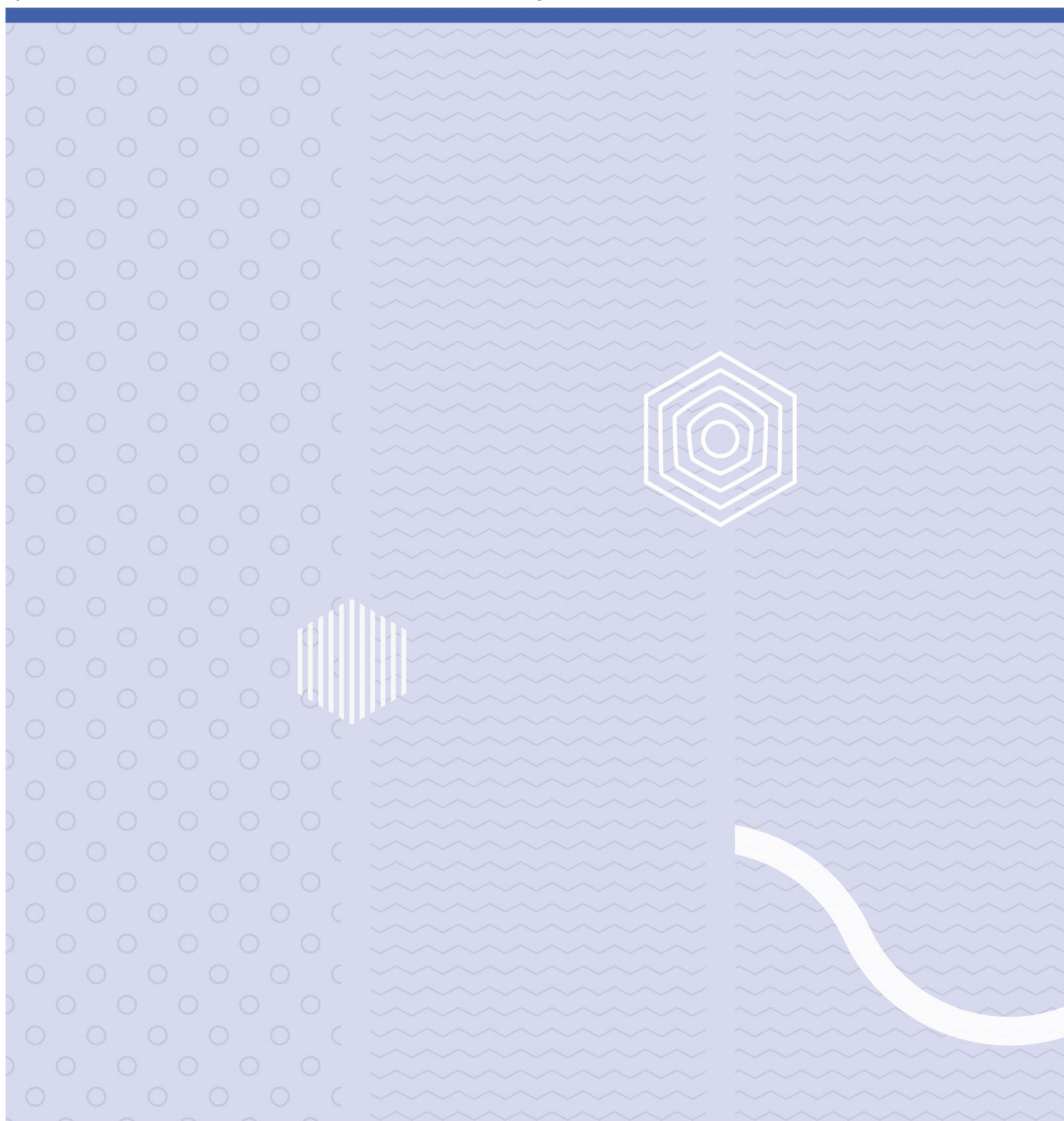


Miriam Moucharef, Daniel Winnan Kolbjørnsen og Ozan Uysal

Hvordan kan vi tilpasse lys for å stimulere til ønsket plantevekst i kontrollerte miljøer?



Forord

Kjære leser,

Denne oppgaven er skrevet som en avsluttende del av vår bachelor i Lysdesign ved Universitetet i Sørøst Norge, Campus Kongsberg. Gjennom de tre årene har vi tilegnet oss ny kunnskap om LED og teknologiens fremvekst, hvor bruksområdene har basert seg på menneskelige tilstedeværelse. Samtidig har vi blitt introdusert for ulike hensyn som må tas ved bruk av belysning, når det gjelder andre levende organismer og dyr.

Bakgrunnen for temaet ble introdusert for oss under praksisperioden, med stor takk til lysdesigner Bulut Büküm, hos Osram AS, som gjorde oss oppmerksomme på denne delen av lysbransjen. Motivasjonen for valg av temaet i oppgaven bygger på ønsket om å lære mer om lysets påvirkning i planteverden, utover emner skolen har valgt å belyse.

Vi ønsker å sende en stor takk til foreleser og veileder Jan Henrik Wold, for god oppmuntring og støtte underveis, som samtidig har vært en nøkkelperson for vår kontakt med fagpersoner med relevant kunnskap til tema. Vi vil også takke for inspirerende og nyttig informasjon fra Kristoffer Lindback-Larsen, Evolys, som har bistått med målingsutstyr og som kontaktperson for befarings hos Linnes gård i Lier.

En stor takk til Øyvind Rise, Senter for klimaregulert planteforskning, ved NMBU, som har bistått med relevant kunnskap inn i vår oppgave, samt gitt oss omvisning i reelle vekstmiljøer knyttet til temaet.

Drammen, 15. Mai 2019

Miriam Moucharef, Daniel Winnan Kolbjørnsen, Ozan Uysal

Sammendrag

I denne oppgaven synliggjøres hvilke prosesser som settes i gang i plantene som følge av lyseksposering og hvilket potensiale lysteknologien har for plantevekst. Formålet med oppgaven er å synliggjøre hvilke kvaliteter ved lyset som kan bidra til økt effektivisering av plantevekst, og hvilke spektrale komposisjoner ved hjelp av styringssystem som kan benyttes for å oppnå ønsket vekst i kontrollerte miljøer. Oppgaven beskriver de ulike vekstfaktorene i ulike vekststadier som påvirkes ved lyseksposering. Gjennom en systematisk litteraturstudie, med tidligere studier og forskning som referanser, synliggjøres funnene som foreligger med henblikk på elektromagnetisk stråling og plantevekst. I tillegg benyttes befaringer og internforsøk som metode for å fremstille viktige virkninger av lyset.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag.....	2
1 Innledning.....	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Formål.....	5
1.3 Avgrensning.....	6
1.4 Problemstilling	6
2 Litteraturgjennomgang	7
2.1 Lys	7
2.2 Planter og mennesker.....	8
2.2.1 Lysmåling på planter sammenliknet med mennesker	8
2.3 Lyspåvirkning på planter.....	9
2.3.1 Fotosyntese	9
2.3.2 Lysspekter- og strålingspåvirkning i plantevekst.....	9
2.3.3 Fotoperiodisme.....	12
2.3.4 Propagering og fotomorfogenese.....	14
2.4 Hortikulturell lysteknologi	15
2.4.1 Nyere teknologi og digitalstyring av spektralfordeling	15
3 Metode	18
3.1 Metodevalg	18
3.2 Avveininger.....	19
3.3 Fremgangsmåte	20
4 Resultater.....	22
4.1 Hvilke påvirkninger lysspekter har på planter	22
4.2 Potensial med styring av LED	24
4.3 Befaringer.....	25
4.4 Internforsøk.....	30
5 Diskusjon.....	35
5.1 Diskusjon av hovedfunn	35
5.1.1 Hvilke påvirkninger lysspekteret har på planter	36

5.1.2	Potensial med styring av LED	37
5.2	Metodediskusjon	39
6	Oppsummering	41
7	Litteraturliste	43
8	Ordliste	45
9	Vedlegg.....	47
9.1	Tabell 1: Oversikt over inkluderte søkeord.....	47
9.2	Tabell 2: Oversikt over inkluderte artikler.....	48

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Inspirasjon og motivasjon for denne oppgaven er hentet hos lysdesigner Bulut Büküm, som, under praksisperiode hos Osram AS, introduserte oss for hortikulturell belysning. Dette gav mersmak og inspirasjon til å lære om et helt nytt tema innen lysfaget, som vi ikke har hatt befatning med tidligere. I tillegg til å lære om arkitektoniske belysningsmetoder gjennom studiet, har vi lært om belysningsmetoder for å dekke menneskelige syns- og orienteringsbehov. Belysning av planter har ikke vært et tema tidligere, og var derfor spennende å lære mer om.

De ulike emnene i studiet baseres mye på måling av elektromagnetisk stråling, og da stort sett i måleenheter hvor strålingsenergien er vektet med øyets spektrale lysvirkningsgrad. Emnet fotometri gav en oversikt over ulike lystekniske begreper, i tillegg til en generell kunnskap om elektromagnetisk stråling. Emnet gav imidlertid ingen innføring i hvordan lys påvirker organismer utenfor den menneskesentrerte sfære. Fotometri har vist seg å være mye mer enn kunnskap om utelukkende lysets og den øvrige elektromagnetiske strålingens funksjoner i de ulike belysningskontekster vi har lært om i studiet. Emnet har også gitt et innblikk i andre måter å bruke lys på.

Det at planter reagerer annerledes på elektromagnetisk stråling enn vi mennesker gjør, har vekket vår interesse for å undersøke hvilke prosesser som settes i gang i plantene, og på hvilken måte plantene kan påvirkes gjennom eksisterende lysteknologi. Gjennom studiet har vi tilegnet oss kunnskap om lysemitterende dioder (LED) og andre lyskilder som vi har benyttet i arbeidet med oppgaven.

1.2 Formål

Formålet med denne oppgaven er å synliggjøre hvilke kvaliteter ved lyset som kan bidra til økt effektivisering av plantevekst, og hvilke metoder vi kan benytte for å oppnå ønsket vekst. Ved å bruke resultater fra tidligere studier og forskning synliggjør vi de foreliggende funnene vedrørende sammenhengen mellom elektromagnetisk stråling og plantevekst.

1.3 Avgrensning

Det har vært vesentlig å avgrense oppgavens omfang, grunnet begrenset tid. Dette har ført til at vi har vært nødt til å begrense hvor detaljert vi beskriver teori og metoder som benyttes. Vi har avgrenset oppgaven til en lett forståelig beskrivelse av teoriene, uten å gå i detalj i de biokjemiske prosessene i plantene. Oppgaven baserer seg på informasjon fra litteratur, teorier og befaringer. De mest sentrale prinsippene med hensyn til lyspåvirkning på planter synliggjøres for tenkte tilfeller hvor alle andre ytre faktorer er optimale. Under våre begrensede forutsetninger er det med støtte i foreliggende litteratur gjennomført et internforsøk for å demonstrere belyningsprinsipper for vekstbelysning, Forsøket er gjennomført primært for egen lærings skyld.

1.4 Problemstilling

Lys er en av de avgjørende faktorene for plantevekst. Med mulighet til å kontrollere lyset, kan plantens vekstutbytte økes, veksttiden reduseres og utseende og næringsinnholdet i planten påvirkes, året rundt, uavhengig av geografisk plassering. Ettersom vi ønsker å fremlegge kunnskap om innendørs plantevekst, vil vi i denne oppgaven gå nærmere inn på hva ulike lyskvaliteter kan gjøre for å stimulere til ønsket plantevekst. Med dette som utgangspunkt, har vi kommet frem til følgende problemstilling:

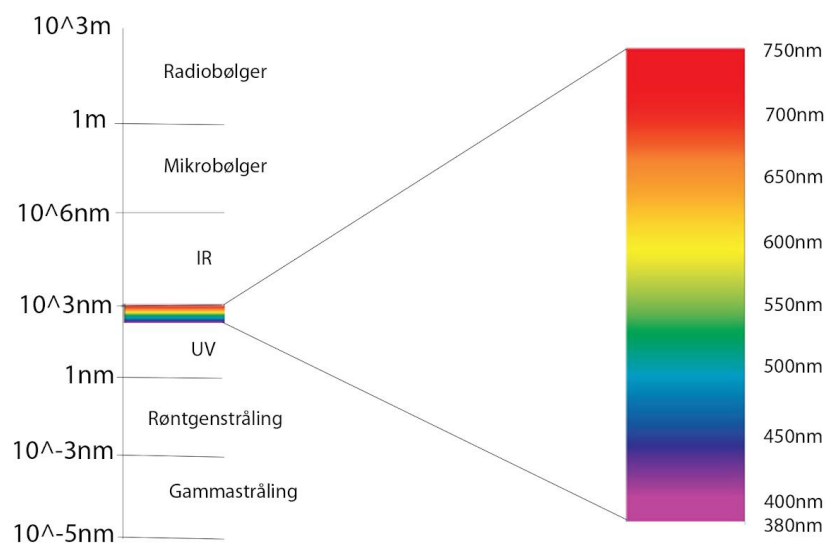
«Hvordan kan vi tilpasse lys for å stimulere til ønsket plantevekst i kontrollerte miljøer?»

2 Litteraturgjennomgang

2.1 Lys

Lys er definert som elektromagnetisk stråling, som oppfattes av det menneskelige øyet. Selv om en slik definisjon av lys er teknisk korrekt, så refererer ordet lys ofte til et bredere spekter av elektromagnetisk stråling. Stråling fra solen, som er vår naturlige lyskilde, har en spektral sammensetning med bidrag fra store deler av det elektromagnetiske spekteret, men kun en liten del av strålingen fra sola trenger gjennom atmosfæren.

Det elektromagnetiske spekteret strekker seg over et stort bølglengdeområde. Ut til siden for den kortbølgede delen av det synlige spektrum har vi, ordnet etter avtagende bølglengde, ultrafiolett stråling, røntgenstråling og gammastråling, og ut til siden for den langbølgede delen har vi, ordnet etter økende bølglengde, infrarødstråling, mikrobølger og radiobølger (figur 1). (Nobel, 2009)



Figur 1 - Figuren viser det elektromagnetiske spekteret og fremhever den synlige delen lys.

2.2 Planter og mennesker

Hos mennesker registreres lyset i øyet, hvoretter det oppstår et visuelt bilde i vår bevissthet. Det vi oppfatter, er refleksjoner av lys fra gjenstander rundt oss, som da fremstår i ulike fargenyanser. Menneskeøyet har en responstopp i det gulgrønne området av det synlige spektrum, som svarer til en bølgelengde på rundt 555 nm. Planter, på sin side, reagerer mer effektivt på stråling fra den røde og blå delen av fargespekteret, samt fra deler av det elektromagnetiske spekteret som ikke er synlig for menneskeøyet. En plante registrerer informasjon fra lyset gjennom fotoreseptorer hvor følsomheten avhenger av lysets bølgelengde.

Planter trenger et mer balansert lysspekter for å få best mulig vekst, og da er kvaliteten på lyset like viktig som lysmengden. Med unntak av den visuelle oppfatningen, har planter og mennesker biologiske reaksjoner ved lyseksposering. Den delen av lysspekteret en plante kan registrere og utnytte kalles for fotosynteseaktiv stråling, også betegnet PAR (Photosynthetically Active Radiation). PAR er elektromagnetisk stråling med bølgelengder mellom 400 og 700 nm. (Pinho, Jokinen, & Halonen, 2012)

2.2.1 Lysmåling på planter sammenliknet med mennesker

Både lumen og lux er måleenheter som referer til menneskeøyet's lysfølsomhet, men ikke til hvordan planter registrerer lyset. Den grunnleggende metoden for å måle lys som påvirker planter, er å måle strålingsenergien. Dette gjøres på to måter:

Vi kan måle det totale antallet fotoner innenfor PAR-området som stråler ut fra den gitte lyskilden per sekund. Dette kalles for Photosynthetic photon flux (PPF). Dersom vi vil måle den totale PAR-fluksen mot plantenes overflate, må vi også medregne arealet av den bestrålte overflaten. Photosynthetic photon flux density (PPFD) er størrelsen som brukes for å angi tettheten av fotoner som treffer et gitt areal per sekund. PPFD tar ikke hensyn til hvilke bølgelengder fotonene har innenfor PAR, men gir oss et samlet måltall for PAR-fluksen mot overflaten, uavhengig av lys- og belysningsstyrker. Måleverdien for PPFD oppgis i $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. (Pinho et al., 2012)

2.3 Lyspåvirkning på planter

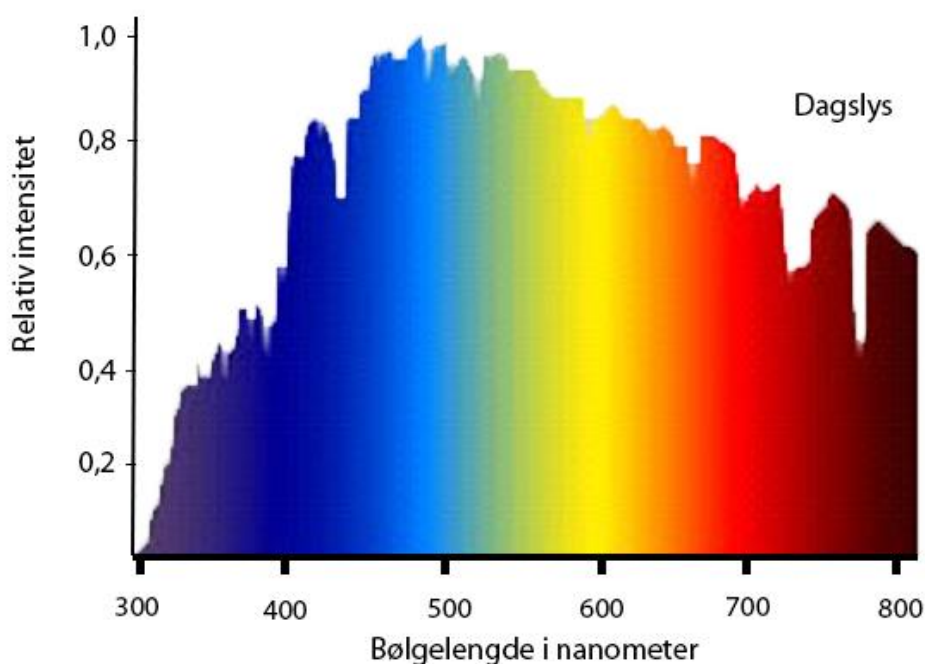
Lysets påvirkning på planter setter i gang en rekke prosesser som får frøene til å spire og slå røtter. For å forstå hva lyset gjør med plantene, er ulike biokjemiske prosesser som oppstår som følge av elektromagnetisk strålingspåvirkning, beskrevet i generelle trekk i avsnittene nedenfor.

2.3.1 Fotosyntese

I prosessen av fotosyntese blir energi i form av lys fanget opp i plantens klorofyller. Fotosyntesen setter i gang en omdannelse av stoffer som veksles ut i andre molekytlære forbindelser. Karbondioksid (CO_2) sammen med vann (H_2O) brukes av planten for å danne biomasse, og dette veksles senere ut til oksygen (O_2). Videre vil de biokjemiske stoffene vann og karbondioksid fra omgivelsene bli til druesukker ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) som planten ernærer seg av og oksygen som slippes ut i omgivelsene. (Pinho et al., 2012)

2.3.2 Lysspekter- og strålingspåvirkning i plantevekst

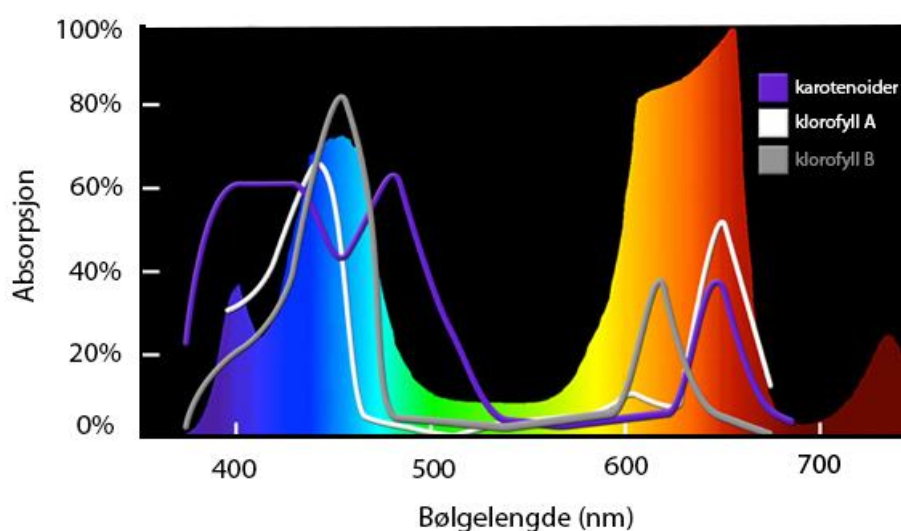
Det elektromagnetiske spekterets bestanddeler fra solen vises i figuren under, som har vært vår naturlige lyskilde siden tidenes morgen (figur 3). Men hva er det planter får i utbytte av det elektromagnetiske spekteret og hvilken effekt har strålingen på plantevekst?



Figur 3: Elektromagnetiske spekteret med de ulike bølgelengdene fra sollyset. (Egen illustrasjon)

Fotosyntetisk aktiv stråling (PAR) med bølgelengder mellom 400 - 700 nm er den viktigste strålingsenergien plantene kan benytte seg av. Dersom bølgelengdene plantene eksponeres for er for høy eller for lav i forhold til PAR-området, kan dette føre til stress, som forårsaker fotoinhibering og forstyrrer den fotosyntetiske prosessen. Fotosyntetisk aktiv stråling endrer seg gjennom dagen der planter forsøker å holde balansen mellom å konvertere strålingsenergi og beskytte seg selv mot fotoinhibering og reparere skader. (Kalaji et al., 2014)

Den spektrale lyspåvirkningen på planteutvikling ble først rapportert for et århundre siden, hvor det har vist seg at den fotosyntetiske aktiviteten for klorofyll og karotenoider er relatert til lyspåvirkning og energitransduksjon i fotosyntese. Det vil si at den fotosyntetiske prosessen påvirkes av de røde og blå bølgelengdene, hvor klorofyll har sin maksimale følsomhet, mellom 300-400 nm og 600-700 nm. Karotenoider absorberer blått lys, som er hjelpefotoreceptor for klorofyll (Figur 4). (Pinho et al., 2012)



Figur 4 - Grafen viser følsomhetskurvene til de ulike pigmentene for fotosyntese. (Egen illustrasjon)

Stråling fra den rød (640 – 680 nm)- og langbølget røde (700 – 800 nm) delen av lysspekteret har vist seg å være det mest effektive for plantenes vekst. Planter som blir eksponert for rødt og langbølget rødt stråling, utnytter energien på å strekke seg for å få tilgang til mer energi fra lyset. Planter vil ikke kunne vokse og utvikle seg best mulig om de kun utsettes for langbølget rødt stråling. De er i tillegg avhengig av å bli eksponert for blått lys (430-450 nm). Blått lys har en positiv effekt, som kan føre til kortere stilker og

tykkere blader. Ved for lite blått lys, vil dette føre til lenger stilker og større bladoverflateareal, som følge av utnyttelse av energi fra andre bølgelengder.

Selv om det ofte blir referert til at det grønne lyset (500-550 nm) reflekteres tilbake av plantens overflate, kan det grønne lyset også være gunstig for en plante. Det kan derfor være upresist å si at kun blått og rødt lys får planter til å vokse og utvikle seg. Planter trenger også det grønne lyset for sin utvikling. Sammensetningen av de ulike bølgelengdene inneholder lysenergi som til sammen gir økt effekt for utvikling av planteveksten. (Olle & Viršile, 2013)

Ultrafiolett stråling (100-400 nm), har også en effekt på planter, hvor planter vil vokse mer kompakt og med korte internodier. Vi må også passe på at man ikke overstresser en plante med UV-stråling, da dette kan føre til negativ påvirkning på DNA og membraner av planter, i tillegg til at fotosyntese kan hindres. (Rodriguez, Torre, & Solhaug, 2014) Vi kan se at under den fotosyntetiske aktiviteten i hver plante, reagerer de ulikt på hvilke bølgelengder de blir utsatt for ved lyseksponering. På denne måten kan vi si at hver plante har ulike egenskaper for lyspåvirkning (Pinho et al.) Sammenfattet kan vi si at følgende strålingspåvirkning kan gi disse responsene:

- UV-stråling (100nm – 400nm) – Planten vokser kompakt, med korte internodier. Bør ikke utsettes for store mengder da dette kan føre til stress i planten, og uønskede reaksjoner.
- Blått lys (430nm-450nm) – Korte stilker og tykkere blader. Essensielt for fotosyntese.
- Grønt lys (500nm-550nm) – Reflekteres av pigmenterte reseptorer i plantene, som gjør at vi oppfatter plantene grønne. Gir i kombinasjon med andre bølgelengder en additiv effekt.
- Rødt lys (640nm – 680nm) og langbølget rødt lys (700nm- 800nm)– Denne delen av spekteret har lavere energi enn den blå delen. Planter som blir eksponert for rødt og langbølget rødt lys, utnytter energien på å strekke seg for å få tilgang på mer energi fra lyset. Hvor de røde bølgelengdene gir mer røtter enn de langbølgede strålene, vokser plantene under stor andel langbølget stråling seg høyere.

2.3.3 Fotoperiodisme

Fotoperiodisme kan i stor grad beslektet med varighet av lyseksposering og lysets kvaliteter i forhold til plantevekst. Fotoperiodisme er en av de mest betydningsfulle og komplekse aspektene av samspillet mellom planter og deres miljøpåvirkning, hvor lys er en sentral del. En slik respons vil kunne tydeliggjøre selektive fordeler for organismen. Det vil være viktig å observere virkningen av mørkeperiodene, for å forstå hvor viktig det er for planten å få "hvile" fra lyseksposeringen. Gjennom fotoperioden oppstår det en rekke reaksjoner som gir ulike effekter i planteveksten. (Jackson, 2009)

Vi deler gjerne de fotoperiodiske effektene inn i kvalitativ og kvantitativ effekt:

Kvalitativ - under bestemte lyseksposeringsforhold vil planten enten blomstre eller forbli rent vegetativ. Den kvalitative effekten baserer seg på bølgelengdenes lysnivå innenfor PAR-området, hvor planten ikke utsettes for stress og uheldige reaksjoner. Innenfor PAR-området vil produksjon av plantemasse øke i takt med lysmengden planten utsettes for. Strålingen som treffer plantene har varierende lysmetning, avhengig av lyskilde, og gjør at plantene har ulik respons etter hvilke lysnivå de blir utsatt for. (Dueck, van Ieperen, & Taulavuori, 2016)

Kvantitativ – planten vil kunne blomstre, men tidspunktet for blomstringen forskyves med endringer i lyspåvirkning. Ofte er det også et tydelig samspill mellom temperatur og daglengde ved induksjonen av blomstringen. De kvantitative effektene baserer seg på varighet og intensitet eller fotontettheten av de respektive bølgelengdene som treffer bladene. (Dueck et al., 2016)

Plantens reaksjon på lyseksposering bestemmes i stor grad av varighet som følge av årstiden, for utendørs vekst. Historisk sett kan vi se at plantene som vokser i ulike miljøer har tilpasset seg klimaet og kan gi oss en forståelse av hvorfor disse plantene passer best under gitte omgivelser. Planter har ulik påvirkning på dagslyset og hvor lenge de blir utsatt for lyseksposering. (Jackson, 2009)

Kontrollerte miljøer som drivhusdyrking har større potensial for å kontrollere faktorer som lyseksponering, temperatur og fuktighetsforhold for de respektive plantene og blomstene. Ved styring av lyseksponeringen kan vi kontrollere den fotoperiodiske reaksjonen hos plantene. Ved hjelp av kunstig belysning, kan vi fremskynde eller hindre blomstringen som vi selv måtte ønske, uavhengig av årstid. (Dueck et al., 2016)

Plantenes fotoperiodisme ved fridyrking består også av klargjøring for hvileperiode, hvor dagslyseksponering mot slutten av året påvirkes av kortere daglengder, og mindre sollys. Som en del av fotoperiodismen, går plantene i såkalt hvilemodus, hvor næringen trekkes inn i planten og ned i røttene, og bladoverflatene endrer sine farger, som et tegn på overgang til hvileperioden. Denne tilstanden kan kalles for midlertidig metabolsk inaktivitet. (Dueck et al., 2016)

2.3.4 Propagering og fotomorfogenese

“Fotomorfogenese” er prosessen der fotoreseptorene i planten setter i gang forandringen ved spiringsstadiet. Etter frøets eksponering for lys vil spiringen begynne. Planten innehar flere prosesser som settes i gang som følge av eksponering for lys, disse prosessene sørger for at veksten av planten skjer under de foretrukne kårene. Alle fotoreseptorene har et ansvar for ulike prosesser for vekstens utvikling. UVR8 reseptoren responderer på UVB-stråling (290nm) og planten vil produsere pigmenter for beskyttelse, samtidig som at andre metabolitter også settes i gang. (Davis & Burns, 2016)

I 2007 fant Jankowska-Blaszczuk ut at frø var mindre avhengig av lys for spiring jo mer de ekspanderte i størrelse. Frøstørrelsen hadde også en indirekte relasjon til toleransen av spiring i omgivelser med skygge, som en respons til langbølget rødt lys (Far-red). Mindre frø trenger større mengder energi fra langbølget rødt lys for å prosessere til spiring, mens større frø ofte ikke har det samme behovet. Informasjon som dette kan gi muligheter for å tilpasse lys til et stort utvalg av arter, og dermed også øke både produksjonsnivåer og suksess-raten. (Davis & Burns, 2016)

Propagering er kjent som det første stadiet innenfor hortikulturell produksjon. Dette stadiet er kritisk da det kan både øke og minske sjansene for effektiviteten av vekst. Det som defineres som god lyskvalitet skal i utgangspunktet ha en økende effekt på spiringen, og generell vekst. For at røttene skal dannes spiller lys en like viktig rolle, da det vil ha en positiv effekt for hyppighet av propageringen. (Davis & Burns, 2016)

2.4 Hortikulturell lysteknologi

I de fleste drivhus og kontrollerte miljøer for dyrking benyttes det fortsatt tradisjonelle lyskilder som høytrykksnatrium og kvikksølv damp. Ofte er det en misoppfatning av at lyskilder kan være mer tilpasset som vekstbelysning, og dette er ikke muligens data som stemmer overens med naturvitenskapelige teorier.

For applikasjoner av belysning i kontrollerte miljøer er man opptatt av å optimalisere bruken av lyset for å fremme fotosyntesen. I forskning har det vært tydelig lagt frem at man må ha tilstrekkelig med lys for vekst, for å vedlikeholde vekstens karakteristika. Teknologien i dag har lenge basert seg på tradisjonelle lyskilder som har stilt et lite kritisk krav til lyskvalitet. Kriteriene for valg av armaturer i kontrollerte miljøer har tidligere vært lysmengde og systemlast. Disse systemene har en energikonvertering som emitterer lys innenfor PAR-området, men tilpasning av spektrale lyskvaliteter er en egenskap som må utelukkes. LED vil i flere tilfeller ha like stor systemlast som andre lyskilder, og produksjonsprosessen av selve lyskilden vil kunne ha en virkning på kvaliteten. Ved uaktsomhet i design og implementering av disse systemene, risikerer man mindre potensial til besparelse og tilpasning. Riktig utnyttelse av egenskapene i LED kan by på potensial til energibesparelse, samtidig mangfoldig tilpasning av lyskvaliteter og belysningsprinsipper. Introduksjonen av LED i hortikulturell belysning har brakt stor oppmerksomhet rundt lyskilden, på grunn av mulighetene for tilpasning av lysspekter og styring (Davis & Burns, 2016)

2.4.1 Nyere teknologi og digitalstyring av spektralfordeling

Lys tilpasset for dyrking og vekst kan potensielt sett være bidragsytende for bærekraftighet, bærekraftig produksjon, matvaner og menneskelig velvære uavhengig av geografisk posisjon og miljø. Teknologien for slik belysning tilbyr en mulighet for å utvikle nye systemer for dyrking og kultivering av plantearter innenfor urbane omgivelser. P. A. Davis & Burns har gjennom sine studier estimert at 50% av verdens befolkning vil befinne seg i urbane omgivelser i løpet av 2050. Ved å øke effektivitet og bruke mindre ressurser, kan bruken av LED i sannsynlighet bli en ny metode for matproduksjon.

LED vekket interesse for både forskere og den hortikulturelle industrien. LED har stort potensial for å spare energi, sammenlignet med tradisjonelle lyskilder. LED-teknologi blir stadig utviklet, og har et stort potensial også i fremtiden. I tillegg til å øke bærekraftighet åpner også LED for å kunne tilpasses de fotobiologiske egenskapene til ulike planter. Dagens LED-teknologi gir oss tilgang til å justere og tilpasse spektralfordelingen av lyset. Dette resulterer i at vi har tilgang til å manipulere vekstens størrelse, næringsinnhold, karakteristikk, pigmentering og smak. (Davis & Burns, 2016)

I tillegg til dette har LED en høyere elektrooptisk effektivitet ved konvertering av energi, lenger levetid og mindre varmeutslipp. Dette gjør at kilden kan plasseres nærmere plantene, som gjør at vi kan optimalisere spredningsvinkler ved hjelp av forskjellige optiske avskjerminger og linser. De fysiske egenskapene til lyskilden gjør at konfigurasjonen kan tilpasses på mange måter ved utforming av armaturer. Vekstlyssystemer har i lang tid bestått av tradisjonelle lyskilder, men i nyere tid utforskes nyere teknologi, bestående av LED. (Y. Zhuo, G. Sun, Y. Ke, C. Shen, & J. GuoxuLiu, 2018)

LED-kilder i dag er lett tilgjengelig og allsidig i mange bruksområder. Dette gjør den også kompatibel med ulike systemer som styring. Styring av lys benyttes oftest i dag for å regulere lysnivåer i både private hjem, offentlige arealer og innenfor vei- og gatebelysning. Likevel har disse applikasjonene til felles at det primært gjøres for energisparing. Styring av belysning er noe som kan tas videre med i tilfeller av vekstbelysning i kontrollerte miljøer for å spare energi og tilpasse lyskvaliteter for ulike plantearter. (O. Petrov, M. Dimitrov, & V. Ruseva, 2011)

Ved å kombinere armaturers ulike komponenter som drivere og ballaster gjør vi de tilgjengelig for styring. I tilfeller hvor plantene utnytter stråling fra dagslyset, kan LED for eksempel simulere en overgang som holder et konstant energinivå uavhengig av solens posisjon. Et system som ofte benyttes og er tilgjengelig i dag er «Digital Adressable Lighting Interface», også kjent som DALI. DALI er en styringsprotokoll som tillater styring av armaturer, enten individuelt eller gruppevis. DALI har også andre kontrollfunksjoner som et adressesystem som kan tilgjengeliggjøre informasjon om kildenes forbruk, stand og lyskvaliteter. Styringen av LED blir mer fleksible og systemene blir enklere å bygge opp, og bidrar til flere ulike funksjoner som er knyttet opp mot brukerens interesser. (Petrov et al. 2011)

Gjennom bruk av denne type styringsprotokoll kan vi med hensikt styre lysintensitet og innhold i den elektromagnetiske strålingen plantene blir eksponert for. På denne måten kan vi eksempelvis kontrollere og styre hva slags type lys planten blir utsatt for til ønsket tid av vekstfasen (Petrov et al. 2011)

3 Metode

I denne delen av oppgaven beskrives de metodiske valgene som er gjort og hvorfor vi har valgt denne tilnærmingen. "Metode er en fremgangsmåte eller et middel en benytter seg av for å løse problemer og komme frem til ny kunnskap. Det sier noe om hvordan en skal gå til verks for å fremskaffe informasjon og nå mål av undersøkelses- og forskningsmessig karakter" (Dalland, 2012). Det forklares hvorfor vi har gjennomført en litteraturstudie av temaet, hvilke avveininger som er tatt, hvordan data ble samlet inn, i tillegg til hvordan data har blitt behandlet og vurdert. Samtidig vil internforsøk og befaringer tydeliggjøre om noen av teoriene vi har tilegnet oss fungerer i praksis, ut ifra de forutsetningene vi har for gjennomføring.

3.1 Metodevalg

I vår oppgave benytter vi oss av litteraturstudie som metode. Vår tilnærming til innsamling av data tar utgangspunkt i systematiske søkeord for hortikulturell belysning. I og med at problemstillingen tar for seg et felt som er i utvikling og har snevert studieomfang, har vi sett oss nødt til å basere innholdet på det som er av funn, uten å komme med noe revolusjonerende svar på temaet. Problemstillingen vil være naturlig å besvare etter en systematisk litteraturstudie, samt observasjoner/befaringer for supplerende informasjon.

Det systematiske litteraturstudiet gir snevre søk innenfor problemstillingens tema, da omfanget for denne oppgaven har et smalt fokus. Planleggingen for å finne relevante studier fører til noen eksklusjons- og inklusjonskriterier for søkene vi gjør. Gjennom befaringer, og observasjoner i reelle veksthus, har vi tilegnet oss ny kunnskap fra fagpersoner. Vi har valgt å kombinere litteraturstudie-metoden med observasjoner og befaringer av reelle prosjekter, for å få bekreftet teorien fra litteraturen vi har funnet.

3.2 Avveininger

Rammene for oppgaven var viktig å presisere før datainnsamlingen begynte. Rammene vi satte, førte til en presis, men ikke en detaljert tilnærming til biokjemi. Samtidig var det viktig for oss å presisere søkene til kontrollerte miljøer, da vi kun var interessert i å finne ut hva lyset gjør med planteveksten. Mange av studiene som var å finne beskrev detaljerte funn, hvor vi valgte å sette søkelys på det elektromagnetiske spekteret, og de ulike bølgelengdenes påvirkning. Ved å tilnærme oss data med hovedfokus på strålingens påvirkning i generelle trekk, ekskluderte vi veldig detaljerte fakta, som i hovedsak ikke gav konkret informasjon til oppgavens problemstilling.

Avveininger som ble tatt for utvelgelse av artikler ble tatt med henblikk på rammeverket vi satt for søkene våre, i form av inklusjons- og eksklusjonskriterier.

Inklusjonskriterier:

- Dyrking i kontrollerte miljøer
- Kun elektromagnetisk strålingspåvirkning på planter
- Artikler som baserer seg på forskning

Eksklusjonskriterier:

- Dybde-detalj av biokjemiske prosesser
- Andre ytre påvirkningsfaktorer for plantevekst
- Informasjon uten vitenskapelig tilknytning

3.3 Fremgangsmåte

Innsamlingsdataen baserer seg på forskningsartikler fra databaser som BIBSYS/Oria, Google Scholar og Scopus. Artikkene som er valgt ut er lest med et kritisk syn, for objektiv tilnærming til tekstene. For at lesingen skulle gi så pålitelig og gyldig informasjon som mulig, ble de nevnte søkemotorene benyttet, som baserer seg på forskningsartikler.

For å kunne tilnærme oss og identifisere relevant litteratur, har vi snevret inn søkeordene som fanger essensen i problemstillingen. Søkeordene omfavner kontrollerte miljøer, hortikulturell belysning og planterespons på lys. Vi har valgt å søke med engelske ord i de valgte databasene, for å få flest mulige treff, da de fleste studiene med relevant informasjon er gjort av utenlandske fagpersoner. I de nevnte databasene benyttet vi søkeord som omfavner "Horticultural lighting", "Plant response", "Influence

Ved å systematisere søkeordene fra de utvalgte databasene ser vi tydelig hvilke søkeord som gir snevre treff og hvilke søkeord som omfavner store temaområder. Inkluderte søkeord i de utvalgte databasene viser antall treff som oppnås i tabell 1 (Vedlegg). For oss har det vært viktig å finne ut av hvilke søkeord som gir best mulig svar på problemstillingens tematikk. Gjennom denne systematiseringen og inklusjons og eksklusjonskriterier ser vi at søkeordene som omhandler "Horticultural lighting", "LED", "plant response", "spectral quality" og "photosynthesis" gir de mest relevante treffene, mens de andre søkeordene tar for seg tematikk som ikke direkte berører hvordan lys påvirker planter. Tabell 2 (vedlegg) viser hvilke referanser som er tatt i betraktning for innsamling av teorigrunnlaget og understøttende for hvilke hovedfunn som undersøkes i internforsøket.

For å snevre inn søkene våre har vi benyttet disse ordene:

Horticultural lighting and controlled environment

Horticultural lighting and LED

LED and plant response

Light and plant response

Light and plant growth

Light spectrum and plant growth

Spectral quality and plants

Photosynthesis and artificial light

Control systems lighting

For å øke reliabiliteten av våre kilder har vi kritisk vurdert relevant informasjon, og direkte sjekket det opp mot deres referanser. Innsamlet data baserer seg på teorier og metoder med like generelle funn, selv om de respektive plantene er ulike. Intensjonen med forsøkene har vært å se på lysets påvirkning på plantene. I tillegg til å vurdere våre inkluderte kilder på en kritisk måte, har vi benyttet oss av befaringer og internforsøk. På denne måten øker vi metodens reliabilitet, hvor vi har observert hvordan noen av teoriene fungerer i praksis.

4 Resultat

De utvalgte referansene beskriver ulike aspekter på hvordan vi kan utnytte den elektromagnetiske strålingen, for å oppnå ulike effekter i plantevekst. De utvalgte referansene gir en sammenfattet forståelse av hvordan lyset kan påvirke planteveksten. Med nåværende teknologi ser vi at det er muligheter for å styre den elektromagnetiske strålingen, slik at plantenes vekstforhold kan optimaliseres.

Ved utførelsen av analyse kommer disse hovedfunnene frem, som utdypes:

1. Hvilke påvirkninger lysspekter har på planter
2. Potensial med styring av LED

4.1 Hvilke påvirkninger lysspekter har på planter

«Horticultural lighting – present and future challenges» (se vedlegg, tabell 2) er en forskningsbasert artikkel som beskriver de ulike funnene som er gjort om virkningen av lysspekteret på planter. Artikkelen beskriver utfordringene med å kontrollere responsene som har følge av eksponering fra et gitt spekter. Det kommer også frem at samarbeidet mellom plantenes fotoreseptorer er vanskelig å forstå, hvilket fører til at vi sitter igjen med eventuelle problemstillinger.

Under forskningen ble det gjort en rekke funn som presenteres i vår oppgave:

- Fotosynteseaktiv stråling (PAR) område innenfor 400-700 nm
- Klorofyll i planter har høyest følsomhet for de blå (300 – 400 nm) og røde (600 – 700 nm) delene av lysspekteret.
- For noen fytokromer finner vi følsomhetskurven ved “Far-red” som er den ytterste røde delen av spekteret (700-800nm) og ved UV (290nm) som kan i store mengder være skadelig for molekylær oppbygning og DNA-strukturen.
- Den grønne/ gule delen av spekteret (500 – 600nm) er fortsatt noe kontroversiell, som følge av funn som har vist en undertrykt dannelse av klorofyll og kloroplast, mens andre studier har vist seg å ha en positiv effekt.
- Disse funnene gjelder nødvendigvis ikke alle plantearter, og derfor kan vi ikke fastslå en normal for gunstig belysning som tar for seg alle artene.

Forskningsartikkel – «Low levels of ultraviolet-B radiation from fluorescent tubes induce an efficient flavonoid synthesis in Lollo Rosso lettuce without negative impact on growth» er en forskningsstudie basert på planter som vokser i norske drivhus om vinteren. Fordi plantene syntetiserer lavere mengder flavonoider og anthocyaniner, ble forsøket utført på Lollo Rosso (rødbladede salat). Målet med studiet var å øke innholdet av flavonoider, uten å redusere plantens friske vekt. Hensikten med forsøket er å oppnå høyere innhold av anthocyaniner for å øke rødfargen i salaten og forbedre kvaliteten av produktet, ved å benytte seg av lysstoffrør med høy UV-B-stråling.

Resultatet gav høyere verdier av flavonoider men viste også tendenser til redusert vekst. De to første dagene viste resultatet høyere verdier av flavonoider. UV-B strålingen kan gi ulike effekter på planteutvikling, morfologi og metabolisme. UV-B på planter avhenger av eksponeringstid, bølgelengde, mengden UV-B i forhold til fotosyntetisk aktiv stråling (PAR). Planter eksponert for et balansert nivå av UV-B, førte til balansering av skade, reparasjon og akklimatisering. På en annen side kan høye UV-B nivåer skade DNA, proteiner og membraner i en plante. I tillegg kan det også hemme proteinsyntesen og den fotosyntetiske reaksjonen, som kan ses på som en stressrespons fra en plante. (Rodriguez et al., 2014)

Forskningsartikkel «*The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality*» presenterer LED-teknologien for drivhusbelysning og gir oversikt over effektene på fotosyntese, vekst, utbytte og næringsverdi i grønn vekst.

Plantenes respons på lys påvirket deres vekst og utvikling ved disse eksponeringene:

- Rødt lys ble forskjøvet fra 660 til 690 nm, som resulterte i mer biomasse. Langbølget rødt (700 – 725 nm) hadde en effekt på økt biomasse, bladlengde men negativt påvirket klorofyll og anthocyanin.
- Blått lys, hadde positive effekter på å aktivere kryptokromene. Blått lys brukt alene eller i kombinasjon med rødt lys, forårsaket høyere verdier i klorofyll, samt påvirket bladfargen. I tillegg til stimulering av biomassen og mer kompakt vekst.
- Grønt lys gav fysiologiske effekter. Grønt lys brukt i kombinasjon med det røde og blå lyset fremmet vekst. (Olle & Viršile, 2013)

4.2 Potensial med styring av LED

I forskningsartikkel «*Photobiology in protected horticulture*» presenteres innføringen av LED-belysningssystemer i de kontrollerte hortikulturelle miljøene. Forskningsartikkelen beskriver potensialet for redusert energiforbruk som årsak av å benytte LED sammenlignet med tradisjonelle lyskilder som høytrykksnatrium og liknende. Samtidig beskrives potensialet for LED i belysningssystemer i kontrollerte miljøer. Mulighetene for kultivering ved bruk av belysningssystemer bestående av LED fører til at systemet kan påvirke fotobiologiske egenskaper i planter. På denne måten kan vi stimulere plantevekst for å oppnå ønsket resultat i større grad enn ved bruk av tradisjonelle lyskilder. I artikkelen konkluderes det med at applikasjon av LED kommer til å øke i fremtiden, ettersom forståelsen av planter og lys øker. Teknologien har potensial til å forbedre matkvaliteten samt redusere energiforbruket.

I forskningsartikkel «*A specialised system for dynamic control and adjustment of the colour temperature and illumination of a lighting system*» presenterer muligheter for kommunikasjon med lyssystemet som tillater brukeren å individuelt styre hver enkelt lysarmatur. Informasjonen som hentes ut fra armaturene kan gi en overordnet statistisk fremstilling av energiforbruk, tilstand på lyskilden, strøm, spenning og eventuelle utfall. I kombinasjon med annet utstyr som eventuelle målere og sensorer kan systemet utformes slik at innsamlingen av data kan automatisere styringen som en årsak av de forhåndsprogrammerte responsene til dataen. (O. Petrov et al., 2011)

4.3 Befaringer

For å få en forståelse over hvordan de ulike teoriene vi bruker fungerer i praksis arrangerte vi to befaringer der vi besøkte forskjellige innendørsanlegg. Disse anleggene var i en oppstartsfase i bruken av nyere teknologi for belysning av plantevekst

Vår første befarings var hos instituttet for plantevitenskap ved NMBU, hvor vi ble veiledet av Øyvind Rise, som er forsker ved instituttet. Vi fikk en grundig gjennomgang av de ulike teoriene de hadde knyttet opp mot sin forskning hvor vi umiddelbart så store fellestrekk på deres og våre referanser. Under befaringsen fikk vi en omvisning av fasilitetene ved instituttet. Disse besto av anlegg som drivhus med tilgang til sollys (figur 5) og blant annet andre kontrollerte miljøer (figur 6) hvor alle naturlige faktorer var utilgjengelige.



Figur 5: Drivhusprosjekt, med tilgang på sollys.



Figur 6: Vekstkammer med lysstoffrør som lyskilde der andre ytre faktorer er under kontroll.

Øyvind viste også en prototype av en lysarmatur med monokromatiske LED-moduler, (figur 7) der hensikten var å se virkningen av røde bølgelengder som et tilskudd i den tilgjengelige belysningen. Dette var enda i en fase hvor fasilitetene ble klargjort, og vi fikk derfor ikke sett noen resultater fra dette i praksis. Instituttet har et sterkt lag med forskere som har sine fagfelt innenfor det meste av plantevitenskap, og dette var definitivt et tilskudd vi trengte for å oppnå en mer overordnet forståelse av temaet vi er innenfor.



Figur 7: Vekstkammer med kombinasjon av hvit, monokromatisk rød og infrarød belysning i form av LED.

Vår andre befaring fant sted på Linnes Gård, i deres drivhus like utenfor Drammen. Kristoffer Larsen fra Evolys har nylig levert en rekke spesiallagde armaturer til drivhuset. Lineære armaturer med monokromatisk blå led-moduler som skal gi et tilskudd av blå bølglengder til den eksisterende belysningen. Under perioden for leveransen var det satt opp et testobjekt for å kartlegge ulike verdier. Gårdeier Terje Nærstad viste oss eksempler på de synlige forskjellene på spirene. Teoriene som er omtalt i relevant litteratur, stemmer overens med resultatet av det monokromatisk blå lyset spirene ble eksponert for. I drivhuset dyrkes det salat av ulike typer. Det som er ønsket er kompakte salater som holder en tett biomasse. Under det blå lyset kom det frem tendenser til dette allerede i spiringsfase, med tykkere stammer, tykkere blader og tidligere splittelser (figur 8) i forhold til spirene under den eksisterende lyseksponeringen, med kun høytrykksnatrium som lyskilde.



Figur 8: Tilskudd av blått lys på spiren til høyre, viser tykkere stamme og blader, samt tidligere splittelse

I slutfasen av veksten senkes energinivåene over salaten for å ikke stresse biokjemiske reaksjoner slik at produktenes ulike karakteristika ikke blir påvirket på en negativ måte. Vi ble fortalt at PPFD-nivået som treffer salaten i dette området kommer fra høytrykksnatrium-armaturer, og er justert til et akseptabelt nivå for overlevelse for plantene mellom $30\text{-}50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Under disse lysnivåene kan salaten overleve i lengre perioder uten å påføres uønskede endringer i utseende, før de distribueres ut for salg (figur 9)



Figur 9: Området hvor salaten oppholder seg etter at den har vokst til ønsket størrelse og form, før de pakkes og distribueres ut.

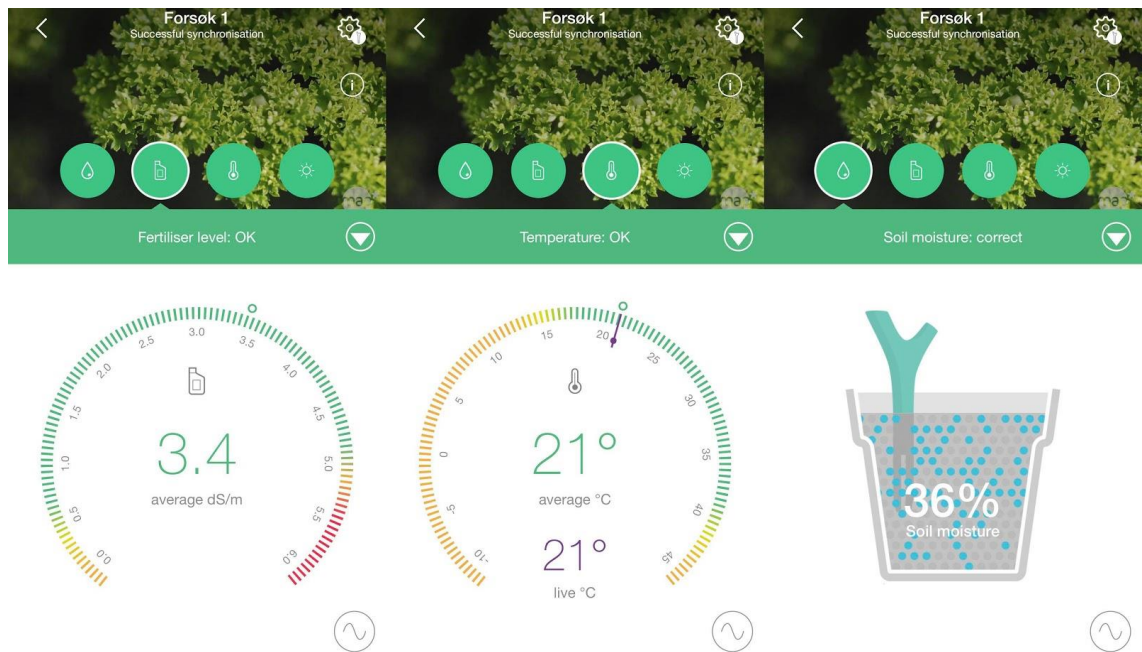
4.4 Internforsøk

I resultatdelen presenteres vårt internforsøk, hvor hovedmålet har vært å tydeliggjøre effekten av tilegnet kunnskap, for egen læring. Hensikten med forsøket har vært å kvalitetssikre hvorvidt lyseksposering av ulike karakter påvirker plantevekst, basert på tidligere studier, og om de fungerer i praksis. Vi har gjort ulike observasjoner fra vårt forsøk der vi tar for oss de ulike reaksjonene vekstene har vist, etterfulgt av de to lysscenariene som presenteres i forsøket.

For å utføre forsøket er det gjort tiltak for å unngå store avvik, som kan påvirkes av utenforliggende faktorer. Plantekassen vår er delt i to og består av sammenpresset sagflis for å holde stabile fukt- og temperaturnivåer. På toppen og i bunn av kassen er det frest åpninger slik at luften sirkuleres, og på denne måten unngår vi mugg og dårlig luftkvalitet (figur 10). Vi har også benyttet en sensor i jorden slik at vi mer eller mindre kan kontrollere nivåer for næring, fukt og temperatur (figur 11).



Figur 10: Plantekassen med to separate lysscenarier



Figur 11: Målinger av sensor i plantekassen, som viser de utenforliggende faktorene.

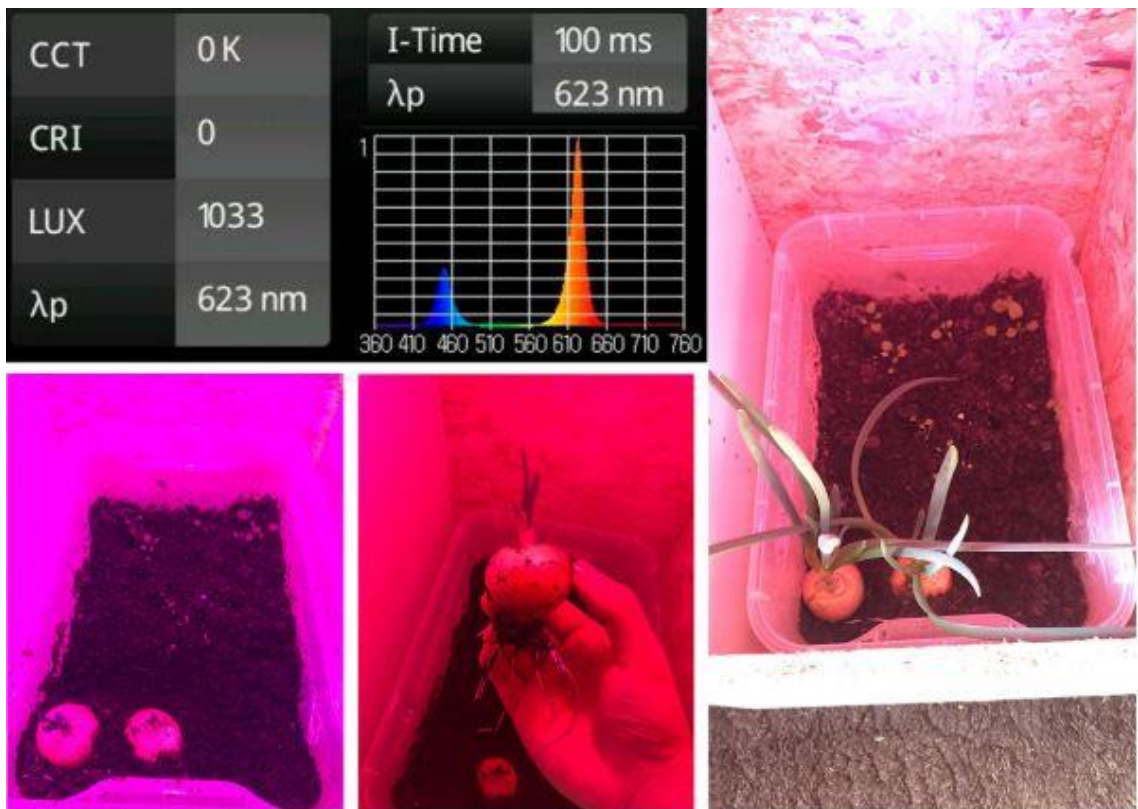
Når vi måler lys for vekst, må vi bytte ut de visuelle måleenhetene vi kjenner til. Lux, lumen og fargegjengivelse blir irrelevante da planter kun registrerer og konverterer stråling til biokjemisk reaksjon. Kristoffer Larsen fra Evolys assisterte oss under målingene, med kalibrert spektroradiometer og PAR-meter. Måleenheten vi benytter for måling av fotosyntetisk fotontetthet (PPFD) er $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ som definerer antall fotoner som treffer en gitt overflate per sekund. På hver side av kasse oppnår vi $36,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, når begge lyskildene har en fotosyntetisk fotoneffektivitet (PPE) justert til $2,1 \mu\text{mol J}^{-1}$ (figur 12). Dette er informasjon vi har tilegnet oss fra befaringer som skal være tilstrekkelig for fotosyntetisk respons hos plantene. Enheten som benyttes gjengir ikke hvilke bølgelengder fotonene har, derfor kan vi prøve å utelukke at energien fra de ulike bølgelengdene vil ha en ulik effekt på veksten.

	Parameters	Spectrum
PPFD (400-700nm)	36.85 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	
λ_p	624 nm	
λ_D	N/A	
	Parameters	Spectrum
PPFD (400-700nm)	36.72 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	
λ_p	620 nm	
λ_D	584 nm	

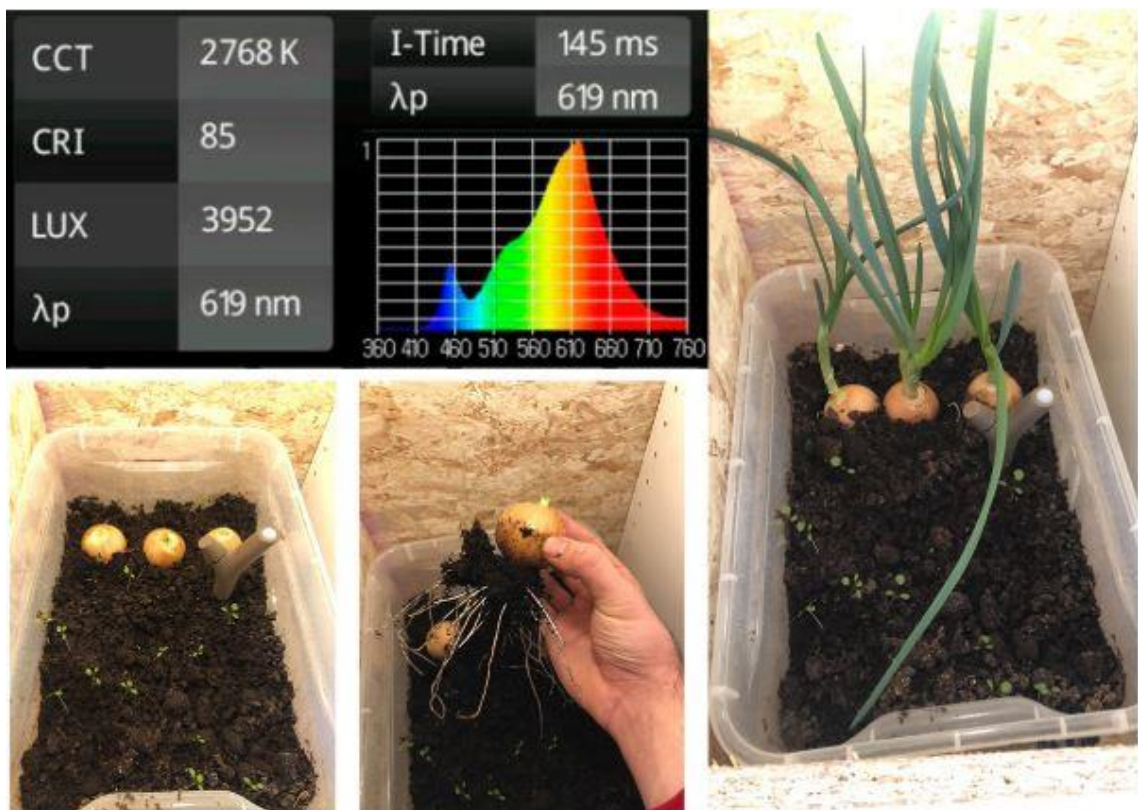
Figur 12: Måling av PPFD for de ulike scenariene.

Forsøket har sine svakheter sammenlignet med eksisterende større prosjekter, da vårt forsøk er i liten skala, og er utført med begrensede ressurser. I forsøket har vi plantet løk og småsyre. Antall spirer og skalaen på selve forsøket gjør at de funnene vi gjør kan være berørt av ulike tilfeldigheter. Likevel ser vi en betydelig forskjell i utvikling av vekstene i begge lysscenariene av forsøket. For siden med selektive bølgelengder, bestående av blå og røde bølgelengde-topper har vekstens stilker i småsyre, splittet seg tidligere, fått flere og tykkere blader, samt strukket seg kortere enn i det andre scenariet. Vi ser også tydelig at løken begynte å vokse lite røtter (biomasse) og vokse mer i høyden (figur 13).

For den andre siden hvor vi benyttet et «hvitt» lysscenarie, med en kombinasjon av de ulike bølgelengdene ser vi at småsyren vokste i større kvantum. I forhold til forsøket bestående av blå og røde bølgelengder vokste stilkene i småsyren seg tynnere og høyere, i tillegg til at bladoverflatene var mye tynnere og mindre enn i det andre scenariet. Vi ser også tydelig at løken vokste en større mengde røtter (biomasse) og vokste senere i høyden i forhold til det blå/rød scenariet (figur 14)



Figur 13: Viser resultat av vekst under det fargede lyset, blått og rødt.



Figur 14: Viser resultat av vekst under det hvite lyset (variasjon av bølgelengder)

Selv om tettheten av antall fotoner er lik på begge sider av kassen, er lyset med mer sammensatt lysspekter mer energirikt på grunn av større sammensetning av bølglengder totalt i det emitterte lyset. Dette betyr ikke nødvendigvis at det mest energirike lyset er mest optimalt, fordi vi nettopp ser to ulike reaksjoner. Dette avslører at vi mer eller mindre kan påvirke den biologiske prosessen i planten og oppnå ulike karakteristika etter ønske.

Tabell 3: Resultat av eget internforsøk sammenlignet med en tilnærmet lik forskningsstudie. Inkludert forskningsartikkel av Park & Runkle, med relativt likt forsøk. (2018)

Studie	Kriterier	Funn/resultat	Internforsøk-resultat
Park Y, Runkle ES“Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficacy: White versus blue plus red radiation”, 2018	Grad av fotosyntetisk strålingspåvirkning Bladoverflate-areal Høyde på veksten	Forsøket gav generelt sett like resultater på plantens vekstegenskaper som inkludert plantens høyde, totalt bladareal og tørrvekt av alle arter, bortsett fra plantelengden i planten “Prydløvemunn”	Lysspekter med blått og rødt lys gav hos småsyren tidligere splittelse, større bladoverflate, flere blader og små røtter. Lysspekter med blått og rødt lys gav hos løken korte stilker, tykkere stilker og små røtter
Park Y, Runkle ES“Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficacy: White versus blue plus red radiation”, 2018	Grad av fotosyntetisk strålingspåvirkning Bladoverflate-areal Høyde på veksten	Petuniaen ble dyrket lengre under sollys som gav mer langstrakt primærstamme og hadde blomsterknopper tidligere under 100% hvit sammenlignet med under Blått 15% Rødt 85%	Lysspekter med hvitt lys, gav hos småsyren senere splittelse, mindre bladoverflate og færre blader, og store røtte. Lysspekter med hvitt lys, gav hos løken lange men tynnere stilker, og store røtter

5 Diskusjon

I diskusjonsdelen har vi valgt å dele kapittelet inn i diskusjon av hovedfunn og diskusjon av metode. Diskusjonen av hovedfunn tar for seg kritisk vurdering av data opp mot oppgavens problemstilling, referanserammer og aktuelle kilder. I diskusjon av metode diskuteres litteraturstudie som metode, samt fremgangsmåte for å fremskaffe relevant informasjon og erfaring gjennom befarig. Metodediskusjonen inneholder også diskusjon av styrker og svakheter ved våre metoder, samt metodens validitet og reliabilitet.

5.1 Diskusjon av hovedfunn

Hovedfunnene diskuteres etter teoretiske referanserammer, og hvilke konsekvenser disse har for besvarelse av problemstillingen.

For at en plante skal vokse, utvikle seg og holde seg i live, har vi gjennom litteraturstudiet funnet ut av teoriene som nevnt under. Funnene diskuteres ut ifra forskningartiklene som er representative. Hovedfunnene fra litteraturstudiet, som bør oppfylles eller kreves for ulike stadier av planteveksten:

- Blått lys kreves for prosesser i fotosyntese og fotomorfogenesen.
- Større andel rødt og langbølget rødt lys er nødvendig for at planten skal strekke seg.
- Minimal mengde for lyseksponering (PPFD) mellom $30\text{-}50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ for at veksten skal overleve.
- Begrenset mengde av UV-stråling, for å unngå stress og uønsket utvikling av planten, i tillegg til at det har sin effekt for mer kompakt vekst.

5.1.1 Hvilke påvirkninger lysspekteret har på planter

I resultatene kom det frem at de grønne/gule delene av spekteret (500-600nm) er fortsatt noe kontroversielle som følge av funn som har vist en undertrykt dannelse av klorofyll og kloroplaster, mens andre studier har vist seg å ha en positiv effekt. «*Horticultural lighting – present and future challenges*» av P. Pinho et al. viser at grønt og gult lys har en virkning dersom det benyttes i kombinasjon med røde og blå bølgelengder. Det kommer også frem at kombinasjoner uten det grønne lyset nødvendigvis ikke er en løsning for optimal vekst hos noen spesifikke arter.

Grunnen til at noen studier hevder at det grønne lyset ikke direkte gir noen effekt på vekst av planten, kan være fordi de ofte mener at det grønne lyset blir reflektert tilbake fra bladoverflaten, og at grønne bølgelengder alene ikke gir noen markant forandring i plantens fysiologi.

Det kommer også frem fra «*Horticultural lighting - present and future challenges*» at aktiviteten til fotosyntetiske pigmenter, som klorofyll og karotenoider, for det meste er relatert til lyspåvirkning og energitransduksjon under fotosyntese. Klorofyll har maksimal følsomhet i de blå og røde områdene. Dette understrekes også i forskningsartikkelen «*The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality*» at blå og røde bølgelengder i kombinasjon fra LED gir stimulert akkumulasjon av biomasse i røtter, kompakte spirer, større bladoverflater og høyere klorofyllinnhold.

Som et resultat av eksponering for UV-B stråling ble det i artikkelen «*Low levels of ultraviolet-B radiation from fluorescent tubes induce an efficient flavonoid synthesis in Lollo Rosso lettuce without negative impact on growth*» målt høyere verdier av flavonoider, men også tendenser til vekstreduksjon. Balansegangen for hvor mye UV-B stråling en vekst bør utsettes for kan variere og bør derfor undersøkes i større grad i fremtiden. Gjennom studiet ble det konkluderte med at UV-B kan gi ulike effekter på planteutvikling, morfologi og metabolisme. Planter eksponert for et balansert nivå av UV-B, kan mulig sett benyttes for å gi en positiv effekt på planteveksten.

Resultatene fra noen de inkluderte artiklene viser til at de ulike bølgelengdene i spekteret har generaliserende virkning på planter, hvor resultatene har små avvik i biologiske nivåer, som følge av ulike ytre påvirkninger, og i hvor stor grad disse spiller inn på resultatene. Hvilke bølgelengder som bør brukes for å øke produktiviteten eller en best mulig ernæringskvalitet er varierende og avhengig av planteart. Bruk av LED-teknologi kan være en lovende metode, men mer forskning på hva ulike vekster behøver av lyspåvirkning til ulik tid er fortsatt mangelfull.

5.1.2 Potensial med styring av LED

Ved å bruke styringssystemer har vi forklart at tilpasning av mengde, kvalitet og varighet gjøres tilgjengelig. Dermed kan vi ved å benytte styringssystemer tilpasse strålingseksponeringen slik at ønsket stimulering kan igangsettes.

Funnene i forskningsartikkel «*Photobiology in protected horticulture*» understreker hvilket potensial LED har for styring av ulike lysparametere. Til sammenlikning med andre tradisjonelle lyskilder som høytrykk natrium og kvikksølv damp, hevder de i artikkelen at LED har stort potensial for styring av flere parametere i fremtiden. For tradisjonelle lyskilder hvor styringen av lyskilden er relativt begrenset til lysnivå, har LED i tillegg potensial til å styres med ulik spektralfordeling, etter ønske. Samtidig kan også LED øke bærekraftighet som følge av mindre energikonsum. Dagens LED-teknologi gir oss tilgang til å justere og tilpasse spektralfordelingen av lyset. Dette resulterer i at vi har tilgang til å manipulere vekstens størrelse, næringsinnhold, karakteristikk, pigmentering og smak.

Resultatene fra inkludert artikkel «*A specialised system for dynamic control and adjustment of the colour temperature and illumination of a lighting system*» viser til et styringssystem som måler og styrer tekniske indekser, for eksempel nivået på operasjonell belysning, fargetemperaturen til lyset og koeffisienten for naturlig belysning. Fra dette resonnementet finnes det muligheter for å oppnå en fargetemperatur av belysning inne i rommet, etter hvordan systemet korresponderer med andre faktorer. Dersom styringssystemet er koblet opp mot andre styringsenheter som kan registrere og kommunisere ulike parametere som endres, har vi mulighet for å forhåndsprogrammere

hvilken strålingseksponering som skal være gjeldende til ulik tid. Bruken av disse egenskapene gir oss muligheter for å tilpasse vekstfaktorer som;

- Propagering, som regnes som det første kritiske stadiet innen vekst. Ved å tilpasse lyskvaliteten etter hvilken del av spiringsstadiet planten er i, kan vi potensielt oppnå bedre resultater på sluttproduktet.
- Fotoperiodisme, da vi kan påvirke den sirkadiske rytmen til planten. Planter er avhengige av en fotoperiode som baserer seg på en “dag- og natt-syklus” Ulike planter har ulike sykluser, og vi kan dermed med et tidsbasert system tilpasse den belysningen som trengs for å oppnå en optimal syklus hos plantene.
- Fotosyntesen. Dersom planten eksponeres for ønsket lysnivå innenfor bølgelengdene som gir responsen som ønskes, kan vi påvirke karakteristikken av planten. Ved eksponering av ulike bølgelengder vil planter ha ulike reaksjoner.

Styring vil også gi brukeren et overordnet blikk på lysanlegget i det kontrollerte miljøet gjennom toveis-kommunikasjon fra styringsenhet til lyskilde. Ulike systemer som innehar WIFI og andre systemer fjernadministrasjon gjør det tilgjengelig for brukeren å holde komplett oversikt over situasjon og tilstand av belysningsanlegget til enhver tid.

I praksis kan styringssystemene “skreddersys” og tilpasses de utvalgte anleggene, og hver eneste funksjon kan programmeres på forhånd for å tilfredsstille de behovene brukeren stiller til belysningsanlegget.

5.2 Metodediskusjon

For utforming av oppgaven forventes det at den mest hensiktsmessige metoden velges for å besvare utformet problemstilling. Denne oppgaven har som formål å besvare et spørsmål hvor teorien spiller en sentral rolle. Det har derfor vært viktig for oppgaven å velge en systematisk litteraturstudie som gir oss relevant og spesifikk informasjon.

I dette litteraturstudiet er det funn fra forskningsbaserte artikler, hvor supplerende kilder fra offentlige databaser er kvalitetssikret opp mot pålitelige kilder. Funn fra forskningsartiklene bidrar til å besvare essensielle teorier for plantevekst og lys. Resultater både fra litteratur og observasjoner understreker hvilke faktorer som må foreligge, samt hvilke effekter ulike lyspåvirkninger har for plantevekst.

Vårt valg av metode består av systematisk litteraturstudie som baserer seg på teori og forskningsartikler, samt empirisk studie hvor studier og resultater baserer seg på forsøk eller observasjoner. I og med at problemstillingen tar for seg et tema hvor forskningsartikler med så snevert omfang eksisterer, har den empiriske tilnærmingen vært med på å forsterke teorier fra litteraturstudiet. Teoriene fra forskningsartiklene har blitt forsterket gjennom observasjoner fra befaring og internforsøk. Det ble i selve litteratursøket benyttet søkeord som omfavner sentrale deler av problemstillingen, men som gav stor variasjon av resultater. For å finne de mest egnede artiklene satte vi noen avveininger for utvelgelse av litteratur. I fremgangsmåten for utvelgelse av artikler ble inklusjons- og eksklusjonskriterier benyttet. På denne måten sikret vi at artiklene var kvalitetssikret, og at teoriene baserer seg på vitenskapelige funn. Bruken av inklusjons- og eksklusjonskriterier i metodedelen kan ses på som en styrke for utvelgelse av relevant litteratur. En av svakhetene med denne typen metode kan være at vi har sett oss nødt til å basere funnen på både gamle og nye artikler for å forstå sammenhengen av hva lyset gjør med plantevekst. Vi er derfor ikke kunnet basere oss kun på ny forskning, som vil være den mest tidsriktige metoden å gå etter i mange andre sammenhenger.

Databasene Scopus, Oria og Google Scholar ble tatt i bruk, som gir gode treff på forskningsartikler som var relevant for oppgaven. Teorier og informasjon vi fikk ved

befaringer har vært nødvendige for å forstå resultatene fra deres forsøk. Disse kildenes teorier ble kvalitetssikret ved bruk av forskningsartikler.

Litteraturstudie som metode har sine styrker og svakheter relatert til hvilket tema som skal undersøkes. Litteraturstudiet kan ha sine styrker i form av at den gir forskningsbasert hold til oppgaven. Graden av validitet kan i stor grad vurderes som god, da forsøkene er gjort av kvalifiserte fagpersoner. Gjennom databaser med forskningsbaserte artikler kan vi med sikkerhet si at det er gode pålitelige kilder som er brukt, og vil derfor kunne ses på som en styrke ved valg av denne metoden. Ved systematiske søk vil vi få ønskede treff som gir oss relevant informasjon for besvarelse av oppgavens problemstilling.

Samtidig vil det kunne være noen svakheter med denne metoden, i forhold til temaet vi har valgt. Artikkene som finnes er ikke nødvendigvis så omfattende rundt deler av temaet. Som følge av at temaet er i stadig utvikling og det er gjort et begrenset antall studier i omfang, har vi sett oss nødt til å bruke det som er å finne. Vi har hatt begrenset med tid, slik at tiden for å utarbeide et omfattende konkluderende prosjekt ikke har vært tilstrekkelig.

Når det gjelder befaringer vil teoriene/funnene fra forskningsartikler kunne beslektet med reelle observasjoner for hvordan planter responderer på lys. Styrken ved å benytte seg av egne observasjoner som en metode, er at vi direkte får se resultater i praksis av ulik lyseksposering, med supplerende informasjon. Samtidig kan observasjonene som blir gjort i eksterne veksthus inneha noen feilkilder vi ikke kjenner til. Målinger og informasjon om respons fra lys på de respektive vekstene kan være mangelfulle. Dette kan ses på som en svakhet med denne metoden.

Vi kunne basert vår oppgave på en forskningsbasert metode, med forsøk og en hypotese om hvordan lyset vil påvirke planteveksten. Samtidig er dette et prosjekt som ville stilt større krav til kunnskap om temaet og mer tid for å finne et holdbart resultat, som hadde gjort at vi måtte utformet problemstillingen på en annen måte. Denne metoden hadde også stilt større krav til ressurser enn vi hadde kapasitet til innenfor økonomiske og tidsmessige rammer.

6 Konklusjon

I motsetning til mennesker har planter kun én måte å “oppfatte” lyset på. De konverterer lysets innhold og benytter seg av det til biokjemiske prosesser. For å stimulere til ønsket plantevekst i kontrollerte miljøer, er det en rekke faktorer som bør tas hensyn til.

De underliggende faktorene for ytre påvirkning er nødt til å være optimale, for at lysets påvirkning skal ha sin ønskede effekt. I tillegg til den fotosyntetiske aktiviteten for planten som følge av lyseksponering, må en ta hensyn til fotoperiodisme, plantens propagering og fotomorfogenese. Varigheten av lyseksponeringen spiller en stor rolle for utviklingen og overlevelsen for planten. Lyset plantene eksponeres for bør vurderes etter kvalitet og kvantitet. Hvor kvaliteten forteller oss om bølgelengdenes lysnivå innenfor PAR-området og sammensetning av lysstrålene. Kvantiteten forteller om varighet og intensitet som treffer bladene. Gjennom forståelse av lysnivåer og intensitet kan vi også markere for hvilke nivåer som må være tilstede for at et frø skal spire og utvikle/forplante seg. Med tilstrekkelige lys- og andre miljøforhold kan plantens prosesser for vekst foregå. For at en plante skal vokse, utvikle seg og holde seg i live, vet vi at disse kriteriene bør oppfylles:

- Blått lys kreves for prosesser i fotosyntese
- Større andel rødt og langbølget rødt lys er nødvendig for at planten skal strekke seg.
- Minimal mengde for lyseksponering (PPFD) mellom 30-50 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ for å overleve
- Begrenset mengde av UV-stråling, for å unngå stress og uønsket utvikling av planten. I tillegg til at det har sin effekt for mer kompakt vekst.

For å besvare problemstillingens tematikk er vi nødt til å presisere at den spektrale komposisjonen må være tilpasset for hver vekst. Med teknologien vi har i dag kan vi styre og tilpasse den spektrale komposisjonen for hver vekst i kontrollerte miljøer. Dersom studier i fremtiden bruker tid på å teste flere vekster og deres reaksjoner på lys, kan det i utgangspunktet gi oss en større forståelse av hva som må til for å oppnå ønsket resultat. Teknologiens utvikling kan føre til flere muligheter for styring i fremtiden.

7 Litteraturliste

- Dalland, O. (2012). *Metode og oppgaveskriving* (5. utg.). Oslo: Gyldendal akademisk.
- Davis, P. A., & Burns, C. (2016). Photobiology in protected horticulture. *Food and Energy Security*, 5(4), 223–238. <https://doi.org/10.1002/fes3.97>
- Dueck, T., van Ieperen, W., & Taulavuori, K. (2016). Light perception, signalling and plant responses to spectral quality and photoperiod in natural and horticultural environments. *Light perception, signalling and plant responses to spectral quality and photoperiod in natural and horticultural environments*, 121, 1–3. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.06.012>
- Jackson, S. D. (2009). Plant responses to photoperiod. *New Phytologist*, 181(3), 517–531. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02681.x>
- Kalaji, H. M., Jajoo, A., Oukarroum, A., Brestic, M., Zivcak, M., Samborska, I. A., ... Ahmad, P. (2014). Chapter 15 - The Use of Chlorophyll Fluorescence Kinetics Analysis to Study the Performance of Photosynthetic Machinery in Plants. I P. Ahmad & S. Rasool (Red.), *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance* (s. 347–384). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800875-1.00015-6>
- Margit Olle, & Akvile Viršile. (2013). The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and Food Science*, 22(2). <https://doi.org/10.23986/afsci.7897>
- Nobel, P. S. (2009). Chapter 4 - Light. I P. S. Nobel (Red.), *Physicochemical and Environmental Plant Physiology (Fourth Edition)* (s. 176–226). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374143-1.00004-1>
- O. Petrov, M. Dimitrov, & V. Ruseva. (2011). A specialised system for dynamic control and adjustment of the colour temperature and illumination of a lighting system. *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2011.5874616>
- Park, Y., & Runkle, E. S. (2018). Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficacy: White versus blue plus red radiation. *PLOS ONE*, 13(8), e0202386. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202386>

- Pinho, P., Jokinen, K., & Halonen, L. (2012). Horticultural lighting – present and future challenges. *Lighting Research & Technology*, 44(4), 427–437. Hentet fra aph.
- Rodriguez, C., Torre, S., & Solhaug, K. A. (2014). Low levels of ultraviolet-B radiation from fluorescent tubes induce an efficient flavonoid synthesis in Lollo Rosso lettuce without negative impact on growth. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 64(2), 178–184.
<https://doi.org/10.1080/09064710.2014.905623>
- Y. Zhuo, G. Sun, Y. Ke, C. Shen, & J. GuoxuLiu. (2018). Comparison of Two LED Spectrum Engineering Approaches for Horticulture Lighting. *2018 15th China International Forum on Solid State Lighting: International Forum on Wide Bandgap Semiconductors China (SSLChina: IFWS)*, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/IFWS.2018.8587320>

8 Ordliste

Biomasse - Betegnelse på den totale vekten av levende organismer i en sammenheng

Fotoinhibering - En lysindusert reduksjon i fotosyntesekapasiteten i planter, alger eller blågrønnbakterier.

Fotomorfogense - Lysets virkning på plantenes vekst, utvikling og form. Dette er prosesser som ikke har noen direkte sammenheng med fotosyntesen, det er svært små lysintensiteter som skal til for å gi en effekt.

Fotoreseptorer - et lysfølsomt protein som inneholder en kromofor gruppe i form av et fargestoff, pigment eller fargebærer

Fytokrom - Fytokrom er et vannløselig pigmentprotein

Hortikultur - Er hagebruk med kultivering og dyrking av blomster, pryddplanter, frukt, bær, nøtter, grønnsaker og urter på friland eller i veksthus (drivhus)

Internodier - Stengelledd, langs en stengel finnes små fortykkelser, leddknuter, nodier, hvor bladene er festet.

Karotenoid - en gruppe kjemisk beslektede røde og gule pigmenter som dannes i planter.

Klorofyll - Et pigment som er funnet i planter og alger. Klorofyll reflekterer oftest grønt lys og gir dermed den karakteristikken vi er kjent med innenfor vekster.

Kloroplaster - Celleorganeller som finnes i planter og alger

LED - Lysdiode, lysemitterende diode, oftest forkortet LED, en halvlederdiode som stråler ut farget lys når det går elektrisk strøm gjennom den.

Luminans - Et mål på hvor lys en flate er. Det angir hvor mye lys som slipper gjennom eller reflekteres av en bestemt flate innen en gitt romvinkel, og indikerer hvor sterk lysstyrke et øye vil oppfatte når det betrakter flaten fra et bestemt punkt

Lux - Måleenhet for illuminans (belysningsstyrke).

Mutasjon - Endringer i arvestoff (DNA)

PAR - Den delen av lyset som plantene kan oppfatte og bruke er kalt fotosynteseaktiv stråling, eller PAR. Dette er lys med bølgelengde mellom 400 og 700 nanometer (nm).

Propagering - forplante og formere. Dannelsen av biomasse i tidlig fase.

PPFD - Fotosyntetisk fotonflukstetthet også omtalt som kvanteflukstetthet eller kvantefluks angis i $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Spektralfordeling - Fordeling av bølgelengder som gir utslag i farger innenfor det synlige elektromagnetiske fargespekteret.

UVR8 - Fotoreseptor som kan detektere UVB-stråling

9 Vedlegg

9.1 Tabell 1: Oversikt over inkluderte søkeord

Søkeord	Database	Antall treff
“Horticultural lighting” “controlled environment”	Oria Google scholar Scopus	11 206 3
“Horticultural lighting” “LED”	Oria Google scholar Scopus	68 759 12
“LED” “plant response”	Oria Google scholar Scopus	1 4 457
“Light” “plant response”	Oria Google scholar Scopus	20 18 1 187
“Light plant growth”	Oria Google scholar Scopus	341 366 13

"Light spectrum" "plant growth"	Oria Google scholar Scopus	670 4 310 413
"Spectral quality plants"	Oria Google scholar Scopus	7 6 2
"Photosynthesis artificial light"	Oria Google scholar Scopus	28 28 1
"Control systems lighting"	Oria Google scholar Scopus	127 589 3

9.2 Tabell 2: Oversikt over inkluderte artikler

Forfattere, Tittel, År, Land, Tidsskrift	Formål	Metode	Resultat
Nobel, Park. <i>“Physicochemical and environmental plant physiology”</i> , 2005, USA, Elsevir	En bok, som er organisert slik at studenter og forskere skal ha tilgang til å finne ethvert biofysisk fenomen.	Forskning	Dekker mange aspekter av den grunnleggende biofysikken til plantefysiologi og planteinteraksjoner med miljøet.
P. Pinho, K. Jokinen and L. Halonen, <i>“Horticultural lighting – present and future challenges”</i> , 2011, Finland, Lighting Research Technology	Fremtidens oversikt over dagens og fremtidige utfordringer i den hortikulturelle verdenen og matproduksjon.	Forskning	Hortikulturell belysning, gir en mulighet for helårs dyrking uavhengig av vær og årstid. Samt forklarer de ulike effektene av lysspekteret på planter.
M.Olle, A. Virsile, <i>“The effect of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality”</i> , 2013, Litauen, Agriculture and food science	Presentere LED teknologien for drivhus belysning, samt gi oversikt over LED-effekten på fotosyntesen i vekst, utbytte og næringsverdi i grønnsaker, som tomat, agurk og paprika.	Forskning	Rød og blått lys basalt i lysspekteret for tomat, agurk og paprika. Langbølget rødt lys, viktig for fotomorfogenese i planter for å fremme vekst. Grønt og gult lys for fysiologiske effekter. Variabilitet av lysspekteret har ulike effekter på planter.

<p>K. M. Folta, <i>“Breeding new varieties for controlled environments”</i> 2018, USA, Plant biology</p>	<p>Mulighetene for dyrking i kontrollerte miljøer, for raskere vekst, manipulasjon av plante. Økt produksjon.</p>	<p>Studie basert på forskning</p>	<p>Vurderingen av muligheten for dyrking i kontrollerte miljøer med søkelys på prioriteringer for oppdrettere, som driver med dyrking i kontrollerte miljøer.</p>
<p>Davis P.A., Burns C. <i>“Photobiology in protected horticulture”</i>, 2016, Food and Energy Security</p>	<p>Potensialet for hortikulturell dyrking. LED-belysningssystemers potensiale til å redusere energiforbruk, driftskostnader og CO2, sammenlignet med HPS.</p>	<p>Studie basert på forskning</p>	<p>Med LED teknologi, kan man forbedre og øke effektiviteten, i tillegg til utforming av vekst, kontrollere smak og pigmentering. Lysspekteret kan styres etter ønske, for å produsere ønskelig egenskaper.</p>
<p>Yue Zhuo, Guoxi Sun ; Youpu Ke, Chongyu Shen, Jay GuoxuLiu <i>“Comparison of Two LED Spectrum Engineering Approaches for Horticulture Lighting”</i>, 2018, Kina, IEEE Digital library</p>	<p>Analysere og sammenligne to LED-lyskilder. En monokromatisk og en annen blandet lysspekter.</p>	<p>Forskning</p>	<p>LED med blandet spekter, viser til å dekke behovene til de forskjellige plantene i tillegg til PPFd effektivitet i landbruk. Monokromatisk, dyrere og krever lenger optisk avstand for å oppnå det samme som LED med blandet spekter.</p>

<p>Cary A. M., Gioia D. M., Kim H.H., Wheeler R. M. <i>“Plant Productivity in Response to LED Lighting”</i>, 2018, USA, HortScience</p>	<p>Belyse potensialet for avlings produksjon både på og utenfor jorden ved bruk av LED. Hvordan LED kan påvirke planterespons i fremtiden</p>	<p>Litteraturstudie basert på forskning</p>	<p>For hagebrukere og avlingsprodusenter kan det dras nytte av bruk av LED. En rekke studier har blitt utført ved University of Wisconsin, på NASAs Kennedy Space Center, og ved Purdue University for å undersøke bruken av LED som en eneste kilde eller som tilleggsbelysning for plantevekst.</p>
<p>C. Rodriguez, S. Torre & K. A. Solhaug <i>“Low levels of ultraviolet-B radiation from fluorescent tubes induce an efficient flavonoid synthesis in Lollo Rosso lettuce without negative impact on growth”</i>, 2014, Norge, Acta Agriculturae Scandinavica</p>	<p>Øke innholdet av flavonoider uten å redusere plantens friske vekt, ved lave eksponeringsverdier av UV-B på salat gjennom vintertid i drivhus</p>	<p>Forskningsbasert forsøk</p>	<p>Fluorescerende rør med høy Kelvingrad induserte høye mengder flavonoider i plantene i en fem-dagers eksperimentell periode uten vekstreduksjon. De høyeste dosene UV-B fra UV-B-rørene resulterte i høyere flavonoid syntese, men med litt vekstreduksjon. Økningen i flavonoider var høyest i de første to til tre dagene.</p>
<p>Yue Z., Guoxi S., Youpu K., Chongyu S., Jay G.L. <i>“Comparison of Two LED Spectrum Engineering Approaches for Horticulture Lighting”</i>, 2018, Kina, IEEE Digital library</p>	<p>Sammenligning av to LED-spektrum, og deres tilnærminger for hortikulturell belysning. Et monokromatisk spektrum og et spektrum med fosforbelagt LED.</p>	<p>Forskningsbasert forsøk</p>	<p>Den monokromatiske lysdioden har høy PPE, men er dyrere, og krever en lengre optisk avstand for å oppnå samme ensartethet som den fosforbelagte lysdioden. Den fosforbelagte lysdiodens PPE er litt lavere, men det er mer kostnadseffektiv og enkel tilpasning, egnet for kort optisk avstand og dermed tett vertikalt oppdrett.</p>

<p>Park Y, Runkle ES <i>"Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficacy: White versus blue plus red radiation"</i>, 2018, USA, PLOS ONE</p>	<p>Effekt av ulike spektralfordeling med LED, på plantevekst. Hvitt lys versus blått og rødt lys i kombinasjon.</p>	<p>Forsøk av ulike spektralfordelinger</p>	<p>Forskjellene i strålingspekteret mellom Hvitt lys og blått/rødt lys. Hvor hvit strålingseksponering av plantene inkluderer en høyere del av grønn stråling og lavere rødt/langbølget eksponering, som kan påvirke stammeforlengelse og blomstringstid.</p>
<p>O. Petrov, M. Dimitrov, V. Ruseva <i>"A specialised system for dynamic control and adjustment of the colour temperature and illumination of a lighting system"</i> 2011, Italia, IEEE Digital library</p>	<p>Utviklingen av et automatisert system for dynamisk kontroll og justering av fargetemperatur og belysning av et innendørs belysningssystem.</p>	<p>Forskningsbasert forsøk</p>	<p>System for automatisk styring av belysningssystemer basert på bruk av DALI-protokollen, gav mulighet for styring av lysnivå og fargetemperatur (fargespekter), etter dagslysforhold.</p>