrifuge	34
5.2.2	Teknisk resultat	34
5.2.3	Bildegenerering	36
5.2.4	Solsikker i spesialsentrifuge	36
5.3	Solsikker i biosentrifuge	38
5.3.1	Circumnutationer	38
5.3.2	Nutasjon hos solsikker i biosentrifuge	39
6	EMCS	40
6.1	Hva er EMCS	40
6.2	Akselerasjonsberegninger	41
6.2.1	Kontroll av gravitasjonstall	41
6.3	Generering av grafikk	42
6.3.1	Kamera misvisning	42
6.3.2	Gravitasjon inne i EMCS	42
6.3.3	Grafikk	42
7	Avslutning	46
7.1	Forslag til forbedringer	46
7.1.1	Kamera	46
7.1.2	Eksperimentvolumet, EV	47

7.2	Framtidig test av utstyr	49
	Tillegg	50
A	Brukte likninger	50
A.1	Krefter ved sentralbevegelse	50
A.2	Dreiemoment	51
A.3	Lukkertid og bevegelse	52
B	Beregningsplot	53
B.1	Radius - Tid	53
B.2	Forandring i opplevd gravitasjon på vekst- høyden	54
C	Konstruksjonstegninger og bilder	55
D	Brukerveiledning	60
D.1	Før start	60
D.1.1	Oppkobling av kamera til PC	60
D.1.2	CCW, RemoteCaptureTask oppsett	61
D.1.3	Oppsett EV	62
D.2	Konstruksjon	62
D.2.1	Arm og motor	62
D.2.2	Eksperiment Volum	64
D.2.3	Lys	64
	Bibliografi	65

Kapittel 1

Innledning

1.1 Gravitasjons krefter

Gravitasjonskraft er en tiltrekningskraft som virker mellom alle partikler med masse i universet. Tyngde og tregnet er viktige egenskaper som kjennetegner masse. Isaac Newton var den første som formulerte loven om gravitasjonskraft. Newtons gravitasjonslov sier at gravitasjonskraften som virker mellom to legemer, er proporsjonal med produktet av deres masse og omvendt proporsjonal med kvadratet av avstanden mellom dem. Newtons gravitasjonslov [2, Side 323]:

$$F_{gravitasjon} = \frac{GmM}{r^2} \quad (1.1)$$

I vårt tilfelle som gjelder romfysikk er m satellittens vekt, M er jordens vekt og r er avstanden mellom satellitten og jordas gravitasjonssentrum.

Med andre ord; store masser gir stor gravitasjonskraft, og lang avstand gir mindre gravitasjonskraft. Gravitasjonskraften er den svakeste av de fire fundamentale naturkreftene, men dominerer likevel i store systemer og galakser, fordi den kun virker tiltrekkende. Elektriske krefter virker både tiltrekkende og frastøtende, men vil totalt sett nulle ut seg selv. Svake og sterke kjernekrefter virker bare over så korte avstander, at de bare gir seg til kjenne innenfor atomkjerner.

Newtons lov beskriver hvordan gravitasjonskraften virker men ingenting om hvordan den skjer. Han ble også kritisert for dette i sin tid. I moderne tid har det kommet fram to teorier for å forklare gravitasjonen: I følge Einsteins

generelle relativitetsteori er gravitasjonskraften forårsaket av rommets krumming. Det er en følge av tanken om at tyngde og treghet er samme ting. I kvante- og partikkelfysikk opptrer gravitasjonskraften som den virtuelle partikkelen, gravitonet som ennå ikke har latt seg påvise [14].

1.2 Fritt fall

Gravitasjonskraften har vist seg lett å beregne men vanskelig å forklare. Er det mulig å kunne befinne seg i en situasjon uten gravitasjonskrefter? I praksis umulig, men å befinne seg i en situasjon der forskjellige gravitasjonskrefter utlikner hverandre er lettere. I 1865 skrev Jules Verne novellen "De la Terre a la Lune". Romskipet, i denne novellen om reisen fra Jorda til Månen, befinner seg etter en stund på et punkt mellom Jorda og Månen, der gravitasjonskreftene fra de to himmellegemene opphever hverandre, og mannskapet ombord opplever vektløshet [5, Side 5].

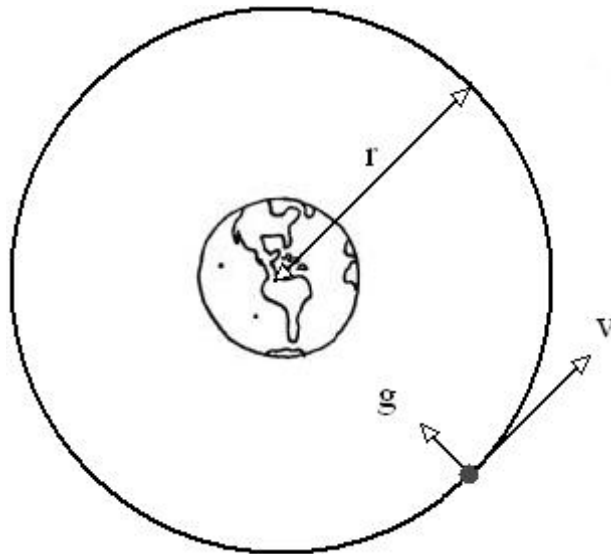
For de fleste vil mangel av gravitasjonskraft være en ny opplevelse. Maten vil ikke lenger legge seg på tallerken, og å helle vann i et glass blir en stor utfordring. Et stearinlys vil ikke lenger brenne på vanlig måte, da gravitasjonen ikke er der for å frakte vekk CO_2 som blir laget, og tilføre ny oksygen til lyset.

1.2.1 Fysiske betingelser for fritt fall

Det vi normalt tenker på som vektløshet, er i praksis fritt fall. Hvis man ser for seg at man står i en heis og kablene ryker, vil man et lite øyeblikk oppleve at man er i fritt fall. Det samme kan oppleves ombord i fly når de flyr inn i turbulens og brått mister høyde.

Jeg tar utgangspunkt i en satellitt¹ som skytes opp i bane rundt jorda. Når satellitten kommer ut i bane har den en banehastighet v (Se figur 1.1). For at satellitten skal holde seg i bane rundt jorda må det finnes en kraft som er rettet mot jorda, eller banesentrum. Denne kraften kalles for sentripetalkraft og er en resultantkraft som virker på en gjenstand i en sirkelbane. Kraften virker innover mot sentrum i sirkelen, og gjenstanden vil dermed få en akselerasjon i samme retning. Absoluttverdien av sentripetalkraften er vist i likning 1.2.

¹Satellitt (betyr en ledsager) brukes gjerne om en ledsager til et himmellegeme. Vi sender opp kunstige satellitter rundt Jorda, mens Månen er vår naturlige satellitt.



Figur 1.1: Satellitt i bane

$$F_{sentrifugal} = \frac{mv^2}{r} \quad (1.2)$$

Der v er banehastighet, r er baneradien og m er massen til satellitten.

Sentrifugalkrafta $F_{sentrifugal}$ som er nødvendig for å holde satellitten i bane, blir gitt av gravitasjonskraften fra jorda $F_{gravitasjon}$ (Se likning 1.1). Når sentrifugalkrafta er lik gravitasjonskraften, vil satellitten befinne seg i en stabil bane rundt jorda:

$$F_{sentrifugal} = F_{gravitasjon} \quad (1.3)$$

Så lenge satellitten er i bane, vil den ha akselerasjon mot jordas massesentrum, og vil dermed være i fritt fall.

1.2.2 Biologiske effekter

Balanse systemer finnes både i flercellede og enkeltcellede organismer, dyr, planter og mennesker. Menneskets balanse system er komplisert og består av flere elementer [5, Side 41]. En plantecelles balansesystem er enklere, og sensorene kan sammenlignes med steiner som sedimenterer inne i en ball fylt med sirup. Sensorprosessen i plante cellers balansesystem kan oppsummeres

som en bevegelse eller sedimentering av en partikkel i et organ [5, Side 44]. Hvis vi ser på et frø som ligger under jorda, som kun har dette balanse systemet å støtte seg til, hvordan vet frøet hvilken vei det skal vokse? Her på jorda er løsninga enkel, den naturlige gravitasjonen forteller frøet hva som er opp og ned. Men hva skjer i tilfeller der gravitasjonen er fraværende?

Reaksjonstiden, det vil si tiden fra bevegelsen til partikkelen gir opphav til en biologisk reaksjon, er lengre i planter enn for mennesker og dyr. For at de skal merke at disse partiklene sedimenterer må de avgi et minimum av potensiell energi, denne energimengden må overgå den termiske støyen fra omgivelsene. Tanken bak dette, og de beregningene som er gjort tas opp i del 2.1.

1.3 ISS som laboratorium

International Space Station (ISS) er i dag den eneste romstasjonen i kretsløp rundt Jorden. Den ble tatt i bruk 2. november 2000 og har vært kontinuerlig bemannet siden da. Byggingen av romstasjonen er et samarbeidsprosjekt mellom fem romfartsorganisasjoner: National Aeronautics and Space Administration (NASA, USA), Den Russiske Romfartsorganisasjonen (Roskosmos tidligere RKA, Russland), Den Japanske Romfartsorganisasjonen (JAXA, Japan), Den Canadiske Romfartsorganisasjonen (CSA, Canada) og Den Europeiske Romfartsorganisasjonen (ESA, Europa). I tillegg er Den Brasilianske Romfartsorganisasjonen (AEB, Brasil) samarbeidspartner gjennom en direkte kontrakt med NASA [10].

ISS vil være det beste romlaboratoriet verden har sett, vil være over fire ganger så stort, og kunne levere 60 ganger mer strøm enn det russiske MIR stasjonen kunne i sin tid [10]. Det er tre moduler på ISS som er bygget som laboratorier. Den amerikanske Destiny modulen, den europeiske Columbus modulen og den japanske Kibo. Alle eksperiment modulene baserer seg på nyttelast konfigurert etter "International Standard Payload Racks" (ISPR). Hver av disse veier ca 540 kg. Dette oppsettet blir benyttet for å effektivisere integrasjonen, for å lette arbeidet med å bytte ut nyttelasten, og for å lette samarbeidet mellom forskere. De 37 ISPR plassene tilbyr et standard oppsett, uavhengig av plasseringen. Det er også mulig med ikke standardiserte nyttelast moduler, slik at de kan støtte spesifikke nyttelast krav. Hver ISPR gir $1,571m^3$ innvendig volum. Selve racket veier 104 kg og kan huse opp til 700 kg med nyttelast utstyr.

Under er noen andre typer oppdrag som skal utføres ombord på ISS [10]:

- Studie av protein krystaller: Proteinkrystaller som dyrkes i fritt fall blir mye renere enn på jorda.
- Vevs kultur: Celler kan dyrkes under forhold der de ikke påvirkes av gravitasjonen, som blant annet skal brukes til kreftforskning.
- Livet under lav gravitasjon. Hvordan menneskekroppen påvirkes av langtidsopphold i verdensrommet.
- Det skal utføres grunnleggende forskning på kjente materialer, som flammer, væsker og metaller.

1.4 Månen 2020

14. januar 2004 lanserte USAs president, George W. Bush, en ny visjon for USAs utforskning av verdensrommet. Han ga NASA ordre om å la Månen og Mars være fremtidige mål for landets bemannede romprogram [8]. Planen er å vende tilbake til Månen innen år 2020, og bruke erfaringene fra bemannede opphold på Månen til å planlegge turen til Mars. 19. september 2005 lanserte Michael Griffin² NASAs nye planer for retur til Månen [8]. Han kom også med en mer detaljert beskrivelse om hvilke romfartøy som skulle utvikles og benyttes.

1.5 Simulering av vektløshet og lave gravitasjons tall

Simulering av vektløshet og gravitasjon, som er lavere enn den her på jorda, er vanskelig når det kommer til mennesker og dyr, men mindre komplisert når det kommer til planter. Mennesker og dyr reagerer umiddelbart på en forandring i gravitasjonsvektoren, slik er det ikke for planter. Planter har en tregere reaksjon når det kommer til registrering av gravitasjon, og det gir andre muligheter for simulering av vektløshet.

En plantes vekstretning er avhengig av gradienter av forskjellig type, blant annet lys og gravitasjon. Tunge elementer (statolitter, se del 2.1.1) i plantecellene som sedimenterer mot plantecellens laveste punkt. Denne sedimen-

²Michael Griffin er administrerende direktør i NASA.

tasjonen tar tid, og det er blitt beregnet at en plante trenger minimum 25 sekunder for å registrere en forandring i gravitasjonsvektoren (se del 2.1.3). Det er dette som gjør det mulig å simulere vektløshet og lave gravitasjonstall for planter her på jorda.

En *klinostat*, er en innretning biologer har benyttet seg av for å studere hvordan organismer tilpasser seg i et microgravitasjonsmiljø, eller vektløshet. Klinostaten setter planten på en horisontalt roterende plattform, som roteres med en hastighet på ca 1 rpm. Den rolige rotasjonen gjør at gravitasjonen utjevnes over 360° , slik at den opplevde gravitasjonen for plantene vil bli tilnærmet slik det er for et system i fritt fall.

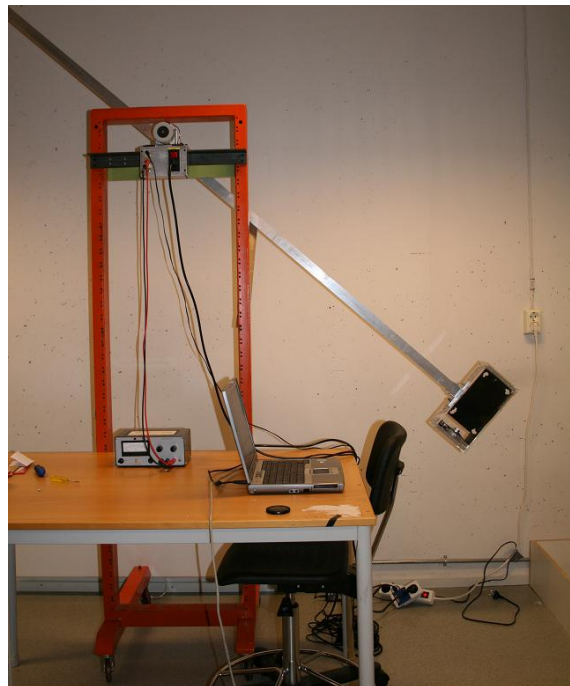
For å simulere lave gravitasjonstall, f.eks. Månens, tar man i bruk kunnskapen om hvordan man simulerer vektløshet, og kunnskapen man har om krefter på et objekt som roterer rundt en akse. Hvis man simulerer vektløshet på en avstand r fra rotasjonsaksen, må man ta med sentripetalakselerasjonen i beregningene. Tenk at rota til planten alltid peker fra sentrum, under hele rotasjonen. Jordens gravitasjon blir, slik som i klinostaten utjevnet over 360° , men den ensidige akselerasjonen som kommer på grunn av rotasjonen blir ikke kompensert for.

1.6 Mål med oppgaven

Gjennom denne oppgaven tar jeg i hovedsak sikte på å:

- Bygge en sentrifuge for simulering av Månens gravitasjon i biologiske eksperimenter (se figur 1.2).
- Teste sentrifugens tekniske egenskaper.
- Studere krav til sentrifugens beholdere for biologiske eksperimenter.
- Gjennomføre test eksperimenter.
- Vurdere/oppsummere testresultatene.

I tillegg har jeg hatt en oppgave som går på akselerasjonsberegninger og produksjon av grafikk til EMCS, som forskere ved NTNU jobber med.



Figur 1.2: Konstruksjon med EV, arm, stativ og PC, som kameraet blir styrt fra.

Kapittel 2

Bakgrunn - teori for sentrifugekonstruksjon

2.1 Gravitropisme - planters respons på tyngdekraften

2.1.1 Statolitter

Dette avsnittet er basert på [5], hvis ikke annet er spesielt nevnt i teksten. Noen steder er det tatt med side henvisning.

Balansesystemer er utviklet i alle cellebaserte organismer, mennesker, dyr og planter inkludert. Mennesker og dyr har et avansert balansesystem som baserer seg på informasjon fra balanseorganet, hva vi ser og hva musklene føler. Grovt sett kan vi si at sensorprinsippet i balanseorganet til organismer er basert på det samme prinsippet; tunge partikler som sedimenterer i retning av tyngdekraften.

Hos planter er det ofte spesielle samlinger stivelseskorn omgitt av membraner (amyloplaster) kalt statolitter, som mottar signalet om gravitasjonsretningen. Statolittene har høyere massetetthet enn cytoplasmaen, som ellers fyller en celle. Dette gjør at de tunge statolittene kan sedimentere med gravitasjonsvektoren. Statolittene er ofte funnet i celler som er i rothetta (spissen av planterota), som kalles statocyter. Statolitter er dekket med acerin, og det er tenkelig at de i kontakt med cellemembranen genererer elektriske spenninger som fører til signalkjeder. Disse signalene leder til orientering av

*auxin*¹, og følgende reorientering av auxinstrømmer i rothetta og rota som helhet. Den forandrede konsentrasjon av auxin fører til forskjellig vekst i de forskjellige delene av roten. Oppsummert, rota følger i sin vekst gravitasjonsretningen. Prosessene i skuddet er lignende de som er i roten, men skuddet vokser mot gravitasjonsretningen.

2.1.2 Sedimentasjon av statolitter

Dette avsnittet er basert på [5] hvis ikke annet er spesielt nevnt i teksten.

Statolittene blir på jorda utsatt for en gravitasjon nedover, som er lik enhetsgravitasjonen $1 \times g_0$. Kreftene på statolittende blir da:

$$F_{ned} = \Delta m g_0 \quad (2.1)$$

For enkelhetsskyld anser vi at cellevæsken er homogen og av definert karakter. Dette er ikke trivielt og er i prinsippet feil, - for eksempel er ikke viskositeten til cellevæsken en definert størrelse!

Ved beskrivelsen av sedimentasjon av statolitter bruker vi Stokes lov. Fysikeren Sir George Gabriel Stokes så på kreftene som var rettet oppover, når en partikkel beveger seg i en væske. Han kom fram til en formel for en kuleformet partikkel, når sedimentasjonshastigheten ikke er for høy. Denne formelen er gitt ved:

$$F_{opp} = -6\pi R\eta \frac{dx}{dt} \quad (2.2)$$

F er friksjonskraften

R er Stokes radiusen² til partikkelen

η er væskens viskositet og

$\frac{dx}{dt}$ er partikkelens hastighet.

Sedimentasjonsprosessen starter med hastigheten lik null. Slik som en ball som sedimenterer gjennom sirup når sin maksimale hastighet raskt, vil også statolitter i sedimentering nå sin maksimale hastighet raskt. Vi får en likevekts-hastighet etter kort tid, fordi viskositeten inne i cellen er høy. Statolittene

¹Auxin er et plantehormon som får planter til å gro, den spiller en sentral rolle i mange vekst og oppførsels prosesser i en plantes livssyklus [13].

²Den effektive radiusen til partikkelen [12]

vil derfor raskt nå en slutthastighet. Denne likevekts situasjonen kan vi finne ved å sette likning 2.2 og 2.1 lik hverandre:

$$\Delta mg = 6\pi R\eta \left(\frac{dx}{dt}\right)_{slutt}$$

Skriver om slik at $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{slutt} = v_{slutt}$, og får da:

$$v_{slutt} = K \cdot g_0 \quad \text{der} \quad K = \frac{\Delta m}{6\pi R\eta} \quad (2.3)$$

Formel 2.3 gir uttrykket for slutthastigheten til en statolitt, og er ofte i bruk i litteraturen. For å finne v_{slutt} må man benytte data det er stor usikkerhet rundt, også når det gjelder størrelsen på parametrene. Noen tilnærmede verdier er som følger :

- $\Delta\rho = 0,3g/cm^3$
- $R = 1\mu m$
- $\eta = 0,02Ns/m^2$

Hvis vi tar med i beregningene tiden det tar for en statolitt å oppnå slutthastigheten, v_{slutt} . Og vi starter med at den står i ro, ender vi opp med en differensial likning som beskriver bevegelsen [5, Side 45]:

$$\Delta m \cdot \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) = \Delta m \cdot a - 6\pi R\eta \cdot \left(\frac{dx}{dt}\right) \quad (2.4)$$

Det vises ut fra 2.4 at i en idealisert situasjon er posisjonen til partikkelen gitt ved:

$$x(t) = x_0 + K[at + (v_0 - gK)(1 - e^{-t/K})] \quad (2.5)$$

Og ved videre derivasjon av 2.5 finner man hastigheten i 2.6.

$$v(t) = Ka(1 - e^{-t/K}) + v_0e^{-t/K} \quad (2.6)$$

2.1.3 Terskel for deteksjon av stimuli

For å kunne simulere Månens gravitasjon her på Jorda, er det viktig å kjenne følsomheten til planters følelse organ. Det som kjennetegner ethvert følelses organ eller en sensor, er at nok energi må overføres til sensoren for at en reaksjon skal finne sted. Når det kommer til sedimentasjonen, er det den potensielle energien som forandres under deteksjons prosessen. Den potensielle energien går over til kinetisk energi, det vil si statolitter oppe i frøet sedimenterer nedover. For at en celle skal detektere sedimentasjonen kan vi anta at energi forandringen må *minst* overgå nivået til den termiske støyen fra omgivelsene. Dette betyr at tapet av kinetisk energi må være større enn kT der k er Boltzmanns konstant og T er temperaturen. Vi har da følgende krav for deteksjon, vi regner med gravitasjonen på Jorda $1 \times g_0$:

$$\Delta mg \cdot \Delta x \geq kT \quad (2.7)$$

Der Δx er minimums distansen en statolitt må sedimentere, for at det skal detekteres i cellen. Det antaes at Stokes lov gjelder [5, Side 46]. Det antaes at vi kan tilnærme sedimentasjons hastigheten innenfor en distanse Δx , dividert med den korresponderende sedimentasjons tiden Δt kan vi skrive slutthastigheten som:

$$v_{slutt} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.8)$$

Hvis vi antar at minimums distansen Δx kan skrives som i likningene 2.7 og 2.8, får vi et uttrykk der den minste sedimentasjonstiden Δt er inkludert:

$$\begin{aligned} \Delta mg &= 6\pi R\eta \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ \Delta t &= \frac{6\pi R\eta \Delta x}{\Delta mg} \end{aligned} \quad (2.9)$$

Der Δt er minimumstiden sedimentasjonen må pågå, som i følge matematikken blir å overkomme den termiske støyen gitt i likning 2.7. Dette blir den minimumstiden som er nødvendig for å detektere sedimentasjonen. Hvis vi bruker likning 2.9 sammen med 2.7, får vi et et bestemt uttrykk for Δt .

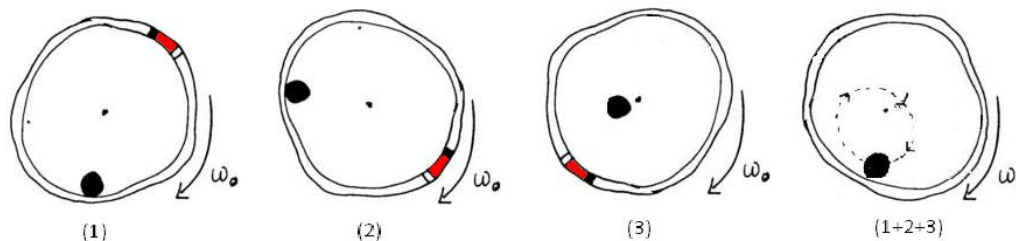
$$\Delta t = \frac{6\pi R\eta \Delta x}{\Delta mg} \geq \frac{kT 6\pi R\eta}{(\Delta mg)^2} \quad (2.10)$$

Vi benytter oss også nå av de tilnærmede verdiene gitt på side 10. Med dette finner vi en minimumstid $\Delta t_{min} = 25$ sekunder. Selv med så usikre parameterverdier, er dette en relativt kort tid.

2.2 Simulering av vektløshet

2.2.1 Enkeltceller

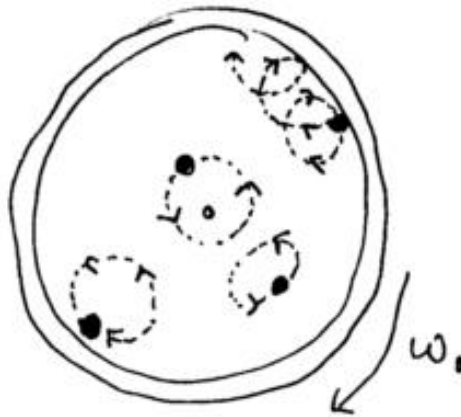
Biologer benytter seg av en *klinostat* for å studere hvordan organismer tilpasser seg i et mikrogravitasjons miljø, og hvilke effekter gravitasjon har på utvikling og oppførsel for planter og dyr. Klinostaten er en enkel anretning som setter en plante, en liten organisme, eller en cellekultur på en roterende plattform. En enkel akset klinostat, består av en horisontalt festet disk som er festet til en motor som roterer platen sakte med f.eks; 1 rpm. Planten festes til disken, slik at den holdes horisontalt. Den rolige rotasjonen gjør at planten opplever en gravitasjon som utjevnes over 360 grader, slik at opplevd gravitasjon nærmer seg slik det oppleves for et system i fritt fall (vektløshet) [4, Side 281].



Figur 2.1: Statolitten ligger på bunnen (1) og følger rotasjonen langs celleveggen et stykke oppover (2) før den slipper celleveggen (3) og faller ned mot bunnen igjen. Pilen i (1+2+3) forestiller den kontinuerlige banen til statolittene hos en celle i en klinostat. Den sylindriske cellen er montert langs en roterende horisontal-akse, her sett langs aksens. Når aksens roterer med hastighet ω_0 vil de tunge statolittene følge baner som er bestemt av bl.a. gravitasjonen, sammenstøt med celleveggene. Viktige parametre er radiusen på partiklene, og viskositeten til celle væsken [5, Side 57].

For figur 2.1 og 2.2 kan banen for statolittene i roterende celler bli meget kompliserte. Man kan forestille seg at situasjonen kan føre til en sammenhengende kontakt mellom statolitten og celleveggen, slik at stimuleringens retning utlignes over tid. Det er nettopp dette som er ideen bak klinostaten,

og hvordan den imiterer vektløshet. Man kan også tenke seg at statolittene ikke rører ved membranene og at stimuleringen faktisk blir "nullet" ut slik som noen banene er illustrert i figur 2.2.



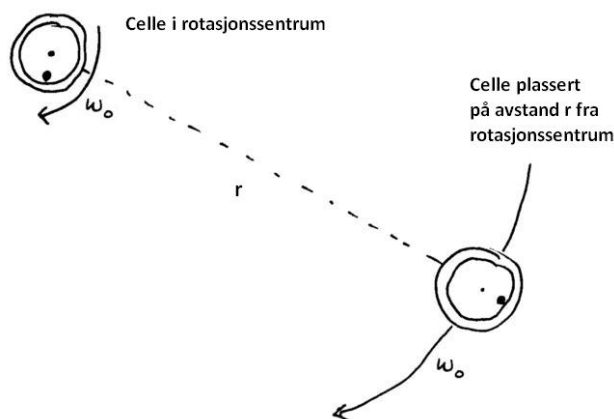
Figur 2.2: I det roterende koordinatsystemet i cellen, kan statolittene følge forskjellige baner slik som det er gitt ved eksempler på de stiplede linjene. I noen tilfeller vil statolittene ikke være nær veggen i det hele tatt, og i andre tilfeller vil statolittene bare tumle langs celleveggen. Man antar at denne rotasjonen ikke vil framkalle en uniform stimulering av cellen, om noe stimulering i det hele, og de fysiologiske effektene av gravitasjonen over tid blir opphevet [5, Side 57].

2.2.2 Større objekt

Når det kommer til større objekter; for eksempel en plante, blir også problemene større: Ved benyttelse av en klinostat, for simulering av vektløshet, vil en større del av planten befinne seg utenfor rotasjonsaksen, og dermed også bli utsatt for større sentrifugalkrefter, som et resultat av sentripetalakselerasjonen. Hvis man tenker på et frø som roterer rundt sin egen akse, vil alt inne i frøet bli dratt mot ytterkantene pga sentrifugalkraften. Visuelt sett blir det som å spinne en bølge med vann rundt sin egen akse, vannstanden vil være høyere i kanten, enn i midten pga sentrifugalkreftene. Dette er en effekt som blir forsterket når vi setter klinostaten på avstand r fra rotasjonsaksen.

2.3 Simulering av vektløshet på avstand r fra rotasjonsaksen

Som sett i avsnitt 2.2 kan man imitere vektløshet ved hjelp av en klinostat. Men hva skjer om man setter cellen i avstand r fra rotasjonsaksen? Figur 2.3 beskriver situasjonen.



Figur 2.3: Cellen er her plassert i avstand r fra rotasjonsaksen, cellen roterer fremdeles rundt seg selv slik som på figur 2.1 og 2.2. Men nå er cellen plassert så langt unna rotasjonsaksen at sentrifugalkrefter må taes med i beregningen. Det vi da får er en ensidig stimulering som det ikke er kompensert for.

Midlet gravitasjon i sentrifugen

Likningen for hvordan gravitasjonen påvirker eksperimentkassen i løpet av en rotasjon:

$$g(t) = a_s + g_0 \omega \sin(t) \quad \omega = \text{konstant} \quad t \in [0, 2\pi] \quad (2.11)$$

ω er konstant i dette tilfelle, og rotasjonen er over én runde, altså integrerer vi t fra 0 til 2π . Hvis vi regner på en rotasjon, altså integrerer t i likning 2.11 fra 0 til 2π og deler på 2π får vi den gjennomsnittlige gravitasjonen eksperimentet vil bli utsatt for i løpet av en rotasjon.

$$\overline{g(t)} = \frac{\int_0^{2\pi} g(t) dt}{2\pi}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [a_s + g_0\omega \sin(t)] dt \\
&= \frac{1}{2\pi} [a_s t - g_0\omega \cos(t)]_0^{2\pi} \\
&= \frac{1}{2\pi} [a_s 2\pi - g_0\omega \cos 2\pi] - (a_s \cdot 0 - g_0\omega \cos 0) \\
&= \frac{1}{2\pi} [a_s 2\pi - g_0\omega + g_0\omega] \\
&= a_s
\end{aligned} \tag{2.12}$$

Som vist i 2.12 vil den gjennomsnittlige vektorisert adderte akselasjonen eksperimentet blir utsatt for, bli lik sentripetalakselerasjonen i en horisontal sentrifuge. Dette er veldig praktisk, og svært nødvendig for å kunne simulere gravitasjonskrefter under $1 \times g_0$. Ved å kunne kontrollere lengden på armen og rotasjonshastigheten (ω) kan vi oppnå en simulert gravitasjon som er lik den som finnes på Månen.

Å benytte seg av en slik type simulering av vektløshet her på jorda, på f.eks. dyr, vil være umulig, fordi dyr ville reagert umiddelbart på rotasjonen. Men som vist på side 11 har planter en langt lengre reaksjonstid. Og det er nettopp dette som gjør det mulig å simulere vektløshet, og lav gravitasjon for planter her på jorda.

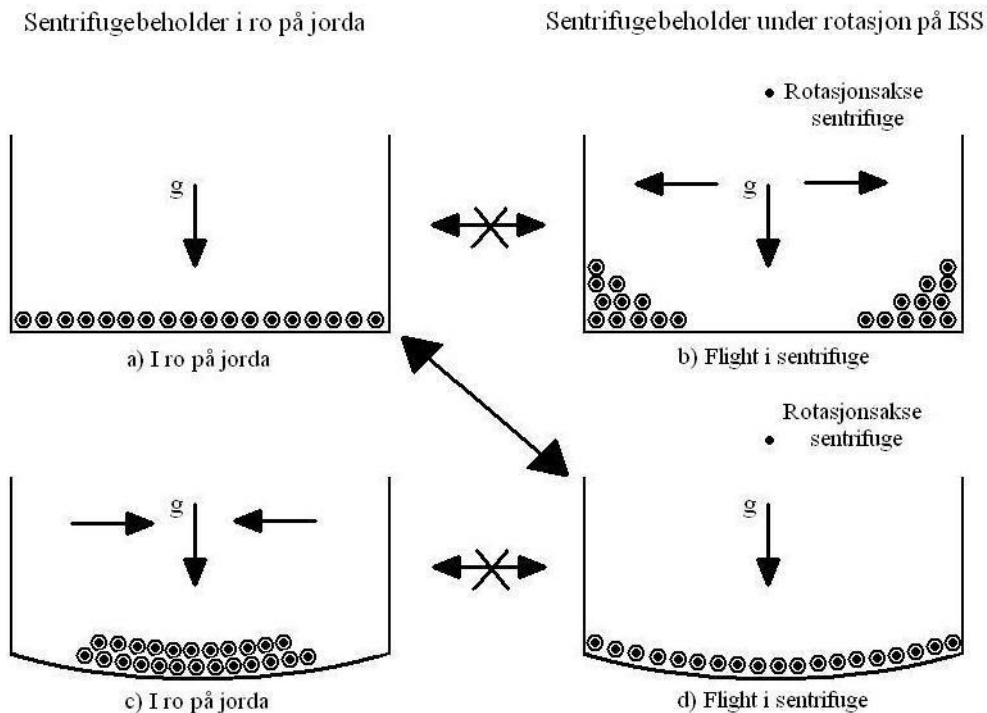
2.4 Skjærkrefter

Dette avsnittet er basert på [11] hvis ikke annet er nevnt i teksten.

Skjærkrefter, i dette tilfellet: Krefter som virker i andre retninger enn den ønskede gravitasjonsvektoren, størrelsen på disse kan variere. Vi har eksempler som vibrasjoner under oppskytning, mannskapet lager vibrasjoner ombord på ISS, og under oppstart av en sentrifuge.

Ved bruk av sentrifuger som et verktøy til å generere Jord-lik gravitasjon, introduseres uønskede oppstartkrefter på kontroll prøven. For å kunne trekke konklusjoner fra fritt fall eksperimenter, er det nødvendig å ha en god kontrollgruppe. Ved vurdering av kontrollgrupper, er det to muligheter til å sammenligne fritt fall mikrogravitasjon (μg) med en $1 \times g_0$ kontrollgruppe. Denne kontrollgruppen på $1 \times g_0$ kan enten plasseres på jorda, eller ombord i en sentrifuge i fritt fall. Det er noen viktige forskjeller på kontrollgrupper plassert i sentrifuge og på jorda, disse forskjellene er satt opp i tabell 2.1.

Gjennom forsøks oppsettet som van Loon et.al [11, Side 30] brukte, kom de fram til konklusjonen at det er flere faktorer som avgjør hvilke skjærkrefter som spiller inn. Dette er avhengig av sentrifugens diameter, mindre diameter gir større forskjell i gravitasjon fra topp til bunn. Samtidig oppstår det også unaturlige krefter mellom cellene i prøven. Som gjør at hvis et oppsett på jorda, skal være mest mulig likt et oppsett i en sentrifuge ombord på ISS, kan ikke oppsettet være mekanisk helt likt (se figur 2.4).



Figur 2.4: Fordelingen av celler som ikke er festet seg imellom under $1 \times g_0$ på jorda (a og c), og i en sentrifuge i fritt fall (b og d), i forsøkskammer med forskjellig geometri. Merk at merket for rotasjonsaksen, og kurven i forsøkskammeret, er for å klargjøre figuren, og er ikke i samme skala. Pilene er for å vise i hvilken retning kreftene virker.

Figur 2.4 viser forskjellene, og likhetene mellom forsøk på jorda og i sentrifuge. Avstanden fra rotasjonsaksen er avgjørende her. Figur 2.4a viser hvordan celler som ikke er festet til hverandre, vil fordele seg over en rett flate. Ombord i en sentrifuge vil de samme cellene trekke ut mot kantene (se figur 2.4b), fordi det er en større akselerasjonskraft ut mot kantene (Lenger avstand fra rotasjonssentrum.). Figur 2.4c viser hvordan cellene ville fordelt seg i en krummet beholder, der hele bunnen befinner seg i samme avstand til et punkt. I en sentrifuge vil dette punktet være representert med en ro-

tasjonsakse (se figur 2.4d). Oppsettene som gir tilnærmet likt resultat blir da representert med figur 2.4a og 2.4d, der cellene fordeler seg jevnt ved siden av hverandre.

Siden akselerasjonen er lineært proporsjonal i forhold til sentrifugens radius (se likning A.1), kan man beregne gravitasjons akselerasjonen over hele EV ombord i EMCS. Her får man en gravitasjon som strekker seg fra $0,737 \times g_0$ til $1,263 \times g_0$ [11, Side 34]. Det blir da ganske klart at det blir store forskjeller i opplevd gravitasjon i forskjellige deler av planten, alt ut fra hvor i EV den er.

<i>Variabel</i>	g_0 <i>Jord</i>	g_0 <i>Sentrifuge</i> <i>ISS</i>	μg <i>Frittfall,</i> <i>ISS</i>
Avgangs akselerasjoner	Nei	Ja	Ja
Avgangs vibrasjoner ^a	Nei	Ja	Ja
Kosmisk stråling	Nei	Ja	Ja
Behov for sentrifuge	Nei	Ja	Nei
Sentrifuge vibrasjoner ^b	Nei	Ja	Nei
Utsatt for mikrogravitasjon før eksperiment start ^c	Nei	Ja	Ja
Temperatur forskjeller ^d	Ulik	Ulik	Ulik
Oppbevarings betingelser	Ulik	Ulik	Ulik
Påvirkninger fra mannskap ^e	Nei	Ja	Ja
Oppstartskrefter	Nei	Ja	Ja

Tabell 2.1: a) Avgangs vibrasjoner er også akselerasjoner, men med høyere frekvens, og i forskjellige retninger. b) Statistiske, ikke roterende prøver kan også bli påvirket av vibrasjoner fra en sentrifuge, eller andre bevegelige deler gjennom romstasjonen/romskipets struktur. c) For noen innretninger er denne tiden redusert til et minimum. d) Små temperatur-forandringer mellom en sentrifuge, og stillestående prøver, eller mellom jord og fritt fall prøver. e) Avhengig av omgivelsene og mannskapet som er involvert, vil der alltid være (små) forandringer i eksperiment, og prøvebehandling [11].

Kapittel 3

Sentrifuge: Mekanisk konstruksjon og motor

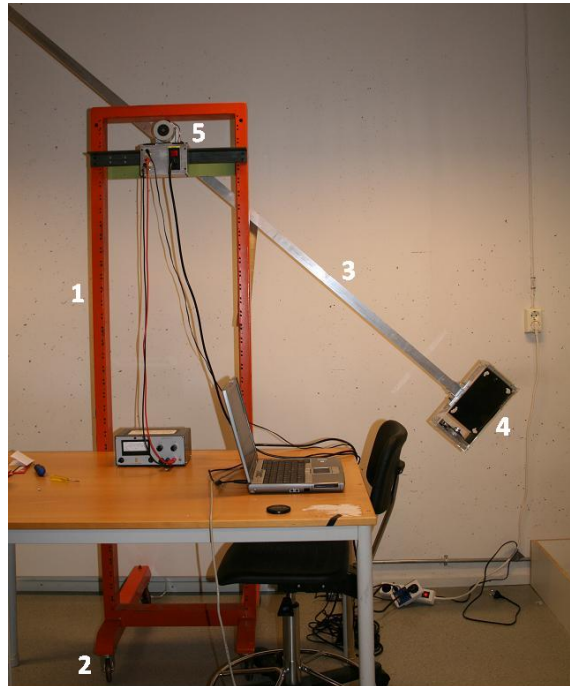
3.1 Grov skisse av konstruksjon

Rotoren er horisontal, altså den skal rotere slik som hjulet på en sykkel. Dette betyr at rotoren tar stor plass i lengden og høyden, men tar ikke opp så mye plass innover i rommet.

Stativet (se figur 3.1.1) som armen er festet på er en del av et standard rack som brukes på NTNU. Det ble vurdert som problemfritt å feste armen til denne. Det eneste spørsmålstegnet var om stativet var stabilt nok, siden det står på hjul (se figur 3.1.2). Men hjulene kunne tas av, og stativet kunne også boltes fast i gulvet hvis dette skulle vise seg nødvendig.

De opprinnelige planene gikk ut på å ha en rotor med en diameter på ca 2 meter (se figur 3.1.3). Som det kan sees av konstruksjons-tegningene (se figur C.3) gir EV og arm en rotasjonsradius på 1,49 meter, altså en total diameter på ca 3 meter. Grunnen til planen om en kortere arm var at konstruksjonen ikke skulle bli for høy, og at man dermed kunne få problemer med plasseringen. Samtidig ble dette resultatet bedre, fordi det er en lavere rotasjonshastighet. Nærmere, men fremdeles langt unna det som blir brukt i en klinostat (se del 2.2).

Grunnen til den økte radiusen er motoren (se figur 3.1.5), radiusen ble lengre fordi vi ikke kunne finne en motor som tilfredsstilte de kravene vi hadde til en arm, med radius på 1 meter. Det vil si; en riktig rotasjonshastighet som er styrt av nettfrekvensen og nok moment.



Figur 3.1: 1: Stativ. 2: Hjul. 3: Arm. 4: EV. 5: Motor og koblingsboks.

Eksperimentvolumet (se figur 3.1.4) er laget i pleksiglass og har ytre mål på $30\text{cm} \times 10\text{cm} \times 15\text{cm}$ (lengde \times bredde \times høyde, se figur C.4), med aluminiums forsterkninger i sidene for å kunne skru fast bunnen. Kamera er festet på en aluminiumsstav som er skrudd fast i bunnen. Frøbeholderene er skrudd fast i bunnen, og kan taes ut for å lettere kunne plante om eventuelt bytte konfigurasjonen på beholderende. I taket på EV er lysdiodene festet, slik at de ikke blir med ut hver gang bunnen må ut.

En oppsummering:

- Horisontal rotasjon.
- Diameter på ca 3 meter, og rotasjonshastighet på 10 rpm.
- Eksperimentvolum i pleksiglass med lys, kamera og frøbeholdere.
- Se figur C.3 og C.4 for konstruksjonstegninger.

3.2 Konstruksjon av rotor

Arm

Konstruksjonen av rotoren og armen var avhengig av spesifikasjonene på motoren, før de endelige målene på rotoren kunne bestemmes. Det er mindre arbeid å lage en lengre arm, enn å finne en motor med de riktige parameterene. Det eneste kravet til armen var at den måtte tåle vridning, ha dimensjoner og materiale som forhindrer vibrasjoner, og tåle vekta av EV. Utover dette måtte den ha EV på den ene siden, og justerbar motvekt på den andre.



(a) Slik ser hele det konstruksjonen ut. (b) Motvekta er justerbar, for ytterligere motvekt er det mulig å flytte skruen.

Figur 3.2

Arm konstruksjon kort oppsummert:

- Armen er laget av et kvadratisk aluminiums rør på 2680mm med 2mm tykke vegger og sider på 5 cm ($50 \times 50 \times 2$).
- Motvekten er laget av bly, og ligger inne i aluminiumsrøret og justeres langs et spor (se figur 3.2b).
- Armen kan løsnes fra navet (motoren) med en håndskrue og taes av.
- Ledningene fra sleperingene ligger inne røret, og går ut til EV.

Lagerhus

Lagerhuset (se konstruksjons tegning figur C.2) må ta av belastningen som følger vekta til armen og EV (for på den måten beskytte giret og motoren

fra unødvendig belastning). Belastning på grunn av sleperingene (som øker avstanden mellom armen og motoren) skal også taes opp av lagerhuset.

Sleperingene

Sleperingene er for å få strøm til EV (Se figur C.1). De er laget i messing og smøres med en strømledende olje. Dette reduserer slitasje og ulyd.

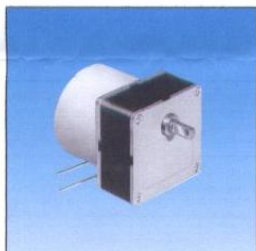
3.3 Motor

Valg av motor som passet de opprinnelige planene, viste seg vanskeligere enn antatt. Problemet var å finne en motor som roterte med riktig hastighet (12 rpm), og hadde et moment som uten problemer kan drive rundt armen med EV. Det siste kravet som gjorde det hele mer komplisert var ønsket om en frekvensstyrt motor, der hastigheten bestemmes av frekvensen på nettspenningen. Motorer som bruker andre former for kontroll av rotasjonshastigheten, for eksempel spenningen, vil kunne gi en variabel hastighet da det er variasjoner i spenningen på nettet.

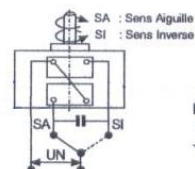
Valget falt på en frekvensstyrt motor med en rotasjonshastighet på 10 rpm, og et moment på 1,5 Nm (se figur 3.3). I praksis betydde dette at vi hadde en motor med et dreiemoment som kunne takle å starte, til tross for en vekt forskjell på 100 gram på 1,5 meters avstand (se avnitt A.2).

Motoren kobles direkte opp mot strømmnettet med en kapasitans på $0,22\mu F$ (se oppe til høyre på figur 3.3). Det er denne kretsen som er bygget inn i boksen som kan sees på bilde 3.1.5 og C.5.

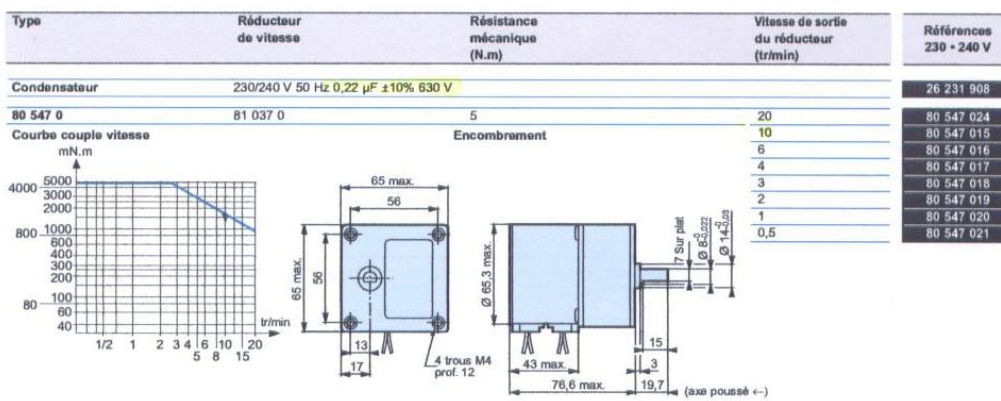
Motoréducteurs synchrones, 2 sens de marche à condensateur (avec moteur 82 540 0)



Branchement
En parallèle



- Vitesse constante en fonction de la fréquence d'alimentation
- Sens de rotation contrôlé par un condensateur de déphasage
- Rotor à aimant permanent
- Homologué UL, CSA, VDE ; conforme aux normes CEI



Figur 3.3: Motoren blir levert med forskjellige gir, den som er brukt er den med 10 rpm. På grafen nede til venstre kan det da leses av at motoren har et moment på ca 1,5 Nm.

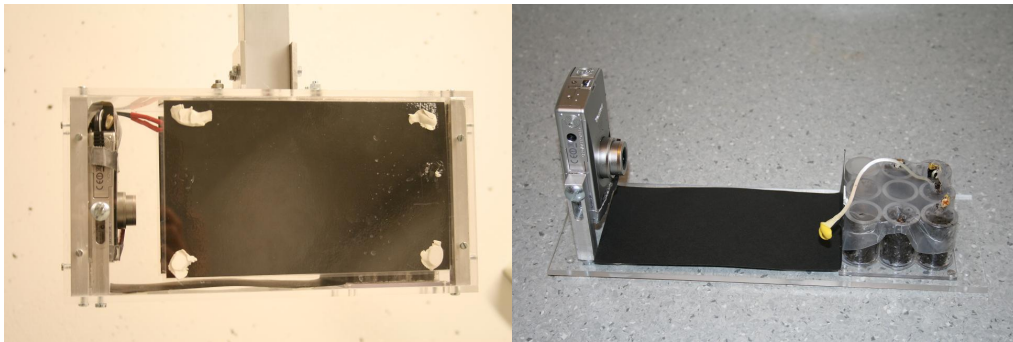
3.4 Konstruksjon av eksperimentelt volum, EV

Hvordan EV skulle utformes var den vanskeligste delen, og det ble etter kort tids bruk, klart hva som burde vært gjort annerledes (mer om dette i avsnitt 7.1.2). Noen ting som ble prioritert under konstruksjonen av EV:

- Volum nok, uten å bli for tung.
- Pleksiglass holder.
- Brukervennlighet. Et resultat av dette er at EV konstrueres som en enhet med bunnskive separert fra vegger og tak.
- Fleksibelt. Oppsettet for lys og enheten for planting av frø kan taes ut og omkonstrueres.
- Andre parametere som ble definert:

- Vanntilgang
- Kamera
- lysregulering
- Lufting
- Temperaturregulering

Noen av punktene vil vi komme tilbake til, og noen punkter tok vi bort. Punktene, temperaturregulering og vanning, ble utalett fordi det ble for vanskelige å gjennomføre. Lufting ble heller ikke utbedret, fordi det viste seg at dette ikke var nødvendig. Står mer om dette i avsnitt 4.3.



(a) EV slik den ser ut utenfra med eksperiment ombord. (b) EV bunn med kamera og eksperiment tatt ut av.

Figur 3.4: Eksperimentvolum, EV.

Kapittel 4

Sentrifuge: Instrumenter

4.1 Kamera

Å kunne ta bilder av eksperimentet under rotasjon, var en forutsetning hvis man ønsket kontinuerlig registrering. Vi var innom flere løsninger før vi fant den løsningen som vi mener gir oss den beste stabiliteten, bildekvaliteten, og er enkel og gjennomføre.

Tanken var opprinnelig å benytte seg av et vanlig *webkamera*, som kunne kobles til en datamaskin. Dette ville vært den enkleste og billigste løsningen. Problemet var at vi ikke kunne bruke en overføring som benyttet seg av USB, Ethernet eller andre dataoverførende ledninger. Så vi gikk over til en trådløs løsning. Vi satset på å finne løsningen i et *trådløst webkamera*, som fikk strøm fra en ekstern strømforsyning. Ved hjelp av enkle glideringer kan vi overføre strøm til instrumenter ombord i EV. Problemet med trådløse webkameraer på markedet i dag er kvaliteten på bildene; 0,3 mpxl med låst fokus, var det beste alternativet vi hadde.

Vi begynte da å se på muligheten for et *eksternt kamera*. Siden EV skulle bygges i pleksiglass kunne kameraet ta bilder fra utsiden. Problemet ble nå at hvis vi tok bildet inn i baneplanet ville bildet bli uklart pga sideforskyvningen. Med en lukkertid på $1/1600s^1$ ville EV ha beveget seg ca $0,38mm$ (se avsnitt A.3), noe som er mye, når man ser på en plante som har en bredde på litt over $1mm$. Denne gangen var løsningen å snu på EV, og la kameraet ta bildet parallelt med baneplanet. Sideforskyvningen er da eliminert. En liten

¹Lukkertiden er hentet fra et Canon EOS400D DSLR kamera som ville vært aktuelt ved bruk av et eksternt kamera.

forskyvning i høyden er neglisjerbar. En forflytning på $0,38\text{mm}$ (se avsnitt A.3) ville ikke fått noe å si for skarpheten i bildet. Men det største problemet med denne metoden ble likevel å stille utløseren, slik at den tok bildet på akkurat nøyaktig tidspunkt. Dette ville likevel vært den foretrukne måten, hvis vi ikke hadde funnet en annen løsning.

Gjennombruddet og løsningen kom da vi fant et *trådløst digitalkamera*; Canon Digital IXUS Wireless. Dette er et kamera som ble lansert i 2005, og er et 5 mpxl digitalkamera² som kunne styres over Wi-Fi³. Dette kameraet har alle mulighetene som man har med et vanlig digitalkamera, i tillegg til muligheten for å kunne styre det over et trådløst nettverk. Med andre ord; fleksibiliteten til et webkamera, og kvaliteten til et kompakt digitalkamera. Strømadapteret til kameraet kobles over til EV ved hjelp av sleperingene, slik at det ikke går på batteridrift. Den medfølgende programvaren muliggjør automatisk bildeutløsning, og lagring direkte på datamaskinen, som fjernstyrer kameraet.

4.1.1 Canon Camera Window, CCW

Installering av CCW, og å få programvaren til å fungere, var ikke et stort problem. Første inntrykket av programmet var at det var som laget til vårt bruk.

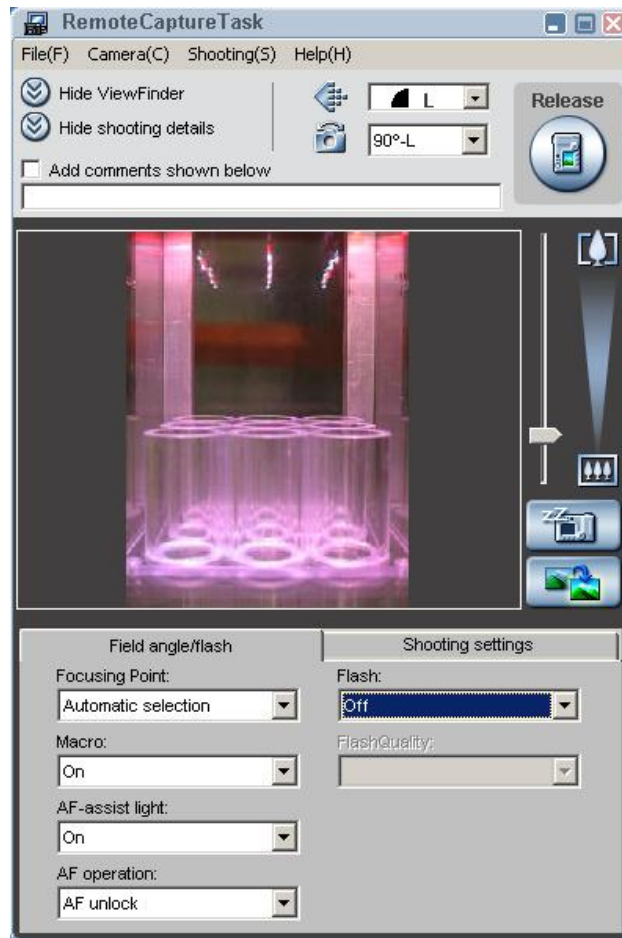
Som vist på bilde 4.1 gir dette muligheten til å styre det meste med kameraet, i alle fall det som er mest aktuelt å justere manuelt:

- Zoom på bildet.
- Størrelse og oppløsning.
- Fokus.
- Eksponering.
- Blitz.

Det eneste vi må inn i EV for å justere, er den mekaniske høyden på kameraet, men dette skal i utgangspunktet være det samme gjennom hele forsøket. Man må også inn i EV for å skru på kameraet, dette kan ikke gjøres fra CCW.

²<http://www.digicamreview.com/2005/10/canon-ixus-wireless-announced.html>

³Wi-Fi og trådløst LAN er en samlebetegnelse på lokale datanett som benytter radiobølger til kommunikasjon



Figur 4.1: Bilde av kontrollvinduet som brukes til å kontrollere kameraet inne i EV. Bildet som vises er inne fra EV, og er en direkte overføring av det som skjer inne i EV. Bildet er tatt under de første testene av EV, kamera og arm konstruksjon. Det er heller ikke satt inn bakgrunn.

4.1.2 Automatiske bilder

Under de første testene fikk jeg ikke CCW til å ta flere enn 9 bilder i serie, noe som ville resultert i at noen måtte restarte programmet minst hver 10 time, for å få bilder med 1 times mellomrom. Løsningen på dette ble et program som heter AutoHotKey, et program som utfører tastatur kommandoer. Jeg skrev en enkelt script som kunne gå i bakgrunnen:

```
Loop
{
Send {Ctrl}      % For å skru på sjermen.
sleep 2000      % Vent 2 sekunder.
Send {Ctrl}      % Skru av sjermbeskytter, returner til Windows.
sleep 2000      % Vent 2 sekunder.
Send {F1}        % Ta bildet.
sleep 3596000    % Venta 59 minutter 56 sekunder.
}
```

Med dette programmet, er det også mulig å skrive inn en lengre sekvens som også kan skru av og på blitz, hvis man ønsker bilder som er tatt når lyset er skrudd av. Det kan enten skrives inn i program-biten over, eller det kan skrives som et eget program som går parallelt.

4.2 LED - Light Emitting Diodes

4.2.1 LED - Historisk tilbakeblikk

En lysdiode (eller LED, Light Emitting Diode) er en halvleder-diode, med et inkohorent lys når en likerettet spenning påføres. Fargen avhenger av hvilket halvledermateriale som brukes, og kan være av typen ultrafiolett, synlig eller infrarødt lys. Prinsippet bygger på at elektronhullparene rekombineres over P-N-overgangen og avgir lys. Lysdioden utnytter at det dannes fotoner, om man bruker spesielle krystallmaterialer i P-N-overgangen [15].

Tidlig på 1900-tallet oppdaget Henry Round ved Marconi Labs at en halvleder kunne produsere lys. Russeren Oleg Vladimirovich Losev utviklet på egenhånd de første lysdiodene rundt 1925. Forskningen hans ble ignorert, selv om den ble distribuert i russiske, tyske og engelske vitenskapelige journaler. I 1955 rapporterte Rubin Braunstein ved The Radio Corporation of Amerika, et infrarødt lys fra en gallium arsenid forbindelse og andre halvleder leg-

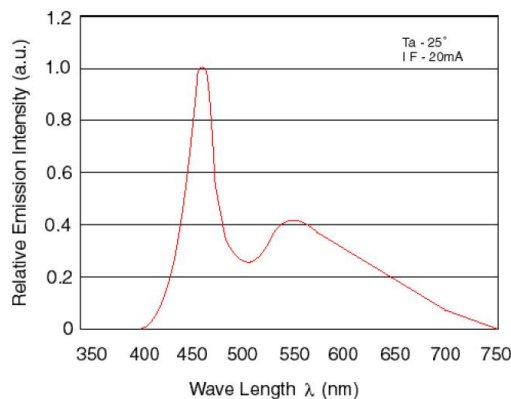


Figur 4.2: Vanlig skjematisk symbol for en lysdiode [15].

eringer. Forskere Bob Biard og Gary Pittman ved Texas Instruments, fant i 1961 at gallium arsenide sendte ut infrarød stråling, når strøm ble satt på. De fikk også patent på dette senere. I 1962 klarte Nick Holonyak Jr. ved General Electric Company å utvikle den første lysdioden som sendte ut synelig lys, og har i ettertid blitt sett på som opphavsmannen til lysdioden [15]. Shuji Nakamura ved Nichia Corporation i Japan, demonstrerte den første høyintensitets lysdioden med blått lys. Oppdagelsen av den blå lysdioden førte raskt til den første hvite lysdioden. Nakamura fikk i 2006 The Millenium Technology Prize for sin oppdagelse [15].

Oppsett lys

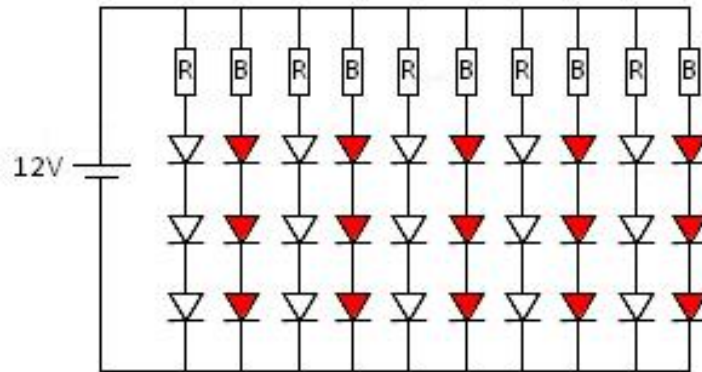
For å få et så naturlig fordeling av lysspekteret inne i EV, er det ikke bra å kun benytte seg av hvite lysdioder. De har en unaturlig høy del av det hvite lyset i den blå delen av lysspekteret (se figur: 4.3), noe som gir et noe "kaldt" lys. Dette kompenseres ved å benytte røde lys dioder i tillegg til de hvite.



Figur 4.3: Spektralfordeling hvit lysdiode [7].

Ved å benytte totalt 30 lysdioder, 15 hvite og 15 røde oppnåes det et lys som er varmere enn bare hvite. Lysdiodene er satt opp i et 3×10 mønster (Se

figur 4.4).



Figur 4.4: Koblingsoppsettet for lysdiodene som er i taket på EV. De hvite og røde diode symbolene er henholdsvis hvite LED og røde LED. Motstandene har verdi: $R = 180\Omega$ og $B = 270\Omega$ [6].

Spesifikasjoner lysdioder

Hvit lysdiode					
Typ. fwd voltage	Max fwd voltage	Forward current	max rev current	luminous intensity	Viewing angle
3,6V	4,0V	20mA	50 μ A	1560mcd	50deg

Rød lysdiode					
Typ. fwd voltage	Reverse breakdown voltage	Forward current	luminous intensity	Dominant wavelength	Viewing angle
1,8V	15V	20mA	240mcd	637nm	24deg

4.2.2 Tidsstyring av lys

For tidsstyring av lys ble det valgt en svært enkel løsning. Det ble kjøpt inn et UPM koblingsur fra Clas Ohlson, som kan skru av og på lyset opp til 20 ganger i døgnet. Innstillingen av tidsstyring er enkel, og den ble ganske enkelt koblet inn mellom veggkontakten og vår 12 volt strømforsyning (se figur 4.5).



Figur 4.5: UPM Koblingsur AX3000. Tidsstyrer strømforsyningen til lysdiodene. Bildet er hentet fra hjemmesidene til Clas Ohlson

4.3 Utelatte instrumenter

I den opprinnelige planen hadde vi flere tanker om hva som var ønskelig å integrere i EV, men dette viste seg enten vanskelig å gjennomføre, eller for kostbart. På starten av planleggingen ønsket vi å kunne integrere; temperaturmåler, fuktighetsmåler, radiel akselerasjonsmåler, utstyr for automatisk vanning, kamera (4.1) og lys (4.2). Hvis man ser på det forskjellige utstyret vi ønsket kan problemet spores tilbake til en eller flere av begrensningene:

- Kombinasjonen av svak motor og lang arm gjorde rotoren svært følsom for ujevnt fordelt vekt.
- Liten EV - liten plass til andre instrumenter.
- Ingen mulighet for annen dataoverføring enn trådløs dataoverføring.
- Liten tid.

Temperatur- og fuktighetslogging

De temperatur og fuktighetsmålerne jeg har funnet på nett, og samtidig hatt mulighet for logging på PC, har benyttet seg av USB tilkobling, og i tillegg priset seg ut av diskusjonen. En alternativ løsning på dette, er å feste en vanlig digital temperatur- og fuktighetsmåler, slik at kameraet får med temperaturene på bildene som blir laget. Dette skal ikke være vanskelig å integrere i den nåværende EV.

Automatisk vanning

En pumpe kan skrues av og på ved å kontrollere strømtilførselen, denne delen er lett å gjennomføre. Men den ekstra tilførte vekta ville gjøre dette vanskelig, dessuten er ikke dette en nødvendighet da det vanligvis ikke er nødvendig med vanning flere ganger i døgnet. Forskyvningskrefter nevnt i 2.4 i sammenheng med oppstart og nedbremsning, spiller liten rolle for resultatene av forsøket.

Radiell akselerasjonslogger

Denne loggeren er kun for å en bekreftelse på de teoretiske beregningene som er gjort, med tanke på arm lengde og rotasjonshastighet. En mulighet hadde vært å bygge loggeren selv fra bunnen, da de vanlige akselerasjonssensorene benytter seg av en krets med strøm, som man kunne tilkoblet en datamaskin på utsiden, ved hjelp av sleperingene og en USB omformer. Bluetooth⁴ for trådløs overføring kunne vært en mulighet, da loggeren kunne vært drevet av samme strømmen som lysdiodene. Men å lage en slik sensor på egenhånd krever mye arbeid, og dermed mye tid, noe vi ikke hadde.

⁴Bluetooth er en radiooverføringsprotokoll som benyttes for å sende og motta data trådløst, mellom enheter i et personlig datanett, sammensatt av mobiltelefon, datamaskin, og/eller andre enheter som støtter protokollen.

Kapittel 5

Testresultat og eksperimenter

5.1 Spiringsevne havrefrø

Hensikt

Før igang-setting av eksperimenter i sentrifugen, måtte spirings evnen til de aktuelle frøene testes. Forsøket ble gjennomført to ganger.

Utstyr

- Havrefrø
- Vannbolle
- Nettingrist
- Plast sylinder
- Jord
- Vann

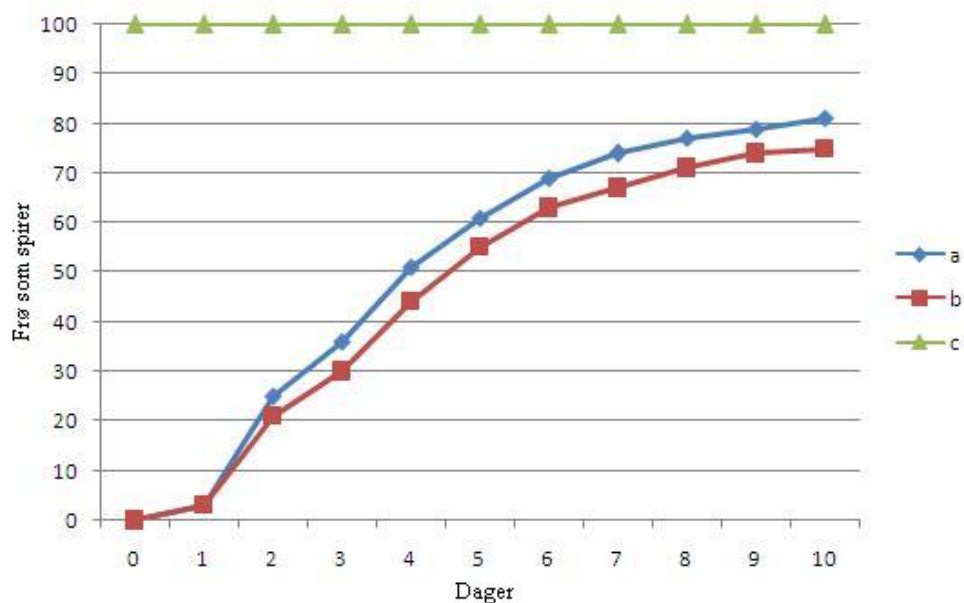
Metoder

Metode 1: Havrefrøene ble plassert på nettingristen nede i en bolle. Det ble så fylt på med vann, slik at frøene lå halvveis nede i vannet. Forsøket ble gjennomført to ganger, begge med en varighet på 10 dager. Antall spirende

frø ble kontrollert hver dag til samme tidspunkt. Det ble også etterfylt vann, slik at frøene var i kontakt med vann.

Metode 2: Havrefrøene ble nå plassert under forhold som ligner mer på det de kommer til å oppleve i sentrifugen. Plastsylindere ble fylt med jord, frøene ble trykket ned slik at de sto på høykant, og det ble lagt litt jord over. Disse testene gikk også over 10 dager. Begge gangene med 9 beholdere og 9 frø.

Resultater



Figur 5.1: a) Vekstutvikling metode 1, første gangs test. b) Vekstutvikling metode 1, andre gangs test. c) Totalt antall frø

Resultat 1: Totalt har 156 av 200 frø spiret etter 10 dager, dette gir en spiringsrate på $0,78 \pm 0,03$ etter dag 10.

Resultat 2: Begge gangene var 5 av 9 frø spiret etter 10 dager, dette gir en spiringsrate på $0,56$ etter dag 10. De høyeste havreplantene var nå blitt ca 8 cm høye.

5.2 Test resultat av spesialsentrifuge

5.2.1 Bygging av sentrifuge

Byggingen av rotoren gjorde det mekaniske verkstedet på NTNU, en god jobb med. Monteringen og installasjon av motoren, og det andre elektriske, gjorde Elektronikk verkstedet ved NTNU, en god jobb med.

Tekniske spesifikasjoner

- Rotasjonshastighet 10 rpm.
- Moment motor 1,5 Nm.
- Maksimal ubalanse på arm 100 g.
- Opp til 10 bilder i minuttet, avhengig oppløsningen på bildet.
- Strøm i EV til lysdioder, 12 Volt.
- Eget strøm adapter til kamera, 4,3 Volt.

Fysiske størrelser

- Rotasjonsdiameter ca 3 m.
- Maksimal høyde 3,3 m.
- Opp til 9 frø i nåværende beholder i EV.

5.2.2 Teknisk resultat

Gjennomgår hvordan de forskjellige delene av sentrifugekonstruksjonen har fungert under testing. Har kjørt 4 forskjellige tester, en uten planter, en med planter og lys og en med planter uten lys og til slutt uten rotasjon og planter med kamera.

Test 1: rotor og kamera

De første forsøkene ble brukt til å teste rotasjon og kamera, ut fra testene ble det notert følgende:

1. Kamera mister kontakten med PC en gang i løpet av kvelden / natta på tilsynelatende tilfeldige tidspunkt.
2. Roterer sto i ro ved et tilfelle, problemet ble sporet til festeskruen på motoren.

Som et resultat av pkt. 2 ble festeskruen strammet før oppstart ved resten av forsøkene.

Test 2: rotor, kamera, lys og EV

Etter test av rotor og kamera ble solsikkefrø plantet i beholderene. Solsikkefrøende var begynt å spire på papir, før de ble plantet om i beholderne. Etter testene ble det notert følgende:

1. Rotasjon fungerer uten problemer.
2. Kamera mister fortsatt kontakten på tilfeldige tidspunkt, tilsynelatende kortere tid mellom avbruddene lenger ut i testen.
3. Tidsstyringen av kamera fungerer uten problem.
4. Bakgrunn av svart papp fungerer bra på bildene, men trekker til seg fuktighet og blir ujevne av den grunn.
5. Veldig høy luftfuktighet inne i EV mot slutten av forsøket.

Når plantene hadde vokst til full høyde stoppet jeg rotasjonen men lot kamera fortsette å ta bilde. Jeg noterte følgende:

- Kamera tok nå bilder uten avbrudd.
- Mer luftfuktighet inne i EV, kondens på veggene.

Test 3: rotor, kamera, blitz og EV

Etter erfaringene de foregående testene fikk jeg gjort forandring på bakgrunnen. Ny bakgrunn i laminert svart papp ble satt inn. Sleperingene ble satt inn med mer olje, for å bøte på den tilsynelatende dårlige kontakten. Også denne gangen ble det plantet solsikkefrø i beholderene, som var dyrket fram på papir. Blitzten på kamera var dekket til med et rødt filter. Under og etter testene ble det notert følgende:

1. Kamera gikk i lange perioder uten avbrudd sett i forhold til de tidligere forsøkene. Avbruddene kom tilbake mot slutten av forsøket.

2. Den laminerte bakgrunnen gir mye gjenskinn fra blitz.
3. Festeskruen gjenget seg selv ut, selv om den var blitt strammet ved oppstart.

Test 4: kontakt sleperinger

Problemene med kamera på de første testene, er nå det eneste problemet vi ikke med sikkerhet kan si hva som er årsaken. Denne testen ble gjort for å finne ut om årsaken til at kameraet slutter å ta bilder, kan spores til sleperingene. For å avgjøre om det var rotasjonen som var grunnen til at kamera sluttet å ta bilder ble rotasjonen stoppet. Oppsettet var ellers lik de andre. Det ble notert følgende:

1. Ingen problemer med bildegenereringen.

5.2.3 Bildegenerering

Kamera tar gode bilder, både med lyset på i EV, og med bruk av blitz, selv om det kommer noe refleksjon fra de laminerte bakgrunnene. Figur 5.2 viser noen bilder som er tatt fra eksperimentene. Bildene som er vist her er skalert ned fra original størrelse på 1600×1200 pixler¹, til ca 320×240 pixler.

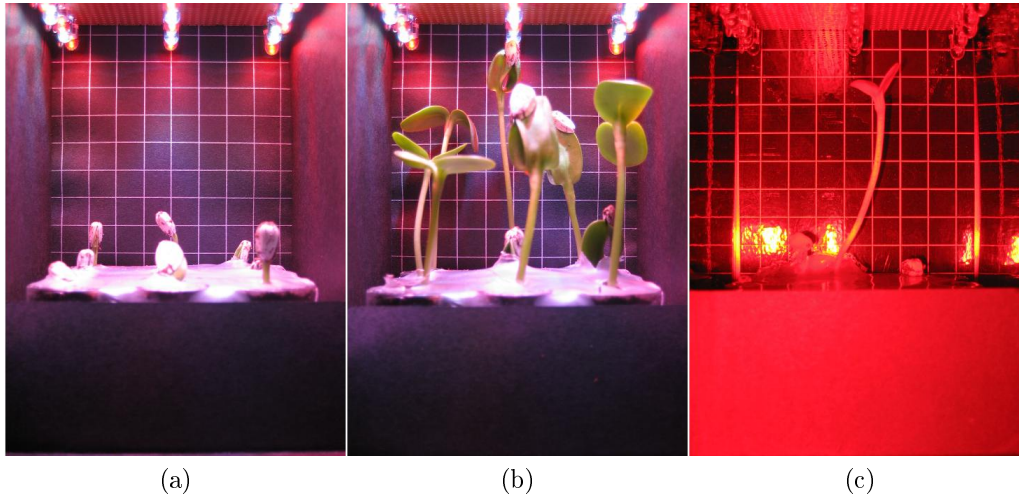
5.2.4 Solsikker i spesialsentrifuge

I avsnitt 5.1 ble spiringsevnen til havrefrø testet, dette fordi eksperimentene egentlig skulle utføres med de. Men før forsøkene med sentrifugen ble satt i gang ble det bestemt at solsikker var mer interessant å se på. Kommer tilbake til disse resultatene i del 5.3.

Solsikker med lys

Solsikkene fikk 16 timer med lys og 8 timer mørke under forsøket. Bildene i figur 5.3 er alle tatt med en times mellomrom, det er to ting som er verdt å merke seg med billedserien:

¹Pixler er antall unike farge punkter bildet er bygd opp av.

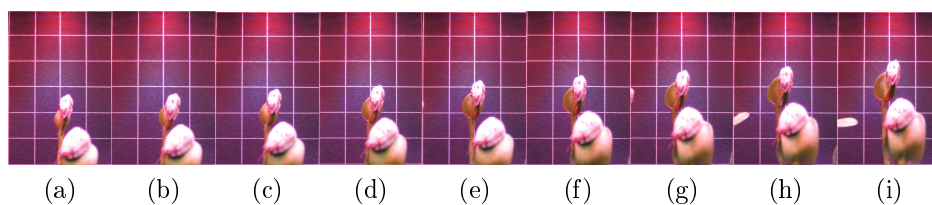


Figur 5.2: (a) Et av de første bildene som ble tatt der frøene har startet å spire, legg merke til at pappen har begynt å bølge seg. (b) Dette bildet er tatt 44 timer etter bilde a, pappen har bølget seg mer. Ser også at de nærmeste plantene ikke er helt i fokus. (c) Bilde fra mørke forsøk, det er brukt rød blitz. Ser at det blir en del refleksjon fra den nye bakgrunnen, men at det ikke er noe problem å se konturene av planten.

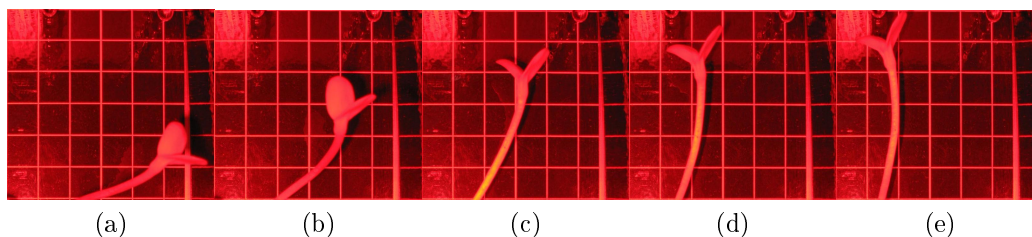
1. Planten har tilsynelatende en svingning fra side til side, som er på ca 4 mm fra ytterkant til ytterkant.
2. Veksthastigheten er på ca 1,7 mm. Det er 9 bilder, totalt 8 timer mellom første og siste bilde og en total veksthøyde på ca 1,5 cm.

Solsikker uten lys

Etter testen av solsikker med lys, ble det satt i nye frø på samme måte som tidligere. Frøene fikk spire på papir før de ble satt inn i beholderene. Under



Figur 5.3: Solsikker; vekst og nutasjon



Figur 5.4: Solsikkens oppreisning.

gjennomføring av forsøket ble det et lengre stopp i rotasjonen, posisjonen EV var i kan sees på bilde 3.2a. Dette resulterte i at solsikken begynte å vokse mot den gjeldende gravitasjonsvektoren (se figur 5.4a), etter at rotasjonen kom igang rettet solsikken seg opp igjen (se figur 5.4).

Forskjeller mellom lys og mørke

Det er noen forskjeller som skiller seg markant ut når det gjelder de som har vokst i mørket, og de som har hatt døgn:

- De solsikkene som har lys vokser raskere.
- En større andel av solsikkene vokser fram.
- Fargen på solsikkene er mye grønnere på de som har fått vokse i lys.

På grunn av problemer med bildegenereringen under dette forsøket, ble det dessverre ingen bildeserie som var god nok å se på nutasjonen hos solsikkene.

5.3 Solsikker i biosentrifuge

5.3.1 Circumnutationer

Plante organer som skudd, røtter og løpere, har gjerne en rytmisk spiralformet vekst med en periode som kan strekke seg fra minutter opp til flere timer. Banen, beskrevet av tuppens bevegelse, kan ha en vanlig sirkulær, elliptisk eller mer kompliserte baner. Uttrykket circumnutasjon henviser til en periodisk bevegelse med stort utslag på tuppen, og en vanlig tidsperiode på 1 time.

Det er tidligere gjort forsøk på to varianter av solsikke blomsten. Under eksperimentet økte de gravitasjonen fra $1 \times g$ til $3 \times g$. Resultatene fra disse forsøkene var sprikende. På den ene typen av solsikkeblomsten forble perioden den samme, mens andre parametre ble påvirket. Under det andre forsøket ble både perioden og amplituden større. De kunne ikke komme fram til en generell konklusjon fra dette eksperimentet [3, Side 148]. Ved bruk av klinostat for eksperimenter med solsikken, er det nødvendig å bruke lav rotasjons hastighet (ca 1 rpm), for å unngå uakseptable akselerasjonsverdier. I disse forsøkene stoppet nutasjonen praktisk talt opp, fra ca 20° utslag til ca 0° [3, Side 148]. Det ble i en annen sammenheng gjennomført forsøk i en klinostat med en annen variant av solsikken, denne gangen fortsette nutasjonen. Disse resultatene stemmer med resultatene fra forsøkene under forskjellig gravitasjon: gravitasjonseffekter påvirker en variant av solsikken, men ikke en annen.

5.3.2 Nutasjon hos solsikker i biosentrifuge

Et nøyere studium av bildene tatt med sentrifugen viser at plantene beveger seg sidelengs i bildet i tillegg til at de vokser. Slike bevegelser er en del av circumnutasjonen og av prinsipiell interesse og det blir studert hvilken rolle tyngdekraften har i opphavsmekanismene.

Imidlertid er det viktig å vite nøyaktig hva tyngdekraften er i de forskjellige delene av EV. Den varierer som diskutert tidligere med avstanden fra rotasjonsaksen.

Jeg fikk i oppgave å spesifisere dette i et romeksperiment som er gjennomført ved instituttet, i eksperimentet MULTIGEN-1. Dette eksperimentet har bl.a som mål å studere roterende bevegelser i planter. Det gjøres i en eksperimentell enhet som er kalt EMCS, European Modular Cultivation System.

Kapittel 6

EMCS

6.1 Hva er EMCS

Med støtte fra ESA har det vært mange prosjekter knyttet til utvikling og prøving av utstyr som har blitt plassert på ISS. En av disse enhetene European Modular Cultivation System (EMCS), er en gravitasjons-biologisk nyttelast fra ESA som er ombord på USAs laboratorium Destiny. Her gis det muligheter for å dyrke fram planter helt fram til frøsetting, altså multi-generasjonseksperimenter (frø-til-frø). Studier av gravitasjoneffekter på tidlig utvikling og vekstmønster¹. Utformingen av EMCS bygger på en inkubator med kontrollert gassinnhold, relativ fuktighet og temperatur, plassert på en sentriufuge. Når EMCS blir benyttet til planteforsøk vil to rotorer med til sammen 8 EV, bli brukt til flere typer forsøk med planter. To kameraer, en på hver rotor, vil bli benyttet til å observere plantene under eksperimentet [9].

¹Retningsbevegelse hos fastsittende planter eller plantedeler, som styres av gravitasjon, lys, fuktighet eller andre stimulerende innsignaler til planten

6.2 Akselerasjonsberegninger

6.2.1 Kontroll av gravitasjonstall

<i>Hva</i>	<i>Lengde</i>
EV geometrisksenter	200 mm fra rotasjonsaksen
Indre lengde EV	160 mm
Veksthøyde	117 mm

Tabell 6.1: Caption

Denne første delen av oppgaven med EMCS, skal akselerasjons tallene ved PCC og locket kontrolleres. Det er oppgitt at de skal være $1 \times g_0$ ved PCC og $0,5 \times g_0$ ved locket.

Ut fra de lengde spesifikasjonene jeg har funnet i EMCS CDR Design Report [1], har jeg kommet fram til gravitasjonstallene som er spesifisert i tabell 6.2. Antar at locket ligger helt i toppen av EV, altså 120 mm fra rotasjonsaksen, og PCC er 237 mm fra rotasjonsaksen. Har benyttet meg av 9,81 som jordens gravitasjon.

Ut fra spesifikasjonene i [1] er det oppgitt at rotasjonshastigheten ligger mellom 59 og 60 rpm. Har regnet ut verdiene for hhv, 59, 59,5 og 60 rpm. Disse tallene gir en frekvens på hhv $f = \frac{59}{60}$, $f = \frac{59,5}{60}$ og $f = \frac{60}{60} = 1$. Frekvensen f er satt inn i likning A.2 for å finne ω som settes inn i likning A.1, for å finne sentripetalakselerasjonen ved PCC og locket ved forskjellige, og mellom de nevnte rotasjonshastighetene.

<i>rpm</i>	<i>59</i>	<i>59,5</i>	<i>60</i>
Akselerasjon locket	0,467	0,475	0,483
Akselerasjon PCC	0,922	0,938	0,954

Tabell 6.2: Akselerasjonsberegninger for EMCS.

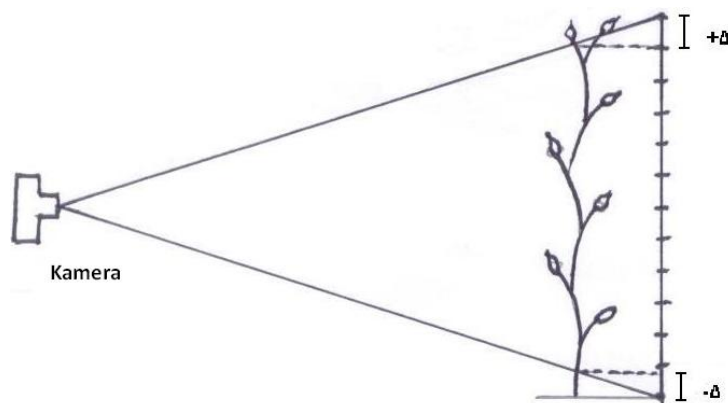
Som det kan sees ut av tabell 6.2 blir det litt for lave akselerasjoner ut fra de tallene jeg har benyttet meg av. For at det skal være nøyaktig $1 \times g_0$ ved PCC, når det er en rotasjonshastighet på 59,5 rpm burde PCC vært 16 mm lenger unna rotasjonsaksen. I praksis betyr dette at avstanden hvor akselerasjonen er $1 \times g_0$ befinner seg nede i jorda.

For at det skal være $0,5 \times g_0$ ved locket når rotasjonshastigheten er 59,5, måtte locket vært 6 mm lenger unna rotasjonsaksen.

6.3 Generering av grafikk

6.3.1 Kamera misvisning

Bildene som genereres ombord i EMCS er tatt med et fast kamera, dvs at det blir misvisning når det kommer til vekst høyde og hastighet, ved bunnen og toppen av EV (se figur 6.1). Ved å lage en gjennomsiktig plate med høyde og bredde markeringer på (se figur 6.3a), som settes inn i en kopi av EMCS modulen, som står ved plantebiosentret på NTNU, kan man finne misvisningen som kommer på grunn av avstanden som er mellom planten og bakgrunnen med målene på.



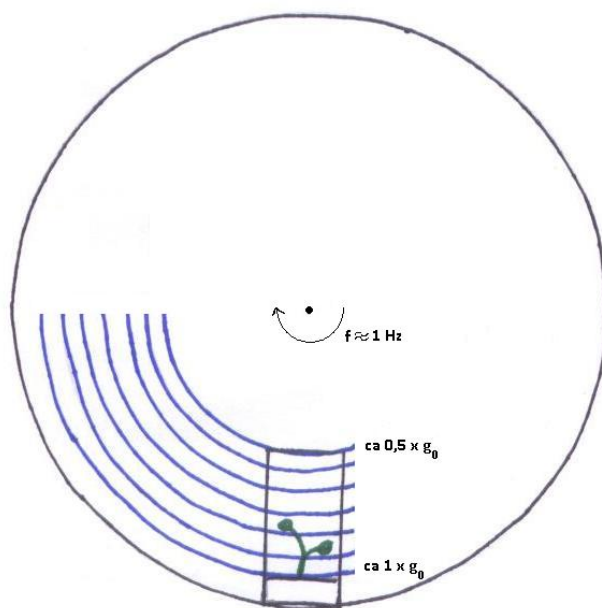
Figur 6.1: Bildet illustrer hvordan misvisning av plantehøyden oppstår på grunn av avstand mellom bakgrunn og plante.

6.3.2 Gravitasjon inne i EMCS

EMCS er i bane rundt jorda ombord på ISS. Dette medfører at så lenge det ikke er rotasjon, vil MULTIGEN-1 eksperimentet ombord ikke bli utsatt for annet enn microgravitasjon gjennom vibrasjoner ombord i ISS (se tabell 2.1). Når sentrifugen er i drift vil det dannes et gravitasjonsfelt inne i EV (se figur 6.2).

6.3.3 Grafikk

Målet var å få laget en eller flere gjennomsiktige bilder til innsetting, som settes inn der planten vokser. Den eller disse gjennomsiktige innsettings



Figur 6.2: Bildet illustrerer hvordan gravitasjonen forandrer seg med avstanden til sentrum ombord i EMCS.

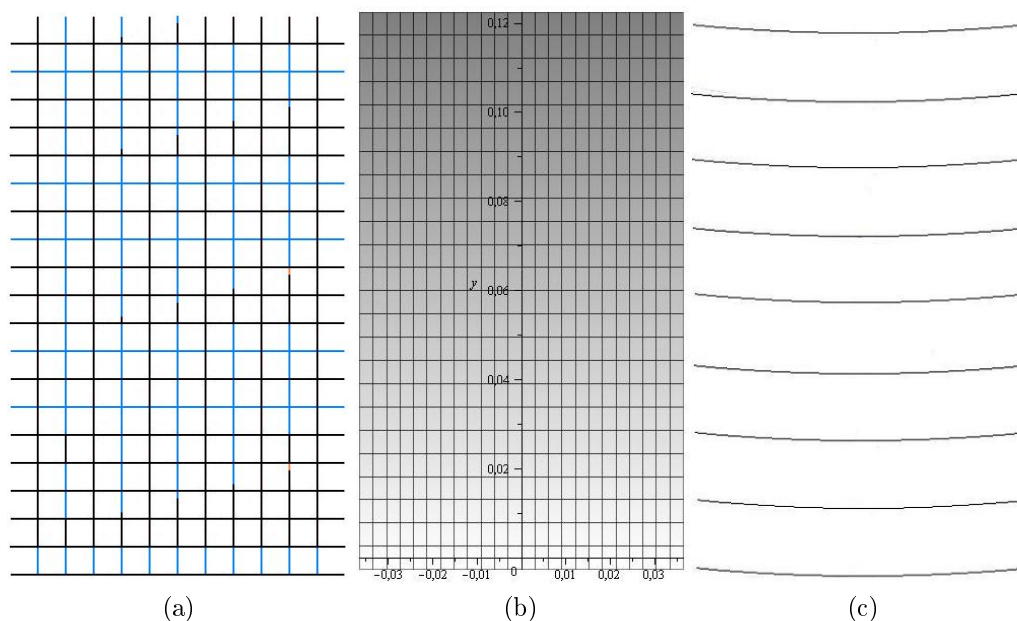
bildene skal gi muligheten til å avgjøre dette:

- Et bilde av typen 6.3a, som kan hjelpe med å avgjøre hvor stor misvisningen er ute i kantene, og på toppen og bunnen av EV.
- En fargepalett skalert fra hvit til svart, med høydekurver som viser akselerasjons kurver for gitte verdier. Må være gjennomsliktig slik at bakgrunnen inne i EMCS sees. Bildet ville vært en sammensetning av bilde 6.3b og 6.3c.

Bilde 6.3a; ble først laget på millimeterpapir før det ble scannet inn og fornyet i tegneprogram på PCn. Det ble gjort på denne måten fordi jeg ikke hadde mulighet til å lage vektorbasert grafikk². Ved utskrift av bildet er nå alle avstander lik bakgrunnen i EMCS.

Bilde 6.3b; er laget i Maple 11. Jeg fikk laget en likning som regnet ut verdien for g-tallet ved forskjellig avstander fra sentrum. Og brukte en innebygget funksjon som laget et bilde, med farge skalering fra hvit til sort over

²Alle mål holder seg konstante ved opp og ned skalering av størrelse, slik er det ikke med pixel basert grafikk.



Figur 6.3: Bakgrunner for insetting i EMCS.

det ønskede området. Maple 11 har heller ingen mulighet til å lage vektor basert grafikk. Likningen jeg brukte i maple for å lage grafikken er:

$$a_s = 4\pi \cdot \sqrt{0,237y^2 + x^2} \cdot f \quad (6.1)$$

Der $f = 1$, $\sqrt{0,237y^2 + x^2}$ er avstanden fra rotasjonsentrum i et kartesisk koordinatsystem og $y \in [0, 0,117]$ og $x \in [-0,03, 0,03]$. Verdiene er plottet i figur 6.3b, de høyeste verdiene er hvite og de laveste er sort.

Bilde 6.3c; er laget for hånd ved hjelp av passer og linjal, før det er scannet inn og gjort klarere i tegneprogram på PC. Tallene jeg brukte for å lage linjene er gitt i tabell 6.3. Likningen jeg benyttet meg av for å lage tabellen er en omskrivning av likning A.1, men det er delt på g_0 slik at det er g-tallet som er representert og ikke a_s :

$$\frac{a_s}{g_0} = \frac{R\omega^2}{g_0} \quad (6.2)$$

Der $\frac{a_s}{g_0}$ er g-tallet, $\omega = 2\pi \cdot f$, $f = 1$ og R er avstanden fra rotasjonsentrum.

<i>g-tall(g_0 enhet)</i>	<i>Avstand fra sentrum</i>	<i>Veksthøyde</i>
1,00	255,4 mm	0,00 mm
0,95	240,6 mm	15,4 mm
0,90	227,9 mm	27,5 mm
0,85	215,3 mm	40,1 mm
0,80	202,6 mm	52,8 mm
0,75	190,0 mm	65,4 mm
0,70	177,3 mm	78,1 mm
0,65	164,6 mm	90,8 mm
0,60	152,0 mm	103,4 mm

Tabell 6.3: Tabellen er laget på grunnlag av likning 6.2. G-tall fra $1 \times g_0$ til $0,6 \times g_0$ i steg på $0,05 \times g_0$. Tallene er brukt til å lage bilde 6.3c

Kapittel 7

Avslutning

7.1 Forslag til forbedringer

7.1.1 Kamera

Slik som det er nå, fungerer alt bra. På grunn av dårlig kontakt / ugjevn strømføring (se avsnitt 5.2.2) fra sleperingene, mister kamera strømmen med ujevne mellomrom, og slutter dermed å ta bilder. Slik det ser ut nå er det to mulige løsninger som kan fungere:

- Et ekstra kontaktpunkt mot sleperingene.
- En RC-krets på armen som kan utjevne forstyrrelser i strømføringen som kommer på grunn av sleperingene.

Når problemet med kamera er løst, blir det mindre viktig å gjøre EV mer brukervennlig, enn det er nå. Det vil også redusere antall stopp i rotasjonen, som kommer på grunn av omstart av kamera.

Det vil være en fordel om bildene som genereres, gjøres tilgjengelig på nettet umiddelbart. Man blir på denne måten ikke avhengig av å fysisk besøke sentrifugen, for å sjekke at bildegenereringen fungerer. Hvis dette kombineres med noe som viser (på bildene) at rotasjonen pågår, vil det være unødvendig å fysisk sjekke sentrifugen, mer enn en gang pr dag.

Det anbefales på det sterkeste, å utføre de forbedringer som er nødvendig for å gi kamera en kontinuerlig, og stabil strømforsyning, før flere forsøk gjennomføres.

7.1.2 Eksperimentvolumet, EV

Gjennom de testene som er gjennomført, har man fått noen erfaringer. Skal nå gjøre rede for de områdene EV har størst forbedrings potensiale, og hva som kan gjøres. Først en oppsummering av det som ble erfart under testingen.

EV fungerer i utgangspunktet bra, med de begrensninger og forutsetninger som ble lagt til grunne for konstruksjonen. Noen antagelser var at kamera skulle fungere uten problemer, og at man dermed ikke måtte inn i EV for å koble opp kamera igjen så hyppig som nå. EV ble laget med tanke på havreplanten, som ikke blir høyere enn 10 cm på 10 dager (se avsnitt 5.1) i motsetning til solsikken som i løpet av 5 dager vokste til taket av EV. Fuktigheten som kom under framveksten, og kondenserte på veggene, kunne ha påvirket det elektriske utstyret inne i EV. EV er nå praktisk talt uten gjennomlufting.

Lysdiodene i taket er veldig skarpe, en innsetting forran lysdiodene for å spre lyset, kan med fordel settes inn. Dette vil kanskje løse noe av problemet med refleksjon fra den laminerte bakgrunnen i EV. De fremste beholderene står for nært kamera, og kommer ut av fokus i bildet.

Med tanke på det overnevnte samt det mer utfyllende som det står om i del 5.2.2, står forbedringne i to deler. Den første gjelder nåværende EV, og den andre hva som burde tas i betraktning om et nytt EV skulle blitt bygget fra bunnen.

Eksisterende EV

På dagens EV hadde det vært ønskelig med følgende forandringer til å begynne med:

- Åpne opp rundt kamera for å få tilgang til knappene. Slik at man kan koble opp kamera til PC uten å ta ut bunnen. Dette vil også gi bedre lufting i EV, og vil kanskje i kombinasjon med et lite hull på motsatt side sørge for nok gjennomlufting, for å unngå høy luftfuktighet og kondens inne i EV.
- Beholderene, som det plantes i nå står i et 3×3 oppsett, dette gjør at de fremste plantene dekker over de som står lenger bak på bildene. Et nytt oppsett på 3 bak + 2 i front, der de i front er forskjøvet en halv gang, vil ingen av plantene dekke for hverandre. Og alle 5 beholderne står nå i passe avstand til kamera slik at alle plantene er i fokus.

- Ved å gjøre beholderene til plantene 1 cm lavere økes også den potensielle veksthøyden tilsvarende.

De overnevnte punktene er de viktigste å gjennomføre. De neste kan gjennomføres, men de er med forbehold.

- Ved innsetting av noe som sprer lyset fra lysdiodene, vil takhøyden i EV bli redusert. Ved fortsatt bruk av solsikker i forsøkene, vil dette bli en begrensning. Ved overgang til noe som vokser saktere enn solsikker, f.eks havre, er dette et alternativ. En annen mulighet kan være flytte lysdiodene til utsiden av EV.
- Nye bakgrunner som gir mindre refleksjon fra lysdiodene i EV, og blitzen fra kameraet.

Ny EV

I løpet disse forsøkene, har jeg kommet på forbedringer man kan gjøre, hvis det skal konstrueres et nytt EV. De største forandringene kommer til uttrykk gjennom størrelse og form av EV:

- Å kunne maksimere nyttelasten slik at man fikk flest mulig planter fram i hvert forsøk vil være en fordel. Ved forandring av EV formen fra rektangulær til trapes, kan det settes inn flere plante beholdere på langsiden av trapesen. Ved å la trapesen vær uten innsatt pleksiglass, eller delvis innsatt av pleksiglass, på kortsiden kan kamera ta bilder inn der. Man får også lufting. Spørsmålet blir om denne løsningen helt uten innsatt pleksiglass gir for mye lufting.
- Kameraet separeres fra bunnplaten til plante beholderne, og kameraet blir dermed ikke et forstyrrende element når det skal plantes om. Kameraet kan festes permanent i taket sammen med lys diodene, og ta bildene fra utsiden av EV, slik forespeilet i punktet over. Tilgangen til knappene på kamera er også sikret.
- Høyden på EV kan med fordel økes, slik at plantene kan vokse seg høyere.
- Lysdiodene trenger ikke være festet inne i EV, men kan være festet på utsiden. Hvis taket på EV er i matt-glass, kan dette gi god lysspredning. Dette frigjør også takhøyde inne i EV.

Med disse forbedringene i tankene må man ikke glemme de opprinnelige kravene som var satt til konstruksjonen av EV: Volum, Brukervennlighet og

fleksibilitet. Husk også vektbegrensning!

7.2 Framtidig test av utstyr

De få forsøkene som til nå er gjennomført, har først og fremst blitt gjort med tanke på testing av utstyr. Og for å se de mest åpenbare reaksjonene fra de plantene som har vært med i testene. Før lengre forsøk gjennomføres, vil det være av interesse å gjennomføre noen tester, slik at man lærer mer om rotoren og kamera. Blant annet om EV er i samme posisjon hver gang det genereres et bilde. Dette er særlig viktig når plantene har en slik lengde at de svinger markant med gravitasjonsvektoren.

Rotoren har en konstant rotasjon på 10 rpm, altså 600 rotasjoner i timen. Hvis rotasjonen og bildegenereringen er helt presis vil EV befinne seg i samme posisjon på alle bilder. F.eks. hvis EV er på bunnen av rotasjonen når bilde 1 tas, er EV også på bunnen når bilde 2 og 40 tas. En test som avslører om EV er i samme posisjon hver gang et bilde genereres, kan enklest gjøres ved å ta kamera ut av EV og ta bildet fra utsiden. Hvis det skulle vise seg at EV ikke har samme posisjon (kan være flere grunner til det), må det ordnes slik at man vet hvilken vei EV har vært ved hvert bilde.

Tillegg A

Brukte likninger

A.1 Krefter ved sentralbevegelse

Hvis man observerer et punkt P i en jevn rotasjon, så vil den tangensielle akselerasjonen mot sentrum av rotasjonen være gitt ved[2, Side 69]:

$$a_s = \frac{v^2}{R} = R\omega^2 \quad (\text{A.1})$$

Frekvensen er gitt ved antall ganger et punkt P returnerer til sin opprinnelige posisjon ved en konstant rotasjon[2, Side 237]:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (\text{A.2})$$

$$\Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (\text{A.3})$$

A.2 satt inn i A.1:

$$a_s = R \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (\text{A.4})$$

Løses med hensyn på t da dette er den eneste ukjente i likningen.

$$t = \sqrt{\frac{4\pi^2 R}{a_s}} \quad (\text{A.5})$$

A.2 Dreiemoment

Dreiemoment¹ er definert som kraft ganger arm. Symbolet for dreiemoment er τ og SI-enheten er Nm (Newtonmeter).

$$\tau = rF \cdot \sin \theta \quad (\text{A.6})$$

Der r er avstanden fra sentrum, F er kraften og θ er vinkelen kraften virker med i forhold til armen (se figur A.1) [2, Side 247].



Figur A.1: Figur til likning A.6.

Eksempel fra oppgave

Motoren vi benytter oss av har et moment på $\tau = 1,5Nm$ og EV er ca $1,5m$ fra rotasjonsaksen. Dette gir da, innsatt i likning A.6:

$$1,5 = 1,5 \cdot F \cdot \sin \theta \quad (\text{A.7})$$

Vet at dette er mest kritisk når armen er horisontal og dermed gir oss vinkelen $\theta = 90$, og vektforskjellen vil være mest merkbar.

$$1,5 = 1,5 \cdot F \cdot \sin 90 \implies F = \frac{1,5}{1,5} = 1N \quad (\text{A.8})$$

Kraft er gitt ved:

$$F = ma \quad (\text{A.9})$$

I vårt tilfelle er $a = g_0$. Ved en skjev belastning på m kg får vi da maks moment i EV.

¹Fra engelsk Torque.

$$1 = m \cdot 9,81 \implies m = \frac{1}{9,81} = 0,102Kg \approx \underline{100gram} \quad (\text{A.10})$$

A.3 Lukkertid og bevegelse

Plantene befinner seg ute ved en radius på $1470mm$ og rotasjonstiden er 6 sek. Med en lukketid på $\frac{1}{4000}sek$ har de en sidelengs bevegelse på:

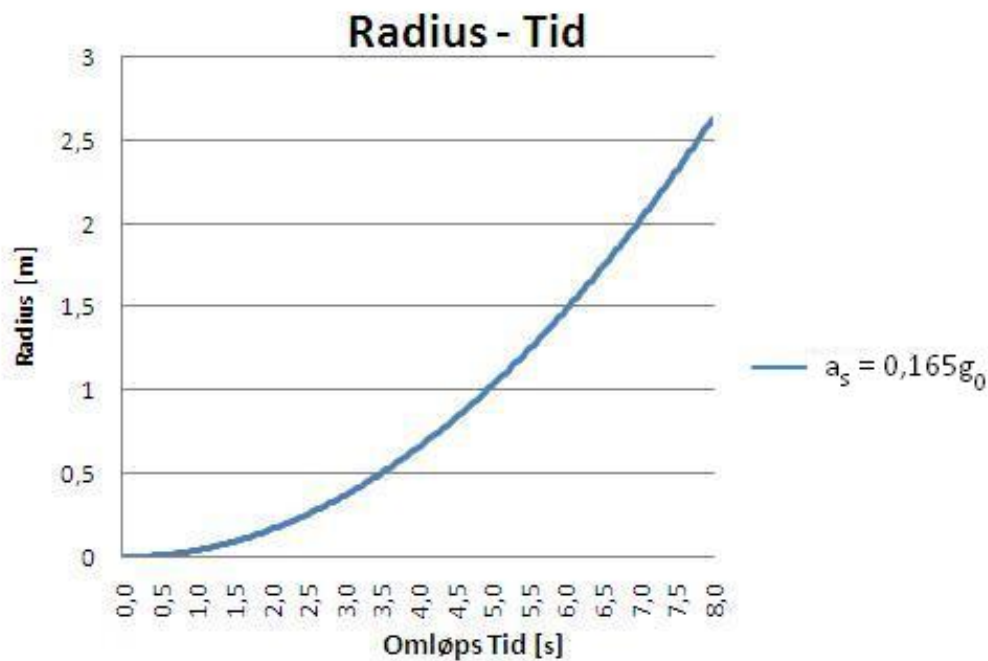
$$\frac{2\pi \cdot Radius}{Rotasjonstid} \cdot Lukkertid = \frac{2\pi \cdot 1470}{6} \cdot \frac{1}{1600} \approx 0,38mm \quad (\text{A.11})$$

Tillegg B

Beregningsplot

B.1 Radius - Tid

Figur B.1 er et plot av likning A.5 som viser hvordan radiusen øker med omløpstiden. $a_s = 0,165g_0$.



Figur B.1: Plot av hvordan omløpstiden øker med økt radius.

B.2 Forandring i opplevd gravitasjon på veksthøyden

Figur B.2 er basert på en omskrevet likning A.4, som viser forskjellen i a_s som en funksjon av veksthøyden:

$$\Delta a_s = R \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 - (R - \Delta R) \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 = \Delta R \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \quad (\text{B.1})$$

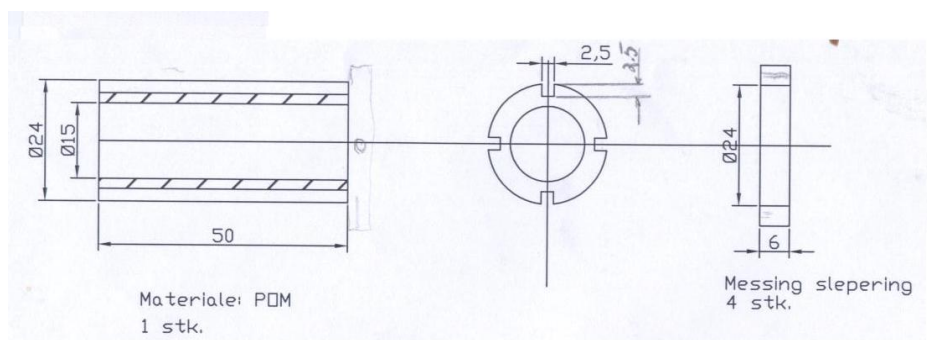
Plottet under som er basert på likning B.1 er for en omløpstid $T = 6 \text{ sek}$:



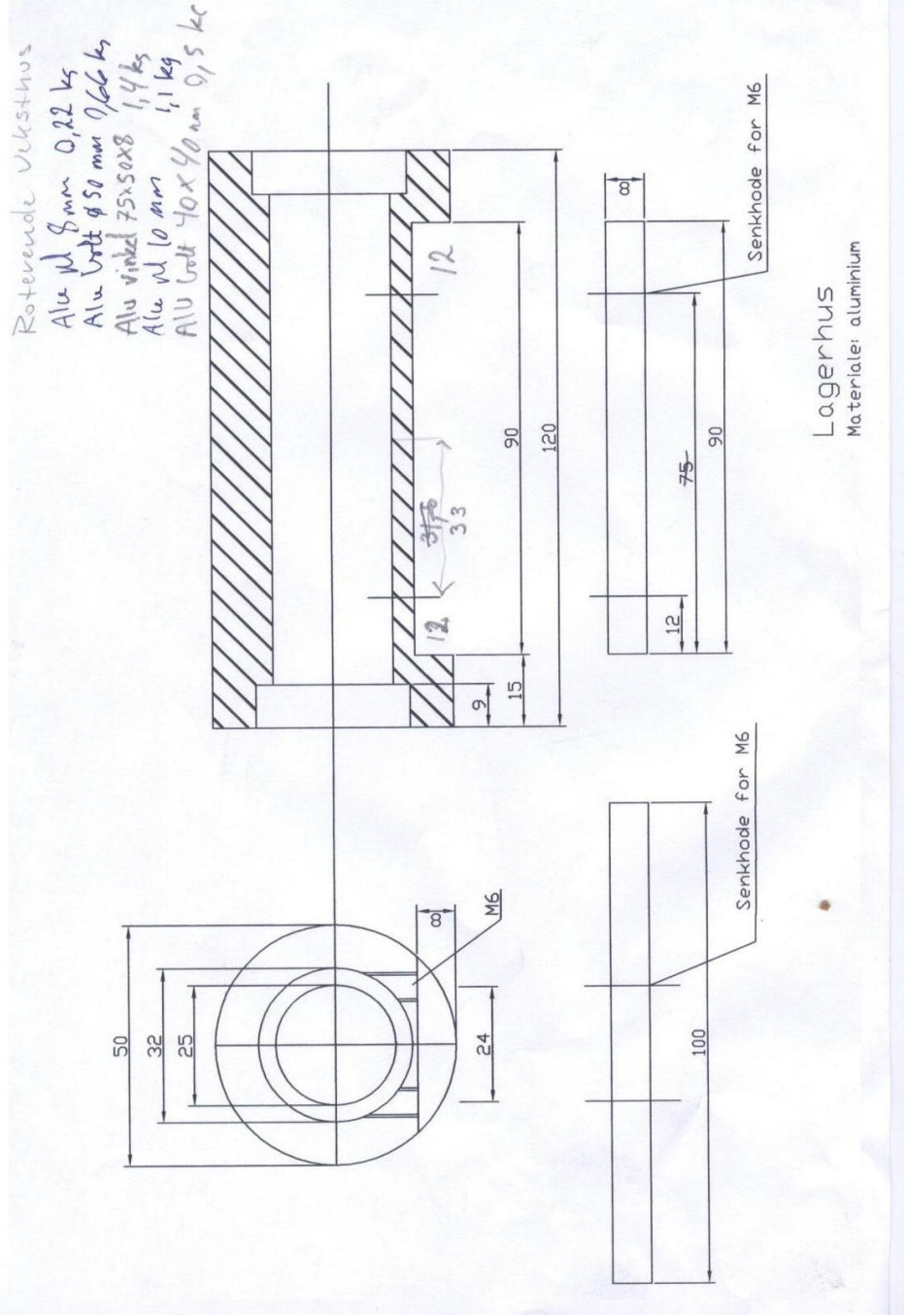
Figur B.2: Vær oppmerksom at grafen viser hvor mye **mindre** gravitasjonen er ved den angitte veksthøyden.

Tillegg C

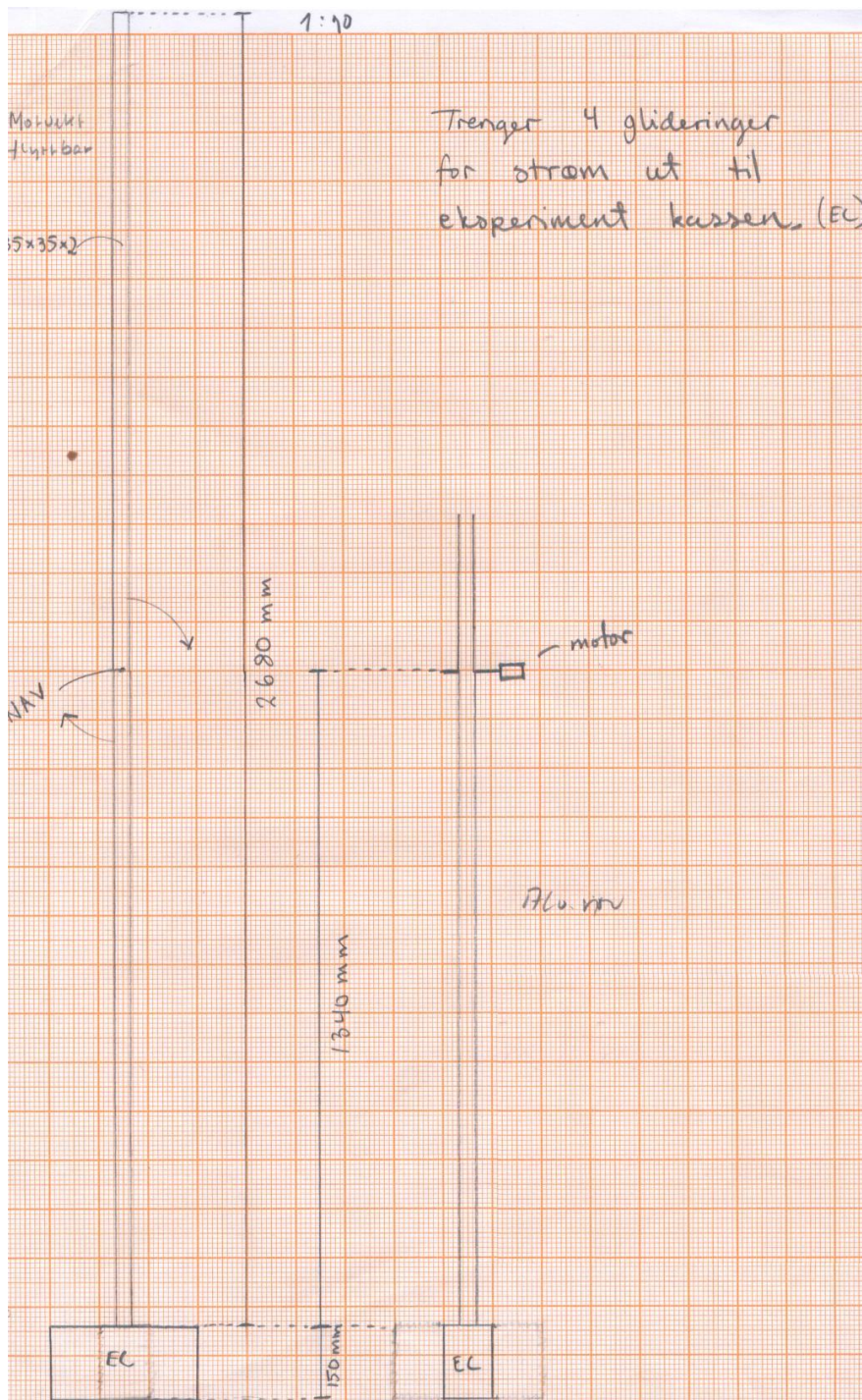
Konstruksjonstegninger og bilder



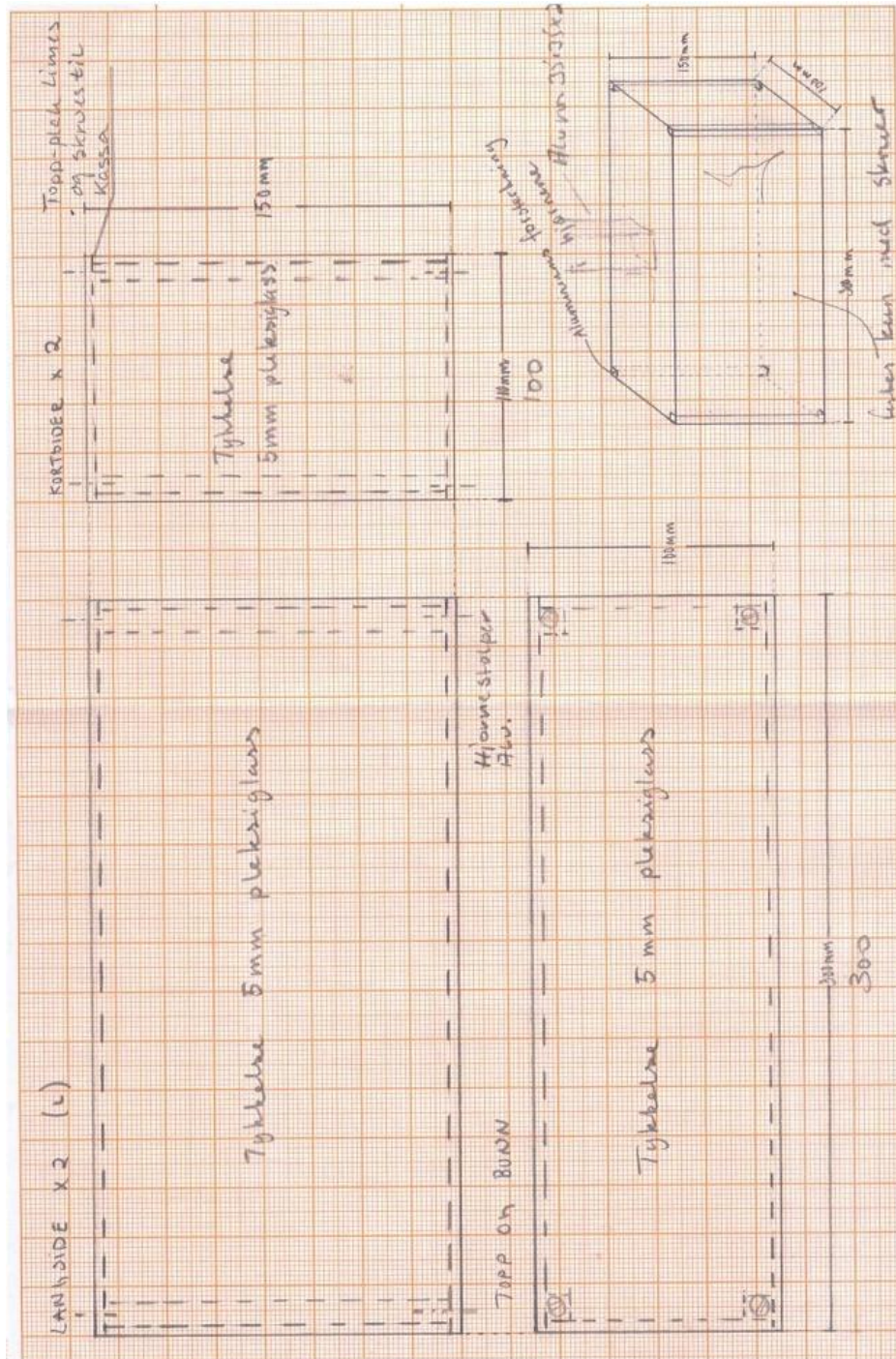
Figur C.1: Konstruksjonstegning Sleperinger, alle mål er i *mm*.



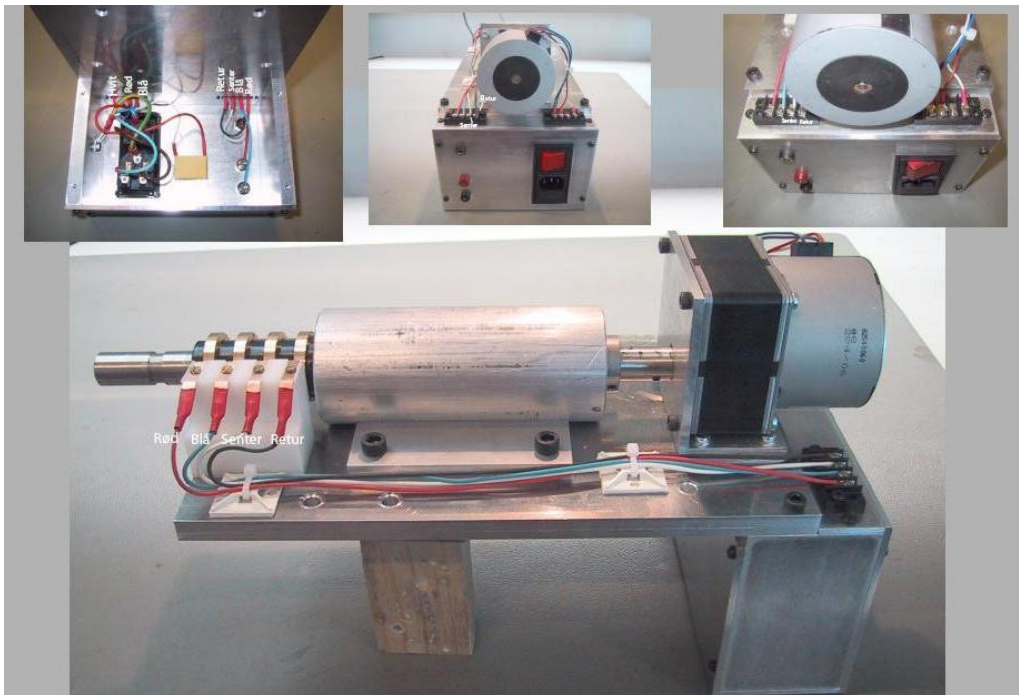
Figur C.2: Konstruksjonstegning Lagerhus, alle mål er i mm.



Figur C.3: Konstruksjonstegning Arm



Figur C.4: Konstruksjonstegning EV



Figur C.5: **Øverst til venstre:** Koblingsboksen for strøm til motor (venstre med gul kapasitans), LED og Kamera (Til høyre) inne i EV. **Øverst i midten:** Motor og koblingsboks. **Øverst til høyre:** Motor og koblingsboks. **Stort bilde:** Fra venstre mot høyre; sleperinger, lagerhus og motor. Bildet er tatt på elektronikkverkstedet.

Tillegg D

Brukerveiledning

Denne korte brukerveiledningen er skrevet for de som skal kjøre forsøk med sentrifugen. Brukermanualer og programmer som er brukt ligger sammen med hovedkonstruksjonen.

D.1 Før start

D.1.1 Oppkobling av kamera til PC

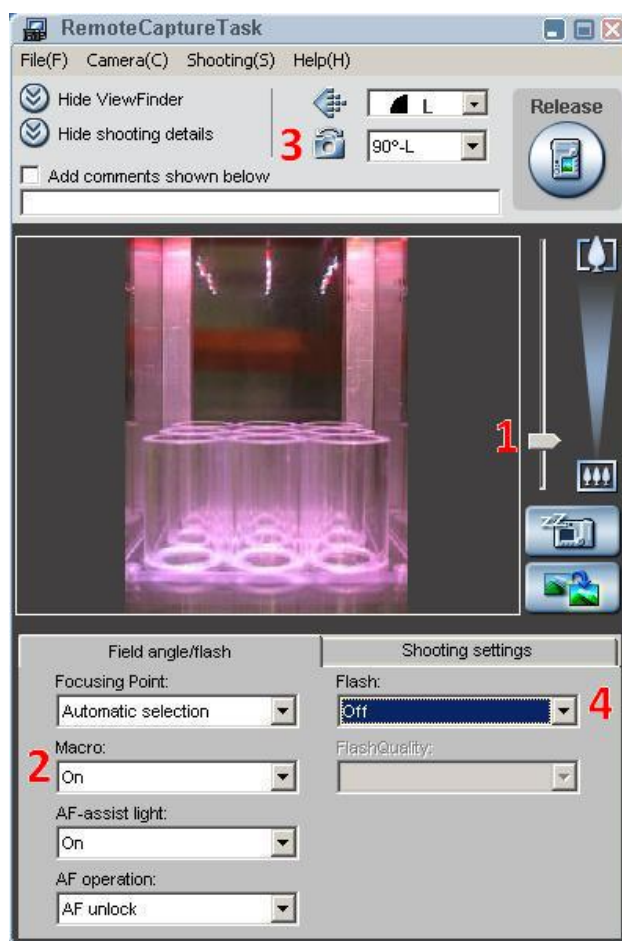
Kamera styres fra Canon Camera Window, RemoteCaptureTask (se figur 4.1), informasjon om installasjon er i manualen. Men den korte versjonen er:

1. Installer programmet.
2. Sjekk at PCn ikke er koblet opp mot et trådløst nettverk, og at den godtar UPnP oppkoblinger.
3. Koble til kamera via menyen på kameraet: Gå inn i menyen, gå til høyre til linsymbolet, velg tilkoble/frakoble og velg tilkoble. Bruk den som er installert og heter CANON.

Hvis alt er riktig nå skal skal CCW starte opp på PC, velg: Remote Shooting - Start Remote Shooting. Vinduet "RemoteCaptureTask" skal nå komme opp.

D.1.2 CCW, RemoteCaptureTask oppsett

Før man kommer til hovedvinduet må man velge hvor bildene skal lagres, pass på å gi mappen et beskrivende navn. Før instillingene forandres gå inn på File(F) - Preferences, gi navn til bildeserien og hvordan den skal nummereres. Merk også av at bildene kun skal lagres på PC, ikke på minnekort. Grunnen til dette er at minnekortet kun er på 16 Mb.



Figur D.1

Innstillingene som RemoteCaptureTask skal stå på følgende under forsøk, listen følger tallene i figur D.1:

1. Zoom inn 2 nivå, pass på at hele bakrunnen sees. Vi ønsker å kunne ta bilder av plantene helt til vekst topp.
2. Makro: På. Hvis makro ikke er på blir bildene uklare.

3. Rullegardin menyen for rotasjon av bildet skal stå på 90°
4. Hvis det skal kjøres forsøk uten lys, må blitzen settes på.
5. De andre menyvalgene står på standardinnstillingene.

Gå nå inn på Shooting(S) - Timed interval shooting: Velg hvor mange bilder og ved hvilket intervall bildene skal genereres. Skulle den innebygde automatiske tidsstyringen ikke fungere tilfredstillende, se del 4.1.2.

D.1.3 Oppsett EV

Når beholderene er gjort klar, og skrudd fast på bunnplaten til EV, gjør ting i følgende rekkefølge:

1. Koble strømmen til kamera og koble det til PC (se avsnitt D.1.1).
2. Sett bunnen på plass - sjekk at strømledningen til kamera IKKE er med i bildet.
3. Skru fast bunnen.

Vi er nå kommet så langt at vi kan sette i gang rotasjonen.

D.2 Konstruksjon

D.2.1 Arm og motor

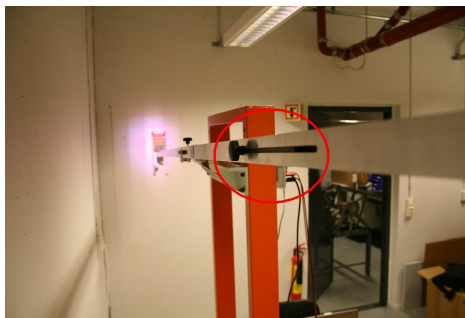
Konstruksjonen er god, men det er noen ting som må taes hensyn til, spesielt under oppstart og stopping av rotasjonen. Ved forandring av innhold i EV må armen balanseres, dette gjøres ved å løsne skruene vist i figur D.2. Deretter justeres motvekten (se figur D.3) til armen er i balanse. Husk at motoren har et begrenset moment. Start og stopp pågår først og fremst når noe må fysisk gjøres inne i EV. Ved et tilfelle kom jeg til en arm som sto i ro, årsaken var enkel, men vanskelig å oppdage. Festeskruen (Se figur D.2b) hadde løsnet slik at det ikke var feste nok til å drive armen rundt. Årsaken til dette var mye start og stopp av rotoren, i løpet av de første test dagene. For å hindre at dette skal skje igjen tok jeg noen enkle forhåndsregler:

- Ved arbeid i EV, løsne begge skruene (Se figur D.2a og D.2b) som kobler sammen arm, lagerhus og motor.



(a) Skruen som holder armen fast i lagerhuset, strammes for hånd. (b) Skruen som holder lagerhuset fast i motoren, strammes med 2mm umbrako.

Figur D.2: Skruene som må være strammet slik at rotasjonen ikke stopper under forsøket

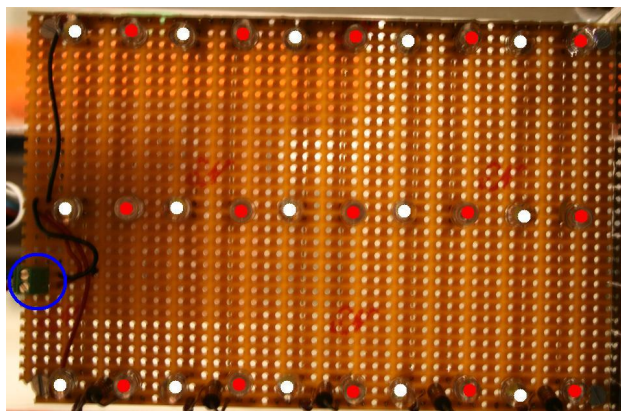


Figur D.3: Motvekten på armen, justeres med å løsne skruen og flytte på vekten. Det også ekstra hull slik at skruen kan flyttes og vekten kan justeres over et større område.

- Kontroller at ledningene fra sleperingene ikke skrubber bort i kanten når armen roterer. Disse må sansynligvis holdes unna med for eksempel tape.
- Ved oppstart gi armen fart i det motoren skrues på.
- Ved stopp, stopp armen i det motoren skrues av.

Mot slutten av de siste forsøkene opplevde jeg at festeskruen (se figur D.2b) løsnet under kjøring, ved å benytte litt loctight¹ på skruen, holder den seg på plass. Etter dette har skruer som løsner ikke vært et problem.

¹Dette er ikke en lim som er permanent, men noe som gjør at skruen sitter bedre fast og kan løsnes i ettetid.



Figur D.4: LED diodene slik oppsettet er nå, LED diodene er markert med den fargen de lyser med. Kontakten som kan løsnes er markert med en blå ring.

D.2.2 Eksperiment Volum

EV er enkelt, bunnen taes ut ved å skru ut de fire skruene under. Videre kan beholderene for plantene også skrues helt av, dette for å kunne bytte ut beholderene og endre oppsett på de. Dette må sannsynligvis verkstedet gjøre. Vært obs på at pappen som er festet inne i beholderen kan komme litt i veien. Pappen er festet med "sticky tack", da festing med lim eller tape ville gjort bytting vanskeligere.

D.2.3 Lys

Lysdiodene er skrudd fast til taket av EV, og ledningen til sleperingene er koblet på med en kontakt. Dette gjør det lettere å bytte ut lysdiodene, hvis dette er ønskelig. Lysdiodene drives av en 12 Volt strøm forsyning som leverer strømmen ut til lysdiodene ved hjelp av sleperingene.

Den automatisk lysstyringen er av enkleste sort, og styres av en UPM koblingssur 4.5. Enkel bruksanvisning følger med.

Bibliografi

- [1] Astrium (2001). Emcs cdr design report. Design raport fra EMCS, Dokument nr: EMCS-TN-000-031-DOR, nr 3.
- [2] Fishbane, P. M., Gasiorowicz, S., and Thornton, S. T. (1996). *Physics for scientists and engineers*. Prentice Hall, second edition.
- [3] Johnson, A. (1996). Circumnutations: results from recent experiments on earth and in space. *Planta*, (203):147–158.
- [4] Johnsson, A. (1971). Aspects on gravity-induced movements in plants. *Quarterly Reviews of Biophysics*, 4(2 and 3):277–320.
- [5] Johnsson, A. (2006). Microgravity. Pensum i FY3020 Space Technology I og FY3020 Space Technology II.
- [6] Ledcalc, J. P. (2008). <http://ledcalc.com/#>. Current Limiting Resistor Calculator for Leds.
- [7] Optosource (2008). <http://www.elfa.se/pdf/75/07500895.pdf>. Datablad hvite LED.
- [8] Tronstad, E. (2008). <http://www.romfart.no/eromfart/notiser/s/2005/2005133.shtml>. Publisert på www.romfart.no 28.09.2005.
- [9] Ukjent (2008a). <http://www.bio.ntnu.no/plantebiosenteret/>. Hjemmesiden til Plantebiosentret ved NTNU.
- [10] Ukjent (2008b). http://www.shuttlepresskit.com/iss_ovr/index.htm. Shuttle press kit, en informasjonsside hovedsakelig for oppdrag utfør med romferga.
- [11] van Loon, J. J., Folgering, E. H., and Bouten, C. V. (2004). Centrifuges and inertial shear forces. *Journal of Gravitational Physiology*, 11(1):29–37.
- [12] Wikipedia (2007). http://en.wikipedia.org/wiki/stokes_law. Ukjent forfatter.

- [13] Wikipedia (2008a). <http://en.wikipedia.org/wiki/auxin>. Ukjent forfatter.
- [14] Wikipedia (2008b). http://en.wikipedia.org/wiki/gravity#history_of_gravitational_theory. Ukjent forfatter.
- [15] Wikipedia (2008c). http://en.wikipedia.org/wiki/light-emitting_diode. Ukjent forfatter.