



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Institutt for Plantevitenskap

Effekt av ulike lyskilder på planter i kontormiljø

Helene Funderud

Effekt av ulike lyskilder på planter i kontormiljø

Helene Funderud

Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet

Masteroppgave

Effekt av ulike vekstlys på planter i kontorlandskap

Helene Funderud

Institutt for Plantevitenskap
Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet
Postboks 5003
1432 ÅS
Norge

Ås, 2016

Jeg ønsker å takke hovedveileder professor Sissel Torre for all oppfølging, hjelp med mange målinger underveis og veldig god tilrettelegging av forsøket. Jeg har i tillegg fått god hjelp i skriveprosessen. Jeg vil også takke medveileder professor Knut Asbjørn Solhaug for all tid han har avsatt og hans tålmodighet ved alle målinger og utregninger. Jeg har også fått god hjelp til formuleringer tilknyttet skriving av oppgaven.

Jeg vil i tillegg takke Jørn Medlien og hans kolleger for godt samarbeide i forhold til montering og demontering av lampene i vekstrømmene og hjelp til alle andre praktiske ting rundt forsøket. Jeg vil også takke studieveilederne Ingrid F. Bugge og Cathrine Strømø for god hjelp og raske tilbakemeldinger.

Tusen takk til medstudent Camilo E. Silva Chiang for verdifull hjelp med statistikken.

Hjertelig takk til alle som har bidratt med lamper, jord, potter og planter til forsøket mitt:

Tropisk Design AS, v/ Helene Gaustad

BioOffice AS, v/Gyri Dahl og Jørn Viumdal

Plantlight Sweden AB, v/Ola Weister

Kjærnsrød Gartneri, v/Anne Kari Moslått

Tusen takk til foreldrene mine, Ingrid og Egil Funderud, for alt de har bidratt med og oppmuntring underveis i utdanningen min. Tusen takk til døtrene mine, Ingvild og Iris, for verdifull hjelp og lærerike innspill i avslutningen av studiene mine. Den siste, men aller største takken går til min kjære Johnny som har støttet meg på alle tenkelige og utenkelige måter, slik at jeg nå har gjennomført Plantevitenskapstudiet.

Innhold

Sammendrag.....	6
1. Innledning	7
Formål med studien	8
Lysspekter	8
Lysrespons hos planter	9
Klorofyll.....	11
Planter som benyttes i kontormiljø og antatte helsemessige fordeler.....	11
2. Materialer og metoder	12
2.1. Plantemateriale	12
2.2. Oppstart og gjennomføring av forsøk	14
2.3. Lysbehandlingene	15
2.3.1. Lysspekter	16
Lysrør	16
Metallhalogen	19
LED.....	21
2.3.2. Lysnivå	23
2.3.3. Fotosyntese	23
2.3.4. Klorofyll.....	25
2.4. Vekstmålinger.....	26
Høyde, lengde, antall blad	26
Bladareal og tørrvekt.....	30
2.5. Temperatur	30
2.6. Skjøtsel	31
2.7. Statistikk og databehandling	34
3. Resultater	34
3.1. Vekstmålinger.....	34
3.2. Fotosyntesemålinger	45
3.3 Klorofyllmålinger.....	47
4. Diskusjon	51
4.1. Effekt av lyskvalitet på vekst	51
4.1.1. Lysrør	51
4.1.2. Metallhalogen	52
4.1.3. LED-belysning	53
4.1.4. Generelt.....	54
4.2. Effekt av lyskvalitet på fotosyntese	55
4.3. Effekt av lyskvalitet på klorofyll	56

4.4. Måling av lys med ulike metoder	57
4.5. Feilkilder.....	58
4.6. Bilder av plantene ved slutten av forsøket	58
5. Konklusjon	62
6. Litteraturliste	63

Sammendrag

For å undersøke hvordan forskjellige lyskilder påvirket vekst hos innendørsplanter i kontormiljø ble det satt opp et forsøk med 3 forskjellige lyskilder. Lysrør, metallhalogen og LED-belysning ble montert i respektive vekstkammer, hver på 6,3 m³. 36 planter ble fordelt likt slik at det var 4 *Aglaonema commutatum* 'Green Lady', 4 *Hedera helix* 'Montgomery' og 4 *Ficus benjamina* 'Golden King' i hvert kammer. Forsøksperioden var på 9 måneder.

Lysnivået var tilnærmet likt for alle kamrene med et gjennomsnitt på 26,3±1,7 µmol m⁻² s⁻¹ under lysrør, 24,8±4,2 under metallhalogen og 29,9±2,0 under LED-belysningen. Lysperioden var 14 timer per dag og temperaturen var gjennomsnittlig 23 °C, med 15 °C som laveste temperatur om vinteren og 31 °C som høyeste temperatur om sommeren. Energibehovet for LED-belysningen var 120 W/m², noe som var lavere enn for både lysrør (168 W/m²) og metallhalogen (210 W/m²).

Alle lysspektrene for de tre lyskildene ble målt og karakterisert. Lysrør inneholdt dobbelt så mye blått lys som de to andre lyskildene, samt noe ultrafiolett stråling (UV). Forholdet mellom rødt og mørkerødt lys varierte fra 3,2 (metallhalogen), 4,4 (lysør) til 7,7 (LED). Måling av fotosyntese og klorofyllinnhold viste at *H. helix* dyrket under lysør hadde høyest fotosyntese og høyest klorofyll a/b-innhold.

Dyrket under LED-belysning fikk *A. commutatum* signifikant økning i høyde og *H. helix* fikk signifikant økning i tørrvekt i siste del av forsøket, sammenlignet med *A. commutatum* og *H. helix* dyrket under metallhalogen som hadde signifikant lavere høyde og tørrvekt.

Dyrket under lysør fikk *H. helix* signifikant økning i bladantall i siste halvdel av forsøket og signifikant økning i tørrvekt i første del av forsøket sammenlignet med *H. helix* dyrket under metallhalogen som fikk signifikant lavere bladantall. Bladarealet hos *H. helix* var høyest hos lysør og LED-belysning med signifikant forskjell til *H. helix* dyrket under metallhalogen som hadde lavest bladareal. *F. benjamina* viste ingen signifikante forskjeller under noen av lyskildene. Det var ingen signifikante forskjeller mellom planter dyrket under lysør og LED-belysning. Ingen av plantene viste tydelige tegn til endret vekst i løpet av forsøket.

Veksten generelt var best for planter dyrket under lysør og LED-belysning. Plantene under metallhalogen kom noe dårligere ut, men totalt sett var det liten forskjell mellom lyskildene. Ved valg av belysning til planter i et moderne kontormiljø vil kriterier som høy estetisk verdi, praktiske løsninger, energibesparelser og pris vektlegges. Uansett hva man måtte komme fram til så er planter med belysning en investering som kan være økonomisk forsvarlig også i form av økt trivsel hos de ansatte og nedsatt sykefravær.

1. Innledning

Lys er en av de viktigste faktorene for at planter kan vokse og bli i stand til å formere seg. I naturen må plantene tilpasse seg det lyset de får fra solen. Noen planter vokser best i skyggen av andre, mens andre planter må ha fullt sollys over lengre perioder for å vokse (Taiz & Zeiger 2010). I veksthus skal plantene vokse og utvikle seg på så kort tid som mulig for å bli salgsklare raskt. Slik er det ikke med plantene som dyrkes innendørs i kontormiljø. Der er det ofte menneskenes behov for lys som avgjør hva slags lysforhold plantene vokser under. Planter har stor evne til å tilpasse seg ugunstige klimaforhold slik som mye og lite lys eller endringer i lysspekter i forhold til naturlig sollys (Lambers et al 2008). Planter kan også tilpasse seg lite næring i jorden, noe som øker plantens evne til å absorbere lavere konsentrasjoner av næringsløsning (Lambers et al 2008). Tilpasningen viser seg ofte som endringer i morfologi og vekst.

Betegnelsen mikromol per kvadratmeter i sekundet ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) er den best egnede måleenheten for å måle den lysmengden en plante oppfatter (Bævre & Gislerød 1999). Irradians beskriver altså lyset som treffer planten i form av fotoner (energipakker). I området mellom 400 til 700 nm (nanometer) måles fotosyntetisk aktivitet (PAR).

Watt (W/m^2) er strålingsenergi fra en lyskilde målt innenfor en kvadratmeter (Bævre & Gislerød 1999). W/m^2 er en måleenhet som kan regnes om til $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ved måling av spekteret i lyskilden. Et foton ved 400 nm inneholder dobbelt så mye energi som et foton ved 800 nm (Bævre & Gislerød 1999). Kortere bølgelengder (blått lys) inneholder færre fotoner enn lange bølgelengder (rødt lys) (figur 1,B) og fører til høyere verdier i W/m^2 enn $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ved blått lys og lavere verdier i W/m^2 enn $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ved rødt lys.

Lux (lx) blir ofte brukt for å måle lys for å gi en riktig plassering av planter innendørs. Lux er et mål på hva menneskets øye oppfatter og derfor ikke dekkende for å beskrive hvordan plantene oppfatter lysstrålene (Bævre & Gislerød 1999).

Kelvin (K) kan bli angitt ved informasjon om lyspærer og lysrør til planter. Dette sier ikke noe om hvordan de passer som plantebelysning, men det er en betegnelse på om lyset er varmt eller kaldt, altså utfra menneskets inntrykk av lyset (Bergstrand 2015). Kelvin er et mål på fargetemperatur og stiger fra rundt 2-3000 ved oransje lys (varmt) til rundt 5-6000 ved blått lys (kaldt). Kelvin (black body) blir mye brukt ved fotografering (snl.no 17.4.16).

Formål med studien

Bakgrunnen for denne oppgaven var å kartlegge hvilke lyskilder som med fordel kan benyttes i kontormiljø. Det ser ut til å være mange meninger og mye synsing på dette området. Noen mener at metallhalogen er best, andre påstår at dette er et dårlig lys for planter og sverger til lysrør. Andre igjen bruker kun LED. LED-lys er populære som belysning innendørs, men har ofte ikke det lysspekteret som er optimalt for planter. Etter at LED-lys kom på markedet har det blitt gjort mye forskning på effekten på planter i veksthus. Derimot forsøk med LED eller andre lyskilder som belysning på innendørsbeplantning er lite undersøkt.

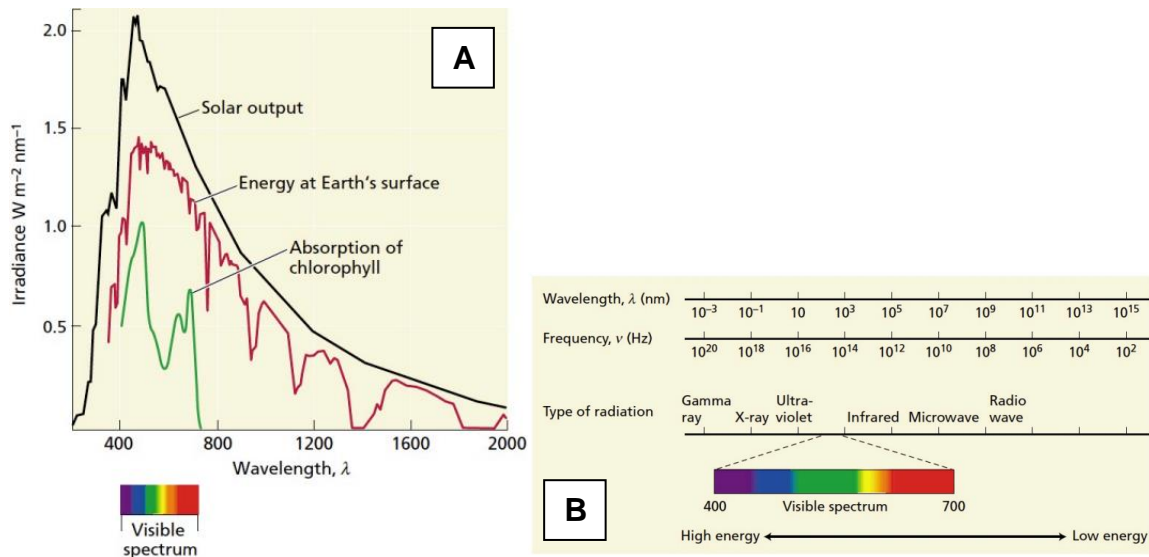
Egea et al hevdet i 2014 at de skrev den første rapporten med sammenligning av lyssystemer for innendørsbeplantning i form av grønne vegger. De hadde lyspære (glødelampe), lysrør og metallhalogen som lyskilder. De vil bruke LED ved et eventuelt nytt forsøk.

Det er observert at LED-belysning førte til endring i morfologi hos eføy, *Hedera helix*, med kompakt vekst og kortere avstand mellom bladfestene (nodiene). Det ble derfor utført et sammenligningsforsøk med tre ulike lyskilder som er vanlig å bruke i kontormiljø: LED, metallhalogen og lysrør. Hensikten med forsøket var å undersøke om planter i kontormiljø reagerer forskjellig på de tre lyskildene. Formålet med oppgaven var følgende:

1. Teste ulike lyskilder og deres effekt på plantevekst hos vanlige plantearter brukt i kontormiljø.
2. Måle fullstendig spekter og sammenligne lysnivå i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ og karakterisere de ulike lysspektrene.
3. Teste effekt av de ulike lyskildene på plantevekst ved å installere samme lysnivå ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).
4. Undersøke effekt av lyskvalitet på klorofyllinnhold og fotosynteseaktivitet i de forskjellige planteartene.

Lysspekter

I solens lysspekter (figur 1) er det flere bølgelengder vi mennesker ikke kan se og oppfatte, men som er veldig nyttig for plantene (Taiz et al 2010).



Figur 1.A. Solspekteret og absorpsjonsspekteret for klorofyll. Rød linje viser energien som treffer jordoverflata og grønn linje viser absorpsjonsspekteret av klorofyll. Lyset blir kraftig absorbert i den blå (rundt 430 nm) og røde (rundt 660 nm) delen av spekteret (Taiz et al 2010). Figur B viser det elektromagnetiske spekteret der korte bølgelengder (blå) er høyfrekventerte og lange bølgelengder er lavfrekventerte (rød) (Taiz et al 2010). (figurene er kopiert fra Taiz et al 2010).

Lysrespons hos planter

I kunstig belysning innendørs er spekteret det samme hele tiden fordi det vanligvis er lite naturlig lys. LED-belysning blir ofte brukt til dette fordi de er energibesparende, har lang holdbarhet og kan fås i mange varianter som gjør at lysspekteret kan «skreddersys» til hver enkelt forbruker. Som et eksempel kan rødt og blått lys brukes som tilleggsbelysning til høytrykksnatriumlamper (HPS) for å oppnå optimal plantevekst (Terfa et al 2013, Gautam et al 2015). HPS kan ikke brukes innendørs fordi det gir et «gult» lys og har en svært høy strålingsvarme. I kontormiljø er faktorer som utseende, tilpasning til interiøret og godt arbeidslys for de ansatte viktig.

Planter utsettes for forskjellige lyskilder innendørs og vekstforholdene kan variere. Plantene som brukes er tilpasningsdyktige tropiske planter, men veksten kan bli begrenset på grunn av lav fotosyntese. Arecapalmen (*Chrysalidocarpus lutescens*) er en kjent innendørsplante. Den ble satt under lave lysforhold innendørs ($20\ \mu\text{mol}\ m^{-2}\ s^{-1}$) i 3 måneder, men den klarte ikke å tilpasse seg (Reyes et al 1996). Mange planter under slike lysforhold lever på grensen av det som er mulig for dem, fotosyntesen er ved et minimum og fotosyntesemålinger kan være vanskelig å utføre. Hvis plantene i tillegg får endring i temperatur og for mye vann har de lett for å dø.

Spektrene og ulike sammensetninger av bølgelengder påvirker plantene på forskjellige måter. Planter oppfatter endringer i lysspekteret gjennom en rekke fotoreseptorer (Goto 2003). Fotoreseptorene deles inn i fytokromer, kryptokromer og fototropiner (Smith 2000). Signalene som oppfattes av fytokromene kan gi endringer i plantenes indre og ytre form. Som regel er det mange fotoreseptorer som virker samtidig og de har overlappende funksjon (Goto 2003). Fytokromer i plantene registrerer rødt (600-700 nm) og mørkerødt lys (700-800 nm). Det er forholdet mellom rødt og mørkerødt lys (R:MR) som påvirker responsen fra de forskjellige fytokromene. R:MR-forholdet får man ved å dele ti bølgelengder i det røde området på ti bølgelengder i det mørkerøde området (ved 660/730 nanometer) (Taiz et al 2010). Den absorberende formen av rødt lys-fytokromet kalles F_R og den absorberende formen av mørkerødt lys-fytokromet kalles F_{MR} (Lambers et al 2008). Hvis en plante utsettes for rødt lys omdannes F_R til F_{MR} . Dette er den fysiologiske aktive formen av fytokrom og kan blant annet sette i gang spiring av lysavhengige frø. Hvis man belyser med F_{MR} vil den lysavhengige reaksjonen utebli. Sollys har samme effekt som rødt lys (Lambers et al 2008). Når lyset går gjennom bladverket på en plante vil det røde lyset absorberes mer enn det mørkerøde. Skogbunnen har derfor mer mørkerødt lys enn åpne sletter. Skygge gir et lavt R:MR-forhold, som vil si at det er lite rødt og mye mørkerødt i spekteret. Responser på rødt lys (høyt R:MR-forhold) kan være hemmet strekningsvekst, økt forgreining, sterkere bladfarge, økt klorofyllinnhold, forandring i bladfasong og redusert knoppfall. (Moe & Heins et al 1990, Islam et al 2014). Høyt innhold av mørkerødt lys i spekteret (lavt R:MR-forhold) kan også gi forandring i bladfasong, men de kan ellers gi motsatte effekter av høyt R:MR-forhold (Moe & Heins et al 1990, Islam et al 2014).

Man trodde lenge at grønt lys ikke var viktig for fotosyntesen, men nyere forskning har motbevist dette. Tilførsel av grønt lys ga økt biomassen og forbedret veksten på planter dyrket i veksthus (Kim et al 2004, Terashima et al 2009). Når planter får tilført sterkt hvitt lys kan grønt lys øke fotosyntesen fordi det kan trenge lenger inn i bladet enn blått eller rødt lys (Terashima et al 2009). I noen tilfeller har over 70 % av det grønne lyset i spekteret blitt brukt til fotosyntese (Terashima et al 2009).

Blått lys-reseptorer er kryptokromer (390-500 nm) og UV-A-absorberende reseptorer (320-400 nm). Både klorofyll og fytokromer absorberer det blå lyset i den ultrafiolette regionen fra 250 – 400 nm (Taiz et al 2010). Blått lys kan påvirke åpning av spalteåpningene, strekningsvekst og fremme blomstring (Gautam et al 2014).

UVB registreres av en nylig identifisert fotoreseptor UVR8 (280-320 nm). UV kan for noen planter føre til redusert fotosyntese, bladene skades og krøller seg og veksten reduseres (Lambers et al 2008).

Skygge endrer både kvaliteten og sammensetningen av lysspekteret (Lambers et al 2008). Det finnes tre inndelinger av planter:

1. Planter som unngår skygge, obligate solplanter
2. Planter som tåler skygge, fakultative sol- eller skyggeplanter
3. Planter som vil ha skygge, obligate skyggeplanter (de fleste er fakultative)

Årsaken til skygge på plantene kan være i form av et lavt lysnivå eller et resultat av R:MR-forholdet (Lambers et al 2008). Planter som vokser i skyggen responderer ikke med økt apikal dominans, de bruker relativt mer av fotosyntesen på produksjon av større blader i stedet. Ofte er klorofyllkonsentrasjonen per enhet høyere enn hos planter som vokser under bedre lysforhold.

Klorofyll

Klorofyll er fotosyntetiske pigmenter som består av klorofyll a og klorofyll b (Raven et al. 2005). Klorofyll a er essensielt for fotosyntesen, mens klorofyll b er et tilleggs pigment som ikke er direkte involvert i fotosyntesen. Lyset som absorberes av klorofyll b blir til energi som overføres til klorofyll a. Klorofyll a omdanner dette til kjemisk energi gjennom fotosyntese. Klorofyll a/ b-forholdet sier noe om plantens lystilførsel og hvor mye lys en plante absorberer. Forskjellige sol- og skyggeplanter dyrket under lavt lysnivå ($50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) og med mye mørkerødt lys som tilsvarte skyggeforhold kan gi forskjeller i klorofyllinnhold (Murchie & Horton 1997). Solplanter fikk økt klorofyllinnhold som korrelerte med økt fotosyntesekapasitet. Obligate skyggeplanter viste lite tegn til akklimatisering (Murchie & Horton 1997). Planter som vokser i skygge får ofte en mørk grønn farge som skyldes økt klorofyllkonsentrasjon. Et eksempel på dette er *Hedera* spp. som opprinnelig vokser som undervegetasjon i tropiske regnskoger (Lambers et al 2008). Absorpsjonsspekteret for klorofyll a har en topp ved ca 435 og en ved 665 nm. Klorofyll b har en topp ved ca 465 og 640 nm (Mc Cree 1972).

Planter som benyttes i kontormiljø og antatte helsemessige fordeler

Plantene som blir brukt innendørs og i kontormiljø kommer som regel fra produsenter som dyrker store mengder av den samme arten. De blir ofte formert med topp- eller leddstiklinger

(Bævre & Gislerød 1999). Noen blir formert med frø, men det er også en del som blir formert med meristemkulturer (Slater et al. 2008). Enden av skudd som inneholder det apikale meristemet kan dyrkes *in vitro*. Dette gir en klon av planten man tar skuddet fra og plantene blir like ved produksjon. I tillegg får man et rensset og friskt plantemateriale.

Investering i planter og belysning kan være mer enn en utgiftspost for bedrifter. Langsiktig planlegging kan gjøre at en bedrift kan få investeringen tilbake i form av økt helse og trivsel hos de ansatte, noe som igjen kan øke arbeidsinnsatsen.

I 1989 fullførte NASA et omfattende studium av planter som skulle redusere forurenset luft innendørs (Wolverton et al 1989). På 70-tallet begynte man å bli bevisst på reduserte energikostnader, noe som førte til at nye bygninger ble for lufttette. Arbeiderne der fikk helseplager som hodepine og allergilignende reaksjoner, også kalt «sick building syndrome». NASA konkluderte med at skyggeplanter, sammen med et karbonfilter, hadde potensiale for å fjerne forurenset luft som førte til disse plagene. Det viste seg at jord og røtter var mest effektive til å omdanne forurenset luft.

I perioden fra 1995 til 1998 ble det gjort flere forsøk med planter og lysrør i forskjellige bedrifter og skoler (Fjeld 2000). Helseplager som blant annet hodepine og tretthet ble kartlagt før og etter forsøkene. Mange av symptomene ble redusert med 21 til 25 %, både der det kun var planter og der det var planter og lysrør.

Bringslimark et (2007) gjorde forsøk der de ville finne sammenhengen mellom planter og faktorer på arbeidsplassen. Etter undersøkelsen viste det seg at planter i nærheten av de ansatte hadde en liten, men statistisk pålitelig sammenheng med sykefravær. De ansatte mente at det var god sammenheng mellom planter nær arbeidsplassen og produktivitet.

Forskere har gjort omfattende forsøk i tre store bedrifter i England og Nederland (Nieuwenhuis et al 2014). Alle forsøkene ga indikasjoner om forbedrede arbeidsforhold der trivsel, luftkvalitet, konsentrasjon og arbeidsinnsats økte.

2. Materialer og metoder

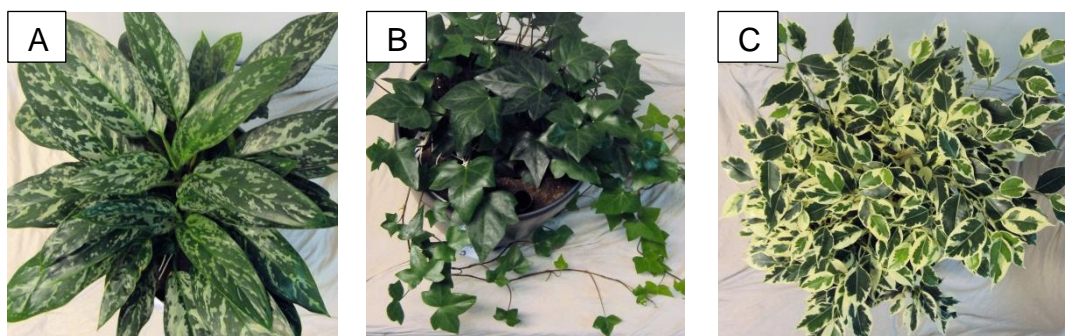
2.1. Plantemateriale

I dette forsøket ble det brukt 12 *Aglaonema commutatum* 'Dark Lady', 12 *Hedera helix* 'Montgomery' og 12 *Ficus benjamina* 'Golden King' (figur 2). Det ble også brukt 12 *Polyscias fruticosa* (Ming Aralia) som ble plantet på samme måte, men de ble fjernet underveis i forsøket på grunn av oljeskade i forbindelse med renhold av plantene.

Alle *H. helix* ble levert av Kjærnsrød Gartneri i Svinndal (Norge). De ble hentet 28.4. og plantet 1.5.15. Stiklinger (opprinnelig fra Belgia) blir brukt ved formering i veksthus hos Kjærnsrød Gartneri (pers. med. Anne Kari Moslått 15.4.16) De får ikke ekstra CO₂-tilførsel. Luftfuktigheten er på maksimum 80 %, men om sommeren kan den gå ned til 50 % uten at det er nødvendig å regulere dette. Temperatur på 17 – 18 °C gir raskest vekst, og stiklingene får røtter etter 2 uker ved denne temperaturen. I tillegg til sollys har de høytrykksnatriumlamper (HPS) som gir 6000 til 10000 lux (omtrent 70 - 120 μmol). Produksjon av en plante tar mellom 8-16 uker, og det brukes både lys og temperatur for å regulere veksten. Daglengden er minimum 12 timer, men økes til opptil 20 timer i døgnet for å få plantene til å vokse raskere. Næringstilførselen har ledetall 2 mS om vinteren og 1,5 om sommeren (økt vanning).

A. commutatum og *F. benjamina* kom fra Nieuwkoop Europe BV som ligger i De Kwakel i Nederland. Dette er et firma som importerer og eksporterer planter i hele verden. Kwekerij De Amstel de Kwakel BV ligger også i De Kwakel i Nederland og er et stort gartneri med produksjon av tropiske planter som de kun selger til grossister. De dyrker blant annet *A. commutatum* og *F. benjamina* som begge blir formert med stiklinger (pers. med. Hans, Kwekerij De Kwakel 14.4.16). *F. benjamina* blir i tillegg formert med meristem. Begge blir dyrket ved 19 °C, men varmen kan stige ved høye temperaturer ute. Luftfuktigheten er mellom 60 til 70 % og de får tilført 800 – 1000 ppm CO₂. *A. commutatum* får mye skygging under produksjon, mens *F. benjamina* står så lyst som mulig.

Plantene ble fraktet fra lager i De Kwakel fredag 24.4.15 og var på lager i Oslo mandag 27.4.15. De ble plantet inn 1.5.15 og fraktet til Ås.



Figur 2 viser de tre artene som er med i forsøket. Fra venstre: *Aglaonema commutatum* ‘Dark Lady’ (A), *Hedera helix* ‘Montgomery’ (B) og *Ficus benjamina* ‘Golden King’ (C).

2.2. Oppstart og gjennomføring av forsøk

1. mai 2015 ble plantene plantet i 36 tette pottes (Lechuza) på 34 cm Ø. I hver potte ble det satt et vanningsrør med netting tapet fast i enden (figur 3A). Røret ble satt helt i bunnen, inntil potttekanten. Nettingen hindrer leca i å komme inn i røret. Deretter ble det lagt et ca 10 cm tykt lag med leca (ca 4 liter) og dekket med filt (35 x 35 cm). Det ble klippet et snitt i det ene hjørnet av filten og de to endene ble lagt tett rundt røret for at jorden ikke skulle blande seg med dreneringen av leca i bunnen (figur 3B). Røret ble midlertidig tettet med papir for at det ikke skulle komme inn jord under innplantingen. Jordsekkene hadde litt kompakt jord og måtte «masseres» før bruk. Det ble lagt et jordlag oppå filten og deretter ble plantene plantet (ca 20 l jord per plante). Røttene ble rufset litt opp slik at de lettere kunne vokse i den nye jorden. Hvis røttene vokser i sirkel vil de ikke utvikle seg normalt og plantene kan få redusert vekst. Hver plante ble plantet med toppen av rotklumpen i høyde med det øverste jordlaget slik at rothalsen på plantene ikke fikk for mye ekstra jord rundt seg. Jorden ble trykket lett inntil røttene for god kontakt mellom røttene og den nye jorden. Alle plantene fikk merkelapper med navn, nummer og hvilken lysbehandling de fikk (figur 3C).



Figur 3. Materialer til innplantingen. Plastrør til påfylling av vann, med netting som ble tapet fast i enden (A). Rørene ble satt med denne enden ned i bunnen av pottene der leca ble brukt som drenering, filt ble lagt oppå og deretter jord og plante (B). Etter innplanting ble plantene plassert i tre kammer med ulike lyskilder (C).

Det ble brukt P-jord produsert hos Tjerbo i Rakkestad (Norge). Den inneholdt sphagnumtorv, sand, kalksteinsmel/dolomittmel og mulitmix med mikronæring. N-innholdet var 950 mg/L, K-innholdet (kalium, K-CAT) var 220 mg/L og P-innholdet (fosfor, P-CAT) var 40 mg/L. Surhetsgraden var pH 5,5-6,5 og ledetallet (elektrisk konduktivitet) var på 30 mS/m. For å finne ledetallet i mS/cm brukes, i følge Norsk Landbruksrådgivning, en omregningsfaktor på 14. Dette vil si et ledetall på 2,14 mS/cm (30:14). Det ble ikke tilført ekstra gjødsel gjennom

forsøksperioden fordi jorden inneholder mye næring. Når i tillegg plantene forbruker lite vann og de står i et lukket system uten avrenning reduseres næringsbehovet.

Plantene ble fordelt i tre kammer på $6,5 \text{ m}^3$ (Conviroon, Canada) med fire eksemplarer av hver art, til sammen 12 planter per kammer.

2.3. Lysbehandlingene

Det ble montert 10 mm tykke, hvite MDF-plater i taket i hvert kammer for å kunne feste lampene.

I kammer 1 sto plantene under lysrør (F28/T5/11 49 mm, modell 28T540B fra OttLite Technologies, USA) på 28 W. Det ble montert 3 hengende armaturer (l:130 cm x b:16 cm x h:5,5 cm) med til sammen 6 lysrør.

I kammer 2 ble det montert 3 metallhalogenpærer (Metallhalogen Mastercolour CDM-R111 70W/830 fra Philips) på 70 W. Det ble montert to lag med polykarbonatplater (34x34 cm) under hver pære for å få lik spredning av lyset som i de to andre kamrene. Platene ble festet med ståltråd til taket med en avstand på 27 cm. På denne ble det lagt to mindre biter polykarbonat (12x12 cm) og et lag med netting (20x20 cm).

I kammer 3 ble det montert 8 LED (light emitting diodes)-pærer (Master LED spot LV 15/75 AR111 24D fra Philips) på 15 W. Armaturene som ble brukt i kammer 2 og 3 var like (Qana 1DR Aluminium, 17 cm Ø).

I tillegg til å ha riktig antall pærer i de forskjellige kamrene ble også avstanden mellom plantene og lyskildene regulert for å finjustere lysstyrken til samme nivå målt i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i alle kammer. Til dette ble det brukt en kvantesensor koblet til et LI-250 Light Meter.

Lysrørene var montert 117 cm, metallhalogen 199 cm og LED 189 cm fra gulvet. Dette ga omtrent 20 til 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ lys på de forskjellige plantene utfra hvor høye de var.

Lysperioden var 14 timer pr døgn fra 9.00 om morgenen til 23.00 om kvelden. Det var 4 dører i hvert kammer og det ble laget dørstoppere slik at dørene sto på gløtt for at lufta kunne sirkulerer igjennom. Rundt hver potte ble gulvet merket med blyant og det ble også laget et merke på hvilken side vanningsrøret var. Dette gjorde at når plantene ble tatt ut til de forskjellige målingene kunne de settes tilbake nøyaktig der de sto slik at de fikk samme lysnivå etter måling.

2.3.1. Lysspekter

Lysspekteret i de tre forskjellige lyskildene ble målt ved slutten av forsøket med OL756 Spectroradiometer (Optronic Laboratory, Orlando, FL). Spektrometeret ble satt opp mellom kamrene for å måle spekteret inne i hvert kammer (figur 4A).



Figur 4. Lysspekteret ble målt under de forskjellige lyskildene i hvert kammer med OL756 Spectroradiometer (A og B). Sensoren som måler lysspekteret ble festet til et stativ for å ta sammenlignbare målinger (C).

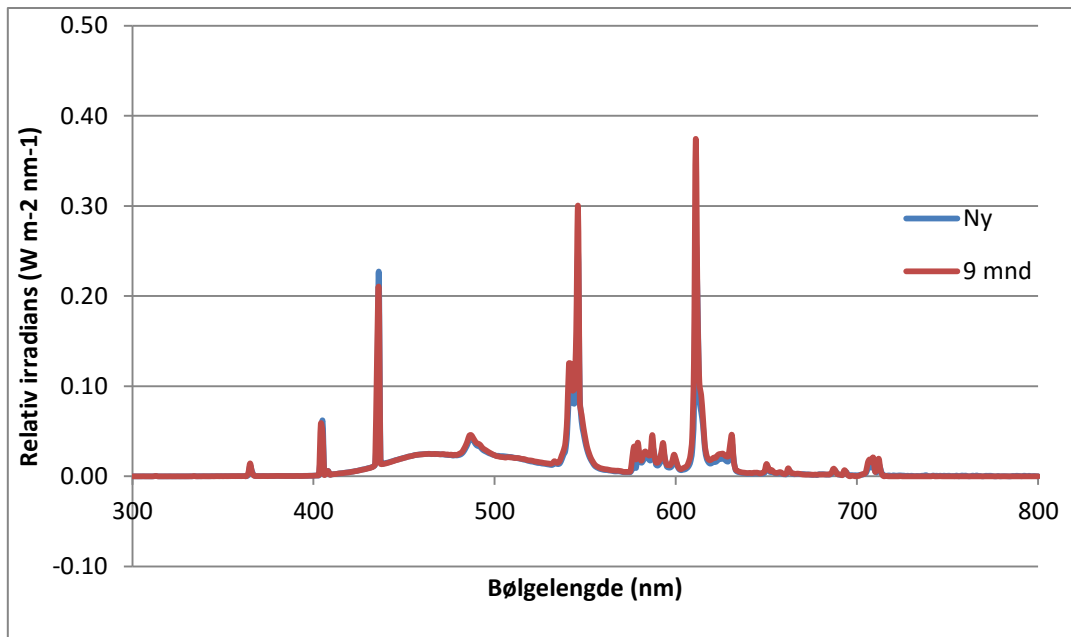
Den integrerende kula som mottar lyset ble skrudd fast til et stativ for å få riktig høyde (figur 4B og C). Det ble målt spekter på nye pærer, brukte pærer og på metallhalogen både med og uten polykarbonatplate (tabell 2). Spektrometeret ble senere satt opp i et annet rom for å måle spekteret igjen, både i nye og brukte lyskilder og metallhalogen med og uten polykarbonat og netting.

Alle spektrene ble normalisert ved 500 nm slik at dette punktet er tilpasset og på samme sted for målinger av nye og brukte lyskilder. Målingene ble gjort i $\text{W m}^{-2}\text{nm}^{-1}$. Watt og μmol ble regnet ut fra ett spekter i hver lyskilde (tabell 11). Hvis lysspekteret endres over tid kan det påvirke forholdet mellom rødt (R) og mørkerødt lys (MR) i spekteret.

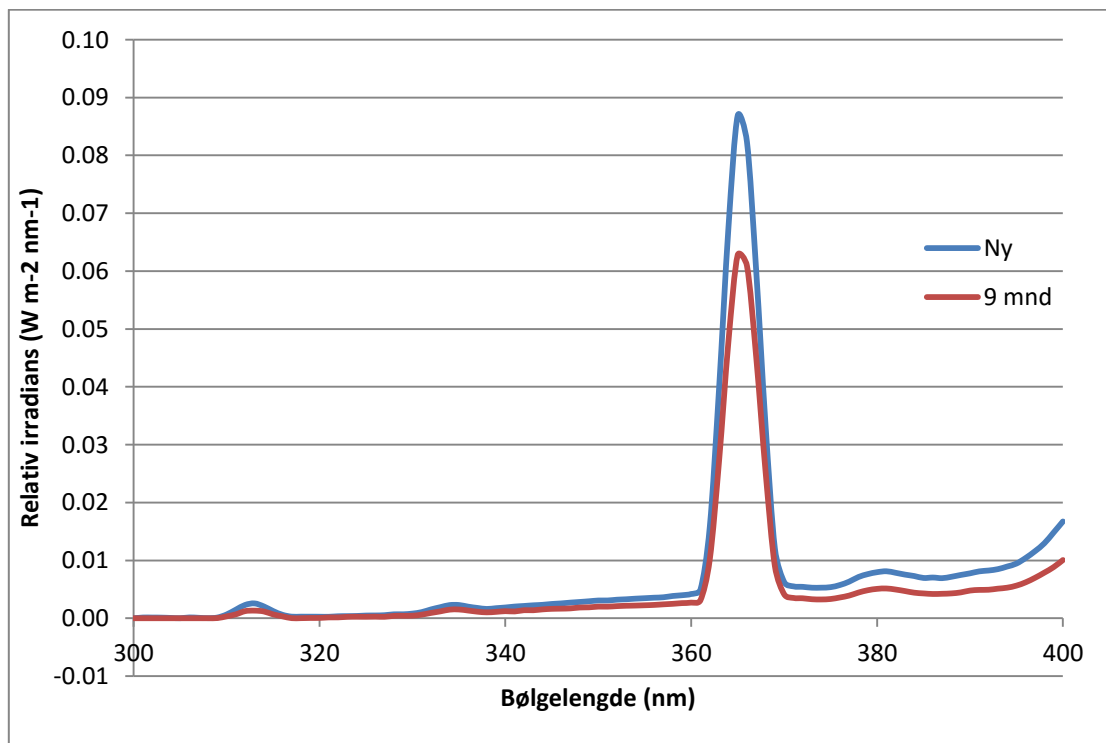
Lysrør

Spektrene fra de ulike lyskildene fra forsøket ble målt som irradians per nm ($\text{W m}^{-2}\text{nm}^{-1}$).

Prosent irradians ($\% \text{W m}^{-2}$) for de forskjellige spektrene ble regnet ut (tabell 2). Det ble også utregnet verdier for nye og eldre lyskilder (3 år+).



Figur 5. Lysspekter i nytt lysrør (blå linje) og lysrør brukt i forsøket (rød linje) ble målt i $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ med OL756 Spectroradiometer fra 300 – 800 nm.

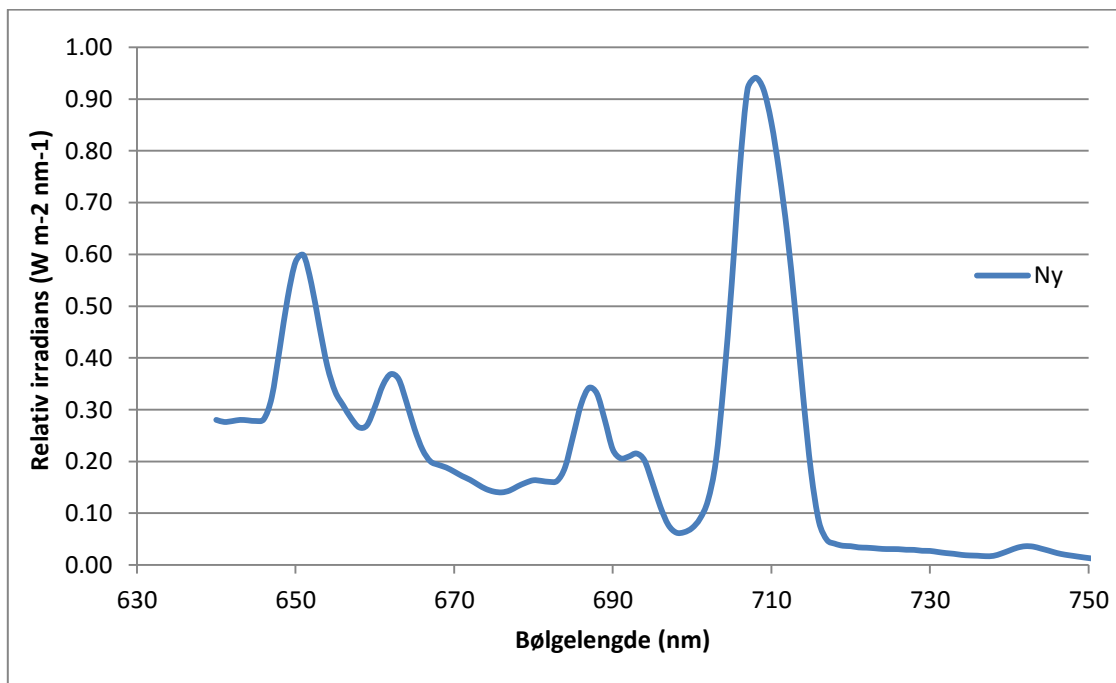


Figur 6. UV-delen av lysspekteret fra 300 – 400 nm i lysrør (blå linje) og lysrør brukt i 9 måneder (rød linje) målt i $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ med OL756 Spectroradiometer.

Nytt lysrør hadde en liten topp i UVB (figur 6). Resten av spekteret hadde 36 % blått lys (W m^{-2}), 41 % grønt, 24 % rødt og 2,4 % mørkerødt lys (tabell 2, figur 5). Det var små endringer i lysrørsspekteret etter 9 måneders bruk (figur 5, rød linje). Det blå lyset ble redusert med 3,2 % (W m^{-2}), det grønne lyset var uendret, det røde lyset økte med 2,5 % og det mørkerøde sank med 0,5 %.

Spekteret ble forstørret i UV-delen fra 300 – 400 nm (figur 6) og den røde/mørkerøde delen av spekteret fra 650 – 739 nm (figur 7).

Spaltevidden ble økt på spektroradiometeret for å måle deler av spekteret (figur 6 og 7). Dette ga bredere topper og økte følsomheten kraftig. UVA ble målt til 0,7 % (W m^{-2}) på nytt lysrør og 0,6 % på lysrør brukt i 9 måneder. Det er lite UV, men nok til at det kan påvirke planteveksten.



Figur 7. Lysspekter i nytt lysrør i det røde og mørkerøde området fra 650 – 739 nm, målt i $\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ med OL756 Spectroradiometer.

Det var mange topper i det røde spekteret som gjorde det vanskelig å måle et korrekt R:MR-forhold (figur 7).

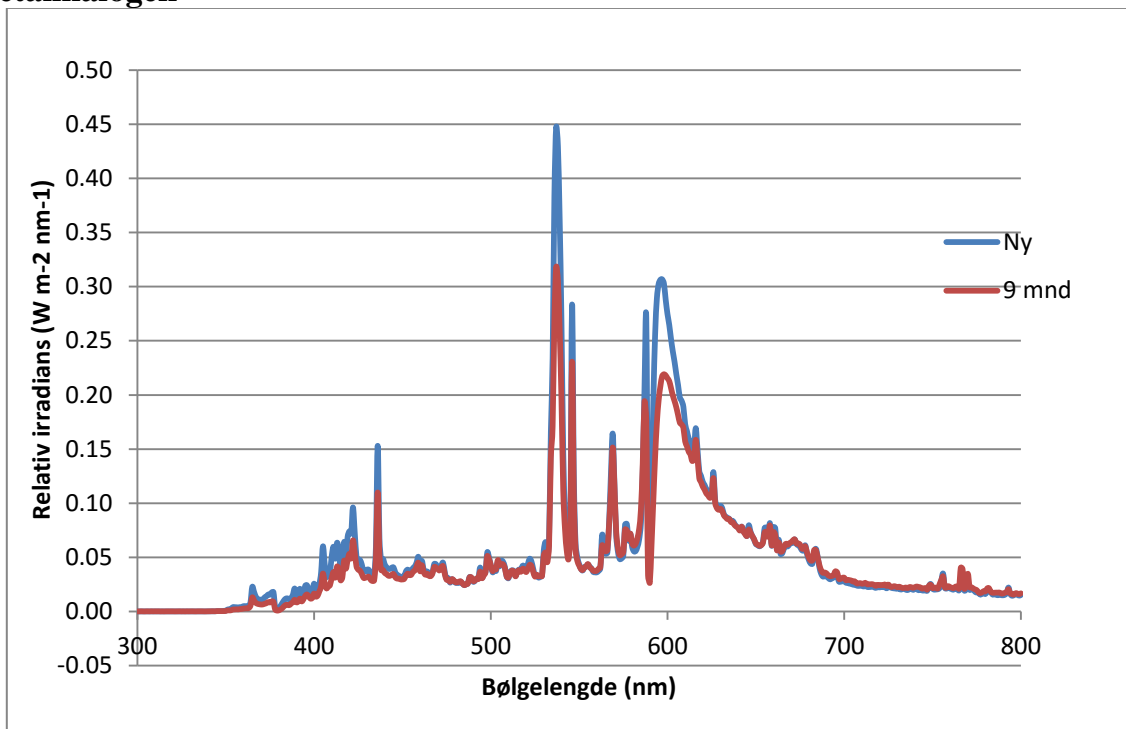
På brukte lysrør ble R:MR-forholdet regnet ut ved 660 nm ($0,19 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) og 730 nm ($0,80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) og målt til $4,21 \mu\text{mol} \mu\text{mol}^{-1}$ med verdier fra spektroradiometeret.

Håndmåleren, Skye 660/730 sensor (Skye Instruments Ltd, Llandrindod Wells, Powys, UK), viste $4,28 \mu\text{mol} \mu\text{mol}^{-1}$ (tabell 1). På grunn av toppene i spekteret ble spaltevidden økt for å få mest mulig nøyaktig resultat.

Gjennomsnitt av spekteret fra 650 - 669 nm delt på gjennomsnitt av spekteret fra 720 -739 nm viste et R:MR-forhold på $12,86 \text{ W W}^{-1}$ med spektroradiometer. På nye lysrør viste Skye-måleren $4,47 \mu\text{mol } \mu\text{mol}^{-1}$, og spektroradiometeret viste $12,94 \text{ W W}^{-1}$.

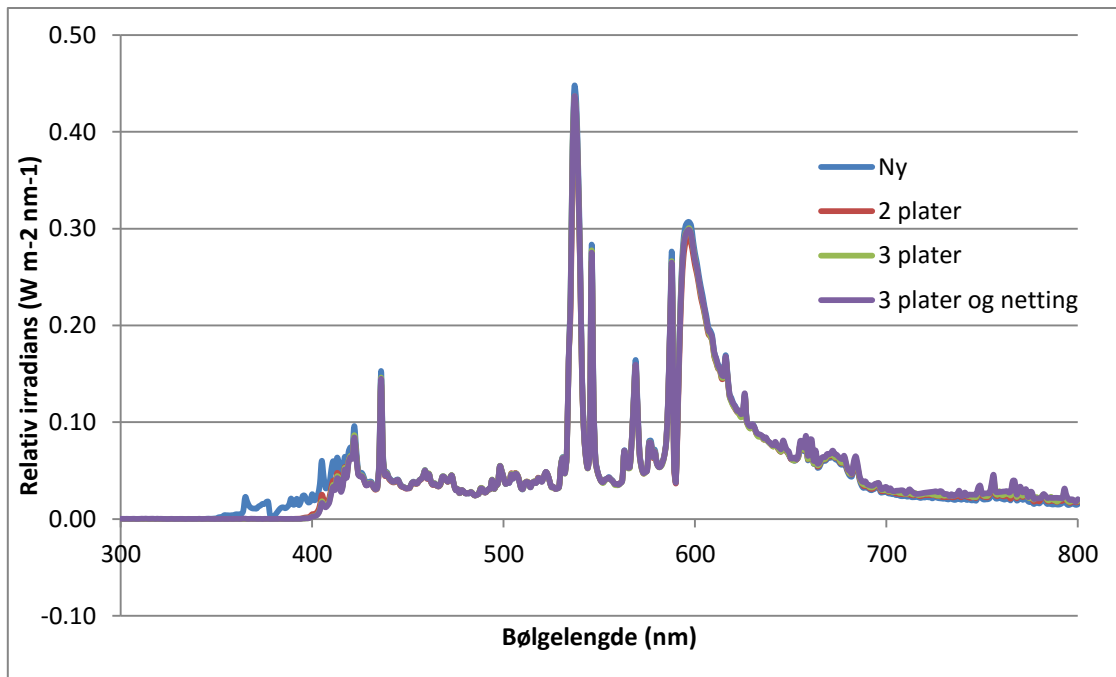
Det kan være vanskelig å sammenligne R:MR-forholdene der spektrene har mange små toppe som gir feil verdier til spektroradiometeret. Lysrør har en topp ved ca 710 nm som ikke kommer med når en beregner R:MR som $(650-669)/(720-739)$. Skye-sensoren registrerer delvis 710-toppen som 730 irradians og vil derfor vise mye lavere R:MR-verdier. På grunn av de store variasjonene i målingene ble R:MR-forholdet i denne og de andre lyskildene kun målt med Skye 660/730 sensoren (tabell 1).

Metallhalogen



Figur 8. Lysspekteret fra 300 – 800 nm i metallhalogen målt i $\text{W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$ med OL756 Spectroradiometer på ny pære (blå linje) og pære brukt i forsøket (rød linje).

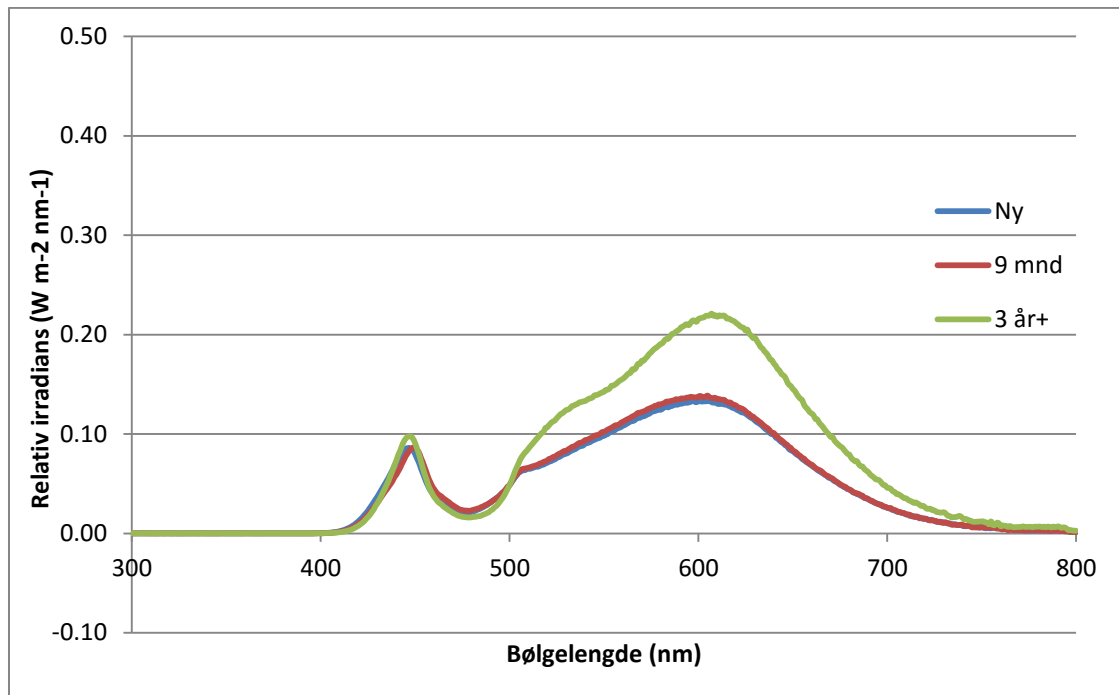
Det ble målt ny og brukt pære fra metallhalogenbelysningen (figur 8, blå og rød linje). Ny pære hadde 2,4 % UV-A (W m^{-2}) og etter 9 måneder ble dette redusert til 1,6 % (tabell 2). Resten av spekteret hadde 18 % blått lys (W m^{-2}), 43 % grønt, 39 % rødt og 9 % mørkerødt (tabell 2). Det blå lyset var relativt stabilt etter 9 måneder med en nedgang på 0,7 %. Det grønne lyset var uendret, det røde lyset økte med 3,4 % og det mørkerøde økte med 2,2 %.



Figur 9. Lysspekteret fra 300 – 800 nm i metallhalogenpære, målt i $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ med OL756 Spectroradiometer. Den nye metallhalogenpæren (blå linje) har litt UV, men polykarbonatplatene og nettingen som ble brukt for å spre lyset fjernet samtidig all UV (tabell 2). Dette vises fra 300 – 430 nm i spekteret (lilla, grønn og rød linje).

8.10.15 ble nettingen fjernet fordi lysnivået over plantene sank (figur 9). Senere ble det også fjernet 2 polykarbonplater av samme årsak. Lysnivået varierte mer i dette kammeret enn i de to andre (tabell 3). På tross av endringer i lysnivået var spekteret det samme (tabell 2). Polykarbonatplatene som ble brukt for å spre lyset fjernet samtidig all UV fra spekteret.

LED



Figur 10. Lysspekteret fra 300 – 800 nm i LED, målt i $\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$ med OL756 Spectroradiometer. Måling av ny pære (blå linje), pære brukt i forsøket (rød linje) og pære som hadde vært brukt i mer enn 3 år (grønn linje).

Det var en svak endring i spekteret for LED-pærer som var nye eller brukt i 9 måneder ved at spekteret ble litt forskjøvet etter normalisering ved 500 nm (figur 10). Det var ubetydelige mengder med UVB i ny pære med 0,01 % (W m^{-2}). Resten av spekteret hadde 16 % blått lys (W m^{-2}), 46 % grønt, 39 % rødt og 4 % mørkerødt lys (tabell 2). Det var små endringer i lysrørspekteret etter 9 måneders bruk. Det blå lyset ble knapt redusert med 0,5 % ($\text{W m}^{-2} \text{nm}^{-1}$), det grønne, det røde og det mørkerøde lyset var uendret.

Målingen av den gamle pæren (3 år+) viste at spekteret har endret seg og gitt relativ reduksjon av blått lys ved 460 nm og relativ økning i rødt lys ved rundt 600 nm (tabell 2, figur 10 grønn linje). Det må måles flere brukte pærer for å kunne si noe sikkert om hvordan LED-pærer endrer seg over tid.

Tabell 1. Rødt/mørkerødt (R:MR)-forholdet ble målt med en Skye 660/730-sensor (Skye Instruments Ltd, Llandrindod Wells, Powys, UK) koblet til et apparat som viste R:MR-forholdet målt i $\mu\text{mol } \mu\text{mol}^{-1}$.

Lyskilder	R:MR-forhold ($\mu\text{mol } \mu\text{mol}^{-1}$)
Lysrør, nytt	4,43
9 mnd	4,28
Metallhalogen, ny	3,15
9 mnd	3,03
LED, ny	6,71
9 mnd	6,80
3 år+	6,45

R:MR-forholdet ble målt i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ med en Skye 660/730-sensor for alle lyskildene i forsøket (tabell 1). Spekteret ble delt opp i UVB, UVA, blått, grønt, rødt og mørkerødt for å vise Watt per m^2 i prosent (tabell 2).

Tabell 2. Prosentvis innhold av de forskjellige lysspektrene i de tre lyskildene, lysrør, metallhalogen og LED, målt i Watt per m^2 .

Lyskilder	% UV-B (Wm^{-2}) 280-315 nm	% UV-A (Wm^{-2}) 315-400 nm	% Blått (Wm^{-2}) 400-500 nm	% Grønt (Wm^{-2}) 500-600 nm	% Rødt (Wm^{-2}) 600-700 nm	% Mørkerødt (Wm^{-2}) 700-800 nm
<u>Lysrør</u>						
Nytt	spor	0,71	35,79	40,54	23,67	2,36
9 mnd	spor	0,61	32,61	41,24	26,16	1,87
<u>Metallhalogen</u>						
Ny	-	2,44	17,93	43,14	38,92	8,95
9 mnd	-	1,60	17,19	40,47	42,34	11,17
m/2plater	-	0,07	16,80	43,09	40,10	10,51
m/3 plater+nett	-	0,07	16,26	43,12	40,61	11,80
<u>LED</u>						
Ny	-	0,01	15,75	45,55	38,70	3,99
9 mnd	-	0,01	15,29	46,11	38,60	3,89
3 år+	-	0,01	9,99	45,30	44,71	4,96

2.3.2. Lysnivå

Det ble brukt en Li-Cor kvantesensor koblet til et LI-250 Light Meter (LI-COR Inc, USA) en gang i måneden på hver plante for å måle lysnivå i $\mu\text{mol fotoner m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (figur 4C). Ved eventuelle endringer måtte lampene justeres for å gi like lysforhold gjennom hele forsøket. Sensoren ble holdt i toppen av hver plante ved hver måling. Ved sluttmålingen ble det i tillegg gjort målinger med en Li-Cor luxsensor koblet til et LI-250 Light Meter for å sammenligne irradians målt i $\mu\text{mol fotoner m}^{-2}\text{s}^{-1}$ og lux. Gjennomsnitt av lysnivåene ble utregnet.

Tabell 3. Gjennomsnitt av lysnivåene målt i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ hos *Ficus benjamina*, *Aglaonema commutatum* og *Hedera helix* (n=12).

Dato	Lysrør	Metallhalogen	LED
Gjennomsnitt, <i>F. benjamina</i>	26,3±1,6	29,4±2,5	32,6±1,9
Gjennomsnitt, <i>A. commutatum</i>	23,7±2,8	21,7±4,6	29,2±2,0
Gjennomsnitt, <i>H. helix</i>	28,9±0,7	23,4±5,4	27,8±2,1
Gjennomsnitt i hele kammeret	26,3±1,7	24,8±4,2	29,9±2,0

Lysnivåene ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) under lysrør og LED var stabile i forhold til lysnivået under metallhalogen som sank flere ganger slik at polykarbonplater og netting måtte fjernes for å opprettholde jevnt lysnivå.

2.3.3. Fotosyntese

Det ble gjort to fotosyntesemålinger med en infrarød gassanalysator (CIRAS-1, PP Systems, Norfolk, UK) med en PLC5B kuvette (PP Systems) (figur 11A). Den ene målingen ble gjort midtveis i forsøket og den andre ved slutten.

Det ble saget til to MDF-plater (39x62 cm) som kunne henges opp i taket i rommet ved siden av. I hver av disse ble det montert en armatur og satt inn en LED-pære i den ene platen og en metallhalogenpære i den andre. Disse ble brukt til målingene av fotosynteseaktivitet og lysresponskurver. En ekstra armatur med lysstoffrør ble brukt på samme måte.

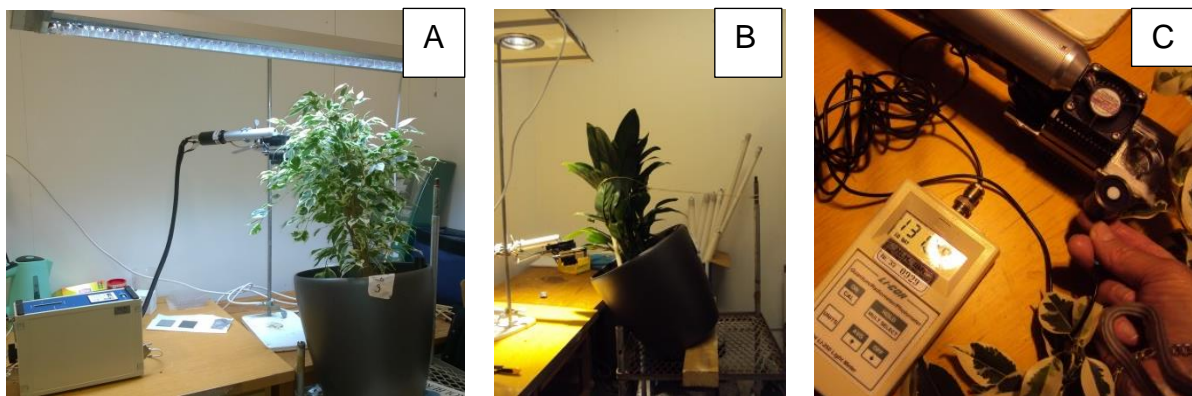
Fotosyntesen ble målt 5 ganger per plante ved synkende nivå av lys (irradians) fra 130 $\mu\text{mol fotoner m}^{-2} \text{s}^{-1}$ til 0. Det ble lagt gråfiltre av optisk glass (med transmisjon 50, 25 og 10 %) over kuvetten som reduserte lyset med 50 % av forrige lysnivå og dette ble gjort 3 ganger.

Ved siste måling ble det lagt på en bit med aluminiumsfolie som stengte lyset helt ute.

Målingene ble gjort ved en relativt stabil CO_2 -konsentrasjon på 400 ppm for alle målingene

og temperaturen var på omtrent 20 °C. Parametrene som ble målt og kalkulert var A: Fotosyntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) og E: Transpirasjon ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Bladene som ble målt var ikke de samme for hver måling og det ble målt ett blad pr plante. Hver plante ble flyttet fra kammeret og inn til rommet ved siden av der riktig lyskilde var montert i taket og gassanalysatoren var plassert på et bord. Noen planter måtte støttes opp for å få bladet som skulle måles i riktig posisjon i forhold til bladkuvetten. Noen måtte bindes sammen i toppen og for at de andre bladene ikke skulle skygge for lyset (figur 11B).



Figur 11. CIRAS måler fotosynteseaktivitet i plantene under lysrør (A). CIRAS-måling under metallhalogen og LED-lys gjorde at det måtte være lenger avstand fra lampe til kuvette for å få 130 μmol i lysstyrke. Noen planter måtte derfor støttes opp og bindes opp for å kunne måles korrekt (B). LI-250 lysmåler ble brukt for å sjekke lysnivå (C).

For å korrigere for unøyaktig nullstilling ble det med jevne mellomrom målt CO_2 -opptak med tom kuvette. Noen ganger ble det minusverdier og da måtte dette tallet legges til målingene som ble gjort. For eksempel ved -0,9 ved kalibrert kuvette måtte det legges til 0,9 på hver av målingene etterpå for å få riktig resultat. For å kontrollere at lyssensoren i kuvetten målte korrekt lysnivå ble det brukt en en LI-COR kvantesensor koblet til et LI-250 Light Meter (LI-COR Inc, USA). (figur 11C). Det tok en halv til en time å gjøre ferdig målingene for en plante fordi analysatoren ikke så lett stabiliserte seg og enkelte målinger ble avbrutt på grunn av at gassanalysatoren utførte automatisk kalibrering.

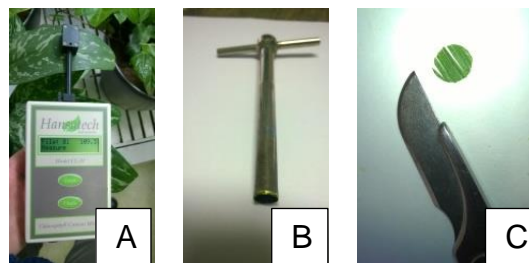
2.3.4. Klorofyll

Håndmåler:

Det ble gjort to klorofyllmålinger med håndmåler Hansatech CL-01 Chlorophyll Content Meter (Hansatech Instruments Ltd, England) som på figur 5A. Det ble målt 5 punkter pr plante, men målingene ble ikke gjort på samme punkt 1. og 2. gang. Alle bladene var fullt utviklet og hadde vokst i fullt lys. Der bladene hadde flere farger ble de grønneste områdene valgt.

Spektrofotometer:

Det ble målt klorofyllinnhold med håndmåler Hansatech CL-01 Chlorophyll Content Meter (figur 12A) på to blader pr plante. Området der målingene ble gjort ble deretter skåret ut med korkbor (figur 12B).



Figur 12. Klorofyllmåling på *A. commutatum* med Hansatech CL-01 håndmåler (A). Korkbor ble brukt til å skjære ut bladprøver (B). Bladprøvene fra *F. benjamina* måtte skjæres opp for at klorofyllet skulle løse seg opp (C).

Dette ga to runde bladskiver på $0,5 \text{ cm}^2$ fra hver plante som ble totalt 72 prøver. Bladene det ble tatt prøver av ble valgt ut på følgende måte:

A. commutatum: det tredje fullt utviklede bladet i toppen.

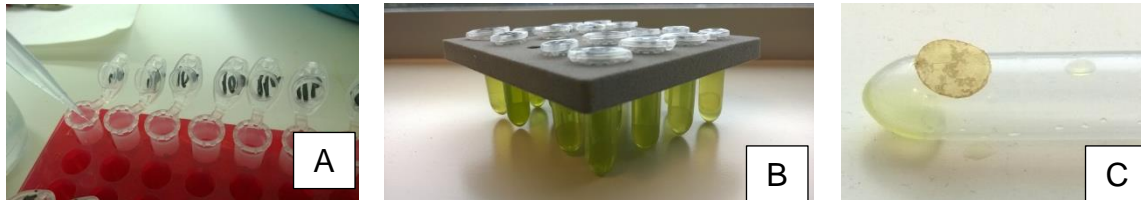
F. benjamina: et blad i toppen som var ungt, men ikke helt nytt.

H. helix: det 5. bladet fra beskjæringspunktet ved rota, ranke 1 og 2.

Alle bladene var fullt utviklet og hadde vokst ut under forsøksperioden i fullt lys.

En bladskive ble lagt over i hvert av 72 Eppendorfrør (figur 13A) og oppbevart kjølig. Etterpå ble de dekket med 1,5 ml MgCO_3 (magnesiumkarbonat)-mettet DMSO (dimetylsulfoksid) (figur 7A). MgCO_3 ble tilført løsningen for å holde løsningen alkalisk. Hvis løsningen blir sur fører det til degradering av klorofyllet. Deretter ble Eppendorfrørene satt i vannbad med ultralyd ved $60 \text{ }^\circ\text{C}$ (figur 7B). Det tok fra 30 til 60 minutter før prøvene var klare til analysering, avhengig av hvor lett klorofyllet løste seg fra bladprøven (figur 7C). Prøvene fra *F. benjamina* måtte skjæres opp i mindre biter for å få ut klorofyllet (figur 6C). Ca 1 ml fra hver enkelt prøve ble deretter pipettert over i en kuvette. Kuvetten ble satt inn i

spektrofotometeret (Shimadzu UV-2101PC Scanning Spectrofotometer, Texas) for å måle innhold av klorofyll a og klorofyll b. Prøvene ble dekket til med aluminiumsfolie for at klorofyllet ikke skulle degraderes av lyset i rommet.



Figur 13. Bladprøvene ble lagt i merkede Eppendorfrør og tilsatt DMSO-løsning (A). Alle prøvene sto 30 til 60 minutter i vannbad med ultralyd for å få ut klorofyllet (B). Bladprøven ble helt gjennomsiktig etter at den har vært i løsningen (C).

Absorbansen ble målt ved 649, 665 og 750 nm. A750 nm ble brukt som en korrigeringsfaktor hvis noen av løsningene var grumsete. Hvis absorbansen hadde oversteget 2 måtte løsningene fortynnes. Klorofyll a og b, målt i mg l^{-1} , ble utregnet med formlene som er beskrevet under (Welburn 1994).
 $\text{Chlorophyll } a = 12.19 \cdot (A_{665} - A_{750}) - 3.45 \cdot (A_{649} - A_{750})$
 $\text{Chlorophyll } b = 21.99 \cdot (A_{649} - A_{750}) - 5.32 \cdot (A_{665} - A_{750})$

2.4. Vekstmålinger

Høyde, lengde, antall blad

De første vekstmålingene ble gjort 21. mai 2015 og det ble gjort målinger 8 ganger i løpet av forsøksperioden for å sammenligne vekst og utvikling av plantene (tabell 4).



Figur 14. Alle *Ficus benjamina* (A) og *Hedera helix* (C) ble beskåret i starten (B), underveis og i slutten av forsøket. Ny vekst på *F. benjamina* ble målt to ganger etter beskjæring (C). Alle *H. helix* ble målt fra beskjæringspunktet (D) og til enden av skuddet. *H. helix*. Tre greiner med omtrent lik lengde ble merket med nummer 1, 2 og 3 (figur 14C) på hver plante ved starten av forsøket. De andre greinene ble klippet av. Det ble telt antall blad

(ferdig utviklet) og nye skudd. Lengden ble målt i cm med tommestokk. Greinene ble målt fra beskjæringspunktet (figur 14D) og til det ytterste skuddet.

F. benjamina. Alle ble beskåret ned til omtrent 50 cm ved start (figur 14A og B) for at høyden skulle bli mer lik de andre artene. Det ble målt høyde og plantens diameter på kryss og tvers i toppen (figur 15C) for å regne ut bladvolum hos hver plante.

Vekstmålingene på *H. helix* og *F. benjamina* er begge fordelt i to diagrammer i resultatdelen på grunn av beskjæring midt i perioden. Alle målingene ble brukt til å se om ny vekst endret seg under de forskjellige lyskildene.



Figur 15. Høyden på *Aglaonema commutatum* ble målt til punktet der blyanten peker (A) og alle blomstene som kom ble fjernet for at den heller skulle produsere flere blader (B). På *Ficus benjamina* ble det målt høyde og diameter for å finne volumet av hver plante fordi bladene var for mange og små til å telles (C).

A. commutatum. Høyden ble målt opp til punktet før selve bladet, som blyanten viser på figur 15A. Blader, nye skudd og blomster ble telt. Alle blomstene ble jevnlig fjernet for at plantene skulle bruke energi på å produsere blader i stedet (figur 15B).

Alle plantene og røttene ble fotografert i starten og slutten av forsøket.

Tabell 4. Datoer for registrering av de forskjellige målingene på *Aglaonema commutatum*, *Hedera helix* og *Ficus benjamina* under lysrør i kammer 1, metallhalogen i kammer 2 og LED i kammer 3.

Dato	<i>Aglaonema commutatum</i> 'Green Lady'	<i>Hedera helix</i> 'Montgomery'	<i>Ficus benjamina</i> 'Golden King'
04.05.15			Klippet plantene i toppen for å tilpasse størrelsen til de andre plantene
05.05.15	Klorofyllmåling for hånd	Klorofyllmåling for hånd	Klorofyllmåling for hånd
12.05.15		Klippet ned plantene for å ha kun 3 greiner som skulle måles gjennom forsøket	
21.05.15	Målte høyde, telte blad, nye skudd og blomster	Målte lengde på tre greiner, telte blad og nye skudd	Målte høyde og diameter i kryss i toppen
04.06.15			Telte nye skudd etter beskjæring på alle plantene
02.07.15	Målte høyde, telte blad, nye skudd og blomster	Målte lengde på tre greiner, telte blad og nye skudd	Målte høyde og diameter i kryss i toppen. Telte nye skudd etter beskjæring på alle plantene.
29.07.15	Målte høyde, telte blad, nye skudd og blomster	Målte lengde på tre greiner, telte blad og nye skudd	Målte høyde og diameter i kryss i toppen
31.08.15	Målte høyde, telte blad, nye skudd og blomster	Målte lengde på tre greiner, telte blad og nye skudd	Målte høyde og diameter i kryss i toppen
16.09.15	Fotosyntesemålinger med CIRAS	Fotosyntesemålinger med CIRAS	Fotosyntesemålinger med CIRAS
08.10.15	Målte høyde, telte blad,	Målte lengde på tre	Målte høyde og diameter i

	nye skudd og blomster	greiner, telte blad og nye skudd. Fjernet netting under pærene.	kryss i toppen
09.10.15 og 27.10.15		Beskjæring pga lengde. 3 nye greiner ble merket og målt fram til slutten av forsøket. Greinene ble tørket og veid.	Beskjæring pga lengde. Ble klippet ned til samme sted som ved start. Greinene ble tørket og veid.
01.12.15	Målte høyde, telte blad, nye skudd og blomster	Målte lengde på tre greiner, telte blad og nye skudd	Målte høyde og diameter i kryss i toppen
03.01.16	Målte høyde, telte blad, nye skudd og blomster	Målte lengde på tre greiner, telte blad og nye skudd	Målte høyde og diameter i kryss i toppen
01.02.16	Målte høyde, telte blad, nye skudd og blomster	Målte lengde på tre greiner, telte blad og nye skudd	Målte høyde og diameter i kryss i toppen
26.01.16	Klorofyllmåling for hånd. Målte bladtemperatur og lys.	Klorofyllmåling for hånd. Målte bladtemperatur og lys.	Klorofyllmåling for hånd. Målte bladtemperatur og lys.
27.01.16	Målte lysspekter i hvert kammer	Målte lysspekter i hvert kammer	Målte lysspekter i hvert kammer
10.02.16 og 24.2.16		Beskjæring av de tre merkede greinene. Bladareal ble målt. Bladene ble telt, tørket og veid.	
11.02.16	Fotosyntesemålinger med CIRAS.	Fotosyntesemålinger med CIRAS.	Fotosyntesemålinger med CIRAS.
22.2.16	Fotografering av planter og røtter	Fotografering av planter og røtter	Fotografering av planter og røtter
18.4.16	Målte alle lysspekter i hver lyskilde på nytt	Målte alle lysspekter i hver lyskilde på nytt	Målte alle lysspekter i hver lyskilde på nytt

Gjennom hele forsøket ble det registrert målinger av vekst, fotosyntese og klorofyllinnhold (tabell 4). Det ble utført flere beskjæringer på grunn av god plantevekst. Lysspekter i alle lyskildene måtte måles på nytt etter at forsøket var avsluttet på grunn av mangler i de første målingene.

Bladareal og tørrvekt

Alt plantematerialet som ble klippet av *F. benjamina* og *H. helix* 9.10.15 ble tørket i tørkeskap ved 62 °C og veid etter tre dager.

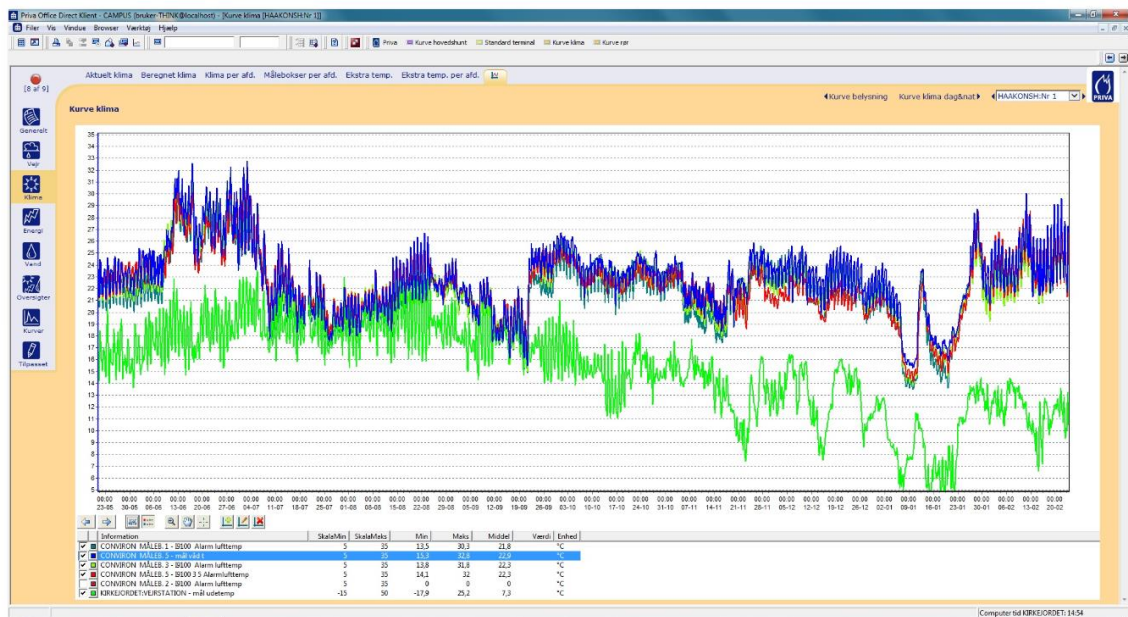
Ved slutten av forsøket (10.2.16) ble grein 1, 2 og 3 på alle *H. helix* klippet igjen. Denne gangen ble kun bladene høstet og bladarealet ble målt med LI-3100 Area meter (LI-COR Inc, USA). Antall blader per plante ble telt og tørrvekten bestemt.

2.5. Temperatur

Plantene ble målt med en bladtemperaturmåler (°C) i slutten av forsøket med IR-sensor HD-9016 (Delta Ohm, Italia). Gjennomsnittet ble utregnet ved slutten av forsøket (tabell 5).

Tabell 5. Gjennomsnitt av bladtemperatur (°C) hos *Aglaonema commutatum*, *Ficus benjamina* og *Hedera helix* ved slutten av forsøket, 26.1.2016.

Plante	Lysstoffrør	Metallhalogen	LED
<i>Aglaonema commutatum</i>	22.9	22.9	22.9
<i>Ficus benjamina</i>	22.4	22.8	22.5
<i>Hedera helix</i>	22.3	22.5	22.1
Gjennomsnitt pr kammer	22.52	22.75	22.48



Figur 16. Den blå linjen er lufttemperaturen inne, utenfor kamrene, og grønn linje er ute. Høyeste temperatur inne var 32,8 °C i juni og laveste temperatur var i januar med 15,3 °C. Gjennomsnittstemperaturen for forsøket var 22,9 °C. Målingene er gjort med en Priva klimakomputer (Priva Group, De Lier, Nederland).

Priva klimakomputer har autonome måleinn ganger som mottar og registrerer dataene uten å bruke dem til styring (figur 16). Den blå linjen er temperaturen inne og den grønne linjen er ute. Det var en veldig varm periode i slutten av mai til midten av juli, med 32,8 °C som høyeste måling inne. Temperaturen inne følger temperaturen ute og i januar var det veldig kaldt, med 15,3 °C som laveste måling inne. Gjennomsnittstemperaturen var 22,9 °C. Alle temperaturmålingene ble gjort i rommet der kamrene var plassert, via sensorer i taket. Klimastyringen inne i kamrene var ødelagt og temperaturen i hvert kammer ble ikke målt. De fire dørene i hvert kammer var litt åpne så det er sannsynlig at temperaturen inne i kamrene var relativt lik temperaturen i rommet utenfor. Luftfuktigheten ble påvirket av vanning, dusjing og temperaturen inne og ute. Det ble ikke målt luftfuktighet gjennom forsøket, men den steg noe etter vanning og dusjing, og sank i de kalde periodene.

2.6. Skjøtsel

På startdatoen for forsøket, 21.5.15, ble plantene vannet for første gang etter planting tre uker tidligere. Plantene ble deretter sjekket hver 2. til 3. uke om de hadde behov for vann. For å kunne vurdere jordens fuktighet ble det stukket en jordpinne (66 cm) i bunnen av potten. Pinnen dreies en omgang og hakket i enden av pinnen tar med jord opp. Det er denne jorden

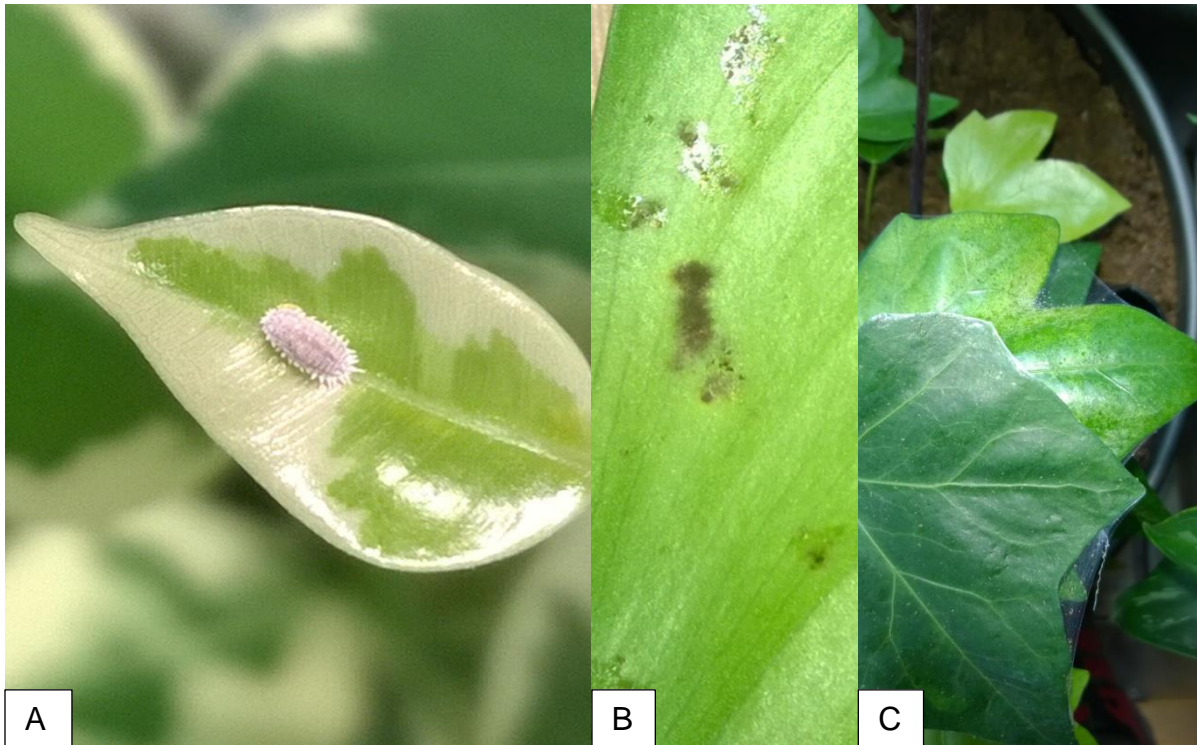
som kan si noe om fuktigheten rundt røttene, ikke det tørre jordlaget på toppen. Dette vises godt i figur 10B der en plante er løftet ut av potta.



Figur 17. Det kan være tørt på toppen av jordlaget, men allikevel er det god fuktighet nedover i jordlaget på *Aglaonema commutatum*.

Hvis plantene var tørre fikk de vann oppå jorden, og i tanken hvis de skulle ha mye vann.

Hvis plantene var fuktige fikk de ikke noe vann oppå jorden (figur 17), men i tanken hvis de skulle ha mye vann. Hvis plantene var våte fikk de ikke vann. All vanning ble ført inn i et skjema. Et omtrentlig og gjennomsnittlig vannforbruk ble regnet ut: *H. helix* 3 liter, *F. benjamina* 2,2 liter og *A. commutatum* 1 liter per plante per måned.



Figur 18. *Ficus benjamina* ble angrepet av ull-lus (A), *Aglaonema commutatum* fikk sopp på baksiden av noen blader (B) og *Hedera helix* fikk et kraftig angrep av spinnmidd (C).

Det ble bestemt på forhånd at hvis noen planter døde eller ble hardt angrepet av sykdommer, skadedyr eller virus ville de bli fjernet og erstattet med nye planter. I juli ble det registrert angrep av ull-lus på *F. benjamina* i kammer 2 (figur 18A), sopp på undersiden av noen blader på *A. commutatum* i kammer 3 (figur 18B) og spinnmidd på *H. helix* i alle kamrene (figur 18C). Det ble forsøkt å dusje med rødsprit og rapsolje og det ble satt ned Provado Insekt-pin (Bayer AS, Oslo) mot ullus. Spinnmiddden ble redusert, men ellers ingen effekt. Derimot bruk av en ny såpeblanding (1,2 dl grønnsåpe, 2 ss rødsprit, 2 ts bakepulver, 2 ss Zalo til 6 liter vann) ga resultater, og 13. januar 2016 så ull-lus og spinnmidd ut til å være bekjempet. Soppangrepet var det vanskelig å tyde utviklingen av.

Etter at ull-lus var registrert ble redskaper rengjort med sprit og kammer 2 ble målt og vannet til slutt for å unngå spredning. Plasthansker ble brukt i jorden på alle *F. benjamina* etter at Provadopinnene var satt ned. Det var ingen synlige rester av Provadopinnene i jorden ved slutten av forsøket.

Noe som lignet virus ble registrert på alle *H. helix* i desember (figur 19). To planter ble levert til Dag-Ragnar Blystad i NIBIO for analyse etter avsluttet forsøk.



Figur 19. Alle *Hedera helix* fikk viruslignende mønster på bladene.

Det ble fastslått at det ikke har blitt påvist virus hverken ved ELISA (screening test) for tospovirus, eller ved inokulering til testplanter (pers. med. Dag-Ragnar Blystad, 28.4.16). Limfeller ble hengt opp i hvert kammer ved starten av forsøket. Ved slutten av forsøket ble fangsten i fellene registrert.

2.7. Statistikk og databehandling

Resultater fra de forskjellige målingene ble registrert i excel regneark. Alle data ble sjekket for normalitet og lik varians og det ble det gjort en- og to-veis variansanalyser (ANOVA). Ved signifikante forskjeller ble en post hoc Tukey-test benyttet med R Commander, R version 3.2.1 (2015-06-18). Resultatene fra vekstmålingene ble sammenlignet i pivottabeller i regneprogrammet excel. Regresjonslinje for klorofyll ble regnet ut som en lineær regresjon i Sigmaplot. Det er kun de signifikante forskjellene som vil bli omtalt.

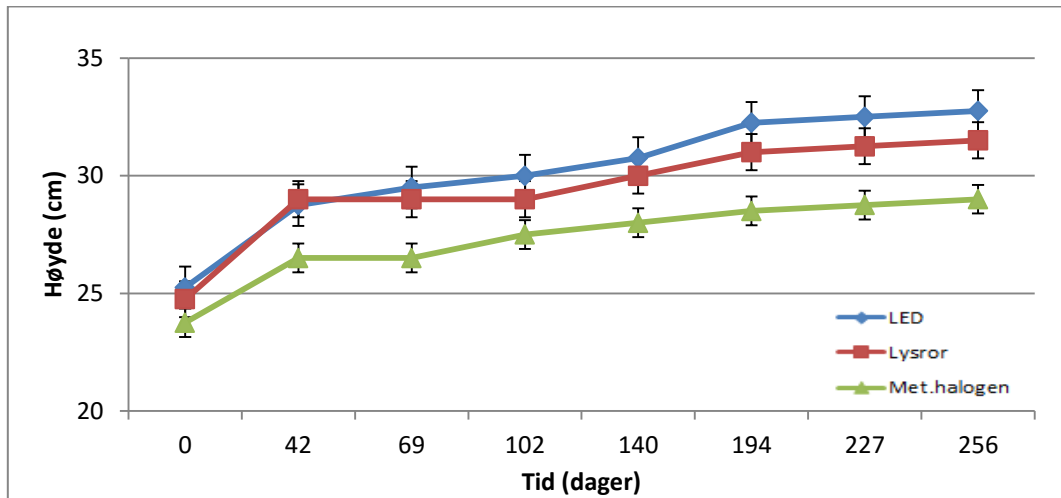
3. Resultater

3.1. Vekstmålinger

De aller fleste av målingene er registrert fra forsøkets første vekstmålinger 21.5.15 (dag 0), til forsøkets siste vekstmålinger 1.2.16 (dag 256). Plantene hadde da stått under respektive lyskilder i tre uker, fra 1.5.15, for akklimatisering.

Aglaonema commutatum 'Green Lady'

Høyde



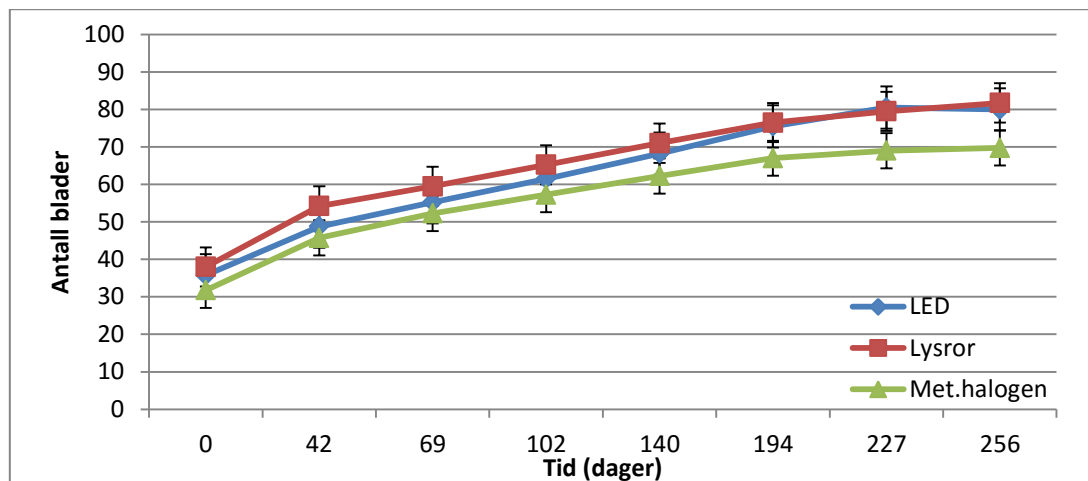
Figur 20. Effekt av lyskilde på høyde (cm) hos *Aglaonema commutatum* fra starten av forsøket (dag 0) til slutten av forsøket, dag 256. Målingene ble gjort på 3 planter under hver lyskilde (n=4). Høyden ble målt fra potttekanten til punkt på høyeste blad. Gjennomsnitt \pm standardfeil er vist.

Det ble målt høyde på alle *A. commutatum* fra dag 0 til dag 256 (figur 20). Ved dag 42 hadde plantene under både lysrør og LED-belysning en økning i høyde på 4 cm i gjennomsnitt, og plantene under metallhalogen ca 3 cm. Etter dag 69 var planter dyrket under LED-belysning høyest, planter eksponert for lysrør var tilnærmet lik LED-belysning mens planter dyrket under metallhalogen viste lavest vekstøkning. Denne trenden fortsatte gjennom resten av perioden.

Etter dag 256 hadde planter dyrket under LED-belysning vokst 8 cm mot planter dyrket under metallhalogen som hadde vokst 5 cm. Dette viste en signifikant forskjell i vekst ($p=0,008$).

Det var imidlertid ingen signifikant forskjell mellom planter dyrket under lysrør (7 cm vekstøkning) og LED-belysning (tabell 6). Alle plantene hadde økning i vekst gjennom hele perioden og det var ingen tegn til mistriivsel eller endret utseende under noen av de tre lyskildene.

Antall blader

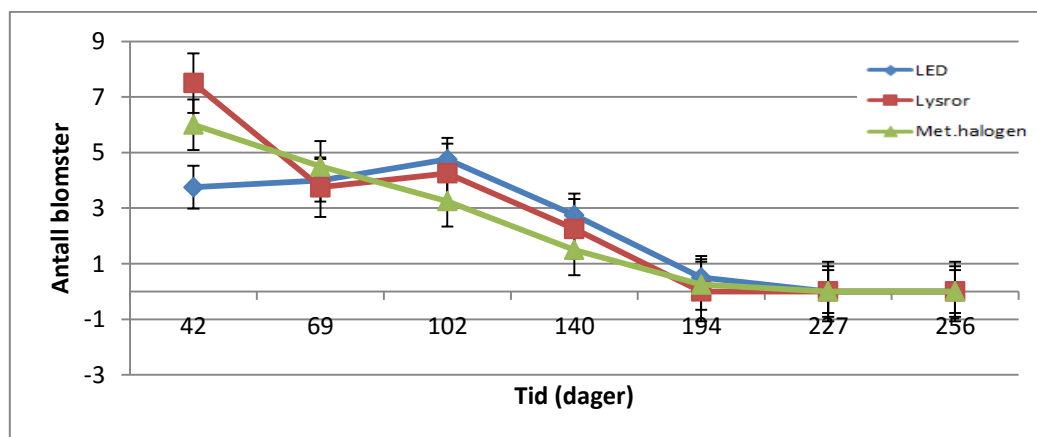


Figur 21. Effekt av lyskilde på antall blader hos *Aglaonema commutatum* registrert åtte ganger fra dag 0 til dag 256 (n=4). Gjennomsnitt ± standardfeil er vist.

Figur 21 gir en oversikt over gjennomsnittet av antall blader hos *A. Commutatum* under de tre forskjellige lyskildene fra dag 0 til dag 256. Ved dag 256 hadde plantene dyrket under LED-belysning og lysrør lik økning av gjennomsnittlig bladantall med 44 blader mot metallhalogen som hadde et økt gjennomsnitt av antall blader på 38 (Tabell 6). Det var ingen signifikante forskjeller ($p > 0,05$).

Antall skudd og blomster

Ved sluttmålingene (dag 256) hadde plantene under LED-belysningen høyest gjennomsnitt med 5 nye skudd per plante. Plantene under lysrør og metallhalogen hadde gjennomsnittlig 3 skudd per plante (tabell 6). Det var kun *A. commutatum* som blomstret i forsøket.



Figur 22. Effekt av lyskilde på antall blomster hos *Aglaonema commutatum* utviklet under en periode på 256 dager (n=4). Gjennomsnitt ± standardfeil er vist.

Alle blomstene ble registrert og deretter fjernet. Registreringen begynte etter at plantene hadde stått 42 dager under sine respektive lyskilder (figur 22). Ved dag 42 hadde lysrør et gjennomsnitt på nesten 8 blomster per plante mot LED som kun hadde i underkant av 4 blomster. Plantene under metallhalogen hadde 6 blomster per plante. Lysrør og LED-belysningen hadde en svak økning i blomstring etter måling dag 102, men den avtok etter dette for alle plantene, med raskest nedgang under metallhalogen. Ved de to siste målingene blomstret ingen av plantene. Totalt gjennom hele forsøket var det 71 blomster under lysrør, 62 blomster under metallhalogen og 63 blomster under LED-belysning (tabell 6).

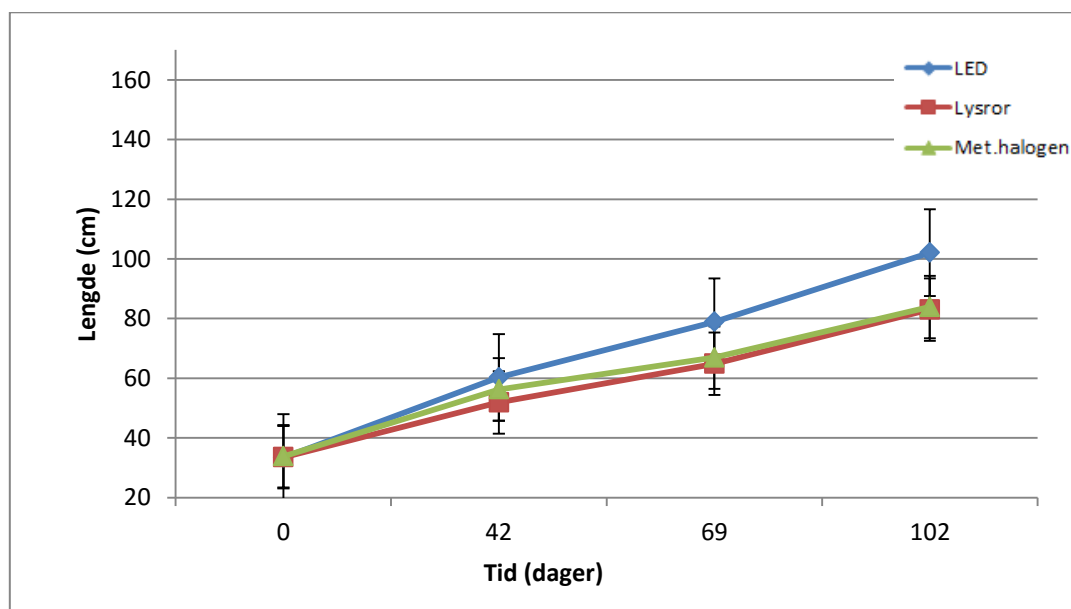
Tabell 6. Økning i vekst fra dag 0 til dag 256 hos *Aglaonema commutatum*.

Vekstparameter	Lysrør	Metallhalogen	LED
Økt høyde (cm)	7,0 ab	5,0 b	8,0 a*
Økt bladantall	44 a	38 a	44 a
Nye skudd, dag 256	3,0 a	3,0 a	5,0 a
Totalt antall blomster	71 a	62 a	63 a

* Ulik bokstav i samme linje indikerer signifikant forskjell på 0,5 % nivå.

Hedera helix 'Montgomery'

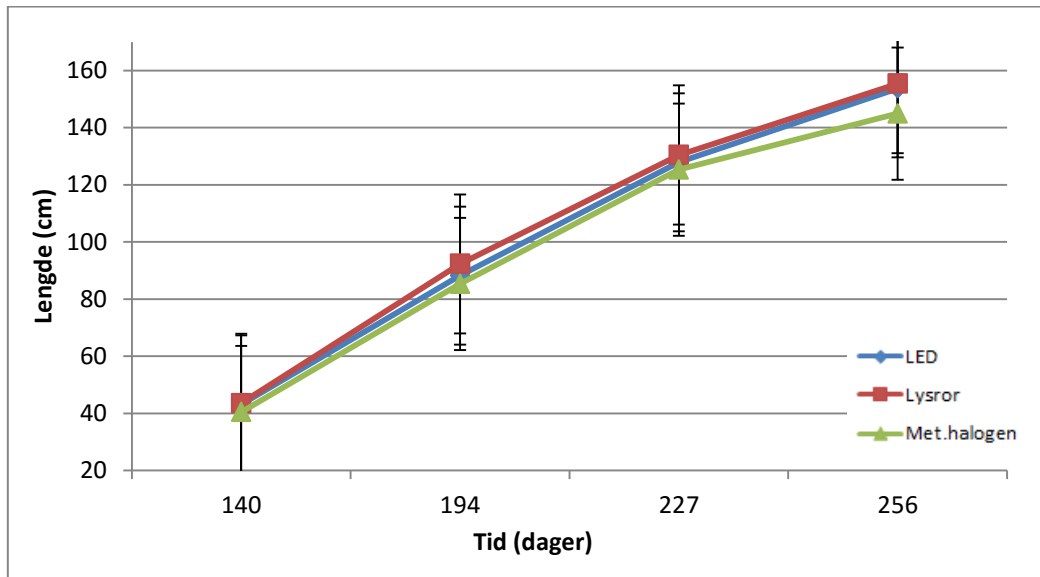
Lengde



Figur 23. Periode 1. Effekt av lyskilde på vekst (cm) hos *Hedera helix* fra dag 0 fram til beskjæring 1.10.15, etter dag 102. Tre greiner fra hver av plantene ble målt og gjennomsnittet ble utregnet (n=4). Lengden ble målt fra beskjæringspunkt ved basis til ytterste blad. Gjennomsnitt \pm standardfeil er vist.

H. helix ble beskåret 1.10.15, etter dag 102 (31.8.15) og 10.2.16, etter dag 256. Målingene er derfor delt inn i periode 1 og periode 2 (figur 23 og 24).

Periode 1 (figur 23) viser at ved dag 102 hadde gjennomsnittsvæksten økt under LED-belysning med 68 cm mot lysrør med 49 cm og metallhalogen med 47 cm (tabell 7). Det var imidlertid ingen signifikante forskjeller i vekstøkning ($p > 0,05$).



Figur 24. Periode 2. Effekt av lyskilde på vekst (cm) hos *Hedera helix* fra dag 140 fram til beskjæring 10.2.16, etter dag 256. Tre greiner fra hver av plantene ble målt og gjennomsnittet ble utregnet ($n=4$). Lengden ble målt fra beskjæringspunkt ved basis til ytterste blad. Gjennomsnitt \pm standardfeil er vist.

Periode 2 (figur 24) viser at ved sluttmålingene dag 256 hadde gjennomsnittslengden under både lysrør og LED-belysning økt med 11 cm mot 4 cm vekstøkning under metallhalogen (tabell 7). Det var ingen signifikante forskjeller i vekstøkning ($p > 0,05$).

Antall blader

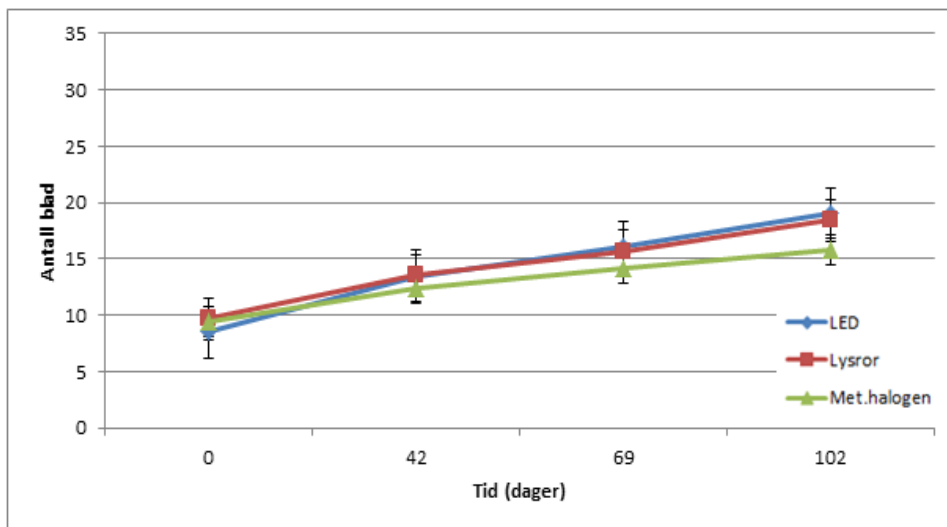
Antall blader ble registrert fire ganger, fra dag 0 -102, i periode 1 (figur 25, 1). Plantene ble beskåret og deretter ble det gjort tilsvarende fire målinger, fra dag 140 – 256, i periode 2 (figur 25, 2).

I periode 1 ved sluttmålingen (dag 102) hadde planter dyrket under LED-belysning høyest gjennomsnittlig økning i bladantall med 10 blader mot en økning på 4 blader hos planter

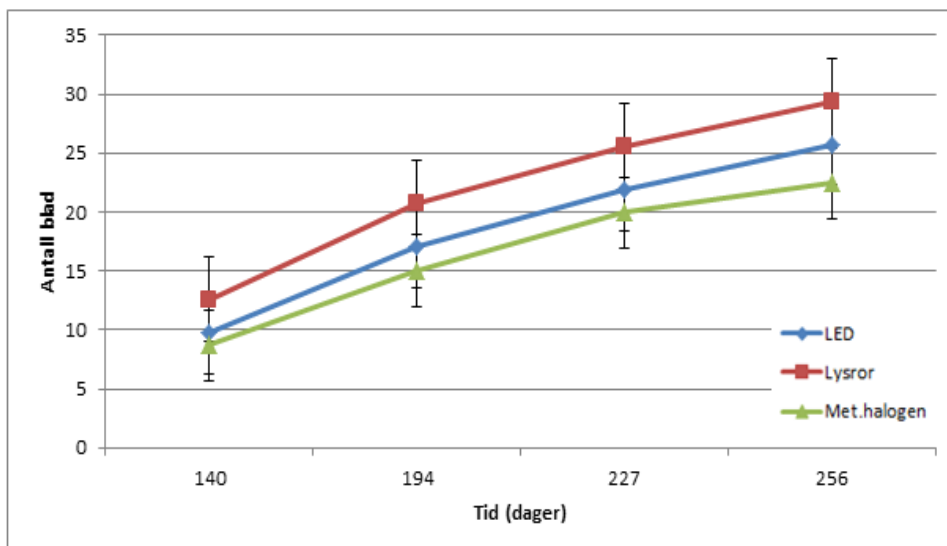
dyrket under metallhalogen (figur 25, 1). Lysrør hadde en gjennomsnittlig økning på 8 blader (tabell 7). Det var ingen signifikante forskjeller i målingene ($p > 0,05$).

I periode 2 ved sluttmåling (dag 256) viste planter eksponert for både lysrør og LED-belysning høyest gjennomsnittlig økning i bladantall med 16 blader mot en økning på 13 blader hos planter dyrket under metallhalogen (figur 25, 2). Det var en signifikant forskjell mellom plantene dyrket under lysrør og metallhalogen ($p = 0,01$). Det var imidlertid ingen signifikant forskjell mellom planter eksponert for LED eller lysrør (tabell 7).

1



2



Figur 25. Effekt av lyskilde på gjennomsnittlig vekst av blader hos *H. helix*. Resultatene er delt i periode 1 (1), dag 0 - 102, og periode 2 (2), dag 140 - 256, på grunn av beskjæring etter måling dag 102 ($n=4$). Gjennomsnitt \pm standardfeil er vist.

Antall skudd

Ved dag 256 ble alle greiner lengre enn 5 cm, utenom de tre merkede greinene, hos alle *Hedera helix* registrert (resultater ikke vist). Under både lysrør og LED-belysning var det gjennomsnittlig 8 greiner per plante og under metallhalogen var det gjennomsnittlig 6 greiner per plante (tabell 7).

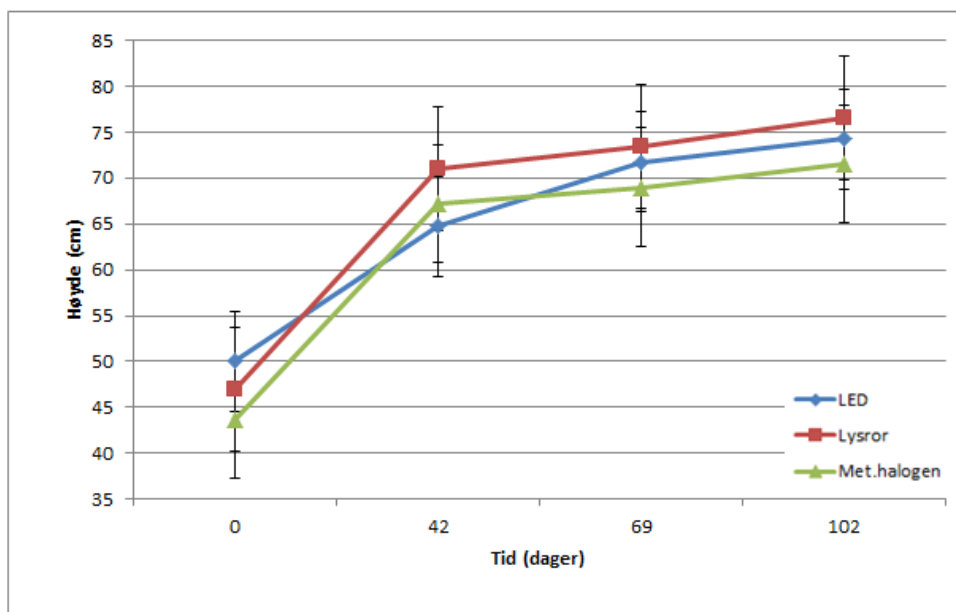
Tabell 7. Økning i vekst fra dag 0 til dag 256 hos *Hedera helix*.

Vekstparameter	Lysrør	Metallhalogen	LED
Økt lengde (cm) per.1	49 a	47 a	68 a
Økt lengde (cm) per.2	11 a	4,0 a	11 a
Økt bladantall per. 1	8,0 a	4,0 a	10 a
Økt bladantall per. 2	16 a*	13 b	16 ab
Nye skudd periode 2	8,0 a	6,0 a	8,0 a

*Ulik bokstav i samme linje indikerer signifikant forskjell på 0,5 % nivå.

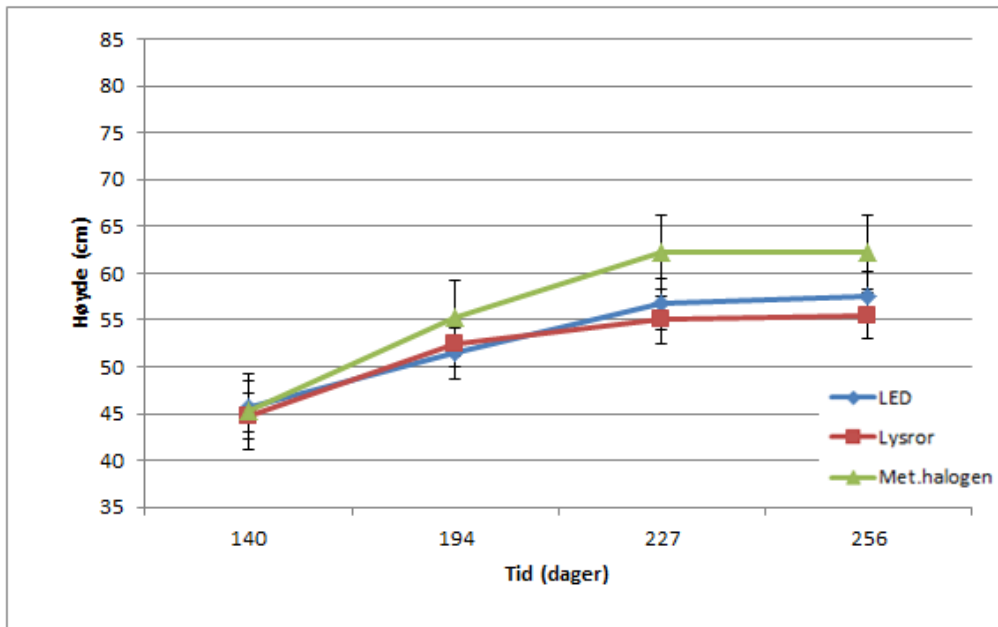
Ficus benjamina 'Golden King'

Høyde



Figur 26. Periode 1. Effekt av lyskilde på høyde (cm) hos *Ficus benjamina* i første periode av forsøket (dag 0-102). Høyden ble målt fra pottkant til toppen av kronen (n=4). Gjennomsnitt \pm standardfeil er vist.

Periode 1. Ved dag 102 (31.8.15) hadde *F. benjamina* under lysrør vokst gjennomsnittlig 30 cm mot henholdsvis 28 cm og 24 cm under metallhalogen og LED-belysning (figur 26). De statistiske utregningene viste ingen signifikante forskjeller ($p>0,05$) (tabell 8).

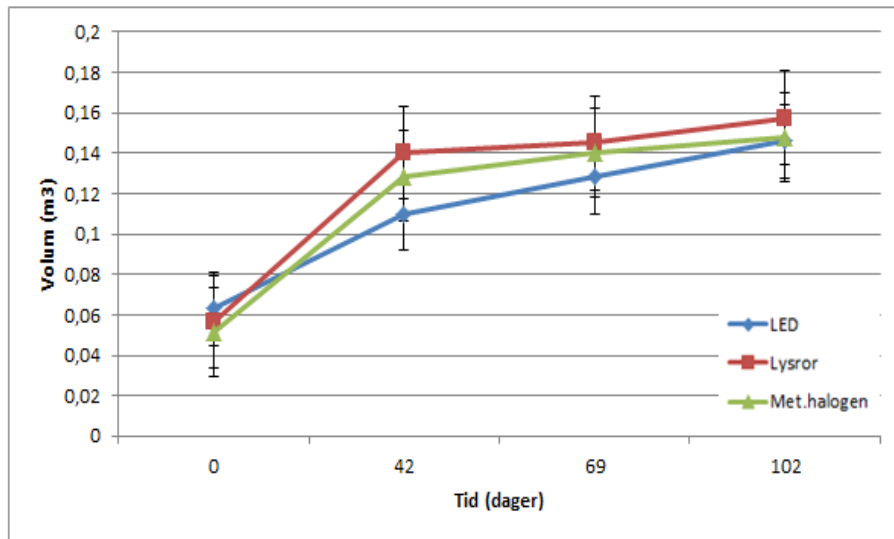


Figur 27. Periode 2. Effekt av lyskilde på plantehøyde (cm) hos *Ficus benjamina* i andre periode av forsøket (dag 140-256). Høyden ble målt fra pottkantene til toppen av kronen ($n=4$). Gjennomsnitt \pm standardfeil er vist.

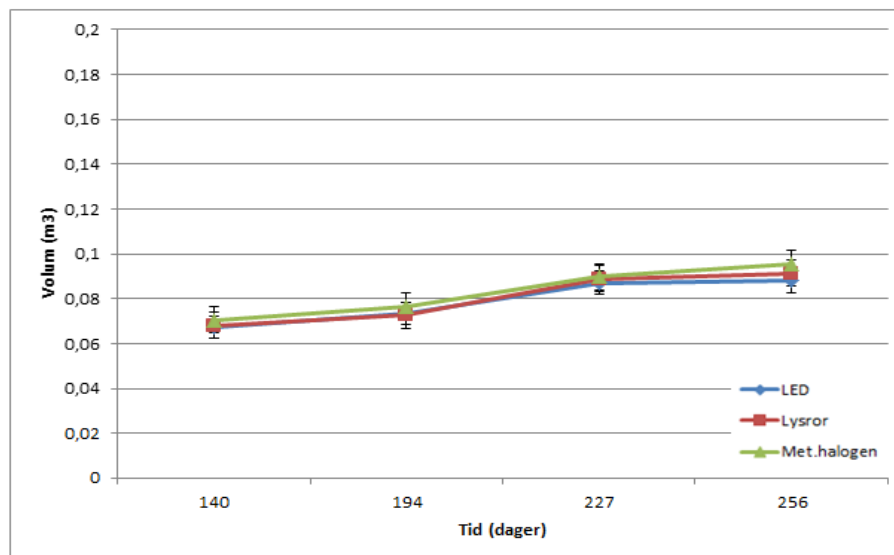
Alle *F. benjamina* ble målt etter beskjæring dag 140 (9.10.15) (figur 27). Ved sluttmålingene dag 256 hadde plantene vokst med 17 cm under metallhalogen mot 13 og 6 cm under henholdsvis lysrør og LED-belysning, men dataene var ikke statistisk signifikante ($p>0,05$) (Tabell 8).

Antall blad/volum

1



2



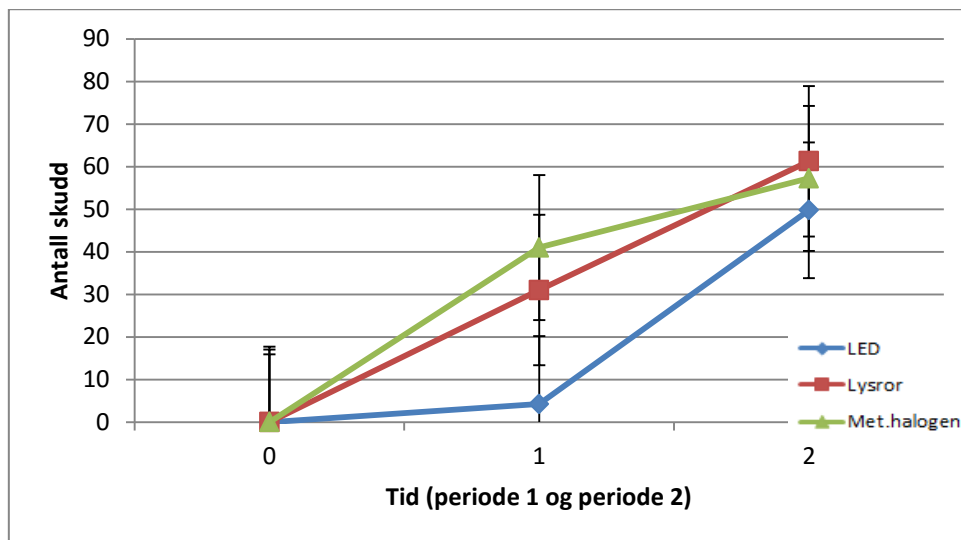
Figur 28. Effekt av lyskilder på volum av *Ficus benjamina* ble målt i m³. Målingene ble delt opp i periode 1 (1) fra dag 0 til 102 og periode 2 (2) fra dag 140 til 256 på grunn av beskjæring etter dag 102 (n=4). Gjennomsnitt ± standardfeil er vist.

Det var ikke mulig å telle alle bladene på hver *F. benjamina*. Derfor ble det beregnet volum av sylinder (figur 28).

Periode 1 (figur 28, 1) viser at ved dag 102 hadde veksten økt med 0,100 m³ under lysrør mot 0,097 og 0,083 m³ under henholdsvis metallhalogen og LED-belysning.

Periode 2 (figur 28, 2) viser at ved dag 256 hadde veksten under metallhalogen økt med 0,025 m³ mot 0,023 m³ under lysrør og 0,021 m³ under LED-belysning.

Det var ingen signifikante forskjeller på veksten i noen av periodene (p=0,05) (tabell 8).



Figur 29. Effekt av lyskilder på antall nye skudd hos *Ficus benjamina* etter beskjæring. 0 (tid) er 4.5.15 da alle plantene ble beskåret til samme høyde. Periode 1 (4.6.15) er første registrering av gjenvekst og periode 2 (2.7.15) er siste registrering av gjenvekst (n=4). Gjennomsnitt ± standardfeil er vist.

Plantene ble klippet ned og målt den første dagen i forsøket (punkt 0, figur 29). Etter periode 1 ble det registrert et gjennomsnitt på 31 nye skudd under lysrør, 41 nye skudd under metallhalogen og kun 4 nye skudd under LED-belysning (punkt 1, figur 29). I løpet av periode 2 (1 måned) hadde veksten jevnet seg ut og gjennomsnittet av nye skudd var nå 61 under lysrør, 57 nye skudd under metallhalogen og 50 under LED-belysning.

Det var stor forskjell på bladfargene i toppen på *F. benjamina* under LED-belysning i forhold til lysrør og metallhalogen. Noen av de nye skuddene ble helt hvite (figur 30). Generelt på hele planten var bladfargen hvit og grønn under LED-belysningen og mer gul og grønn under metallhalogen og lysrør.



Figur 30. *Ficus benjamina* dyrket under lysrør (til venstre), metallhalogen (midten) og LED-belysning (til høyre). Planten under LED-belysning utviklet en grein med helt hvite blader.

Tabell 8. Økning i vekst fra dag 0 til dag 256 hos *Ficus benjamina*.

Vekstparameter	Lysrør	Metallhalogen	LED
Lengde (cm) periode1	30 a	28 a	24 a
Lengde (cm) periode2	13 a	17 a	6 a
Volum blad (m ³) per.1	0,100 a	0,097 a	0,083 a
Volum blad (m ³) per.2	0,023 a	0,025 a	0,021 a
Nye skudd, periode2	61 a	57a	50 a

*Ulik bokstav i samme linje indikerer signifikant forskjell på 0,5 % nivå.

Tørrvekt og bladareal hos *H. helix* og *F. benjamina*

H. helix ble klippet ned to ganger og skuddene ble tørket for å undersøke akkumulert tørrstoff. Periode 1 ble både bladene og greiner høstet (nr. 1, 2, og 3) (1. periode, tabell 9). I periode 2 ble kun bladene på nye greiner (nr. 1, 2 og 3) tørket (2. periode, tabell 9). I periode 1 (tabell 9) hadde planter under LED-belysning høyeste gjennomsnitt av tørrvekt på 12,9 g mot planter under metallhalogen som hadde lavest gjennomsnitt på 8,8 g. Dette ga en signifikant forskjell ($p=0,03$). Lysrør hadde 10,7 g tørrvekt. I periode 2 (tabell 9) hadde lysrør høyest gjennomsnitt av tørrvekt med 8,6 g mot metallhalogen som hadde lavest med 6,2 g. ($p=0,004$). LED-belysning hadde 7,7 g tørrvekt. Plantene under metallhalogen hadde den laveste tørrvekten ved begge målingene. *F. benjamina* ble også klippet ned og tørket (tabell 9). Det var ikke signifikante forskjeller mellom lysbehandlingene ($p>0,05$).

Tabell 9. Tørrvekt av *Hedera helix* og *Ficus benjamina* målt i gram. *H. helix* ble klippet ned og tørket to ganger. 1. periode ble greiner, stengler og blader veid, mens i 2. periode var det kun bladene som ble tørket og veid. *F. benjamina* ble klippet ned kun en gang.

Lyskilde	Tørrvekt (g)		<i>Ficus benjamina</i>
	<i>Hedera helix</i>		
	1. periode	2. periode	
Lysrør	10.7 ab	8.6 a*	12.7a
Metallhalogen	8.8 b	6.2 b	12.4a
LED	12.9 a*	7.7 ab	15.3a

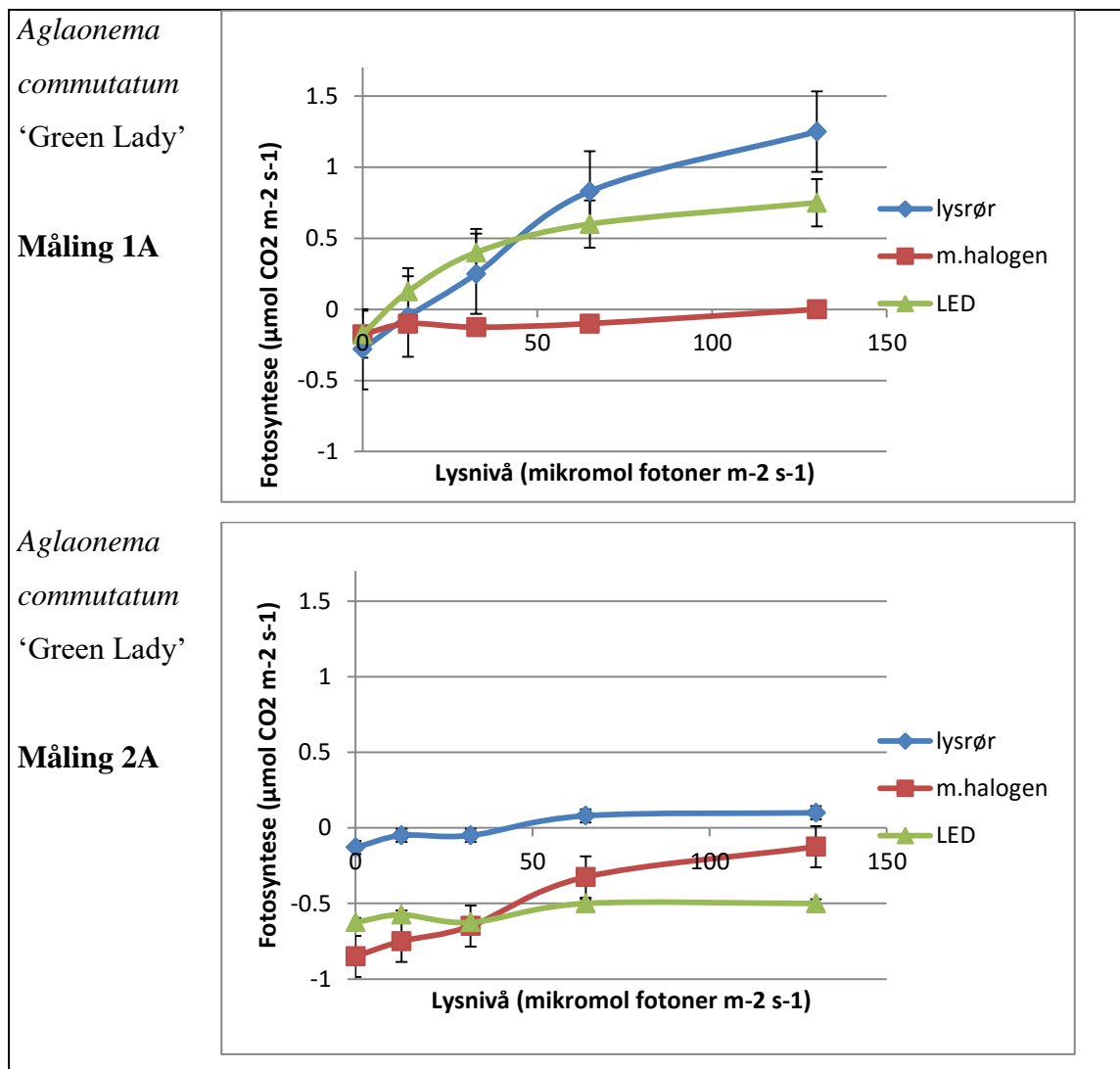
*Gjennomsnittstall med ulik bokstav i samme kolonne indikerer signifikansforskjell på 0-0,5 % nivå ble funnet med en Tukey-test.

Bladareal (SLA) *H. helix*

Bladareal ble målt på alle *H. helix* etter dag 256. Det var signifikant lavere bladareal hos planter dyrket under metallhalogen, men mellom planter dyrket under metallhalogen og LED-belysning var det ingen signifikant forskjell på bladarealet per plante ($p=0,001$).

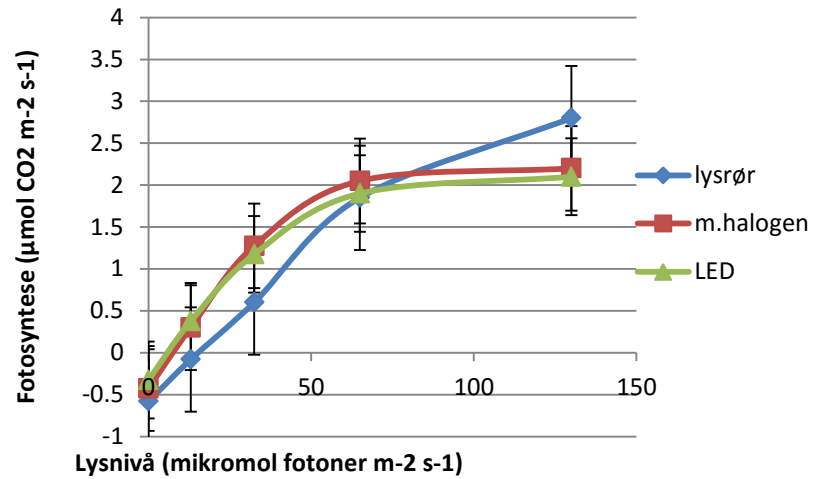
3.2. Fotosyntesemålinger

Fotosyntesemålinger ble utført to ganger ved hjelp av en infrarød gassanalysator. De første målingene ble registrert 16.9.15 og de siste målingene ble gjort 11.2.16 ($n=4$).



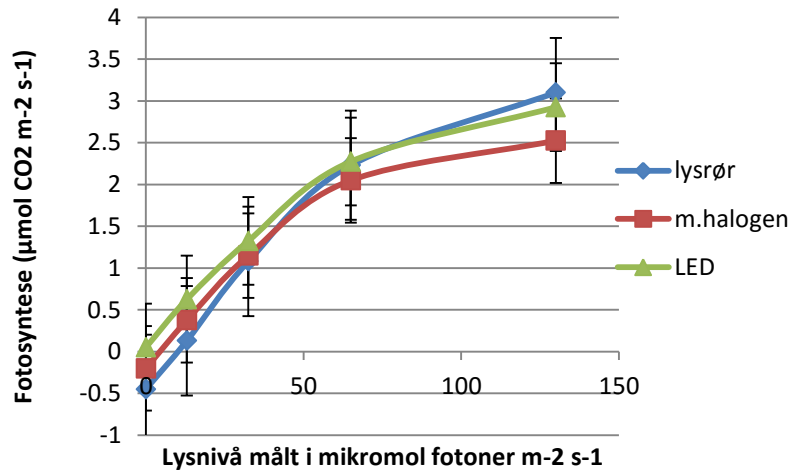
Hedera helix
'Montgomery'

Måling 1B



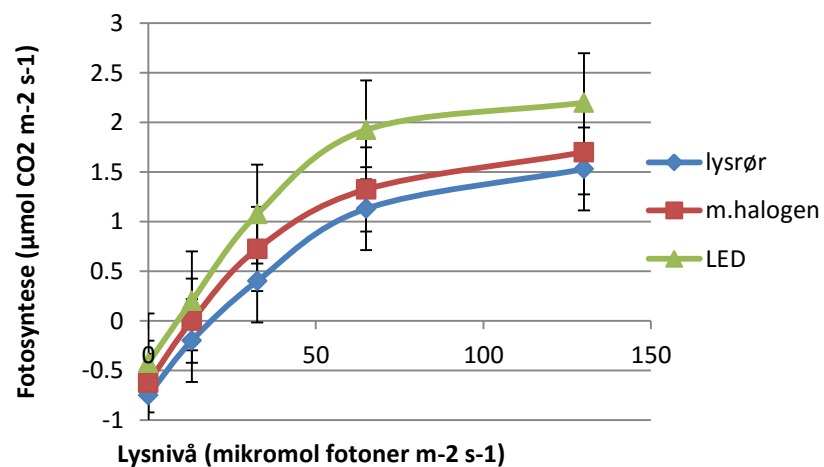
Hedera helix
'Montgomery'

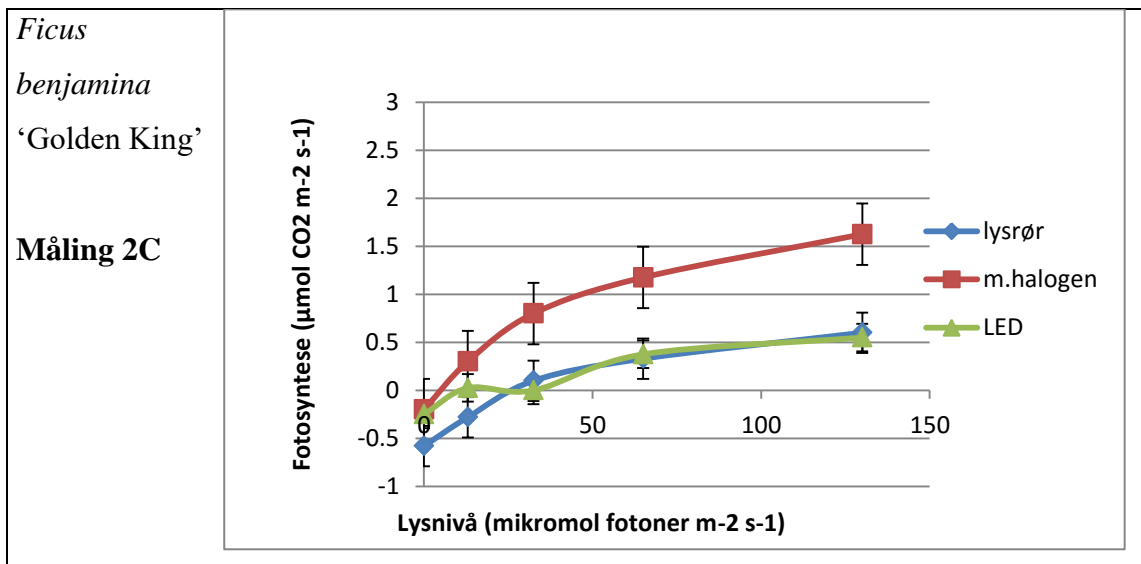
Måling 2B



Ficus
benjamina
'Golden King'

Måling 1C





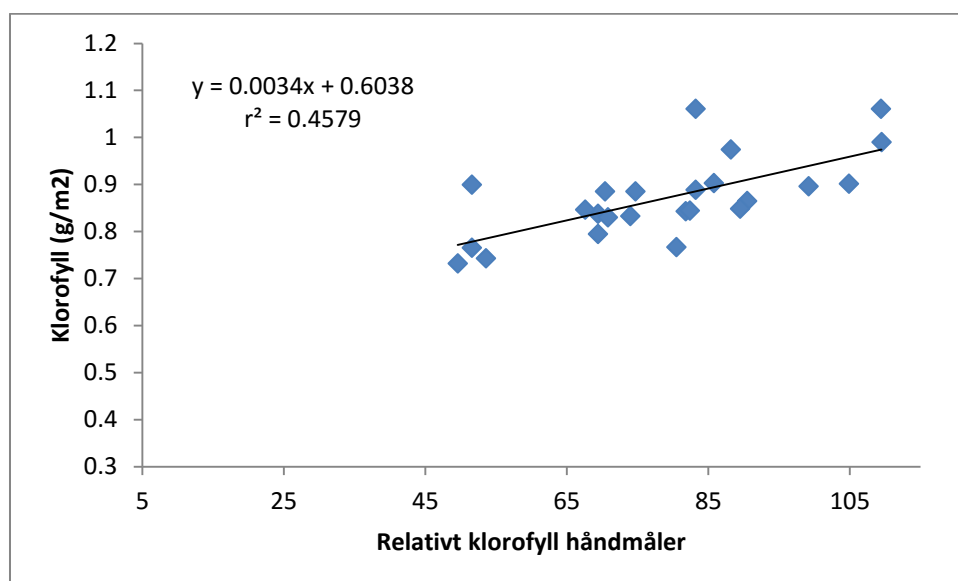
Figur 31. Lysresponskurver laget med fotosyntesemålinger gjort med CIRAS gassanalysator 16.9.15 og 11.2.16. Målingene ble gjort på *Aglaonema commutatum* (1A og 1B), *Hedera helix* (2A og 2B) og *Ficus benjamina* (3A og 3B) (n=4). Gjennomsnitt ± standardfeil er vist.

Alle plantene hadde så lav fotosyntese at CIRAS-apparatet hadde problemer med å stabilisere seg og gi korrekte målinger (figur 31).

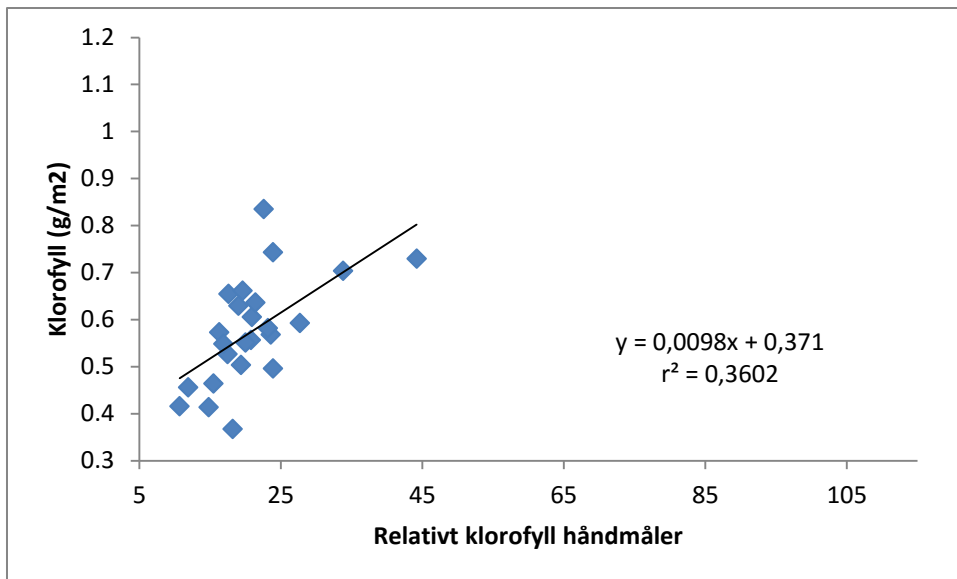
3.3 Klorofyllmålinger

Spektrofotometer:

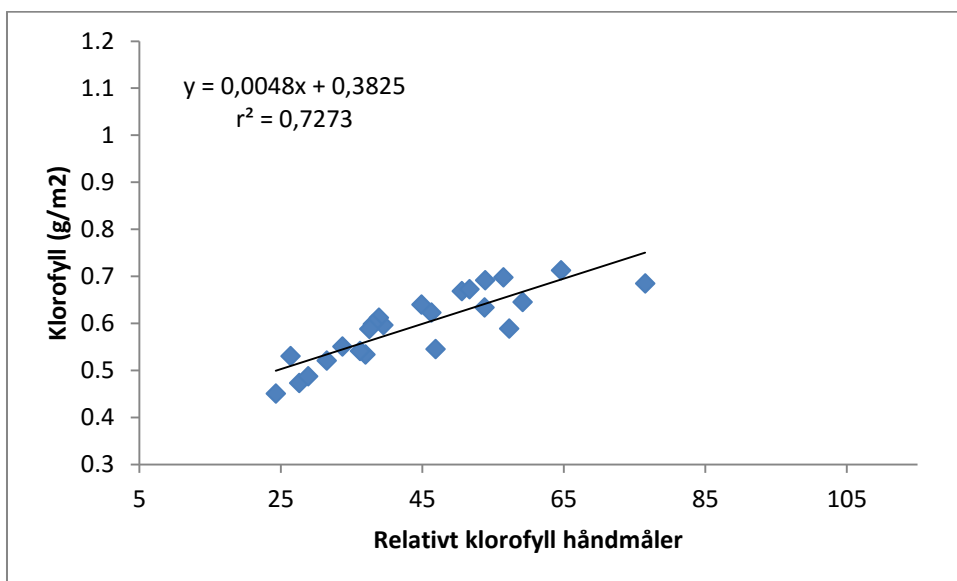
Det ble målt klorofyllinnhold på to blader pr plante med håndmåler 20.1.16. Deretter ble det samme området skåret ut med korkbor. Klorofyll ble ekstrahert og analysert i spektrofotometer samme dag.



Figur 32. Klorofyllmålinger utført på *Aglaonema commutatum* med klorofyllmåler (g/m²) plottet mot klorofyllmålinger fra ekstraherte prøver hentet fra samme område på bladet.



Figur 33. Klorofyllmålinger utført på *Ficus benjamina* med klorofyllmåler (g/m^2) plottet mot klorofyllmålinger fra ekstraherte prøver hentet fra samme område på bladet.



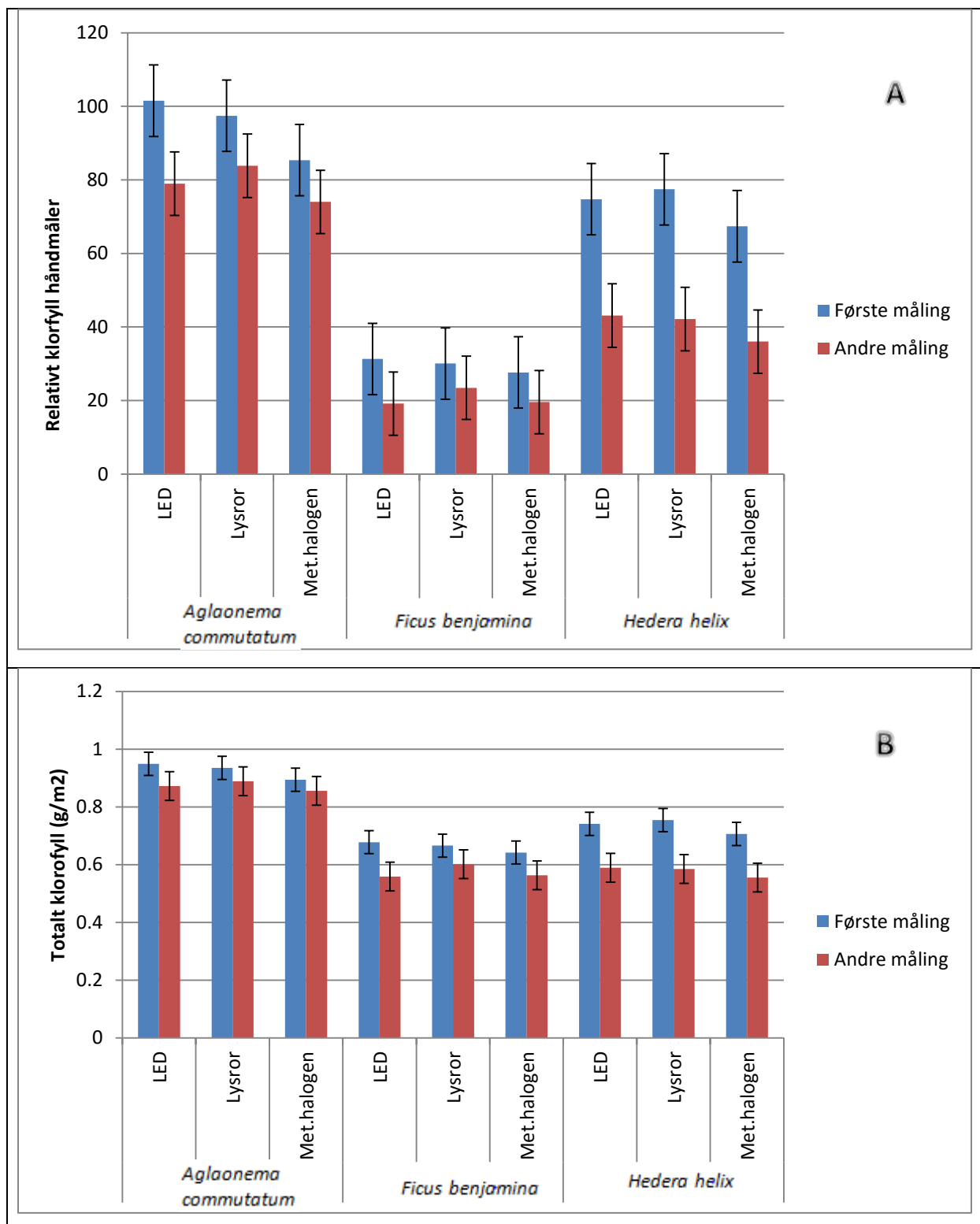
Figur 34. Klorofyllmålinger utført på *Hedera helix* med klorofyllmåler (g/m^2) plottet mot klorofyllmålinger fra ekstraherte prøver hentet fra samme område på bladet.

Figur 32, 33, og 34 viser lineær sammenheng mellom relativt klorofyll og klorofyll g/m^2 . Hos *H. helix* var det en signifikant lineær sammenheng ($r^2=0,727$) mellom de to målemetodene. Hos *F. benjamnia* og *A. commutatum* var det en signifikant, men svakere sammenheng ($r^2=0,360$) og ($r^2=0,458$).

Formlene ved hver figur kunne brukes for å regne om andre manuelle klorofyllmålinger til g/m^2 for de respektive artene (figur 35).

Håndmåler:

Dette ble også gjort to klorofyllmålinger med håndmåler, 5.5.15 og 26.1.16.



Figur 35. Diagram A viser målingene gjort med håndmåler 5.5.15 og 26.1.16. Diagram B viser verdiene fra håndmåleren, estimert med formlene fra spektrofotometermålingene for hver art til totalt klorofyll i g/m². Målingene ble gjort på *Aglaonema commutatum*, *Ficus benjamina* og *Hedera helix* (n=12). Gjennomsnitt ± standardfeil er vist.

Figur 35 (diagram A) viser en oversikt over to klorofyllmålinger målt med håndmåler. Etter at det ble gjort klorofyllmålinger med spektrofotometer 20.1.16 ble det regnet ut verdier som kunne brukes for igjen å regne om håndmålingene fra 5.5.15 og 26.1.16. Dette er vist i diagram B. Det var en tydelig nedgang i klorofyllinnhold i alle plantene i løpet av forsøkets ni måneder.

Tabell 10. Gjennomsnitt for klorofyll a, b, a/b og totalt klorofyll for *Ficus benjamina*, *Aglaonema commutatum* og *Hedera helix*. Verdiene er fra spektrofotometermåling 20.1.16 med to ekstraherte bladskiver fra hver plante (n=12).

Plantart	Lyskilde	Klorofyll a (g/m ²)	Klorofyll b (g/m ²)	Klorofyll a/b (g/m ²)	Totalt klorofyll (g/m ²)
<i>Ficus benjamina</i>	LED	0,35a	0,14a	2,45a	0,50a
	Lysrør	0,48b*	0,18b*	2,72b*	0,66a
	Metallhalogen	0,41ab	0,17ab	2,45ab	0,57a
<i>Aglaonema commutatum</i>	LED	0,67a	0,22a	3,07a	0,89a
	Lysrør	0,66a	0,21a	3,11a	0,87a
	Metallhalogen	0,64a	0,20a	3,15a	0,85a
<i>Hedera helix</i>	LED	0,42a	0,15a	2,75a	0,57a
	Lysrør	0,49b*	0,18b*	2,77b*	0,67a
	Metallhalogen	0,39a	0,15a	2,72a	0,54a

*Gjennomsnittstall med ulik bokstav i samme kolonne indikerer signifikansforskjell på 0-0,5 % nivå ble funnet med en Tukey-test.

Klorofyll a/b-forholdet for *F. benjamina* og *H. helix* under lysrør var signifikant forskjellig fra de samme plantene dyrket under metallhalogen (tabell 10). *F. benjamina* hadde 2,72 g/m² mot 2,45 g/m² for de samme plantene dyrket under metallhalogen. *H. helix* hadde 2,77 g/m² mot 2,72 g/m² for de samme plantene dyrket under metallhalogen.

Ingen av plantenes totale klorofyllinnhold endret seg under noen av lyskildene (tabell 10).

4. Diskusjon

4.1. Effekt av lyskvalitet på vekst

Alle plantene hadde god og tilnærmet lik vekst og utvikling under respektive lyskilder. Det var kun signifikante forskjeller i høyde på *A. commutatum*, og på *H. helix* var det signifikante forskjeller i tørrvekt, antall blader i 2. periode og bladareal. Det var ingen signifikante forskjeller i målingene av *F. benjamina*. Plantene under metallhalogenbelysning hadde noe svakere vekstresultater enn lysrør og LED-belysning.

Egea et al konkluderte i lyskildedeforsøk på grønne plantevegger innendørs (2014) at lysrør og metallhalogen, plassert omtrent 1 meter fra plantene, ga den samme planteveksten og at de to lyskildene var likestilt utseendemessig. Alle lyskildene var på omtrent 250 W hver, og lysnivået var på henholdsvis $19,4 \pm 2,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $44,3 \pm 1,7$ og $93,1 \pm 6,8$ for glødelampe, lysrør og metallhalogen (Egea et al 2014). Det betyr relativt store forskjeller i lysnivå mellom lyskildene. I mitt forsøk fikk alle plantene omtrent likt lysnivå med $26,3 \pm 1,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ under lysrør, $24,8 \pm 4,2$ under metallhalogen og $29,9 \pm 2,0$ under LED-belysningen. Avstanden mellom planter og lyskilde ble tilpasset ut fra dette (tabell 3). Forskjellene i lysnivå kan forklare hvorfor resultatene i mitt forsøk er noe forskjellig fra resultatene til Egea et al (2014). Plantene i dette forsøket fikk dobbelt så høyt lysnivå fra metallhalogen ($93 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) som fra lysrør ($44 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) og dette ga lik vekst med konklusjon om at begge lysene ga like gode vekstforhold i grønne plantevegger. Hvis disse plantene hadde vokst under like lysnivå kan det være mulig at plantene under metallhalogen hadde kommet noe svakere ut, slik som i mitt forsøk. I deres forsøk var det også høyest standardavvik ved måling av metallhalogen på tilsvarende måte som i mitt forsøk (Egea et al 2014).

4.1.1. Lysrør

Plantevekst under lysrør ga mange resultater som var tilnærmet lik, eller bedre enn resultater fra planter dyrket under LED-belysning. Lysrør hadde 0,7 % UVA (Wm^{-2}) og dette kan ha effekt på plantevekst (Krizek et al 1997). De hadde 36 % blått lys, 14 % grønt og 24 % rødt. R:MR-forholdet var 4,4 ($\mu\text{mol} \mu\text{mol}^{-1}$) med 2,5 % mørkerødt lys. I periode 2 var det signifikante forskjeller mellom *H. helix* dyrket under lysrør og metallhalogen ($p=0,01$). Det kan indikere at det var kortere avstand mellom internodiene og at bladene dermed satt tettere på greinene enn hos planter dyrket under metallhalogen. *H. helix* hadde signifikant økning i tørrvekt i periode 2 ($p=0,004$). Både UVA og høyt R/MR-lys hemmer strekningsvekst på planter dyrket i veksthus (Krizek et al 1997, Moe & Heins 1990). I produksjon av julestjerner

ønskes lavere planter og kontroll av morfologi uten å bruke kjemiske midler (Islam et al 2014). Ved å tilføre 30 minutter med rødt lys på slutten av dagen ble veksten redusert med 34-54 % avhengig av art.

Bladarealet hos *H. helix* under lysrør og LED-belysning viste ingen signifikante forskjeller seg imellom, men det var signifikant høyere enn planter dyrket under metallhalogen ($p=0,001$).

Totalt sett var lysrør en bra lyskilde for alle plantene med best resultater i en del av målingene. Lysrørene var montert 117 cm fra gulvet for å gi omtrent likt lysnivå til plantene som de to andre lyskildene. Disse lampene kan derfor bli mer plasskrevende i et kontorlandskap enn de som kan monteres i taket. Det var ingen spesielle tegn til endring i morfologi på plantene.

4.1.2. Metallhalogen

Under metallhalogenpærene ble det montert polykarbonatplater for å spre lyset. Spekteret inneholdt blått lys med 18 % (Wm^{-2}), grønt lys 43 % og rødt lys 39 %. R:MR-forholdet var 3,2 ($\mu\text{mol } \mu\text{mol}^{-1}$) med 11 % mørkerødt lys, noe som var dobbelt så mye mørkerødt som i spekteret på LED-belysningen og tre ganger så mye som lysrør. Bortsett fra dette var lysspektrene i metallhalogen og LED-belysningen relativt like.

Det lave R/MR-forholdet burde tilsi økt strekningsvekst fordi det er en normal respons hos mange planteslag. Hos *A. commutatum* og *H. helix* var det imidlertid ingenting i resultatene som tydet på økt strekningsvekst, noe som kan skyldes at begge er skyggeplanter og responderer mer på lysnivå enn lyskvalitet (Dibenedetto 1990). I teorien responderer ikke skyggeplanter så tydelig på R/MR-forhold som lystilpassede planter. Hos *F. benjamina* derimot, som er en fakultativ solplante, var veksten best under metallhalogen i periode 2 (figur 27), uten at det var signifikant forskjell. Det kan dermed se ut til at *F. benjamina* har respondert på det høye nivået av mørkerødt lys.

Tørrvekt (tabell 9) var lavest hos *H. helix* under metallhalogenbelysning i 1. og 2. periode ($p=0,03$ og $p=0,004$). Dette samsvarer med tørrvekt av planteblader fra forsøket til Egea et al (2014) der planter under metallhalogen også hadde lavere tørrvekt enn planter under lysrør. Dette på tross av høyere lysnivå til plantene under metallhalogen enn under lysrør.

A. commutatum ble signifikant lavest under metallhalogen ($p=0,008$). Hos *H. helix* var bladantallet signifikant lavest i periode 2 ($p=0,01$). Gjennomsnittlig bladareal hos *H. helix*

dyrket under metallhalogen var lavest med signifikant forskjell både til planter dyrket under lysrør og LED-belysning ($p=0,001$).

Metallhalogen var den eneste lyskilden der *F. benjamina* fikk ull-lus. Om dette var en tilfeldighet eller om det kan ha noe med lysspekteret å gjøre er noe man kan spekulere i. Det er ikke usannsynlig at vekst kan bli hemmet på grunn av ull-lusangrep.

Det ble observert mugg på jorden etter vanning og det så ut til at plantene brukte mindre vann enn plantene i de andre kamrene, noe som samsvarer med resultatene fra metallhalogenbelysning på grønne plantevegger (Egea et al 2014). De viste til at plantene under metallhalogen hadde lavere vannforbruk enn lysrør og glødelampe.

Metallhalogenpærene tapte seg raskt i lysstyrke og måtte justeres for å holde samme lysnivå gjennom forsøket. Det totale lysnivået var gjennomsnittlig $3-5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ lavere enn hos de andre lyskildene. Over lang tid er det ikke umulig at dette kan ha effekt på veksten, men dette er ikke vektlagt i forsøket til Egea et al (2014) der lysnivået varierte med omtrent $70 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ mellom lyskildene.

Totalt sett ga metallhalogenbelysningen nesten like gode vekstforhold som de andre lyskildene, men plantene ble lavere og fikk lavest resultater på mange av målingene. Sen vekst er ikke nødvendigvis negativt for planter som skal stå i kontormiljø. Store planter krever mer skjøtsel og beskjæring. Plassering av lampene kan bli problematisk da spredningen av lyset er dårlig og det vil bli vanskelig å gi jevnt lysnivå til plantene. De avgir også en del varme som må tas hensyn til ved plassering. Lampene var montert 199 cm fra gulvet for å gi omtrent likt lysnivå til plantene som de to andre lyskildene. Det var ingen tegn til endring i morfologi hos plantene.

4.1.3. LED-belysning

Spekteret inneholdt ikke UV og hadde 16 % blått lys (Wm^{-2}), 46 % grønt og 39 % rødt lys. R:MR-forholdet var 6,71 ($\mu\text{mol } \mu\text{mol}^{-1}$) med 4,0 % mørkerødt lys.

A. commutatum ble gjennomsnittlig høyest under LED-belysningen noe som indikerer at dette var en god lyskilde for denne arten ($p=0,008$). *H. helix* hadde økning i tørrvekt som var signifikant i periode 1 ($p=0,03$). Det var like stort totalt bladareal på *H. helix* utviklet under LED-belysning og lysrør, med signifikant forskjell fra bladarealet på *H. helix* dyrket under metallhalogen ($p=0,001$).

F. benjamina utviklet hvite blader på noen nye skudd i toppen (figur 30). De andre bladene var hvite og grønne. Bladene på *F. benjamina* under lysrør og metallhalogen så ut til å være lys gule og grønne. Ellers førte LED-belysningen kun til ubetydelige endringer i morfologi og

H. helix hadde tilsynelatende samme utvikling av vekst som ved starten av forsøket. Veksten var god og noen av målingene ga best resultater under denne lyskilden. Etter beskjæring (figur 29) var plantene under LED-belysning senest til å bryte med nye skudd etter periode 1, men etter periode 2 var det relativt like mange skudd under alle lyskildene. Lampene var montert 189 cm fra gulvet for å gi omtrent likt lysnivå til plantene som de to andre lyskildene. På grunn av lav strålingsvarme fra pærene ble det forventet at bladtemperaturen var lavere hos plantene dyrket under LED-belysning. Da det ble målt bladtemperatur ved slutten av forsøket var det imidlertid ingen signifikante forskjeller mellom plantene dyrket under de tre lyskildene (tabell 5).

4.1.4. Generelt

Gjenvæksten hos *F. benjamina* etter periode 2 var redusert i forhold til periode 1 under alle lyskildene (tabell 26). Faktorer som kan ha påvirket veksten er vanntilførselen og temperaturen, som var lavere i vinterhalvåret enn i sommerhalvåret. Det er kjent at i veksthus blir temperaturen brukt som en faktor for å kontrollere vekst (Bævre & Gislerød 1999). Justering av vanntilførsel blir en konsekvens av dette. Plantene i forsøket fikk mindre vann i vinterhalvåret fordi forbruket sank. Dyrking av *H. helix* blir utført på tilsvarende måte (pers. med. Anne Kari Moslått 5.4.16).

Den sene gjenvæksten hos *F. benjamina* kan også være at de ikke tåler så godt å bli skåret tilbake flere ganger på samme punkt. På *F. benjamina* ble det beregnet volum av sylindere noe som trolig har gitt mindre nøyaktige resultater enn for tilsvarende målinger av *H. helix* og *A. commutatum*.

Under alle lyskildene hadde *H. helix* noen blader på hver plante som hadde opphøyde sirkler og endret bladfasong (figur 19). De ble analysert hos NIBIO, men hadde ikke virus (pers. med. Dag-Ragnar Blystad 28.4.16) så symptomene skyldtes sannsynligvis fysiologiske forhold knyttet til dyrkingsbetingelsene eller mekanisk skade.

Både lysrør og LED-belysning har gitt gode resultater og det er vanskelig å si hvilken lyskilde som har gitt best vekstvilkår for plantene. Det kan tenkes at lysrør, med så høy andel av blått lys, vil være å foretrekke over lengre tid. Lysrørene har også blitt brukt som arbeidslys sammen med planter i kontormiljø (Fjeld 2000). Resultatene har vært gode i form av reduserte helseplager som hodepine, trøtthet, konsentrasjonsproblemer med mer. Det kan derfor se ut til at dette er en lyskilde som gir en god kombinasjon av trivsel for både mennesker og planter (Fjeld 2000).

LED-belysningen har gitt gode vekstforhold og det kan være økonomisk fordelaktig å investere i LED. De hadde lavest energiforbruk med 120 Wm^{-2} mot 168 Wm^{-2} for lysrør og Wm^{-2} for metallhalogen. I tillegg avgir de lite varme i motsetning til metallhalogen. Disse faktorene kan være viktige ved valg av vekstbelysning. Det er skrevet lite om LED og endring i morfologi hos planter. Forklaringen på hypotesen om at LED-belysning gir mer kompakt vekst på *H. helix* kan antas å være at spekteret i LED-pæren var utviklet til interiørbelysning og ikke plantevekst. Høy andel mørkerødt lys i spekteret kan endre morfologi hos planter (Johnson et al 1996, Islam et al 2014).

Ved dyrking av planter i veksthus kan HPS-lamper gi 1-1,5 °C høyere bladtemperatur enn LED-belysning, noe som ofte resulterer i økt vekst. (Bergstrand et al. 2016). I mitt forsøk var gjennomsnittlig bladtemperatur 22,5 for planter under lysrør, 22,8 for planter under metallhalogen og 22,5 for planter under LED-belysning. Dette anses å være tilnærmet like verdier og har trolig ingen effekt på vekst. Det var store forskjeller i lysnivå på dette og mitt forsøk med ca 460 mot ca $25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

4.2. Effekt av lyskvalitet på fotosyntese

H. helix viste høyest fotosynteseaktivitet under lysrør ved begge målingene (figur 31, 1A og 2A). CIRAS-apparatet brukes som regel ved måling av fotosyntese på planter som har stått under høyere lysnivå, oppimot $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Plantene i forsøket hadde mellom 20 – 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, og apparatet hadde problemer med å stabilisere seg. *A. commutatum* lukket spalteåpningene og ga negative resultater på grunn av dette (figur 31, 1B og 2B). Alle kurvene viser at plantene er sterkt skyggetilpasset, med lysmetning ved rundt $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

A. commutatum er en obligat skyggeplante og den kan ha fotosyntese ved spesielt lave lysforhold ned til $0,7 - 1,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-2}$ (Dibenedetto 1990). Veksten stoppet ikke selv om CO_2 -utbyttet var negativt. Dette kan være årsaken til at *A. commutatum* ikke lot seg måle med CIRAS. Alle plantene har vokst jevnt gjennom hele forsøket, uansett lyskilde. Det samme gjelder for sluttmålingene av *F. benjamina* (figur 31, 1C og 2C). Det var ikke lett å finne blader med nok klorofyll til at det dekket vinduet i kuvetten i CIRAS'en. Bladene som ble målt skulle ha vokst ut i løpet av forsøksperioden, men samtidig ikke være helt nye.

Derfor ble det kun målingene fra *H. helix* som kunne si noe om fotosynteseaktivitet under forsøket. Det var høyest fotosynteseaktivitet i plantene dyrket under lysrør og de har også høyest klorofyll a/b-innhold (tabell 10).

Forskjellige sol- og skyggeplanter dyrket under lavt lysnivå ($50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) og med mye mørkerødt lys (skyggeforhold) kan få forskjeller i klorofyllinnhold (Murchie & Horton 1997). Solplanter fikk økt klorofyllinnhold som korrelerte med økt fotosyntesekapasitet. Obligate skyggeplanter viste lite tegn til akklimatisering (Dibenedetto 1991, Murchie & Horton 1997).

4.3. Effekt av lyskvalitet på klorofyll

Måling av klorofyll med spektrofotometer viste at a/b-ratioen var høyest under lysrør, både hos *F. benjamina* og *H. helix*. *A. commutatum* var upåvirket av de forskjellige lyskildene i forhold til a/b-ratioen fordi den er en obligat skyggeplante (Dibenedetto 1991).

Årsaken til høyere klorofyllinnhold under lysrør kan skyldes at lysrørene har omtrent dobbelt så mye blått lys i spekteret som de to andre lyskildene (tabell 2). I følge Sæbø et al (1995) ga økt andel blått lys høyest klorofyllinnhold hos *Betula pendula* ved dyrking in vitro. Det er også vist at ved å øke blått lys-tilførselen hos roser i veksthus økte fotosynteseaktiviteten og tørrvekten (Terfa et al 2013). Tomatplanter og roser dyrket ved omtrent $460 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fikk økt klorofyllinnhold og fotosyntesekapasitet ved økt tilførsel av blått lys (Bergstrand et al. 2016). Disse resultatene samsvarer med resultatene i mitt forsøk der lysrør med høyest innhold av blått lys har de høyeste verdiene av klorofyll og fotosyntesekapasitet.

Andelen av rødt lys i lysrørene er omtrent halvparten så stor som i de to andre lyskildene. Grønt lys var relativt likt i alle lyskildene. Grønt lys blir også absorbert i fotosyntesen og det kan påvirke veksten hos planter. Dyrking av salat med tilførsel av grønt lys ga økt biomasse (Kim et al 2004, Terashima et al 2009). Opptil 70 % av det grønne lyset kan bli absorbert.

Fotosyntesen og klorofyllinnholdet har blitt noe redusert fra starten til slutten av forsøket. Det kan komme av vekstforholdene i forsøket og vekstforholdene i veksthusene de kom fra.

A. commutatum ble dyrket med en del skygging, men *H. helix* og *F. benjamina* ble dyrket i fullt sollys og tilleggslys. Alle planteartene er helt klart ekstremt tilpasningsdyktige, og det er derfor de blir mye brukt både i kontormiljø og i private hjem.

Klorofyllmeteret (figur 12A) var ikke tilpasset plantene og ga usikre målinger med ukorrekt inntrykk av absolutt klorofyllinnhold. Diagram A (figur 35) viser målinger med klorofyllmeteret. Det er høy forskjell i klorofyllinnhold mellom artene med spesielt lavt innhold hos *F. benjamina*. For å få de korrekte verdiene ble dataene fra klorofyllmeteret plottet mot data fra ekstraherte prøver i en ikke-lineær regresjonsmodell (Markwell et al 1995, Hoel et al 1998) for å estimere innholdet av klorofyll a og b. Disse dataene ble brukt i diagram

B (figur 35) og forskjellene ble noe utjevnet. Trenden er allikevel den samme i begge diagrammene med lavest klorofyllinnhold i *F. benjamina* og høyest klorofyllinnhold i *A. commutatum*. Hvis forsøket skulle fortsette i flere måneder etter dette kunne de samme formlene blitt brukt gjennom resten av forsøket.

4.4. Måling av lys med ulike metoder

Lysmålingene ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) under de forskjellige lyskildene endret seg ikke likt når de ble omregnet til andre måleenheter (tabell A). Luxverdiene for lysrør var høyere enn for metallhalogen, men $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -verdiene var høyere for metallhalogen enn for lysrør.

Tabell 11. Sammenligning av irradians målt i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ og lux med kvantesensor og luxsensor koblet til et LI-250 Light Meter. Verdiene i watt er utregnet fra spektrene målt med OL756 Spektrometer. Kelvinverdiene er estimert av OL756-programvaren fra spektrene til de ulike lyskildene.

Måle- enheter	Lysrør	Metall- halogen	LED
$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	35	41	30
lux	2300	2200	1830
Watt m^{-2}	8	9	6
Kelvin	5307	5396	4853

I praksis blir lux og Kelvin ofte brukt i forbindelse med vekstlys for planter. Hvis man måler lik mengde lux under to forskjellige lyskilder kan det planten oppfatter være helt forskjellig målt i fotoner $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (tabell 11). Lux er ofte et mål på hvor mye lys som treffer en flate og ikke lysets energiinnhold ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ eller W^{-2}) (Bergstrand 2014). Det blir derfor feil å bruke dette som et mål for hvilket lysspekter planten kan benytte seg av (400-700 nm).

Konsekvensene kan bli at man beregner feil lysnivå for plantene. Kelvin beskriver fargetemperaturen og fargen på lyset. En vanlig lyspære målt sammen med lysspektrene i dette forsøket hadde 3724 K, som gir en varm farge. Når verdiene øker blir fargen kaldere. Kelvin anbefales ikke som mål for plantebelysning (Bergstrand 2015). Årsaken er at fargegradene (K) kan være nesten helt like (tabell 11), men lysspekteret som er målt i hver lyskilde er veldig forskjellige (tabell 2).

4.5. Feilkilder

En feilkilde ved målingene på *F. benjamina* kan være at noen av plantene hadde noen få, men høye skudd. Det vil sannsynligvis føre til at volumet i toppen ble utregnet som større enn det egentlig var. De fleste plantene hadde flere, men kortere skudd. Fordi gjenveksten var lavere etter andre beskjæring er volumet mindre etter siste periode.

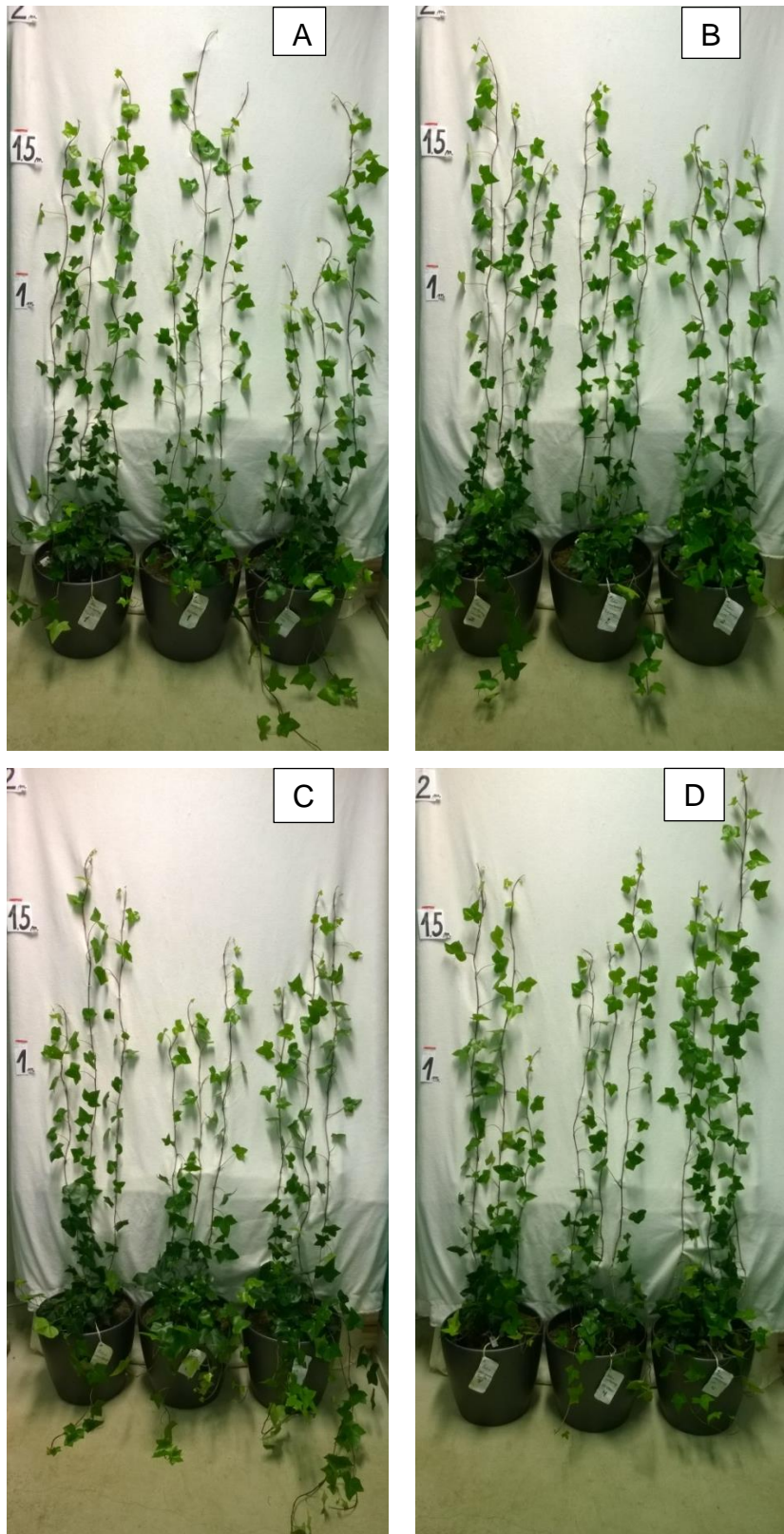
En feilkilde ved alle høydemålingene av *A. commutatum* og *F. benjamina* kan være at tommestokken ble satt på forskjellige steder på jorden og at jorden sank i løpet av forsøket.

Plantene kan ha blitt skadet av en oljeblanding som ble brukt ved renhold av plantene.

Målinger av lysspekter og lysnivå inne i kamrene kan ha blitt litt forskjellige fra målingene av lysspekter i et annet rom fordi veggene i kamrene forsterket den synlige delen av lyset på grunn av refleksjon.

A. commutatum har tykkere blader og bladprøvene kan dermed ha veid mer enn de to andre artene, noe som igjen kan ha ført til et høyere klorfyllnivå.

4.6. Bilder av plantene ved slutten av forsøket



Figur 36. *Hedera helix* 'Montgomery' har vokst i 256 dager under lysrør (planten til venstre i bilde A, B, C og D), metallhalogen (planten i midten i bilde A, B, C og D) og LED-belysning (planten til høyre i bilde A, B, C og D).



Figur 37. *F. benjamina* 'Golden King' har vokst i 256 dager under lysrør (planten til venstre i bilde A, B, C og D), metallhalogen (planten i midten i bilde A, B, C og D) og LED-belysning (planten til høyre i bilde A, B, C og D).



Figur 38. *Aglaonema commutatum* 'Green Lady' har vokst i 256 dager under lysrør (planten til venstre i bilde A, B, C og D), metallhalogen (planten i midten i bilde A, B, C og D) og LED-belysning (planten til høyre i bilde A, B, C og D).

5. Konklusjon

Lysrør og LED-belysningen førte til økt vekst hos *A. commutatum*, økt bladantall, økt bladareal og økt tørrvekt hos *H. helix* sammenlignet med de samme artene dyrket under metallhalogen. Hos *F. benjamina* ble det ikke vist signifikante forskjeller i vekstparametere mellom lyskildene.

Planter dyrket under lysrør og LED-belysning hadde dermed relativt like gode vekstforhold. Lysrør hadde i tillegg et gunstig lysspekter for plantevekst, noe som ga de høyeste verdiene ved måling av klorofyll a/b-forhold hos *H. helix* og *F. benjamina* og fotosynteseaktivitet hos *H. helix*.

Metallhalogenen viste seg å ha dårligere spredning av lyset enn lysrør og LED. Dette vil da sannsynligvis gi områder med sterkt lys og områder med skygge på plantene, begge deler med mulige negative konsekvenser for planteveksten. Utseendemessig var det allikevel forholdsvis liten forskjell på planter dyrket under metallhalogen og de to andre lyskildene, og det var ingen tegn til endring i morfologi.

Lysrørene måtte monteres nærmere plantene for å gi likt lysnivå som de andre lyskildene. LED-pærene avgir ikke ekstra varme i motsetning til metallhalogen. De er energibesparende, men det må beregnes antall pærer som behøves for å oppnå riktig lysnivå. Det kan brukes samme armaturer til metallhalogen og LED-belysning.

Det kan konkluderes med at alle plantene i forsøket, som opprinnelig vokser og dyrkes under vidt forskjellige lysforhold, tilpasset seg uventet godt ved samme lysnivå under forskjellige lyskilder, og alle hadde minimalt bladfall.

Ved valg av belysning til planter i kontormiljø er må det også tas stilling til plassering, armaturdesign, energibesparelser og vedlikehold. Tidligere forsøk har dokumentert at planter i kontormiljø gir økt trivsel og kan redusere både stress, hodepine og sykefravær (Wolverton et al. 1989, Fjeld 2000, Bringslimark et al 2007, Nieuwenhuis et al 2014). Omtalte og andre faktorer kan være avgjørende for hvilken lyskilde man ender opp med til slutt.

6. Litteraturliste

- Bergstrand, K.J. (2014) Modern växthusbelysning –ett kompendium om växthusbelysning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Rapport 2015:20.
- Bergstrand, K.J., Gislerød, H.R., Mortensen, L.M. & Suthaparan A. (2016) Acclimatisation of greenhouse crops to differing light quality. *Scientia Horticulturae* 204: 1-7.
- Bringslimark, T., Hartig, T. & Patil, G.G. (2007) Psychological benefits of indoor plants in workplaces: putting experimental results into context. *HortScience* 42(3):581-587.
- Bævre, O.A. & Gislerød, H.R. (1999) Plantedyrking i regulert klima. 2. utg, Forfatterne og A/S Landbruksforlaget, s 17-18, 67.
- Dibenedetto, A.H. & Cogliatti, D.H. (1990) Effects of light intensity and light quality on the obligate shade plant *Aglaonema commutatum*. II. Photosynthesis and dry matter partitioning, *Journal of Horticultural Science*, Volume 65, Issue 6: 699-705.
- Dibenedetto, A.H. & Cogliatti, D.H. (1991) Effects of light intensity and light quality on the obligate shade plant *Aglaonema commutatum*. II. Photosynthesis and dry matter partitioning, *Journal of Horticultural Science*, Volume 66, Issue 3: 283-289.
- Egea, G., Pérez-Urrestarazu, L., González- Pérez, J., Franco-Salas, A. & Fernández-Cañero (2014) Lighting systems evaluation for indoor living walls. *Urban Forestry & Urban Greening* 13, 475-483.
- Fjeld, T. (2000) The Effect of Interior Planting on Health and Discomfort among Workers and School Children. *HortTechnology* January-March 2000 vol. 10 no. 1:46-52.
- Gautam, P., Terfa, M.T., Olsen J.E. & Torre, S. (2015) Red and blue light effects on morphology and flowering of *Petunia x hybrid*. *Scientia Horticulturae* 184: 171-178.
- Goto, E. (2003) Effects of light quality on growth of crop plants under artificial lighting. *Environ. Control in Biol.*, 41(2), 121-132.
- Hoel, B.O. & Solhaug, K.A. (1998) Effect of irradiance on chlorophyll estimation with the Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter. *Annals of Botany* 82: 389-392.
- Islam, M.A., Tarkowská, Liu Clarke, J., Blystad, D.R., Gislerød, H.R., Torre, S. & Olsen, J.E. (2014) Impact of end-of-day red and far-red light on plant morphology and hormone physiology of poinsettia. *Scientia Horticulturae* 174:77-86.
- Johnson, C.F., Brown, C.S., Wheeler, R.M., Sager, J.S., Capman, D.K. & Deitzer, G.F. (1996) Infrared Light-Emitting Diode Radiation Causes Gravitropic and Morphological Effects in Dark-Grown Oat Seedlings, *Photochemistry and Photobiology*. Volume 63, Issue 2, 238-242.

- Kim, H.-H., Goins, G.D., Wheeler, R.M. & Sager, J.C. (2004) Green-light Supplementation for Enhanced Lettuce Growth under Red- and Blue-light-emitting Diodes. *HortScience* 39(7):1617-1622.
- Krizek, D.T., Mirecki, R.M. & Britz, S.J. (1997) Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cucumber. *Physiologia Plantarum*, Volume 100, Issue 4: 886-893.
- Lambers, H., Chapin, F.S.I. & Pons T.L. (2008) *Plant Physiological Ecology*. 2. utg, New York, USA: Springer Science + Business Media, LLC.
- Markwell, J. et al (1995) Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. *Kluwer Academic Publishers, Photosynthesis Research* 46: 467-472.
- McCree, K.J. (1972) The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Agric Meteorology*, 9: 191-216.
- Moe, R. & Heins, R.D. (1990) Control of plant morphogenesis and flowering by light quality and temperature. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 272:81-90.
- Muriche, E.H. & Horton, P (1997) Acclimation of photosynthesis to irradiance and spectral quality in British plant species: chlorophyll content, photosynthetic capacity and habitat preference. *Plant, Cell & Environment*, Volume 20, Issue 4: 438-448.
- Nieuwenhuis, M., Knight, C., Postmes, T. & Harslam S.A. (2014) The relative benefits of green versus lean office space: Three field experiments. *Journal of Experimental Psychology: Vol 20(3)* 199-214.
- Raven, P.H., Evert, R.F. & Eichhorn, S.E. (2005) *Biology of Plants*. 7.utg, W.H. Freeman and Company, USA.
- Reyes, T., Nell, T.A., Barrett, J.E. & Conover, C.A. (1996) Testing the Light Acclimatization Potential of *Chrysalidocarpus lutescens* Wendl. *HortScience* 31 (7):1203-1206.
- Slater, A. Scott, N.W. & Fowler, M.R. (2008) *Plant Biotechnology, the genetic manipulation of plants*. 2. utg, Forfatterne og Oxford University Press, New York, USA.
- Smith, H. (2000) Phytochromes and light signal perception by plants – an emerging synthesis. *Nature* 407: 585-591.
- snl.no, 17.4.16
- Sæbø, A., Krekling, T. & Appelgren, M. (1995) Light quality affects photosynthesis and leaf anatomy of birch plantlets in vitro. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 41:177-185.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2010) *Plant Physiology*. Fifth Ed. MA, USA: Sinauer Associates, Inc.
- Terashima, I. Fujita, T., Inoue, T., Chow, W.S. & Oguchi, R. (2009) Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green. *Plant Cell Physiol* 50: 684–697.

Terfa, M.T., Solhaug, K.A., Gislørød, H.R., Olsen J.E. & Torre, S. (2013) A high proportion of blue light increases the photosynthesis capacity and leaf formation rate of Rosa x hybrid but does not affect time to flower opening. *Physiologia Plantarum* 148: 146-159.

Wolverton, B.C., Johnson, A. & Bounds, K. (1989) Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement. Final report. NASA, John C. Stennis Space Center, MS, United States.



Norges miljø- og
biotechnologiske
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no