

# EUDP-09: LED belysning til væksthuse

## Slutrapport

Journalnr.: 64009-0004

Januar 2011



Projektansvarlig virksomhed: Fionia Lighting A/S

Projektleder: John Erland Østergaard, SDU

## Abstract

The project had 3 main objectives:

**1) To develop a prototype of a LED-based luminaire that can replace the existing glasshouse horticultural lighting.**

The project have developed a working prototype and experimentally replaced the traditional HPS luminaires in a controlled growing area. The project succeeded in producing plants of comparable quality.

However, the project shows that the prototype can be improved by:

- being further integrated into the existing horticultural production technology (eg climate computers and purchase of electricity)
- adapting configuration of luminaires specifically to each plant variety
- adapting different cooling technologies to match specific customer needs
- In some cases being combined with heat input to optimize the overall economy

**2) To achieve an effective electricity savings of 50-80% - equivalent to a value of approx. DKK 5 million for a medium sized nursery.**

The verified electricity savings was 40%.

In test setups and in well defined and controllable production areas the prototypes achieved electricity savings of > 50%.

It is expected that a new generation of LEDs (Q3 2010) will allow for greater power savings.

**3) To continue prototype development and initiate commercialization of the project through the company Fionia Lighting A / S**

The shareholders of the company have allocated capital to the company to allow us to address the main challenges in commercializing the technology. It is expected that the company will enter a strategic alliance with a major industrial player in the beginning of 2011

## Indholdsfortegnelse

Abstract.....	1
1. Indledning .....	3
2. Resultater og diskussion .....	4
2.1 Det udviklede LED prototypearmatur.....	5
2.1.1 Termisk design .....	6
2.1.2 Optisk design.....	7
2.1.3 Elektrisk design .....	10
2.1.4 Godkendelser .....	13
2.1.5 Identificerede ændringer til prototype IV.....	14
2.2 Planteforsøg.....	15
2.2.1 Morfologiforsøg .....	15
2.2.2. Demonstrationsanlæg.....	15
3. Formidling .....	26
4. Perspektivering .....	27
5. Konklusion.....	28

## Bilagsoversigt

Bilag A: Lækage og trykundersøgelse

Bilag B: Termografianalyse Mads Pedersen del 1

Bilag C: Termografianalyse Mads Pedersen del 2

Bilag D: Termografianalyse RosaDanica

Bilag E: Formidling – Patentansøgning, pressemeddelelser og artikler

## 1. Indledning

Formålet med dette projekt var, at demonstrere anvendelsesmulighederne for lys emitterende dioder (LED) som vækstbelysning i gartnerierhvervet. Dette skulle opnås hovedsageligt igennem udvikling af en LED armatur prototype, men også til dels igennem udviklingsorienterede feltforsøg med LED belysning.

Baggrunden for projektet er grundlæggende forskning gennemført ved Syddansk Universitet, hvor plantefysiologiske studier af væksthuseplanter har vist, at fotosyntesen er mest effektiv ved belysning i det røde og blå område af det synlige spektrum på grund af høj absorption i klorofyl ved disse bølgelængder. Da *High Brightness LED* er de meste effektive kilder af enkeltfarvet lys, er forventningen, at erstatning af de traditionelle belysningsteknologier med færdigudviklede LED armaturer, der er tilsigtet de meste effektive bølgelængder for fotosyntese, vil give elbesparelser i omegnen af 50 %.

Med den nye LED-teknologi er det muligt at opsamle overskudsvarmen, lagre den og genanvende den hvor den er nødvendig. LED-teknologien har desuden den fordel, at det er muligt at styre armaturet baseret på en måling af det indkomne sollys. Derved kan man adaptivt tage højde for skygge- og årstidspåvirkning (intensitets- og spektralvariation). Tillige kan spektralsammensætningen bruges til at kontrollere plantevæksten, f.eks. i form af stræklys samt reducere forbruget af væksthæmmende kemikalier i gartneribranchen.

Hovedformålet med projektet var at udvikle og demonstrere et LED baseret prototypearmatur: lige fra udarbejdelsen af en kravspecifikation tilpasset de særlige udfordringer, som miljøet i et erhvervsgartneri indeholder; igennem udvikling og test af de enkelte delkomponenter; og frem til design og fremstilling af de endelige prototyper. Prototypens design skulle sikre at resultatet blev et energieffektivt, robust og pålideligt LED armatur, der viste en klar forbedring af den eksisterende teknologi indenfor væksthuse belysning.

Parallelt med prototypeudviklingen, blev der udført morfologistudier ved kommercielle samarbejdspartner, som kunne tilføre den nødvendige plantemæssige *know-how* i form af gartneripersonale og hortonomer. Disse indledende feltforsøg bestod af LED baseret forsøgsarmaturer opsat i væksthuse til belysning af et begrænset antal planter for at afdække eventuelle konsekvenser for plantemorfologi ved brug af smalbånd LED lys.

Udmunding af projektet var demonstrationsanlæg i form af mellemskala feltforsøg, hvor de færdigfremstillede LED prototypearmaturer blev hængt op for at eftervise forventningen om store elbesparelser, og teste LED-armaturets virkemåde og pålidelighed.

## 2. Resultater og diskussion

I denne sektion præsenteres prototypens overordnede opbygning og de væsentlige forsøgsresultater, der er opnåede igennem projektet, mens en udførlig gennemgang af forskningsresultater må vente på en tidsskriftsartikel, som er under udarbejdelse. Dette skyldes, at armaturets præcise design, virkemåde og videnskabelig baggrund ikke ønskes fremlagt i offentligheden før patenteringsprocessen er færdig.

I et meget tidligt stadie i projektet blev udviklingsprocessen for prototypearmaturet opprioriteret, dels for at intensivere projektet og dels fordi der lå store konkurrencemæssige fordele mht. den fremtidige kommerialisering af LED armaturet i at demonstrationsanlægget stod færdigt så hurtigt som muligt.

Derfor var der stor fokus i begyndelsen af projektet på at få færdigudarbejdet kravspecifikationen til prototypearmaturet, sådan at delkomponenterne, såsom elektronik, optik og køleteknologi, kunne videreudvikleres, designes og fremstilles i samarbejde med kommercielle samarbejdspartner og konsulenter med stor ekspertise på de relevante områder.

Dette har naturligvis medført mindre fokus på grundforskningen og dermed en reducere i bredden af de udførte planteforsøg i forhold til den projektplan, som var vedlagt projektansøgningen. Ikke desto mindre er der udført de nødvendige morfologiske forsøg og plantestudier for at kortlægge mulighederne og belyse udfordringerne, som brug af LED til vækstbelysning medfører.

Oprindelige var tanken at et forsøgsanlæg på 100 armaturer skulle installeres på et udvalgt gartneri til demonstration af LED teknologi kontra den traditionelle vækstbelysning. Desværre oplevede rosegartneriet Rosanova, projektets første valg til demonstrationsanlægget, store økonomisk vanskeligheder i 2009 og et alternativ skulle findes. Alternativet blev to mindre demonstrationsanlæg på rosegartneriet RosaDanica (44 armaturer) og tomatgartneriet Alfred Pedersen & Søn (14 armaturer). Størrelsen af anlæggene var bestemt af de enkelte gartneriers disponible forsøgsareal og risikovillighed.

I løbet af de plantestudier og feltforsøg, som blev udført på demonstrationsanlæggene, stod det klart at den manglende strålingsvarme fra prototypearmaturerne, i forhold til de gængse højtryksnatriumlamper, kunne have en væsentlig betydning for planternes bladtemperatur og vækstrate. Derfor valgte projektgruppen at omdirigere forskningsressourcer til en omfattende termografiundersøgelse af bladtemperatur og dennes påvirkning af plantevæksten, med udgangspunkt i praktiske målinger ved demonstrationsanlæggene. Dette blev på bekostning af de i projektplanen beskrevne laboratorieforsøg med fotobioreaktorer.

I de følgende afsnit gennemgås de teknologier og løsninger, der er blevet implementeret i den udviklede LED prototypearmatur, efterfulgt af en beskrivelse af hovedresultaterne fra de udførte planteforsøg og demonstrationsanlæggene.

## 2.1 Det udviklede LED prototypearmatur

Under EUDP fase II projektet er det lykkedes at udvikle et prototypearmatur, som overholder den kravspecifikation der var opstillet i den indledende projektplan. Armaturet er blevet testet i udvalgte gartnerier, og har funktionsmæssigt fungeret tilfredsstillende. De enkelte delkomponenter som er resultatet af kravspecifikationen er beskrevet herunder.

Prototypearmaturet består overordnet af power elektronik, optik, mekanik og køling.

I forbindelse med andre projekter udover EUDP fase II er armaturet testet, og har realiseret store energibesparelser.

I figur 1 ses armaturet i en testsituation.



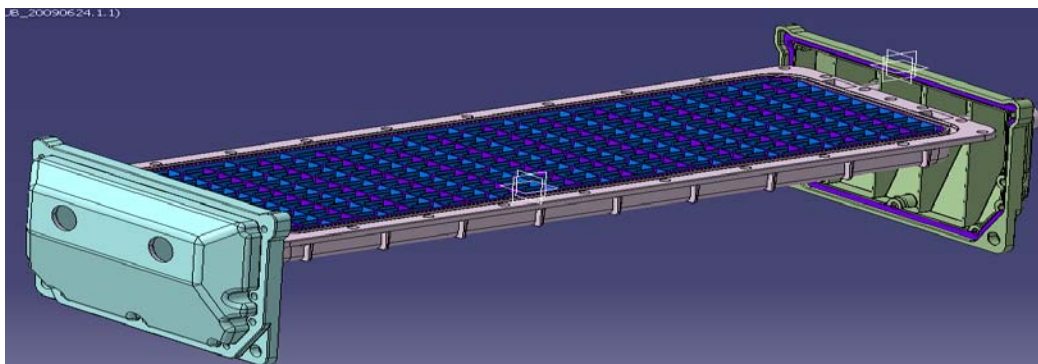
Figur 1: Prototype III armaturet under test. Kølevandtilslutningen ses i venstre side af armaturet.

Inputeffektniveauet kan varieres mellem 250 Watt og 750 Watt, alt efter applikation og lysbehov.

### 2.1.1 Termisk design

Der arbejdes i øjeblikket målrettet på en vandkøleløsning hvor overskudsvarmen fra LED'erne i de enkelte armaturer opsamles centralt ved hjælp af Danfoss' Shower Power teknik, og genanvendes i det eksisterende varmesystem i det enkelte gartneri.

Vandkøleløsningen er valgt med henblik på at LED'erne og powerelektronikken får tilstrækkelig køling for at sikre en god effektivitet og lang holdbarhed. Den anvendte Shower Power enhed i prototype III ses i figur 2.



Figur 2: Den anvendte Shower Power enhed i armaturet

Introduktionen af ShowerPower-enheden i armaturet har vist sig vanskeligt, af flere grunde.

I forbindelse med montagen af prototyper, har det vist sig tidskrævende at montere Shower Power, O-ring, stålplade og aluminium til en enhed. Der ønskes en gennemgribende gennemgang at samleprocessen med hensyntagen til pris og produktionsomkostninger.

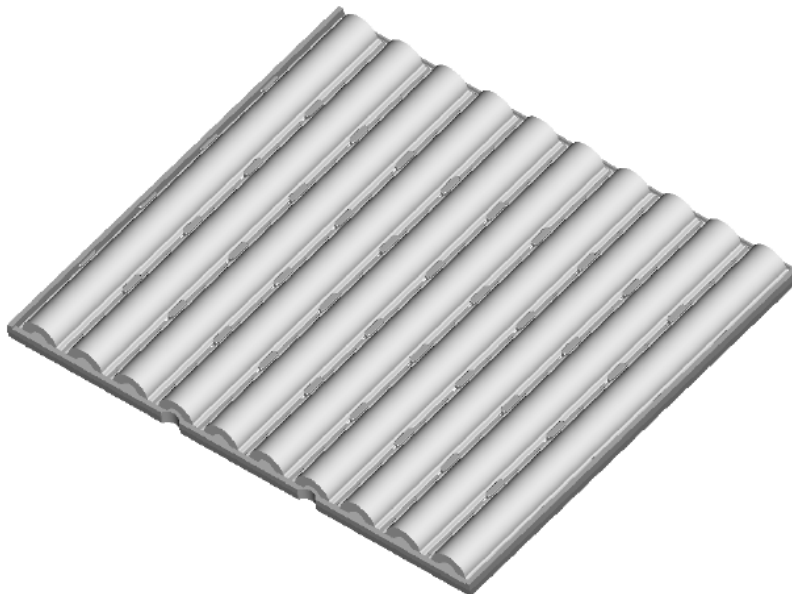
#### **Utætte enheder:**

I forbindelse med test, er der identificeret utætte armaturer som er blevet udskiftet. Dette er selvfølgelig uacceptabelt, og skal rettes. Det undersøges pt., om det skyldes store trykstød i vandkølingsanlægget. I overvejelserne omkring redesign kunne man overveje at installere trykreduktion i hvert armatur.

I forbindelse med test af utætheder er der udarbejdet en rapport. Denne ses som bilag A.

### 2.1.2 Optisk design

I forbindelse med designoptimeringen af reflektorsystemet, viste det sig vanskeligt at nå de ønskede lysvinkler med de testede linser og reflektorer. Dette kunne løses ved at ændre pitchen på LED'erne i den ene retning. Dette resulterede i problemer med sikkerhedsafstanden mellem LED'erne, og derfor blev der designet en ny løsning bestående af frontplade + linseenheder, som blev implementeret i prototype III. Se Figur. 3



Figur 3: Linsearray lavet i polycarbonate.

Fordelen ved denne løsning er, at den kan fremstilles universelt, det vil sige at den kan tilpasses alle belysningsfelter. Nedenstående er en detaljeret analyse af løsningen udarbejdet af Polymer Optics, UK.

*"The linear refractive optic section we are proposing consists of just two curved surfaces - inner and outer - and a relatively thin section of 3mm at its thickest point. This means that reflection and bulk absorption losses are minimised. The POL standard linear extruded optic made in polycarbonate has been measured, by Philips Lighting in Holland, to have a 87% efficiency, but this is a more complex TIR structure, where the light passes through two refracting surfaces and also internally reflects from a third surface, so the design is susceptible to surface finish effects, reflection losses and bulk material losses. The linear refractive optic design proposed here to achieve the 4.6m length is much simpler with just two surfaces and a shorter light path length within the plastic, so we expect the efficiency of this optic to be ~90%. The high quality polycarbonate, or other materials, we use for either injection moulding or extrusion of the optics are very optically clear transmitting materials and the bulk losses are very low. Certainly lower than the 4% you have considered in your calculations.*

*However, the overall efficiency of the luminaire is immaterial, if the light cannot be accurately targeted to the table area. A luminaire could have an output of efficiency of 95%, but if the light control is poor, maybe only 50% or less of the light may hit the tables!! What we are doing in this design is to balance the light control and efficiency in the luminaire optics design to make sure we have a very good efficiency at the luminaire output, but also very good light control to make good use of the light that is produced. As mentioned, the current linear refractive optic design should have an efficiency of ~90% and by this we expect to obtain around 80% of the light on the table area. Also, our most favoured design approach at present is to mount the linear optic sections on a carrier*



component, as in the reflector assembly we developed. This carrier component will be moulded in white reflective material, so even the very small amount of light reflected back from the linear optics can be re-cycled in a similar way to the reflector optic approach we proposed.

Also, regarding the plain front window, the properties of refraction mean that at high incidence angles, the light is bent towards the normal and then will hit the internal surface at angles greater than the critical angle, so internal reflection will not occur, but of course the usual Fresnel reflection effects at the interfaces will still occur. This same effect would have occurred in the diffuser pattern we proposed for the reflector system. However, now that we are proposing to use a flat window, with no moulded features, for the front window over the linear refractive optics for the first trial systems, this window can be made from a standard polycarbonate sheet with an anti-reflection (AR) coating on it with a reflection of around 0.3% per surface instead of the usual 4% , as you have indicated. Therefore, the window will only contribute a further 0.6% loss rather than the ~8%. So the disadvantage of using an additional window for the first trial systems can be easily minimised.

For the future production units, we propose that the linear refractive optic structures are moulded in a single piece by either injection moulding, or more preferably, by extrusion. In this way, this optic section also becomes the front window of the luminaire and the high cost of the AR coated window will be removed and any reflection losses any lower technology window may introduce. Unfortunately, this approach will take some further consideration of the sealing of the luminaire and the tooling cannot now be made in the time available to meet the 1st August deadline.

Finally, this linear refractive optic approach will enable other beam foot-print designs to be made by making new extrusion tools, which are relatively low cost. In fact the cost of the extrusion tooling will only be of a similar magnitude to the cost of new diffuser inserts in the very large injection mould tool previously proposed for the reflector approach. Also, this new design lends itself to production scaling for more readily, as the extrusion process is already a fast, relatively low cost production method and the parts can be made in one piece with no need for an additional window/diffuser. Where as, the reflector assembly could be conceived to be made in very high volumes, but as discussed in our meeting, would require very significant investment in automation equipment and process development to achieve you price targets and the front diffuser windows would still need very large, and very expensive injection mould tools to produce them in high enough volume and low cost.

It is for these reasons that as the reflector design becomes pushed to beyond it's limits, the linear refractive optic design becomes a much better performing, more cost advantageous and overall more efficient approach".

I forbindelse med prototype III blev der valgt at køre med linsearrays samt en coatet frontplade.

Denne type sekundær optik har funktionsmæssigt vist sig at løse de problemstillinger der er i et moderne væksthusegartneri tilfredsstillende. Optikken skal nu kosteffektiviseres både med hensyn til enhedspris og montagetid. Enhedsprisen uden design og værktøj var 1600 kr. i prototype III.

Status:

Der er pt. direkte kontakt med underleverandøren til plastløsningen, hvor vi diskutere forskellige løsningsmodeller indenfor:

- Integreret linsearray og frontplade
- Indbygning af fotodioder i armaturet (intern)
- Opsætning af fotodioder i gartneriet (ekstern)
- Kravspecifikation til den sekundære optik
  - Antal bordbredder
  - Hårdhed af frontplade
  - Funktion
- Fiksering af linsefrontplade til den enkelte LED på printet
- Undersøgelse af misfarvninger på plastrammen (UV)

Med værktøj, design og 400 enheder er det første indledende bud fra Polymer Optics side, at vi taler om ca. 900 kr. per enhed alt inklusive. De arbejder pt. med en ekstruderingsmetode, som kan sænke enhedsprisen væsentligt.

### 2.1.3 Elektrisk design

En kort beskrivelse af de elektriske delelementer i armaturet.

#### *Switchmode udgange til strømstyring af lysdioder*

Lysintensiteten i lysdioderne afhænger af den strøm, de forsynes med. Der er udviklet en switch mode strømgenerator, der forsyner en streng på ca. 60 serieforbundne lysdioder med en variabel strøm mellem 0,1 og 1A. I kredsløbet er der implementeret sikkerhed mod at lysdioderne overbelastes. Et armatur indeholder 5 af disse strømgeneratorer.

#### *Power Factor Controller*

For at kunne overholde gældende regler for harmonisk strømtræk, er der udviklet en power factor controller, der forsynes fra lysnettet og leverer 395V og op til 750W til switch mode udgangene. Der er taget højde for over- og underspænding samt indkoblings-strømtræk.

#### *Microcontroller*

Der er udviklet hardware og firmware til en microcontroller. Microcontrolleren styrer strømstyrken og dermed lysintensiteten i hver af de fem kanaler med lysdioder. De fem kanaler kan tændes og slukkes uafhængig af hinanden. Temperaturen på lysdioderne overvåges og ved for høj temperatur slukkes lysdioderne indtil temperaturen igen er faldet til et passende niveau. Microcontrolleren sørger samtidig for kommunikation med en tilsluttet PC igennem kommunikationskanalen.

#### *Kommunikationskanal*

Der er udviklet en RS485 kommunikationskanal så armaturerne kan kommunikere med en tilsluttet PC. Hvert armatur har sin egen adresse og lysintensiteten for hver kanal kan indstilles fra PC'en. Temperatur og status fra hvert armatur kan sendes til PC'en.

Kommunikationskanalen er af sikkerhedsmæssige årsager galvanisk adskilt fra resten af armaturet.

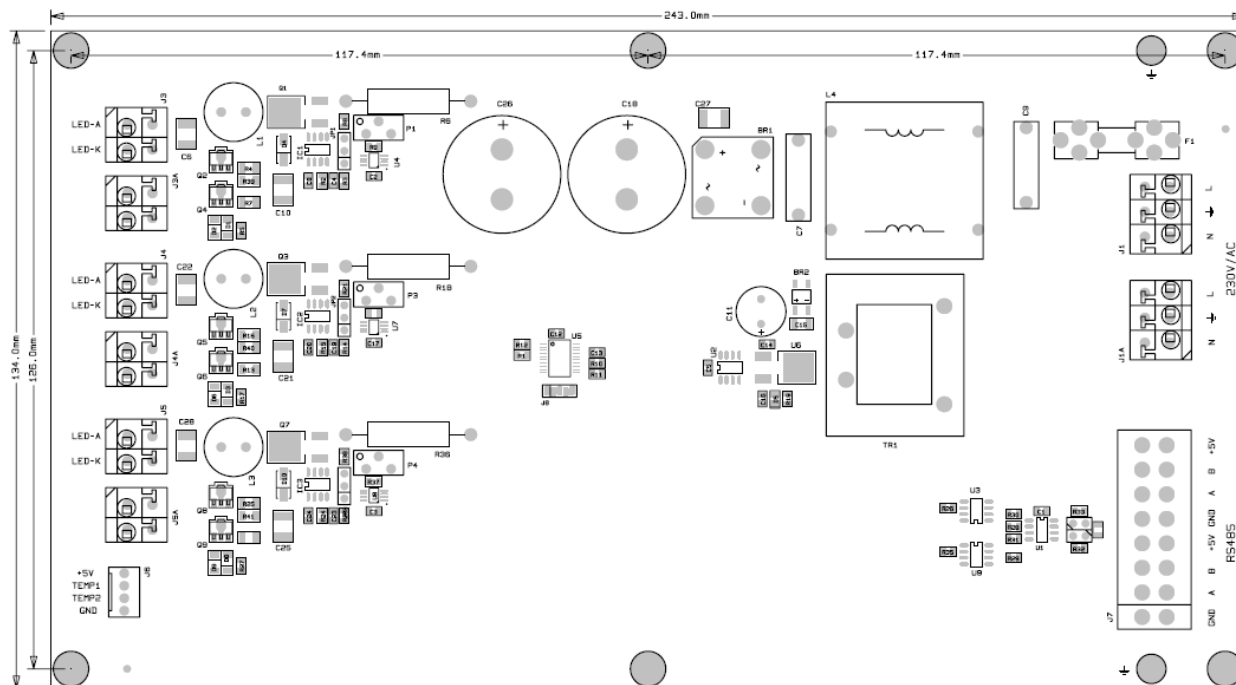
#### *Generelt*

Ovennævnte delelementer er implementeret på et printkort, der er indbygget i armaturet. På printkortet er der også implementeret diverse hjælpefunktioner.

Under udviklingen er der bl.a. taget højde for sikkerhedsaspekter, temperaturlastninger, installation, produktionsmuligheder mv.

Der er foretaget udviklingstest og test i forbindelse med levetid mv.

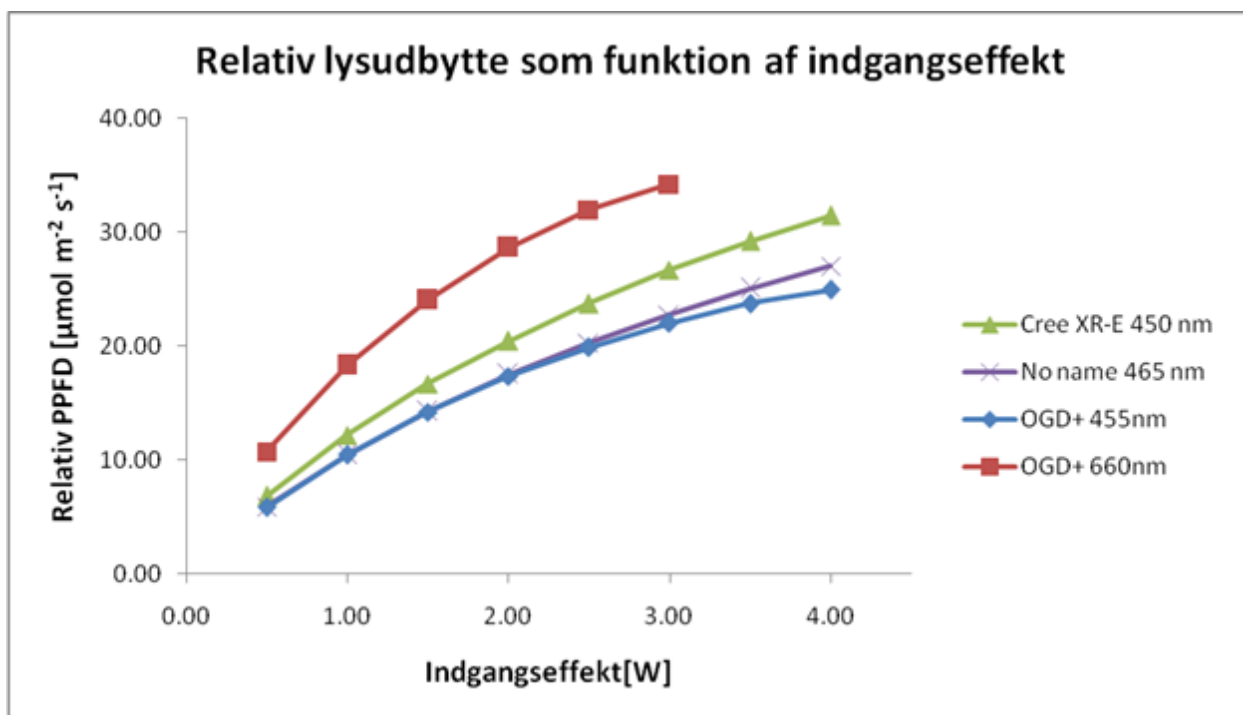
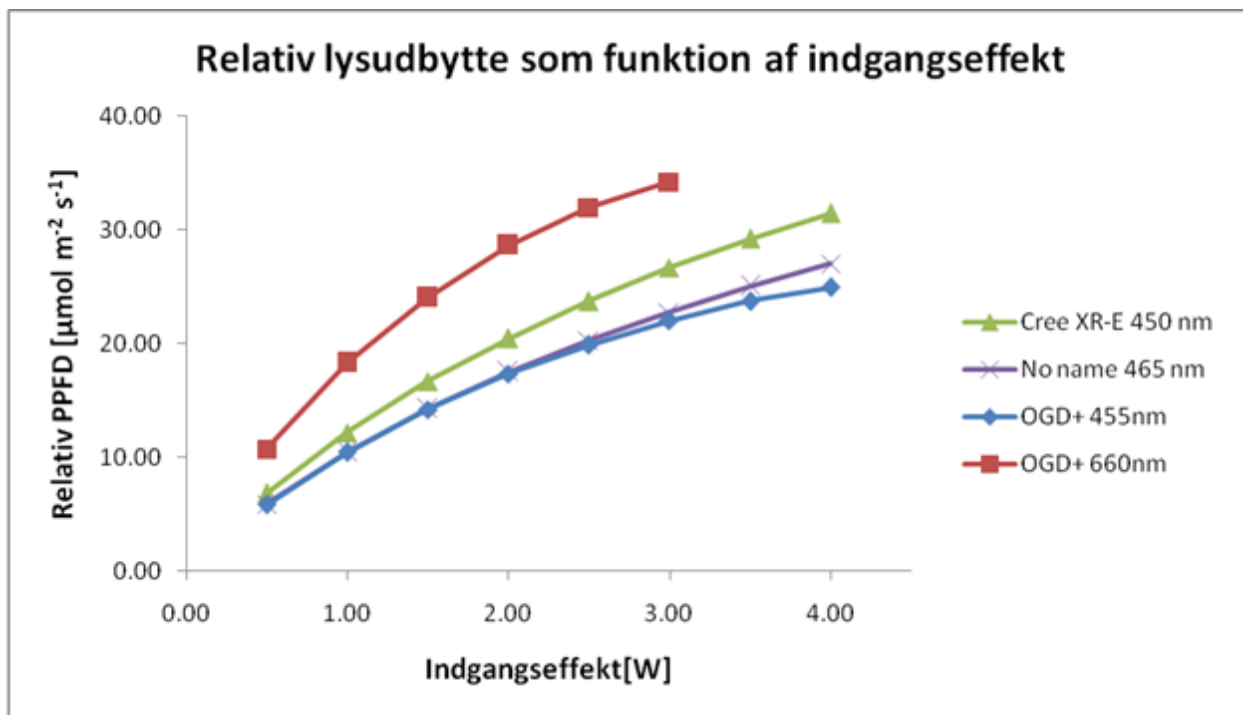
Figur 4 viser det fysiske layout af en prototypeudgave med placeringen af de enkelte komponenter komponenter.



Figur 4: Illustration af prototype II power elektronik printet med komponentplacering.

## LED

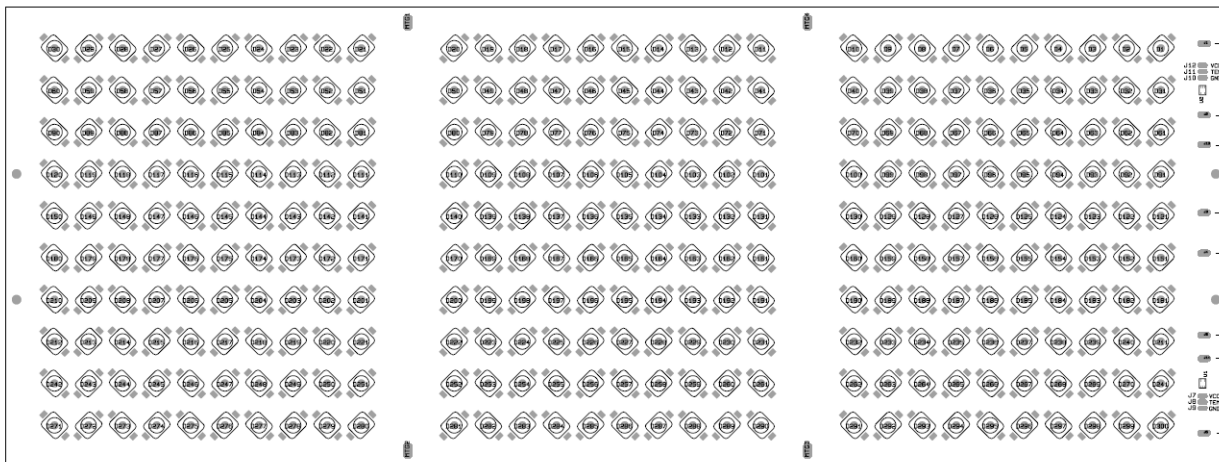
Efter grundig overvejelser omkring lysintensitet, lysbehov og leverandørsikkerhed har vi valgt stabile underleverandører med et godt renommé. Det har vist sig vanskeligt at finde LED's med de korrekte bølgelængder hos forhandlerne, men efterhånden som LED-markedet generelt har åbnet sig, har vi fundet de ønskede bølgelængder. En række lysdioder er målt i laboratoriet på Syddansk Universitet, og et udvalg er vist i figur 5 og 6.



Figur 5 og 6: Udvalgte intensitetsmålinger af valgte LED'er.

### LED-print

LED-printet er fastspændt på en stålplade og derved indirekte på køleenheden for at minimere den termiske modstand fra junktion til vand. Konfigurationen af printet ses i figur 7.



Figur 7: Illustration af LED'ernes placering på printet. Tilslutningen til Power printet ses i højre side.

#### 2.1.4 Godkendelser

Det har ikke været muligt inden for rammerne af EUDP fase II projektet at foretage deciderede test og godkendelse af armaturet. Der er efterfølgende foretaget indledende tests med henblik på certificering og EMC godkendelse, og armaturet lever i store træk op til kravene. Følgende standarder, som vi forventer at armaturet skal overholde, er identificeret:

DS/HD 60364-7-705:2007

Lavspændingsinstallationer - Del 7-705: Krav til specielle installationer eller områder - Landbrugs- og drivhusområder  
Low-voltage electrical installations - Part 7-705: Requirements for special installations or locations - Agricultural and horticultural premises

DS/EN 60695-1-1+Corr.1,2:2001

Prøvning for brandrisiko - Del 1-1: Vejledning i vurdering af brandrisiko for elektrotekniske produkter - Generel vejledning

Fire hazard testing - Part 1-1: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products - General guidelines

DS/EN 60204-1:2006 + CD-rom (Sik)

Maskinsikkerhed - Elektrisk udstyr på maskiner - Del 1: Generelle krav  
Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements

“Lavspændingsdirektivet”

Directive 2006/95/EC of the European Parliament and of the Council of 12 December 2006

on the harmonisation of the laws of Member States relating to electrical equipment designed for use within certain voltage limits (codified version)

“EMC-direktivet”

COUNCIL DIRECTIVE of 3 May 1989 on the approximation of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility (89/336/EEC)

## 2.1.5 Identificerede ændringer til prototype IV

### Elektronik

Der arbejdes her i tæt samarbejde med rådgivende ingeniørfirma Kidde Elektronik om at redesigne prototype III. Redesignet vil blive baseret på tre faktorer:

- Erfaringer fra væksthushorsøget hos Alfred Pedersen og RosaDanica
- Krav i forbindelse med godkendelser
- Test udført af Kidde Elektronik, Senmatic og Syddansk Universitet

### LED-PCB

LED printet består pt. af 300 lysdioder. Det anslås at 300 LED'er stadig skal være target i de nye armaturer. Afstanden mellem LED'erne på den korte led forventes ikke at kunne justeres væsentligt pga. udformningen af linsearrayet, men sikkerhedsafstandene på den lange led skal undersøges. Dette kunne eventuelt gøre plads til alternativ printlayout og bedre styring af de enkelte farver. Der er identificeret følgende arbejdsopgaver:

### Lyssum, spektrum, modulation og farvegengivelse

Overordnet set ønskes der en vurdering af armaturernes behov for variation. Såfremt armaturerne skal kunne varieres med fx 0-30 % blå lys, vil dette medføre et væsentligt dyrere armatur. Der ønskes en vurdering af følgende:

*Farvegengivelse:* I forbindelse med storskalaforsøget hos Mads Pedersen og RosaDanica har det vist sig vanskeligt at vurdere plantekvaliteten ordentligt under belysning hvor den grønne farve manglede. Muligheden for introduktion af hvide lysdioder i armaturet undersøges pt.

*Lyssum og spektrum:* I forbindelse med introduktionen til andre afgrøder, skal der laves en drejebog for denne introduktion. Udover pasning og kemikalieforbrug skal den indeholde en analyse af forventet lysforbrug og spektrummet heraf.

Introduktionen af farvede høj effektivitetsdioder, ønskes der undersøgt om alternative bølglængder kan bruges til fx reduktion af skadedyr (UVC), reduktion af sygdomme (GL) samt manipulation af dagslængde og blomstring (FR).

*Pulsering:* Der er i Fionia Lighting udviklet en patentansøgt modulationsteori, som på længere sigt kan give en væsentlig energibesparelse. Denne ønskes undersøgt i forbindelse med EUDP fase III projektet.

### *Interaktion med miljø/gartneri*

Uønskede: Armaturerne hos Alfred Pedersen og RosaDanica skal undersøges for korrosionsproblemer, samt en gennemgang af UV-bestandigt plast. Desuden skal det undersøges hvorledes armaturet reagerer på lys, temperatur, fugt m.v.

Køling: Der ønskes udarbejdet en analyse af, hvor stor effektiviteten af lysdioderne skal være før passiv køling kan introduceres.

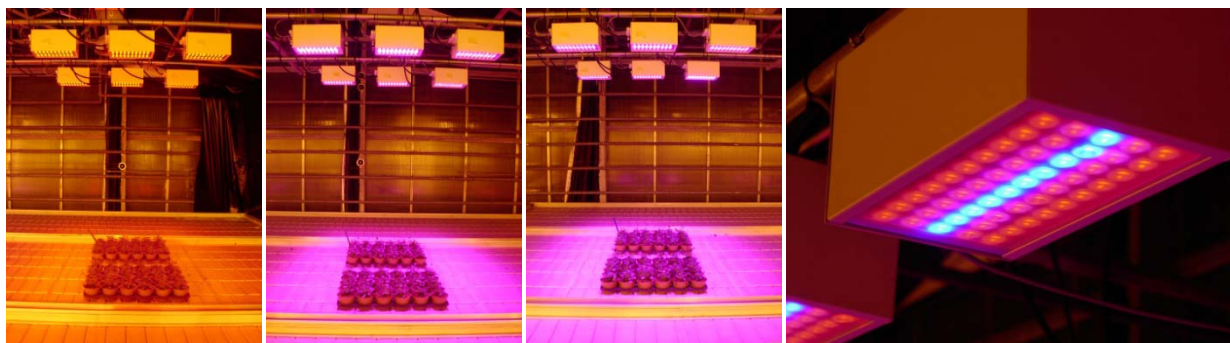
IP-grad: Pakningen skal undersøges, og IP-graden bestemmes.

## 2.2 Planteforsøg

Der er i EUDP fase II udført to typer forsøg. Morfologiforsøg, som er et udtryk for små forsøg på et begrænset antal planter, og demonstrationsanlæg som er baseret på flere tusinde planter.

### 2.2.1 Morfologiforsøg

Der er i projektet udført morfologiforsøg med roser fra RosaDanica. Figur 8 viser billeder fra opstillingen. Roseforsøgene vil blive mere udførligt beskrevet i afsnittet under demonstrationsanlæggene.



Figur 8: Billeder fra forsøgsopstilling.

### 2.2.2. Demonstrationsanlæg

#### *Alfred Pedersen og søn*

En opstilling på 14 armaturer dækkende 80 m<sup>2</sup>. Primitivt kølingssystem hvor varmen sendes direkte ud i gartneriet via chiller unit. Forsøgsopstillingen har lidt lysforurening fra de omkringliggende HPS armaturer. Det vurderes dog minimalt, og opvejes af fordelene ved at dele klima med sammenligningsplanterne. Der blev konstateret væsentlig lavere bladtemperatur end på sammenligningsplanterne hvorfor der blev installeret varmelamper for at kompensere. Disse blev ophængt ultimo januar.

#### Highlights:

- Forsøgsarealerne skal vælges med mindst mulig lysforurening men placeret i det rigtige klima.



- Der skal designes en bedre udnyttelse af overskudsvarmen fra LED armaturer
- Der er ingen utætte armaturer hos MP
- Lampernes belysning skal være orienteret på langs af planterækkerne og ikke på tværs
- Ved dyrkning af planter med behov for høj bladtemperatur skal der kompenseres kraftigt for den manglende varmestråling normalt associeret med HPS lamper

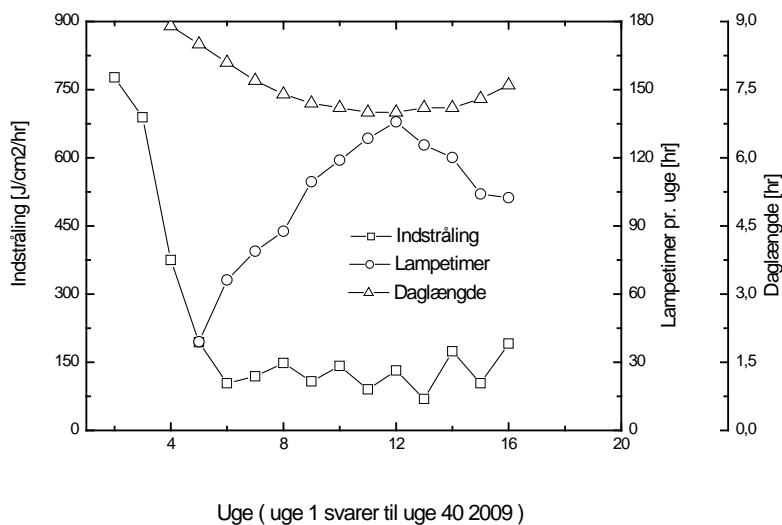
## Plantedata

Forsøget blev påbegyndt i uge 42 og planter og frugthøst er opmålt ugentligt af gartner hos Mads Pedersen. Den samme opmåling som de normalt foretager. Opmålingen er foretaget på ti planter i både LED område og HPS område som vist i figur 9

PLANT NUMMER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	GNS.
PLANT GROWTH/WEEK (cm)	26	21	21	21	20	21	24	21	17	17	21
LEAF LENGTH (cm)	42	38	33	31	34	37	35	35	34	40	36
											#DIV/0!
STEM THICKNESS (mm)	10.3	10.1	7.3	8.3	7.9	10.5	9.8	10.2	8.0	10.7	9.3
TRUSS , FLOWER NO.	12.0	12.3	12.1	12.2	12.2	11.3	12.1	12.0	12.0	12.0	12.02
FRUIT SET / WEEK	0	2	0	2	3	6	2	4	4	3	2.6
TRUSS, PICK NO	4.3	4.3	4.1	4.4	4.4	3.4	4.5	4.2	3.6	4.1	4.1
FRUITS PICKED/WEEK										76	76
FRUIT LOAD PER STEM											#DIV/0!
FRUIT TOTAL	42	49	55	62	59	60	48	49	56	51	53
MISSET FLOWERS PER PLANT	0										0

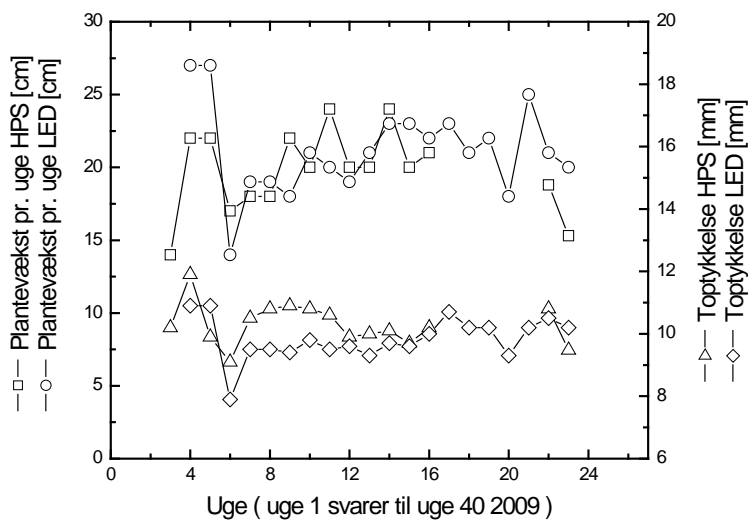
Figur 9: Omsamlede måledata for uge 53 i HPS området. Den gennemsnitlige værdi udregnet til højre anvendes i den videre databehandling.

I forbindelse med forsøgsafviklingen blev indstrålingen målt og antallet af tændte timer pr uge registreret, hvilket kan ses på figur 10.



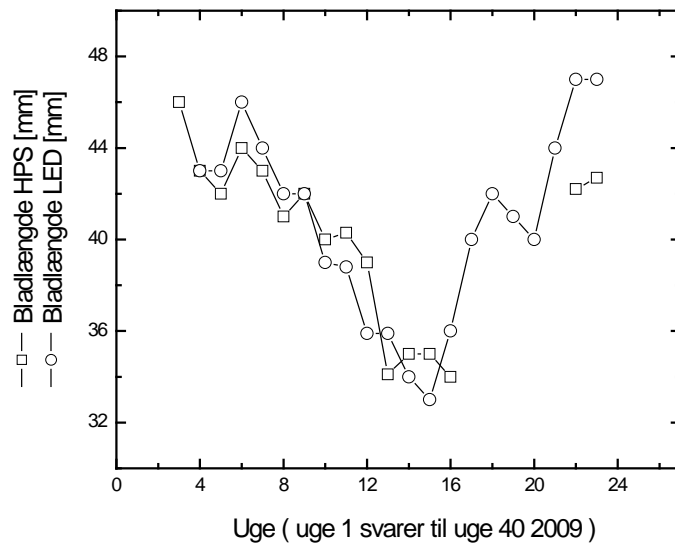
Figur 10: Indstråling, Lampetimer pr. uge og dagslængde som funktion af ugenummer.

Yderligere data omkring klimaniveau er registeret og der er forsøgt at bibeholde et CO<sub>2</sub> niveau på 700 ppm og et temperaturniveau på 20.0 grader. Forsøgsresultaterne fra uge 42 for plantevæksten og toptykkelsen er vist i figur 11:

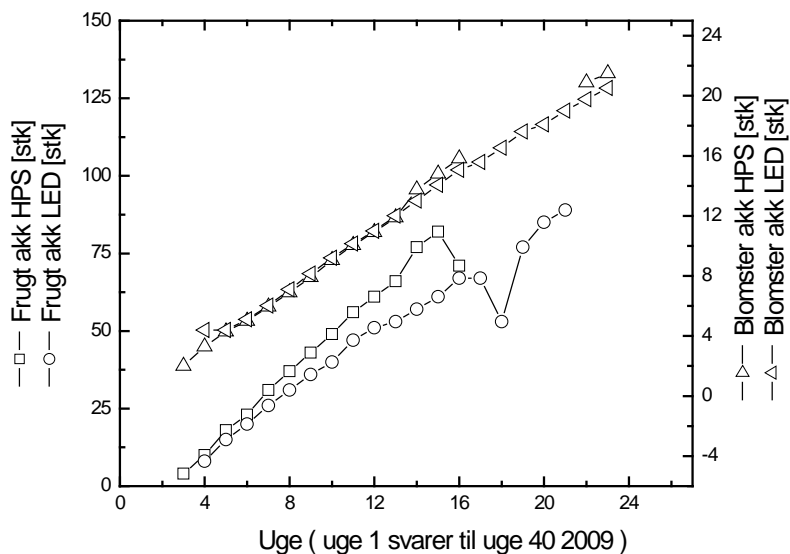


Figur 11: Plantevækst og toptykkelse som funktion af ugenummer.

Som det ses i figur 11 vokser planterne mere i HPS området både med hensyn til plantevæksten og toptykkelsen. Toptykkelsen er den normale vurderingsparameter i de tidlige uger til vurdering af plantekvaliteten og lysets indvirkning. Hvis der ses bort fra de første tre uger af forsøget, hvor HPS lyset var ude af drift enkelte gange, ser vi en større toptykkelse på ca. 1 mm i HPS området. Bladlængden er vist i figur 12 og frugt og blomstertal i figur 13.



Figur 12: Bladlængden som funktion af ugenummer.



Figur 13: Frugt- og blomstertal som funktion af ugenummer. Det antages at aflæsningen for frugten ved uge 16 for HPS samt uge 18 for LED er fejlestimeret.

Som det fremgår af 13 har vi den nødvendige blomsterproduktion i LED området med blomstertal lidt over antallet af blomster i HPS området. Vi har altså, baseret på blomsterproduktionen og på planternes

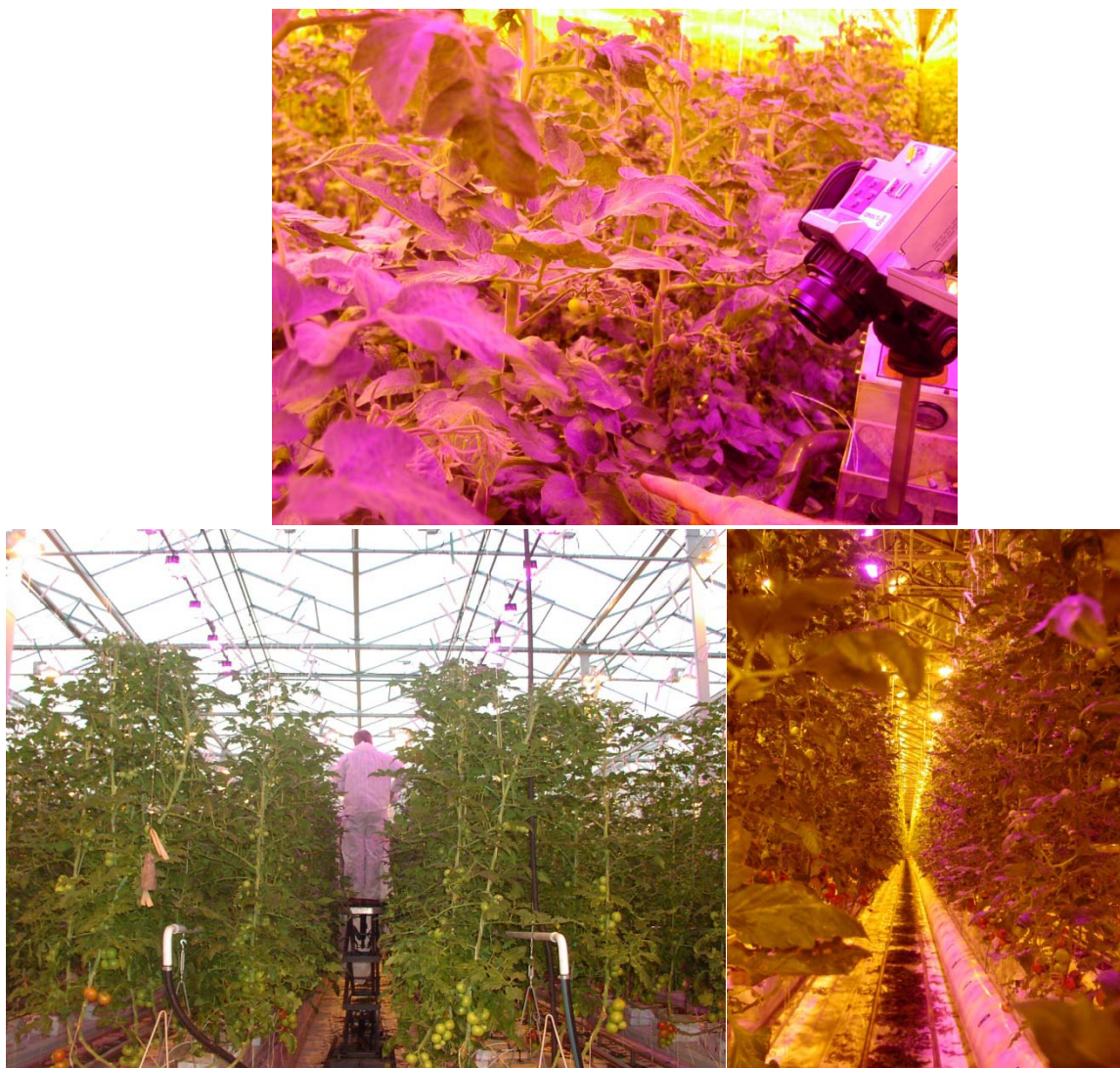
generelle visuelle tilstand, en forventning om at det anvendte spektrum er korrekt. I forhold til frugtproduktionen er der en væsentlig reduktion i LED området, hvilket skyldes to faktorer.

I forbindelse med den manglende frugtproduktion antages det, at den skyldes manglende energi. Energi både i form af lys og i form af varme. Forsøget blev derfor ændret i midten af januar, hvor ikke-lysende varmeelementer blev ophængt i LED-forsøgsarealet. De termiske data fra disse paneler vil blive behandlet i næste afsnit. Den tilførte varmeenergi gav den forventede bladtemperaturstigning. Det antages, at ikke hele energiproblemstillingen kan forklares ved manglende varme, og der ønskes derfor en grundigere analyse af lys problematikken hos Mads Pedersen.

### *Termiske data*

Der blev konstateret en væsentlig reduktion i tomatproduktionen hvilket blev vurderet til at skyldes forkert spredning af lyset samt lavere bladtemperatur. SDU SENSE har opmålt bladtemperatur tre gange med termografikamera. Den første analyse før opsætningen af varmepaneller er vist i bilag B og den sidste måling efter opsætning og funktion af varmepaneller er vist i Bilag C.

Konklusionen på den indledende måling blev, at bladtemperaturen var ca. 2.3 til 3.2 °C lavere i LED området i forhold til HPS området. Et billede af forsøgsopstillingen er vist i figur 14.



Figur 14: Opmåling af bladtemperatur med termografikamera.

Efter ophængningen af varmepaneller medio januar blev forskellen i bladtemperatur væsentlig reduceret. Forskellen mellem de to varmeste punkter i henholdsvis HPS området og LED området var 0,5 °C, mens forskellen mellem de to koldeste punkter var 0,5 °C. Det må derfor konkluderes at

varmeproblemstillingen er løst i forsøgsopstillingen hos Mads Petersen. Da ændringen skete efter sæsonstart kan der ikke laves endelige konklusioner på effekten, at der blev konstateret en visuel positiv forandring af produktionschef Poul Erik Lund.

### *RosaDanica*

Forsøget mislykkedes, og er lukket ned efter fire/otte ugers forsøg. Det dårlige resultat skyldes grundlæggende en forkert forsøgsopstilling hvor hensynstagen til manglende bladtemperatur blev undervurderet. Forsøgsarealet viste sig i det anvendte drivhus at have en 5-7 grader lavere rumtemperatur samt en 3-4 grader lavere bladtemperatur. Det antages endvidere ud fra forsøget fra PKM, at der er installeret for lidt lys. Der forventes ingen ny forsøgsopstilling i 2010.

#### Highlights:

- Forsøgsarealerne skal vælges med omtanke for hele økosystemet
- Det er vanskeligt at forestille forsøgsarealer som ligger inde i store områder med HPS uden fornuftig genanvendelse af varmen til forøgelse af bladtemperatur.
- Der er ingen utætte armaturer hos RD
- Installationen skal være på langs af væksthuset og ikke på tværs
- Ved dyrkning af planter med behov for høj bladtemperatur skal der kompenseres kraftigt for den manglende varmestråling normalt associeret med HPS lamper
- Forventningerne til forsøget skal afstemmes fra starten, således at eventuelle overraskelser er velkalkuleret.



Figur 15: Billede af forsøgssopstilling hos RosaDanica. Bemærk farveforskellen på det venstre billede mellem det nye lys og det traditionelle gule lys i baggrunden.

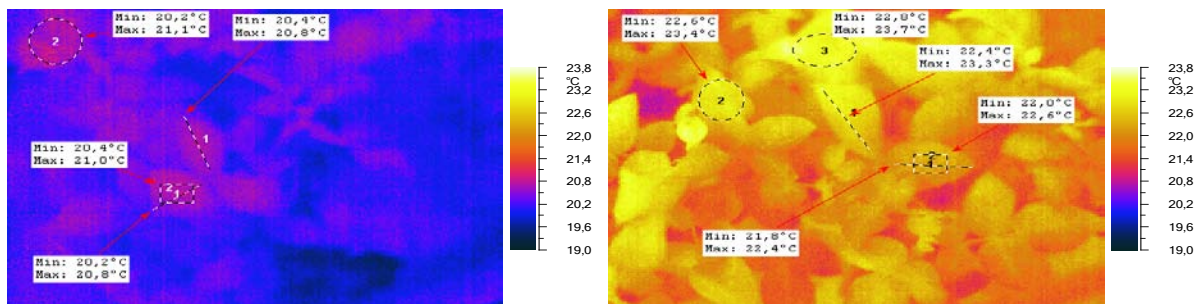


### Termiske data

Visuel vurdering af LED-området: Der er gentagne gange målt en temperaturforskel på 7 °C (16°/23°) i forhold til HPS området. Denne temperaturforskel skyldes manglende varme og cirkulation i drivhuset, og er hovedproblemstillingen i de manglende vækstrater for roserne. HPS<sup>1</sup> området er hovedsageligt opvarmet af strålevarme, og med den manglende cirkulation i drivhuset vil der opstå varmelommer. I disse varmelommer forefindes temperatursensoreringen også. Denne skævvridning gør, at systemet ikke "opdager" den lavere temperatur i LED området. Den manglende cirkulation hos RD er et bevidst valg, da de har problemer med sygdomme i planterne som de ikke vil have spredt.

For at estimere hvilken indflydelse den manglende temperatur i LED-området har haft, har SENSE SDU målt bladtemperaturen i de to områder. Vedlagt er den fulde analyse<sup>2</sup> i bilag D.

Figur 16 viser to termografibilleder optaget hos RosaDanica.



Figur 16: Termografibilleder af henholdsvis LED (venstre) og HPS (højre) planter. Bemærk lettere misvisende skala.

Analysen demonstrerer tydeligt, at der er en signifikant bladtemperaturforskel på LED området og HPS området på op til 3 grader. Denne bladtemperaturforskel samt den koldere omgivelsestemperatur medfører en markant lavere fotosynteseaktivitet. En sideeffekt ved dette er, at luftfugtigheden er forhøjet i området fra ca. 60 % til 80 % RH. Denne forøgelse øger risikoen for svampevækst med mere hvilket også er observeret i området.

<sup>1</sup> High Pressure Sodium lamper. Oversat: Højtryksnatrium lamper.

<sup>2</sup> Målingerne indikerer en forøget bladtemperatur, men vi skal være opmærksomme på konvektionsbidrag og refleksionsbidrag til denne måling. Den umiddelbart målte forøgelse må være mindre. Ligeledes er der andre faktorer som f.eks. spalteåbninger og relativ luftfugtighedsforskelle mellem HPS og LED, der også bidrager til den observerede forskel i vækstbetingelser. Mere kontrollerede forsøg er nødvendige (måske sammen med Kold/Årslev), hvis en direkte sammenligning skal foretages.

## Lysdata

I forbindelse med evalueringen af lysets indvirkning på planterne var det meget vanskeligt at vurdere. Dog blev der tilkendegivet fra produktionschef Lise Brems at plantekvaliteten synes forbedret med hensyn til antallet af skud og kompakthed. Dog vil egentlige konklusioner være ufuldstændige grundet den lave fotosynteseaktivitet.

I forbindelse med forsøget hos RosaDanica observeres der en meget høj grad af phototropism<sup>3</sup> se figur 17.



Figur 17: Billede af dyrket LED plante og HPS plante.

På figur 17 ses en 10 cm og en 6 cm potterose dyrket både under HPS og LED belysning. LED planten viser tydelige tegn på phototropism. Denne tendens blev opdaget før PKM forsøget, og forsøgt korrigeret. Der er hos PKM ikke observeret noget tegn på ovenstående. Korrektionen skal dog forsøges på roser inden konklusion.

---

<sup>3</sup> Kritikere vil her indikere, at der kunne være tale om "Shade avoidance response phenotype" (SARP). Fænomenet ses typisk på planter i skovbunden, som mangler rødt lys (absorberet af andre planter). Her er spektret drejet kraftigt i den blå retning, hvilket for planten kan tydes som manglende rødt lys. Fænomenet ønskes belyst yderligere.

### 3. Formidling

Der er indgivet en patentansøgning (PCT/EP2009/055959) vedr. design og anvendelse af lys emitterende dioder til væksthusebelysning, se bilag E. Selve resultaterne fra projektet vil blive offentliggjort efter patentering på Fionia Lightings hjemmeside ([www.fionalighting.dk](http://www.fionalighting.dk)) og ved publicering af forskningsresultater igennem en tidsskriftartikel, som er under udarbejdelse.

I mellemtiden er projektet blevet formidlet til offentligheden igennem hjemmesiden og selekterede fagblade såsom Ingeniøren og Gartner Tidende, samt pressemeddelelser udgivet i fællesskab med vores samarbejdspartnere. Endvidere blev projektet og Fionia Lighting overrakt Simon Spies Fondens Klimapris af daværende Klima- og Energiminister Connie Hedegaard den 26. februar 2009. Se bilag E for en liste over de tilgængelige artikler og pressemeddelelser.

Udover det ovennævnte, er kendskabet til projektet blevet udbredt igennem foredrag og seminar. Her kan der nævnes følgende:

Et seminar givet af Thomas Rubæk på SENSE Institutet, SDU: *“Technical possibilities and challenges for the use of LED lighting in greenhouse plant cultivation.”* (11.3.2009)

Deltagelse af Bo Jacobsen på TechConnect i Houston, USA. (3.-7.5.2009)

Deltagelse af Bo Jacobsen på Stockholm Cleantech Venture Day i Stockholm, Sverige. (29.9.2009)

Præsentation af Fionia Lighting ved Thomas Rubæk og Jens Kristian Damsgaard på Business Angel Event, Royal Danish Embassy, London. (6.9.2010)

Foredrag af Jens Kristian Damsgaard på L-O-M Event 2010, Düsseldorf, Tyskland: *“LED’s in horticulture - a technology business case.”* (11.11.2010)

Tillige er der sket indirekte formidling af projektet igennem deltagelse i følgende konferencer og messer:

*IPM 2009*, Essen, Tyskland

*Green Lighting Event 2009*, Frankfurt, Tyskland

*HortiFair 2009*, Amsterdam, Holland

*6th International Symposium on Light in Horticulture (2009)*, Tsukuba, Japan

*Light+Building 2010*, Frankfurt, Tyskland

*EuroLED 2010*, Coventry, UK

*28th International Horticulture Conference (IHC Lisboa 2010)*, Lissabon, Portugal

*World Climate Solutions 2010*, København

*HortiFair 2010*, Amsterdam, Holland

*L-O-M Event 2010*, Düsseldorf, Tyskland

*NordLED 2010*, København.

## 4. Perspektivering

Det udviklede prototypearmatur underbygger antagelsen om at et teknologiskifte fra HPS-lamper til LED-lamper er undervejs indenfor væksthusbelysning. Armaturet imødekommer på prototypeniveau allerede flere af de tekniske forudsætninger, som er uomgængelige for at kunne indgå i kommerciel væksthushusholdning.

Flere centrale komponenter i armaturet kan - endnu - ikke erhverves som standardprodukter. De er under projektet og under hemmeligholdelse specialudviklet i tæt samarbejde med bl.a. Danfoss, Osram i Tyskland og en engelsk optikvirksomhed. Det betyder grundlæggende at selvom prototypen som beskrevet efterlever en række tekniske forudsætninger, er produktionsprisen stadig for høj. Tilbagebetalingstiden er på det foreliggende for lang.

Det er projektets vurdering at en kommercielt bæredygtig tilbagebetalingstid kan realiseres inden for få år under forudsætning af at EL-priserne ikke ændrer sig dramatisk. Tilbagebetalingstiden påvirkes af direkte produktrelaterede forhold og af indirekte rammeforhold.

Af direkte produktrelaterede forhold kan nævnes:

- LED'er er stadig for dyre og ineffektive. Parterne arbejder i fortsættelse af projektet stadig tæt sammen med Osram om specifikationer og cost forecast.
- LED-armaturene påvirker hele væksthushusholdningens økosystem. Ved integration i bl.a. gartneriernes klimacomputere kan opnås væsentlige driftsforbedringer. Parterne arbejder i fortsættelse af projektet tæt sammen med Senmatic A/S herom. Dette arbejder ligger under EUDP fase III.
- Styringen af LED'erne skal designes til individuelle plantesorter for at optimere vækstvilkår. Parterne arbejder i fortsættelse af projektet videre med flere parter herom.
- Køleløsning skal tilpasses forholdene hos den enkelte gartner. Parterne arbejder også videre med dette forhold med eksterne samarbejdsparter.
- LED-armaturene skal integreres i gartneriernes indkøb af EL på spotmarkedet og på længere sigt i en kommende smart- grid infrastruktur. Parterne er her i dialog med flere parter.

Af indirekte rammeforhold er de væsentligste:

- EL prisen
- Støtteordninger - eks. til installation af energi- og miljørigtige løsninger.

## 5. Konklusion

Projektet havde 3 hovedformål:

**1) At udvikle et LED-baseret prototypearmatur, der kunne erstatte gartneriernes eksisterende væksthusbelysning.**

Det er lykkedes; Projektets armaturer har på forsøgsbasis erstattet de traditionelle HPS-armaturer på et kontrolleret dyrkningsareal, hvor det er lykkedes at frembringe planter af sammenlignelig kvalitet.

Projektet viser at den foreliggende prototype med fordel:

- kan integreres yderligere i gartneriernes eksisterende produktionsteknologi (eks. klimacomputere og indkøb af EL)
- kan tilpasses specifikt til hver enkelt plantesort
- kan suppleres med luftkøling, hvor der ikke kan drages fordel af den udviklede vandkøling med recirkulation og genanvendelse af kølevand
- i nogle tilfælde kan suppleres med varmetilførsel for at optimere totaløkonomien

**2) At opnå en effektiv elbesparelse på 50-80% - svarende til en værdi af ca. DKK 5 mio. for et mellemstort gartneri.**

Det lykkedes ikke; den verificerede elbesparelse var 40%.

I testopstillinger og under anvendelse i afgrænsede og kontrollerbare produktionsområder opnåede projektet el-besparelser på > 50%.

Men ved anvendelse i den normale kommercielle planteproduktion undervurderede projektet betydningen af interaktion med primært klimaforhold. Konsekvensen heraf var at LED-armaturene måtte drives ved en højere effekt end oprindeligt antaget.

Det er dog forventeligt at en ny generation lysdioder (Q3 2010) vil muliggøre en større el-besparelse.

**3) At fortsætte prototypeudvikling og indlede kommerialisering af projektet gennem selskabet Fionia Lighting A/S**

Det lykkedes; selskabet er gentagne gange kapitalforhøjet af aktionærene, og der forhandles pt. med større dansk industrikoncern om yderligere investering og indgåelse af strategisk alliance om produktion og

salg. Dette forventes tilendebragt i Q1 2011.

# **BILAG A**

FIONIA LIGHTING A/S

## **Opgørelse over utætte PKM armaturer samt trykdata**

---

Udarbejdet af Kirk Chapman

MAR 2010

Formål: At videreudvikle prototype III til et salgbart armatur, for derefter at teste i en hel drivhussektion på 1500 m<sup>2</sup>.

# Indholdsfortegnelse

<b><u>1. INTRODUKTION</u></b> .....	<b>2</b>
<b><u>2. OVERSIGT OVER UDSKIFTEDE ARMATURER</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>3. RESULTATER AF STATISK TRYKTEST</u></b> .....	<b>4</b>
<u>3.1 ARMATUR #091</u> .....	4
<u>3.2 ARMATUR #003</u> .....	5
<u>3.3 ARMATUR #029</u> .....	6
<u>3.4 ARMATUR #031</u> .....	6
<u>3.5 ARMATUR #KP031</u> .....	7
<u>3.6 ARMATUR #033</u> .....	8
<u>3.7 ARMATUR #051</u> .....	8
<u>3.8 ARMATUR #106</u> .....	9
<b><u>4. KONKLUSION</u></b> .....	<b>9</b>
<b><u>BILAG 1: SKITSE OVER PKM INSTALLATION</u></b> .....	<b>10</b>
<b><u>BILAG 2: TRYKDATA</u></b> .....	<b>11</b>

## 1. Introduktion

Denne rapport er en opgørelse over de armaturer som er blevet utætte i PKMs storskalainstallation. Data om hvilke armaturer der er blevet udskiftet i løbet af storskalaforsøget og resultaterne af de efterfølgende statiske tryktest er præsenteret.

En skitse over PKM installationen kan ses i bilag 1. Den viser hvordan armaturerne er nummereret samt hvordan armaturerne er opkoblet til vandkøling/overskudsvarmeopsamlings systemet. Som det fremgår af tegningen, er armaturerne koblet sammen tre-og-tre, og da de fleste af armaturerne, der er blevet utætte, har været sidste armatur før returløbet, mener Danfoss at utæthederne skyldes trykspidser i fjernvarmens returvand. Deres løsning vil være at lave et lukket system, der kører ved



lavere tryk (1.0 bar i stedet for det nuværende 2.4 bar) end det anvendte system, og hvor trykket kan styres optimalt for at undgå sådanne trykspidser.

Der laves i øjeblikket trykmålinger på PKM systemet, men de eksperimentelle data fra disse forsøg har endnu ikke be- eller afkræftet denne teori.

Alle armaturer, der er blevet testet med statisk tryk af Fionia Lighting A/S er nu overdraget til Senmatic A/S, hvor de vil teste armaturerne med dynamisk tryk og fortsætte arbejdet for at finde årsagen til de fundne utætheder beskrevet i afsnit 3.

## 2. Oversigt over udskiftede armaturer

Følgende skema giver en oversigt over hvilke armaturer er blevet udskiftet samt hvornår og hvorfor det er sket.

Uge #	Udskiftet armatur #	Erstatningsarmatur #	Grund til udskiftning
47/2009	007, 029, 048, 103	116, TEST003, TEST004, 58	Defekt temperatursensor
3/2010	048, (TEST004), 109	KP109 (007), KP048 (103)	Utæt
3/2010	109 (KP048)	029	Utæt
5/2010	031, 051	KP031, KP051 (nye armaturer)	Utæt
9/2010	003, 091, 106, 109 (029)	Blæk 003, Blæk 091, Blæk 106, Blæk 048 (nye armaturer)	Utæt
11/2010	031 (KP031), 033	Blæk 031, Blæk 033 (nye armaturer)	Utæt
12/2010	057	Blæk 057 (nyt armatur)	Utæt
13/2010	079, 080	Ikke udskiftet, kun pillet fra	Utæt

### Symbolforklaring:

**Udskiftet armatur #** – angiver hvilken plads armaturet har i installationen, mens nummeret i parenteser angiver det nummer, der er påført armaturet, hvis anderledes, **Erstatningsarmatur #** – angiver nummeret, der

*er påført armaturet, mens parenteser viser hvor armaturet stammer fra, **KP** – nummeret er påført armaturet med kuglepen, **Blæk** – nummeret er påført armaturet med sort sprit tus.*

Sidste status over hvilke armaturer viser tegn på vand og dermed utætheder er fra 30.03.10:

028, 030, 050, 086, 088, 103 (058), 108. Dvs. der er pt. syv armaturer, som lyser endnu, men kan stå af i nærmeste fremtid.

Udskiftning af armaturer er nu blevet indstillet og anlægget slukkes, når det sidste hold med LED planter er evalueret i uge 15. Derefter lukkes der for vandet for at beskytte de sidste velfungerende armaturer.

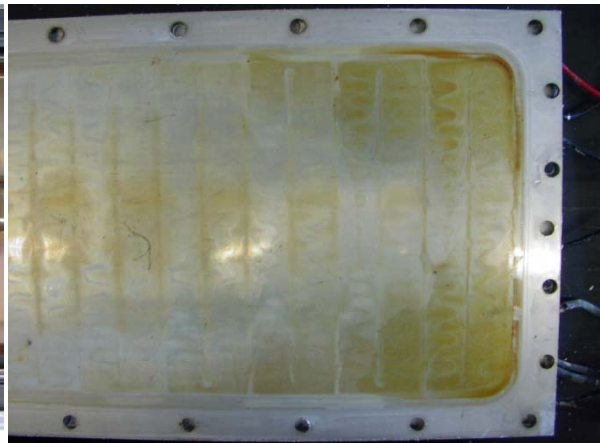
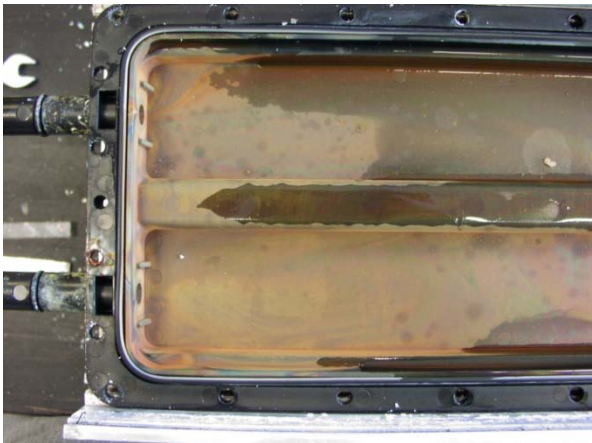
### 3. Resultater af statisk tryktest

Formålet ved denne undersøgelse var at finde årsagen til de opståede utætheder i armaturerne ved PKMs storskalaanlæg. Først blev armatur #091 skilt fuldstændigt ad for at dokumentere om der var evt. nogen tydelige tegn på hvordan armaturerne var blevet utætte. Fokus var på tegn eller informationer der kunne ødelægges under tryktest.

De resterende armaturer blev ikke skilt ad, kun endekapper og power PCB blev fjernet. Derefter blev armaturerne sænket ned i et vandbad, og tryktestet ved langsomt påfyldning med trykluft indtil utætheder kunne konstateres. Som udgangspunkt var trykket øget til 3 bar – det tryk alle armaturerne var testet med inden endelig montage – men dette niveau var justeret afhængig af resultaterne for de enkelte armaturer.

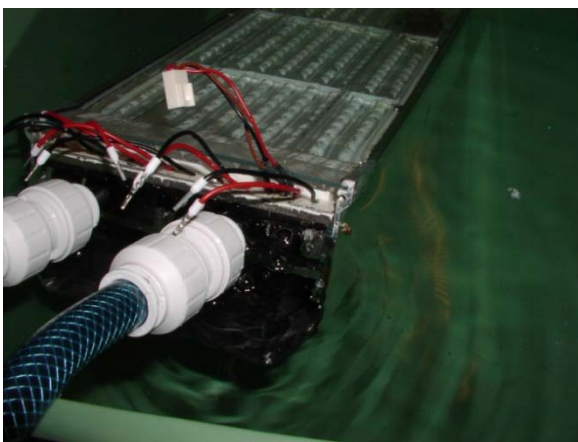
#### 3.1 Armatur #091

Meget skidt i armaturet – lidt kobberagtigt i farve. En rustfarvet aflejring var synlig i vandstudsene. Flere af ledningerne til LED printet brændt over. Rustfarvet belægning i ShowerPower badekarret og på stålpladen. Ingen tydelige tegn på utætheder – der er dog lidt rustbelægning på O-ringen ved vandstudsene, men den kan være påført ved afmonteringen af stålpladen.



### 3.2 Armatur #003

Kortslutning i modsat ende af armaturet, dvs. ikke ved udgangene af power printet. Rustfarvet aflejring i vandstudsene. Utæt hvor den ene vandstuds møder badekarret. Billedet til højre viser armaturet i vandbadet med trykluft på, mens billedet til højre viser hullets placering vha. "LUGASPRAY" lækagesøgespray.



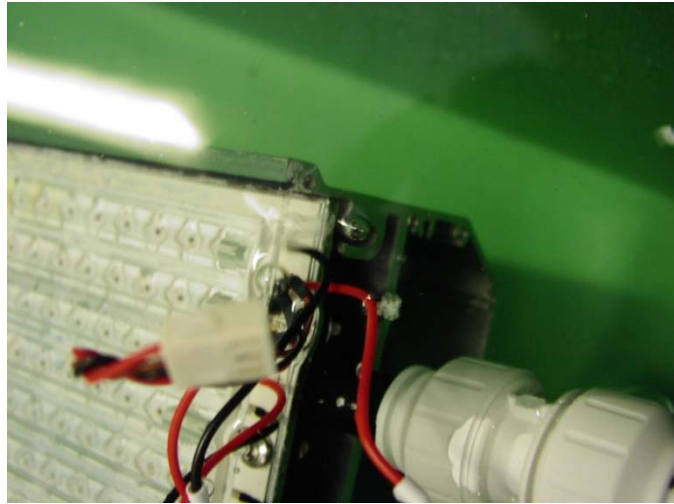
### 3.3 Armatur #029

Armaturet er det tredje armatur, der er blevet udskiftet på #109's plads. Ingen rustfarvet aflejring synligt i studsene. Utæt bagved midterskruen i badekarret i enden uden vandstudse og periodisk utæt i samlingen mellem badekar og stålpladen i samme ende. Tillige utæt i den ene side ved tryk over 2 bar – hvor utætheden er lokaliseret langs siden er uvist, da det er umuligt at se uden at armaturet er skillet ad.



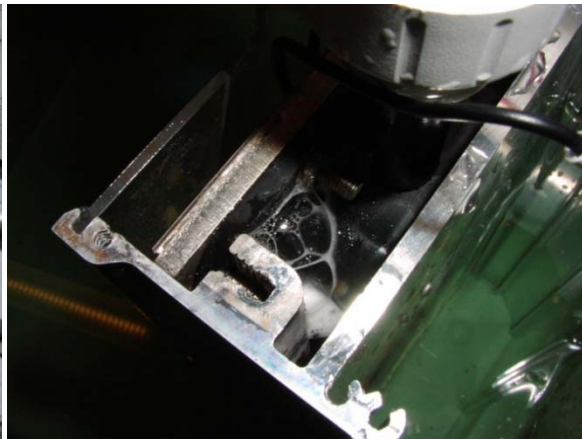
### 3.4 Armatur #031

Blev pillet ned inden den stod helt af. Lidt rustfarvet aflejring i studsene. Der kunne ikke ses utætheder ved hverken 3 eller 4 bar. Først ved 5 bar blev der observeret lidt udsivning af luft i begge sider. Det viste sig at luften havde samlet sig i lommer mellem huset og badekarret for først at komme til overfladen efterfølgende (se videooptagelse). Dvs. at der var tale om meget små utætheder. Ved at langsomt nedsænke trykket og påføre armaturet vibrationer for at frigøre evt. luftsamlinger, kunne det konstateres at armaturet var tæt igen ved 2,8 bar.



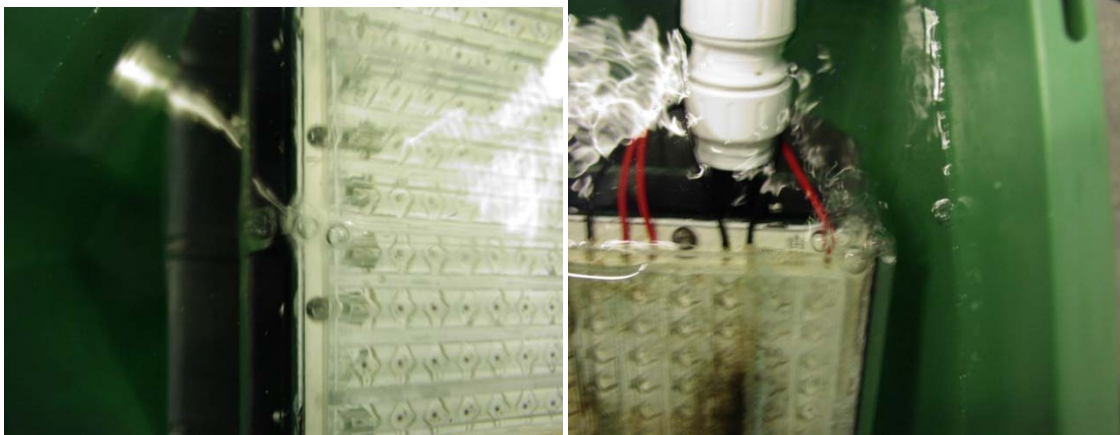
### 3.5 Armatur #KP031

Den anden udskiftning af armaturet på #031's plads inden for forholdsvis kort tid. Frontpladen var blevet sprængt da armaturet stod af. Power PCB var hårdt medtaget. Hvid/brun snask i armaturet. Ingen rustfarvet aflejring i vandstudsene. Utæt i begge sider, i badekarret ved den ene studs og i midten af badekarret.



### 3.6 Armatur #033

Kraftig rustfarvet aflejring i vandstudsene. Snask mellem LED print og frontpladen. Manglende O-ringe omkring studsene. Var tilsyneladende tæt ved 3 bar. Blev synligt utæt i denne ene side samt ved midterskruen i enden uden studse, da trykket nået op på 3,5 bar (se videooptagelser). Tæt igen da trykket faldt til 2,6 bar.



### 3.7 Armatur #051

Indeholdt meget vand. Rustfarvet aflejring i vandstudsene. Hul i hjørnet bagved skruen ved den ene studs, dvs. et hul hvor studsen møde badekarret. Billedet viser hullet vha. lækagesøg spray.



### 3.8 Armatur #106

Indeholdt meget vand. Ingen tegn på kortslutning på LED printet. Rustfarvet aflejring i vandstudsene. Hul i badekarret i enden uden studse. Utætheder bag midterskruen i samme ende samt i begge sider.



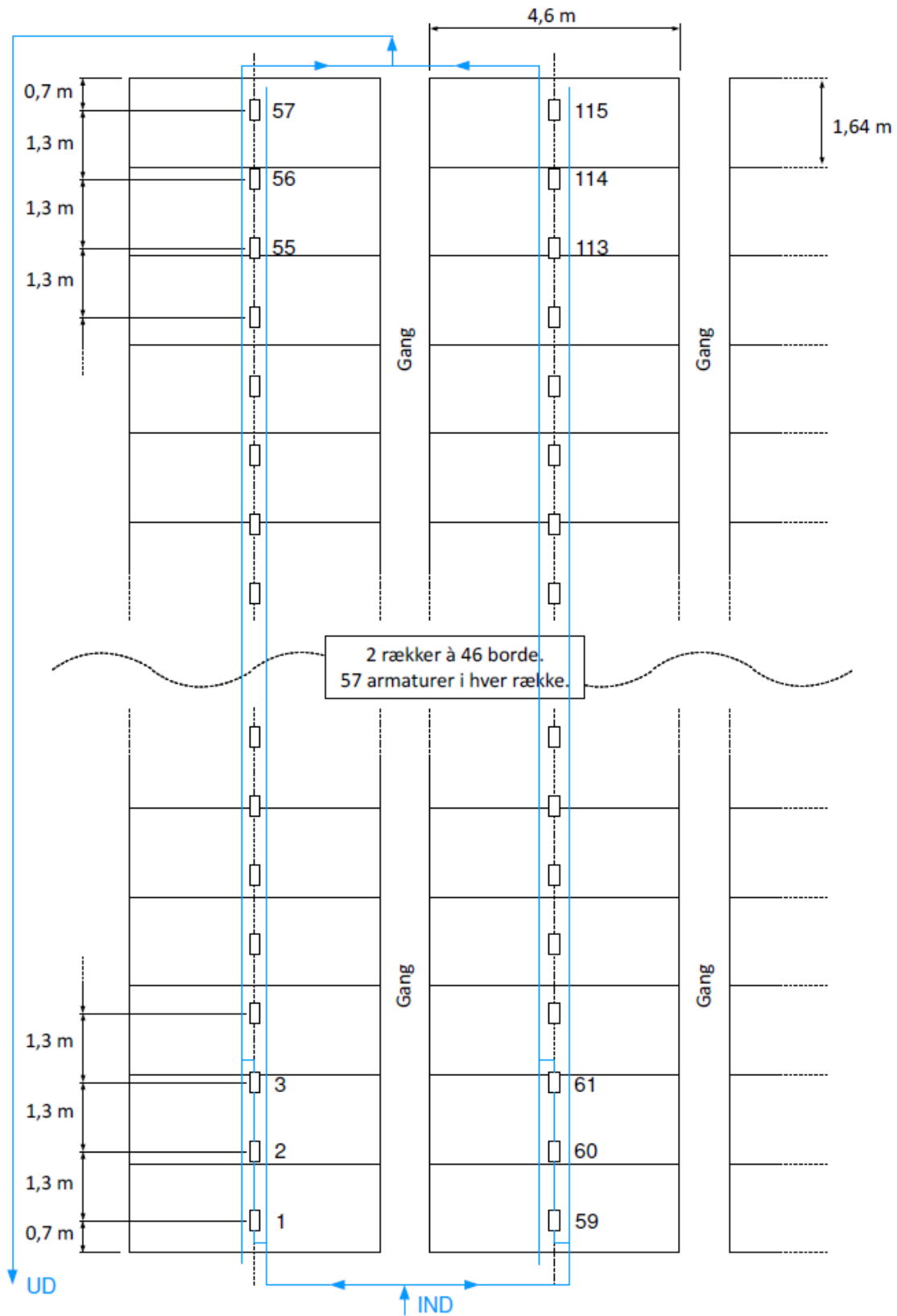
Der findes mere omfattende billeddokumentation inkl. videooptagelser for alle armaturer. Denne billeddokumentation er tilgængelig på CD.

## 4. Konklusion

Der er fundet både åbenlyse utætheder i form af huller forskellige steder i ShowerPower badekarret, samt utætheder i form af læk ved pakninger ved øget tryk. For at finde årsagen til de opståede fejl, skal der en mere omfattende undersøgelse til. Armaturerne skal både testes ved dynamisk tryk for at se hvilke påvirkning vandets flow har på tætheden, og skilles ad for at tillade nærmere undersøgelse af hvordan hullerne er opstået. Dette arbejdet er nu blevet overladt til Senmatic A/S, der har både udstyret og det påkrævede erfaring for sådan en undersøgelse.

## Bilag A1: Skitse over PKM installation

### PKM armaturplan – storskalaforsøg efterår 2009





## Bilag A2: Trykdata

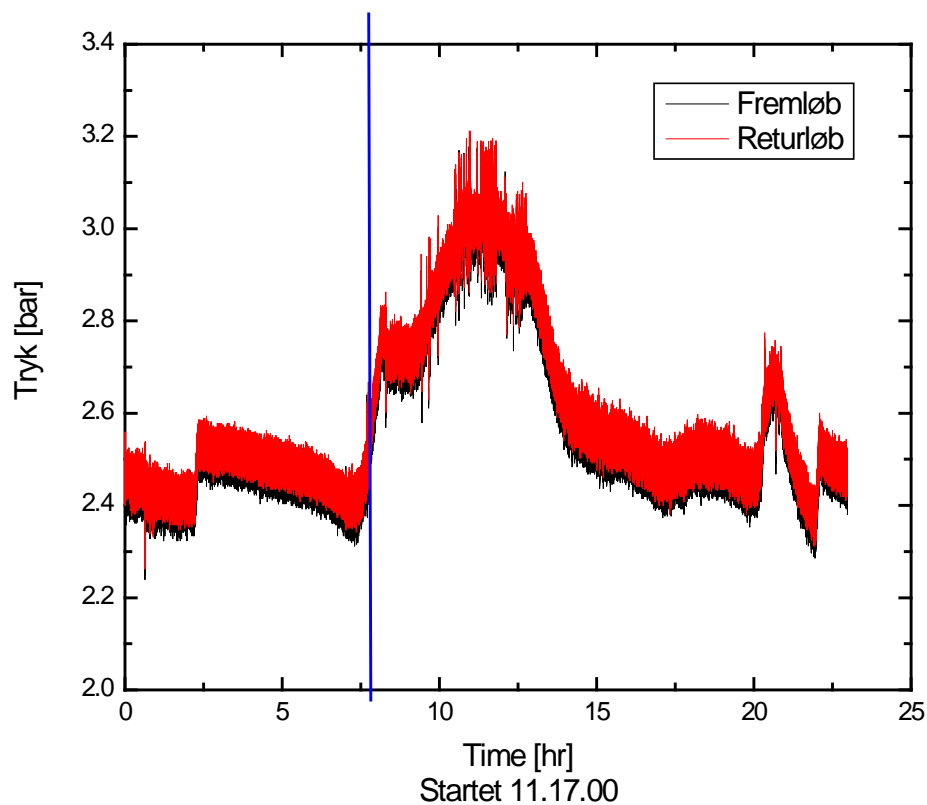
I forbindelse med identifikation af trykspidser eller uhensigtsmæssige trykstigninger, er trykket i returløb og fremløb målt over 1 måneds tid. Forløbet i data afviger ikke væsentligt de enkelte dage, og nedenstående er et udsnit på fire data dage.

Forklaring:

Trykdata som funktion af timer startet vilkårlige tidspunkter på dagen. Til sammenligning er kl 18.00 markeret som en blå lodret linie.

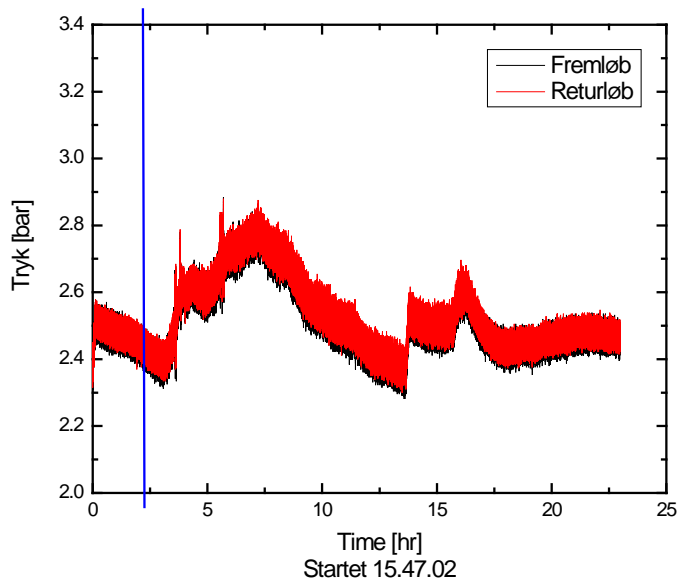
230310

Data er målt 10 x pr. sekund over 1.000.000 målinger. De enkelte målinger er midlet over 100 ms.



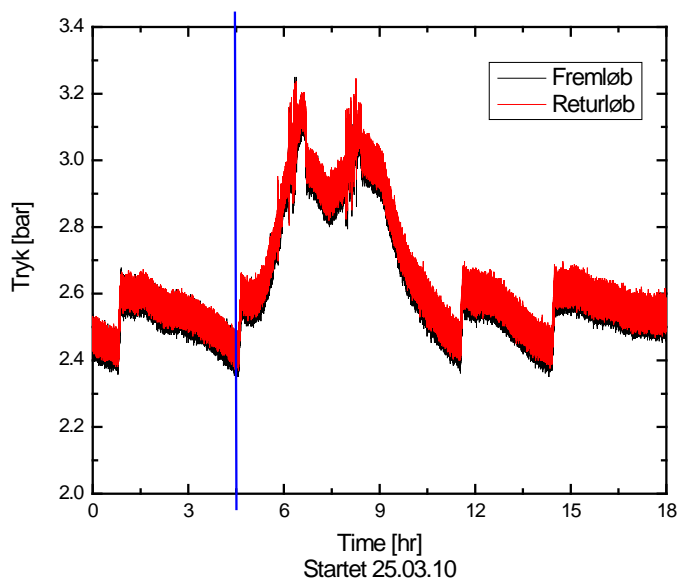
240310

Data er målt 10 x pr. sekund over 1.000.000 målinger. De enkelte målinger er midlet over 100 ms.



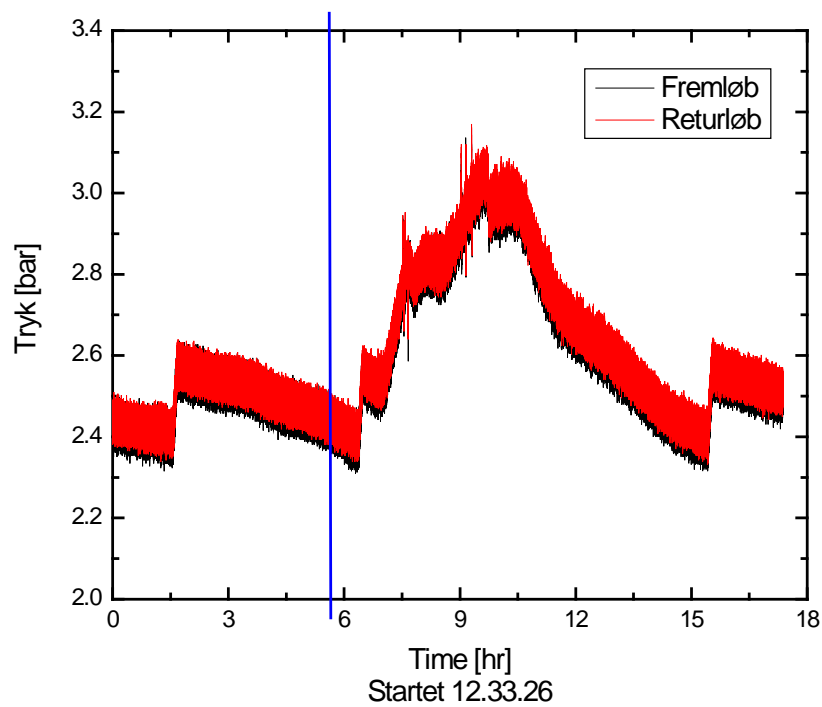
300310

Data er målt 10 x pr. sekund over 1.000.000 målinger. De enkelte målinger er midlet over 100 ms.



070410

Data er målt 20 x pr. sekund over 1.000.000 målinger. De enkelte målinger er ikke midlet, men målt som single målinger. ( Programmet kan ikke køre hurtigere )



Delkonklusion:

Som det ses, er der ingen pludselige trykstød i systemet. Trykket i systemet er ikke stabilt, og stiger fra ca. 2.4 bar efter 18.00 og på til mellem 2.8 bar og 3.2 bar.

## BILAG B - Termografianalyse Mads Pedersen del 1 - 16/02 2010

SDU SENSE – TEKNISK FAKULTET J. FLY HANSEN

### Planlagte målinger:

- 1) Bladtemperatur på planter ”direkte” under LED lamper. Blade i forskellig højde
- 2) Bladtemperatur på planter midt mellem to rækker LED lamper.
- 3) Bladtemperatur på planter under HPS lamper.

### Udførte målinger (Omgivelsestemperaturer ( $T_A$ ) er målt med et kviksølvtermometer lagt i ”skygge”:

Plante direkte under armatur 11 (LED); $T_A = 22,1$ °C i 2,25 m højde (kviksølvtermometer)						
nr.	Filnavn.	Tidsp.	Blad	Bemærkninger	AVG	
01	02160001	09:22:54	Højde: 2,25 m, afstand: 25 cm	Lyse pletter fra HPS lampe	ja	
02	02160002	09:23:51	Højde: 2,25 m, afstand: 25 cm		nej	
03	02160003	09:31:05	Højde: 2,80 m, afstand: 35 cm	To blade. 90 cm til plantetop og 210 cm fra top til armatur	ja	
04	02160004	09:31:24	Højde: 2,80 m, afstand: 35 cm		nej	
05	02160005	09:36:10	Overbliksbillede. ”1/3 HPS lys”. En række under LED og en mod HPS. Gule markeringer ved HPS.	ja		
06	02160006	09:36:30		nej		
07	02160007	09:40:33	Overbliksbillede over LED området. Modsat side af 05+06.	ja		
08	02160008	09:41:13		nej		
09	02160009	09:42:02	2 LED lamper + strålevarmekilde, selve varmetråden kan ikke ses.	nej		
Plante midt i LED området mellem armatur 4 og 11;						
nr.	Filnavn.	Tidsp.	Blad	Bemærkninger	AVG	$T_A$
10	02160010	09:57:19	Højde: 2,35 m, afstand: 22 cm	Referencepind indlagt. 60 cm fra plantetop, dvs plante er ca 30 cm lavere	ja	23,0
11	02160011	09:57:47	Højde: 2,35 m, afstand: 22 cm		nej	23,0
12	02160012	10:03:55	Højde: 2,80 m, afstand: 35 cm	Referencepind indlagt	ja	24,5
13	02160013	10:04:11	Højde: 2,80 m, afstand: 35 cm		nej	24,5
14	02160014	10:07:37		Ude af fokus??		
15	02160015	10:08:47	Solen er ved at få magt.	Overbliksbillede, taget fra midt LED området.	ja	
16	02160016	10:09:44			nej	
Plante midt i HPS området.						
nr.	Filnavn.	Tidsp.	Blad	Bemærkninger	AVG	$T_A$
17	02160017	10:21:32	Højde: 2,40 m, afstand: 28 cm	3 blade i skygge Referencepind indlagt	ja	24,3
18	02160018	10:21:47	Højde: 2,40 m, afstand: 28 cm		nej	24,3
19	02160019	10:26:07	Højde: 2,65 m, afstand: 25 cm	Blade i lys. Referencepind indlagt	ja	
20	02160020	10:28:00	Højde: 2,65 m, afstand: 25 cm		nej	
21	02160021	10:30:14	Højde: 3,05 m, afstand: 25 cm	Blade i lys, solen virker kraftig	ja	
22	02160022	10:30:38	Højde: 3,05 m, afstand: 25 cm		nej	
23	02160023	10:31:39	Plantetop, oversigt. Taget af planter under HPS lamper	ja		
24	02160024	10:31:57		nej		
25	02160025	10:34:11	Plantetop, oversigt. De forreste er under HPS lamper og i baggrunden er planter under LED og helt bagest er planter under HPS			
26	02160026	10:34:46				
27	02160027	10:37:26	Billede af strålevarmere lige efter slukning (max 1 min.)	nej		

## Analyse:

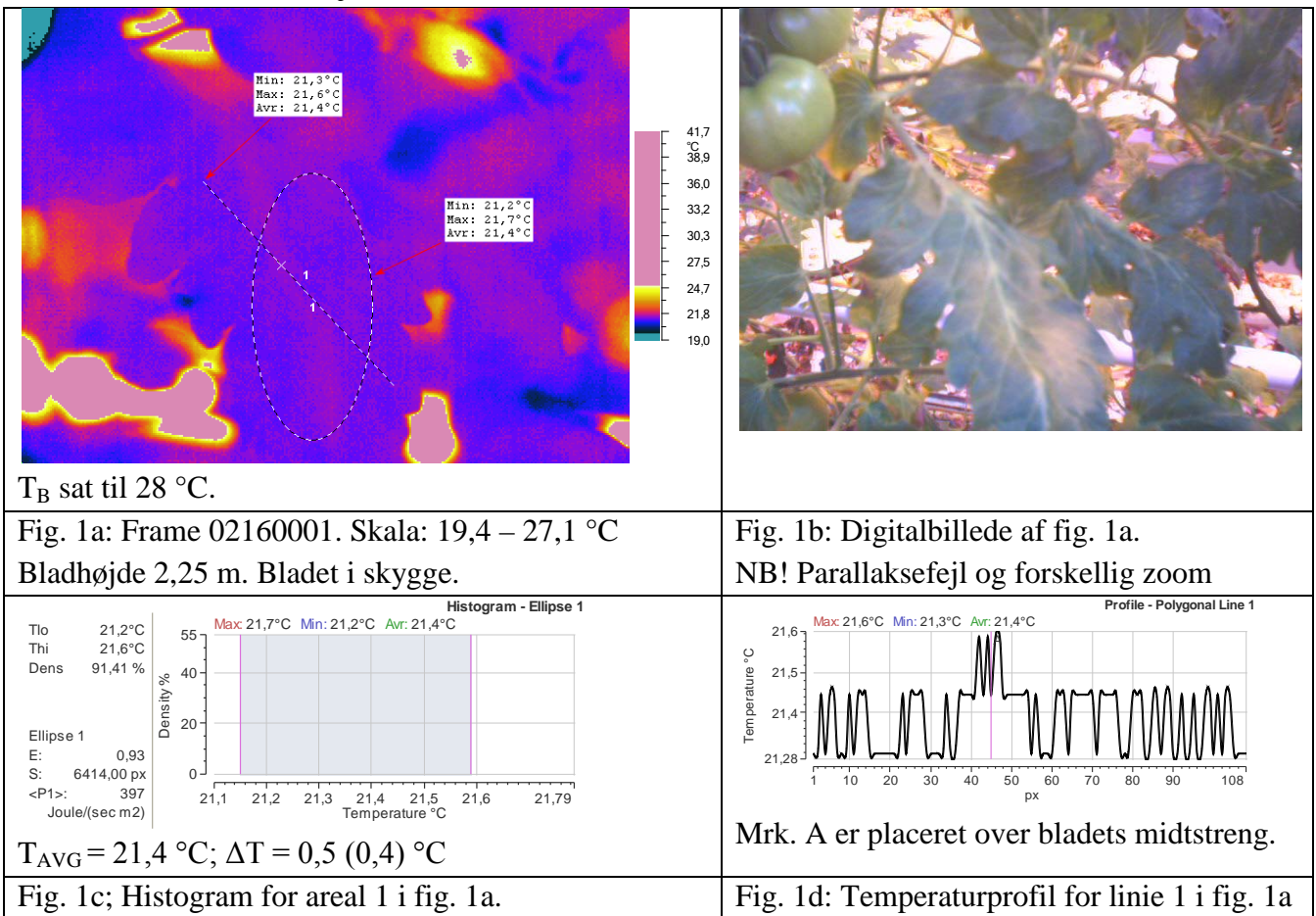
Da der er store temperaturforskelle i forskellige højder, er det ikke muligt at holde samme temperaturskala og samtidig få et "kontrastrige" billeder, derfor vil temperaturskalaen være justeret for hvert billede for at give passende "kontrast". Den anvendte skala er vist i højre side af termografibilledet og vil være skrevet under billedet. Emissiviteten for bladene er valgt til 0,93 for alle målingerne. Baggrundsstrålingen  $T_B$ , som vil påvirke den absolutte temperatur, vil være forskellig fra måling til måling og bero på en subjektiv bedømmelse. Emissivitet og baggrundsstråling betyder ikke noget for de relative temperaturer i hvert billede; men har udelukkende indflydelse på den absolutte temperatur.

Til orientering er medtaget digitalbilleder af målestederne; men der vil være parallaksefejl, og digitalkameraets zoom niveau passer ikke med termografikameraets.

Kameraets måleområde (range) er valgt: Low Range:  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  til  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Plante direkte under armatur 11 (LED), fig. 1 + fig. 2;

$T_A = 22,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  i 2,25 m højde (kviksølvtermometer):



## Delkonklusion:

Bladet i fig. 1a er valgt placeret i skygge med svage lyse arealer fra HPS lamper. De lyse arealer er ikke at genfinde som temperaturvariationer. Der er en meget homogen temperatur hen over bladet ( $21,2 - 21,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) med max. temperatur på bladets midtstreng.

Omgivelsestemperaturen er kun målt i 2,25 m højde.

Bladtemperaturen ( $T_{AVG}$ ) er lavere end  $T_A$ .

Bladets midtstreng er generelt varmere end bladpladen, se fig. 1a og fig. 1d.

<p><math>T_B</math> sat til 30 °C</p>	
<p>Fig. 2a: Frame 02160003. Skala: 20,7-23,9 °C Bladhøjde 2,80 m (90 cm under plantetop)</p>	<p>Fig. 2b: Digitalbillede. Fra plantetop til armatur er der 210 cm.</p>
<p>Tlo 21,7°C Thi 22,3°C Dens 60,75 %</p> <p>Ellipse 1 E: 0,93 S: 2548,00 px &lt;P1&gt;: 401 Joule/(sec m2)</p> <p><math>T_{AVG} = 22,2</math> °C; <math>\Delta T = 0,7</math> (0,4) °C</p>	<p>Profile - Polygonal Line 1</p> <p>Mrk. A er placeret over bladets midtstreng.</p>
<p>Fig. 2c: Histogram for areal 1 i fig. 2a:</p> <p>Tlo 22,3°C Thi 23,0°C Dens 94,59 %</p> <p>Ellipse 2 E: 0,93 S: 740,000 px &lt;P1&gt;: 404 Joule/(sec m2)</p> <p><math>T_{AVG} = 22,7</math> °C; <math>\Delta T = 1,0</math> (0,7) °C</p>	<p>Fig. 2d: Temperaturprofil for linie 1 i fig. 2a.</p> <p>Tlo 22,1°C Thi 22,6°C Dens 89,87 %</p> <p>Ellipse 3 E: 0,93 S: 908,000 px &lt;P1&gt;: 402 Joule/(sec m2)</p> <p><math>T_{AVG} = 22,4</math>; <math>\Delta T = 0,7</math> (0,5) °C</p>
<p>Fig. 2e: Histogram for areal 2 i fig. 2a.</p>	<p>Fig. 2f: Histogram for areal 3 i fig. 2a.</p>

### Delkonklusion:

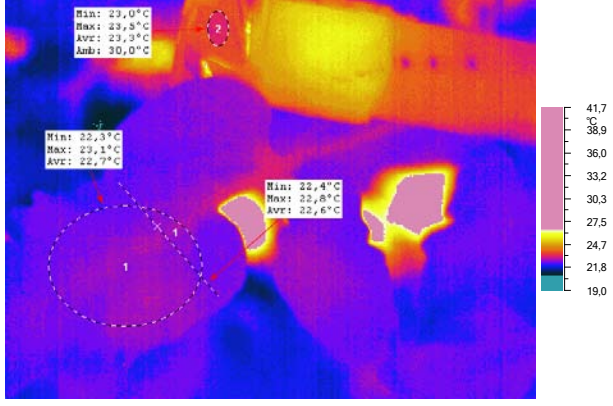

**Fig. 2:** I fig. 2a er der indlagt 3 arealer på 3 blade med forskellig position (vinkel). Af de tilhørende histogrammer ses markant forskel på gennemsnitstemperaturerne ( $T_{AVG}$ ) på de 3 blade. Bladet med den vandrette position (areal 3) og meget "lys" har (for arealområdet) en gennemsnitstemperatur, der er 0,5 °C højere end bladet med areal 1. Samtidig er der også en større temperaturspredning ( $\Delta T$ ).

Baggrundstemperaturen er sat lidt højere her end ved fig. 1.

**Fig. 2/fig. 1:** Sammenlignes areal 1 med blad i fig. 1a ses, at bladtemperaturen ( $T_{AVG}$ ) er steget 0,8 °C. Sammenlignes temperaturprofilerne i fig. 1d og fig. 2d ses, at i fig. 2d (det lidt varmere blad) er temperaturen på bladets midtstreng lavere end resten af bladet i modsætning til fig. 1d.

**Plante midt i LED området mellem armatur 4 og 11, fig. 3 + fig. 4:**

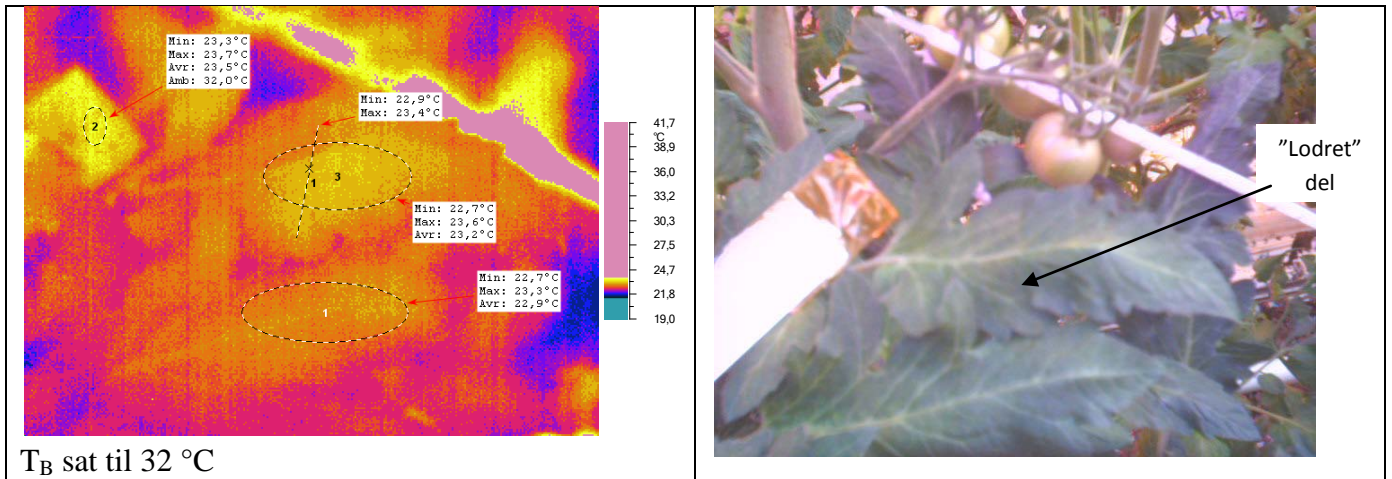
Referencepind indlagt temperaturmåling.

 <p><math>T_B</math> sat til 30 °C</p>																																													
<p>Fig. 3a: Frame 02160010. Skala: 20,8-26,5 °C Bladhøjde 2,35 m. 60 cm under plantetop. <math>T_A = 23,0</math> °C (kviksølvtermometer)</p>	<p>Fig. 3b: Digitalbillede.</p>																																												
<p> <table border="0"> <tr><td>Tlo</td><td>22,4°C</td></tr> <tr><td>Thi</td><td>23,0°C</td></tr> <tr><td>Dens</td><td>96,52 %</td></tr> </table>   <table border="0"> <tr><td>Ellipse 1</td><td></td></tr> <tr><td>E:</td><td>0,93</td></tr> <tr><td>S:</td><td>5237,00 px</td></tr> <tr><td>&lt;P1&gt;:</td><td>404</td></tr> <tr><td>Joule/(sec m2)</td><td></td></tr> </table>   <table border="0"> <tr><td>Max</td><td>23,1°C</td><td>Min:</td><td>22,3°C</td><td>Avr:</td><td>22,7°C</td></tr> </table>   <table border="0"> <tr><td>Density %</td><td></td></tr> <tr><td>Temperature °C</td><td></td></tr> </table> </p> <p><math>T_{AVG} = 22,7</math> °C; <math>\Delta T = 0,8</math> (0,6) °C</p>	Tlo	22,4°C	Thi	23,0°C	Dens	96,52 %	Ellipse 1		E:	0,93	S:	5237,00 px	<P1>:	404	Joule/(sec m2)		Max	23,1°C	Min:	22,3°C	Avr:	22,7°C	Density %		Temperature °C		<p> <table border="0"> <tr><td>A</td><td>22,8°C</td></tr> </table>   <table border="0"> <tr><td>Max</td><td>22,8°C</td><td>Min:</td><td>22,4°C</td><td>Avr:</td><td>22,6°C</td></tr> </table>   <table border="0"> <tr><td>Temperature °C</td><td></td></tr> <tr><td>px</td><td></td></tr> </table>   <table border="0"> <tr><td>Line 1</td><td></td></tr> <tr><td>Len:</td><td>90,6863 px</td></tr> <tr><td></td><td>68;110 128;178</td></tr> </table> </p> <p>Mrk. A er placeret over bladets midtstreng.</p>	A	22,8°C	Max	22,8°C	Min:	22,4°C	Avr:	22,6°C	Temperature °C		px		Line 1		Len:	90,6863 px		68;110 128;178
Tlo	22,4°C																																												
Thi	23,0°C																																												
Dens	96,52 %																																												
Ellipse 1																																													
E:	0,93																																												
S:	5237,00 px																																												
<P1>:	404																																												
Joule/(sec m2)																																													
Max	23,1°C	Min:	22,3°C	Avr:	22,7°C																																								
Density %																																													
Temperature °C																																													
A	22,8°C																																												
Max	22,8°C	Min:	22,4°C	Avr:	22,6°C																																								
Temperature °C																																													
px																																													
Line 1																																													
Len:	90,6863 px																																												
	68;110 128;178																																												
<p>Fig. 3c: Histogram for areal 1 i fig. 3a:</p>	<p>Fig. 3d: Temperaturprofil for linie 1 i fig. 3a.</p>																																												

**Delkonklusion:**

**Fig. 3:** Bladets midtstreng er varmere (Mrk. A i profil) end bladmassen.

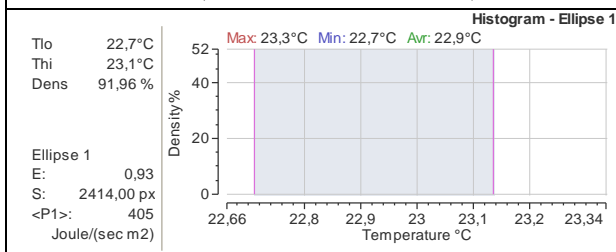
**Fig. 3/fig. 1:** Bladtemperaturen er lavere end  $T_A$ ; men ikke så markant som i fig. 1. Der er tale om blade i ca. samme højde over gulv; men bladhøjden er lavere for planten i fig. 3.



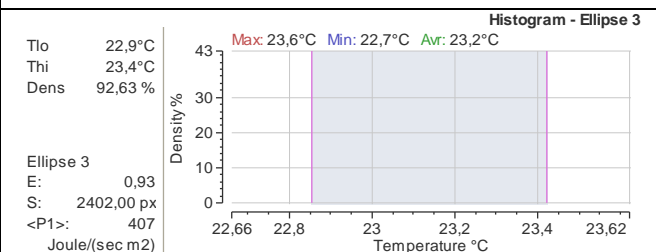
$T_B$  sat til 32 °C

Fig. 4a: Frame 02160012. Skala: 21,4-23,9 °C  
Bladhøjde = 2,80 m. 60 cm fra plantetop.  
 $T_A = 24,5$  °C (Kviksølvtermometer)

Fig. 4b: Digitalbillede



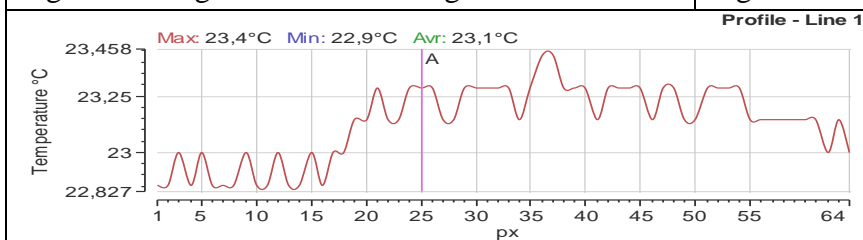
$T_{AVG} = 22,9$  °C;  $\Delta T = 0,6$  (0,4) °C



$T_{AVG} = 23,2$  °C;  $\Delta T = 0,9$  (0,5) °C

Fig. 4c: Histogram for areal 1 i fig. 4a:

Fig. 4d: Histogram for areal 3 i fig. 2a:



Mrk. A er placeret over bladets midtstreng. Px 1 = top af linie.

Fig. 4e: Temperaturprofil for linie 1 i fig. 3a.

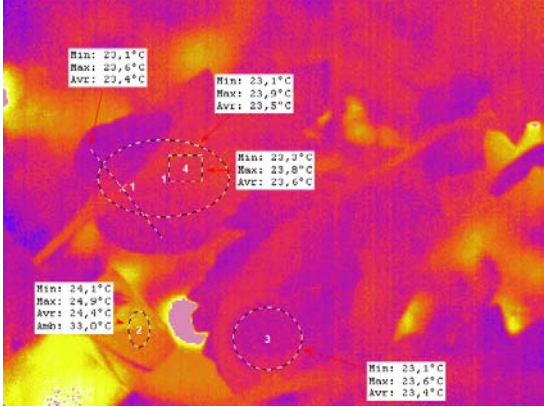

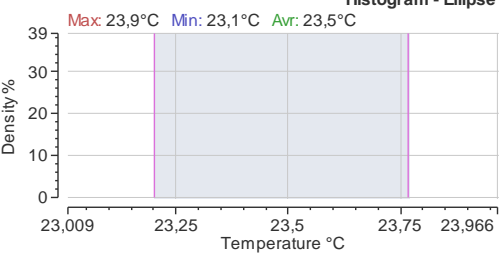
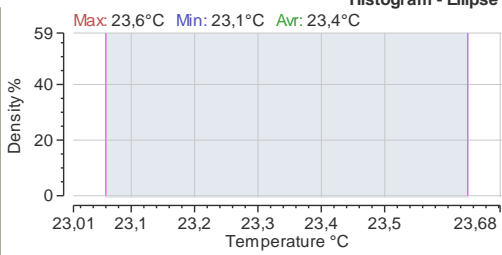
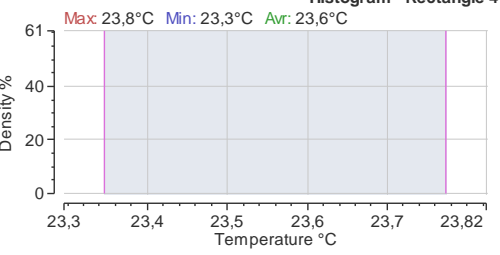
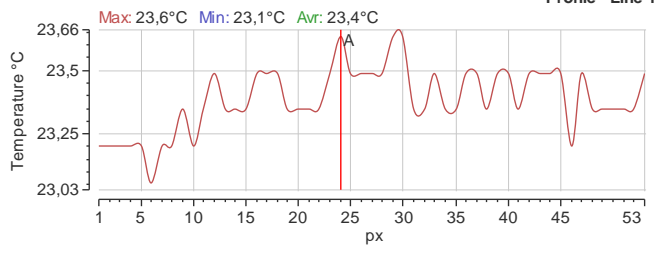
### Delkonklusion:

**Fig. 4:** Fig. 4a viser temperaturprofilen for linie 1. Linien er indlagt i samme blad som areal 3. Profilen viser en markant temperaturstigning hvor bladet "folder". Px 1 = top af linie, så bladet er varmest på den "lodrette" del.

**Fig. 4/fig. 3:** Der er en stigning ( $T_{AVG}$ ) i bladtemperaturen i fig. 4 i forhold til fig. 3 (lavere liggende blad). Stigningen er 0,2 – 0,5 °C. Kviksølvtermometermålingerne giver en  $\Delta T$  på 1,5 °C; mens referencemålingerne giver en  $\Delta T$  på 0,2 °C. Det betyder, at det er vanskeligt, at afgøre om bladtemperaturstigningen er større eller mindre end stigningen i omgivelsestemperaturen; men ud fra referencetemperaturmålingen ser det ud til, at stigningen i bladtemperaturen er sammenlignelig eller lidt større end stigningen i omgivelsestemperaturen.



## Plante midt i HPS området, fig. 5 + fig. 6:

 <p><math>T_B</math> sat til 33 °C.</p>													
<p>Fig. 5a: Frame 02160017. Skala: 21,5 – 26,0 °C. Bladhøjde: 2,40 m. Blade i skygge. <math>T_A = 24,3</math> °C</p>	<p>Fig. 5b: Digitalbillede.</p>												
<p>Histogram - Ellipse 1</p> <table border="1"> <tr><td>Tlo</td><td>23,2°C</td></tr> <tr><td>Thi</td><td>23,8°C</td></tr> <tr><td>Dens</td><td>93,26 %</td></tr> </table> <p>Ellipse 1 E: 0,93 S: 2728,00 px &lt;P1&gt;: 408 Joule/(sec m2)</p>  <p><math>T_{AVG} = 23,5</math> °C; <math>\Delta T = 0,8</math> (0,6) °C</p>	Tlo	23,2°C	Thi	23,8°C	Dens	93,26 %	<p>Histogram - Ellipse 3</p> <table border="1"> <tr><td>Tlo</td><td>23,1°C</td></tr> <tr><td>Thi</td><td>23,6°C</td></tr> <tr><td>Dens</td><td>97,62 %</td></tr> </table> <p>Ellipse 3 E: 0,93 S: 1133,00 px &lt;P1&gt;: 408 Joule/(sec m2)</p>  <p><math>T_{AVG} = 23,4</math> °C; <math>\Delta T = 0,5</math> (0,5) °C</p>	Tlo	23,1°C	Thi	23,6°C	Dens	97,62 %
Tlo	23,2°C												
Thi	23,8°C												
Dens	93,26 %												
Tlo	23,1°C												
Thi	23,6°C												
Dens	97,62 %												
<p>Fig. 5c: Histogram for areal 1 i fig. 5a: Blad i delvis skygge.</p>	<p>Fig. 5d: Histogram for areal 3 i fig. 5a: Blad i skygge</p>												
<p>Histogram - Rectangle 4</p> <table border="1"> <tr><td>Tlo</td><td>23,3°C</td></tr> <tr><td>Thi</td><td>23,8°C</td></tr> <tr><td>Dens</td><td>86,56 %</td></tr> </table> <p>Rectangle 4 E: 0,93 S: 320,000 px &lt;P1&gt;: 409 Joule/(sec m2)</p>  <p><math>T_{AVG} = 23,6</math> °C; <math>\Delta T = 0,5</math> (0,5) °C</p>	Tlo	23,3°C	Thi	23,8°C	Dens	86,56 %	<p>Profile - Line 1</p>  <p>Mrk. A placeret over bladets midtstreng</p>						
Tlo	23,3°C												
Thi	23,8°C												
Dens	86,56 %												
<p>Fig. 5e: Histogram for areal 4 i fig. 5a: Delareal af areal 1. Areal 4 er ikke i skygge.</p>	<p>Fig. 5f: Temperaturprofil for linie 1 i fig. 5a.</p>												

### Delkonklusion:

**Fig. 5:** Areal 1 dækker et bladområde som hvor der både er skygge og ”lys”. Areal 4 er en del af areal 1; men dette areal er i ”lys”. Sammenlignes gennemsnitstemperaturerne for de to arealer ses, at areal 4 er 0,1 °C varmere end areal 1, dvs. den ”lyse plet” giver anledning til opvarmning. Laves en sammenligning mellem bladets ”skyggedel” (areal ikke medtaget) og ”lyse del” fås en temperaturforskel på 0,2 °C.

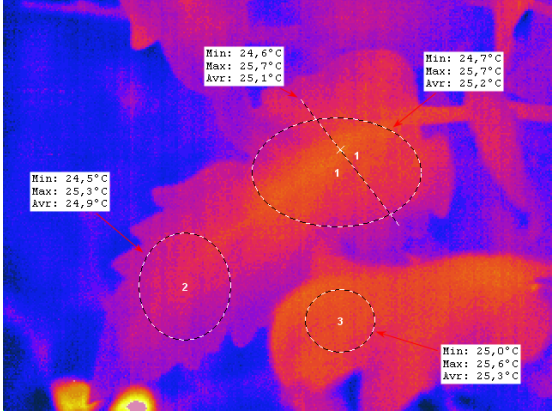

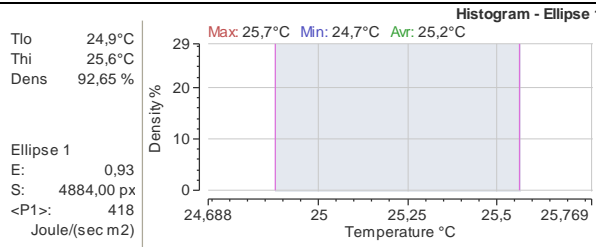
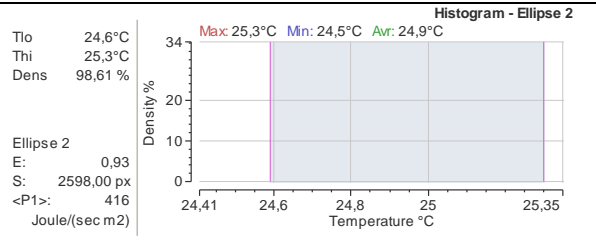
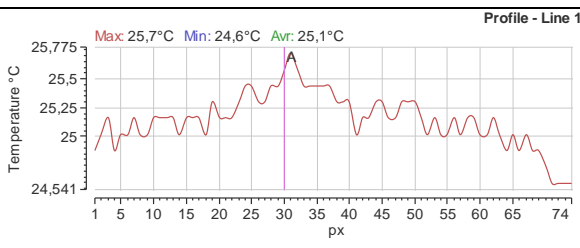
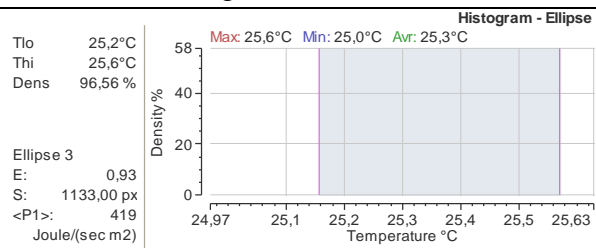
Af fig. 5f ses, at bladets midt streng er varmere end bladpladen.

Areal 3 er placeret på et blad i skygge og viser en gennemsnitstemperatur der er 0,2 °C lavere end areal 4, den lyse del af areal 1.

**Fig. 5/fig. 3:** Sammenligning mellem planter midt under HPS med planter midt under LED i ca. samme højde over gulv (det skal bemærkes, at der er forskel på plantehøjde):

Sammenlignes bladtemperatur i fig. 5d med bladtemperatur i fig. 3a ses at  $\Delta T_{AVG}$  er lig  $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  mens  $\Delta T_A$  er  $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (kvikslølvtermometer) eller  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (referencepind). Dvs., at temperaturstigningen for bladpladen er mindre end temperaturstigningen for omgivelserne.

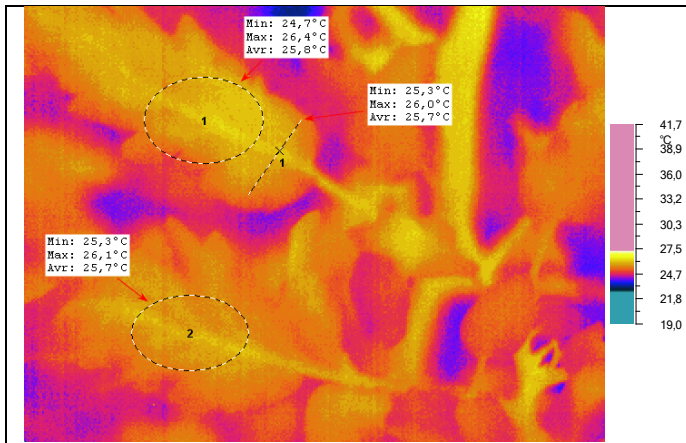
Det kan også se ud som om temperaturforskellen hen over bladmassen er mindre for HPS belysningen (fig. 5d) end for LED belysningen (fig. 3c).

 <p> <math>T_B</math> sat til <math>35\text{ }^{\circ}\text{C}</math>.         </p>	
<p>Fig. 6a: Frame 02160019. Skala: <math>21,5 - 26,0\text{ }^{\circ}\text{C}</math>. Bladhøjde: <math>2,65\text{ m}</math>. Blade i lys. <math>T_A</math> = ikke målt.</p>	<p>Fig. 6b: Digitalbillede</p>
 <p> <math>T_{AVG} = 25,2\text{ }^{\circ}\text{C}</math>; <math>\Delta T = 1,0\text{ (0,7)}\text{ }^{\circ}\text{C}</math> </p>	 <p> <math>T_{AVG} = 24,9\text{ }^{\circ}\text{C}</math>; <math>\Delta T = 0,8\text{ (0,7)}\text{ }^{\circ}\text{C}</math> </p>
<p>Fig. 6c: Histogram for areal 1 i fig. 6a:</p>	<p>Fig. 6d: Histogram for areal 2 i fig. 6a: Samme blad som areal 1; men længere væk fra bladets midtstreng.</p>
 <p>Mrk. A er placeret ved bladets midtstreng.</p>	 <p> <math>T_{AVG} = 25,3\text{ }^{\circ}\text{C}</math>; <math>\Delta T = 0,6\text{ (0,4)}\text{ }^{\circ}\text{C}</math> </p>
<p>Fig. 6e: Temperaturprofil for linie 1 i fig. 6a.</p>	<p>Fig. 6f: Histogram for areal 3 i fig. 6a:</p>

### Delkonklusion:

**Fig. 6:** Af fig. 6e ses, at også her er bladets midtstreng varmere en bladpladen.

**Fig. 6/fig. 5:** Forskellen i bladpladens temperatur er markant ( $\Delta T_{AVG} = 1,7\text{ }^{\circ}$ ). Der er også tale om en højere placering af bladet i fig. 6 end i fig. 5 og samtidig er der i fig. 5 tale om et blad i skygge.

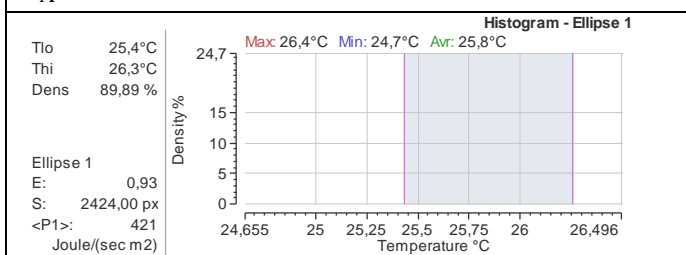


$T_B$  sat til 35 °C.

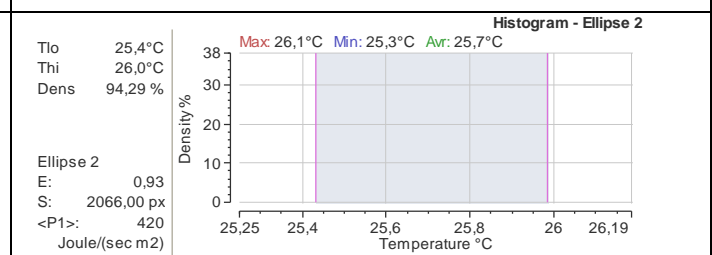


Fig. 7a: Frame 02160021. Skala: 22,7 – 27,2 °C.  
Bladhøjde: 3,05 m. Blade i lys, solen virker kraftig.  
 $T_A$  = ikke målt.

Fig. 7b: Digitalbillede.



$T_{AVG} = 25,8$  °C;  $\Delta T = 1,7$  (0,9) °C



$T_{AVG} = 25,7$  °C;  $\Delta T = 0,8$  (0,6) °C

Fig. 7c: Histogram for areal 1 i fig. 1a.  
Den store  $\Delta T$  (1,7 °C) skyldes at arealet også dækker en "spalte" i bladet samt en nedadvendt del af bladpladen. Indlægges et areal uden disse reduceres samme  $\Delta T$  til 1,1 °C.

Fig. 7d: Histogram for areal 2 i fig. 7a.

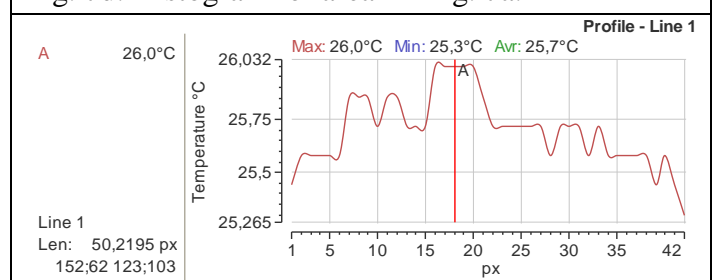


Fig. 7e: Temperaturprofil for linie 1 i fig. 7a.

### Delkonklusion:

Fig. 7: Af fig. 7e og fig. 7a ses at også her er bladets midtstreng varmere end bladpladen. Det ser ud som om det er det "normale". Begrundelse for at bladets midtstreng i fig. 2 er koldere mangler.

Fig. 7/fig. 6: Det ser ud til at temperaturstigningen (bladpladen) fortsætter når vi kommer højere op.  $\Delta T_{AVG}$  er på 0,5 °C fra fig. 6 til fig. 7. Her er i begge tilfælde tale om blade i lys: Desværre er  $T_A$  ikke målt, så det kan ikke vurderes om  $\Delta T_{AVG}$  er lig en evt.  $\Delta T_A$ .

Efterfølgende vises nogle oversigtsbilleder som er taget ud over plantetoppene.

**Termografibilleder af plantetoppe under LED armaturer men ved grænse til HPS lamper (oversigt):**

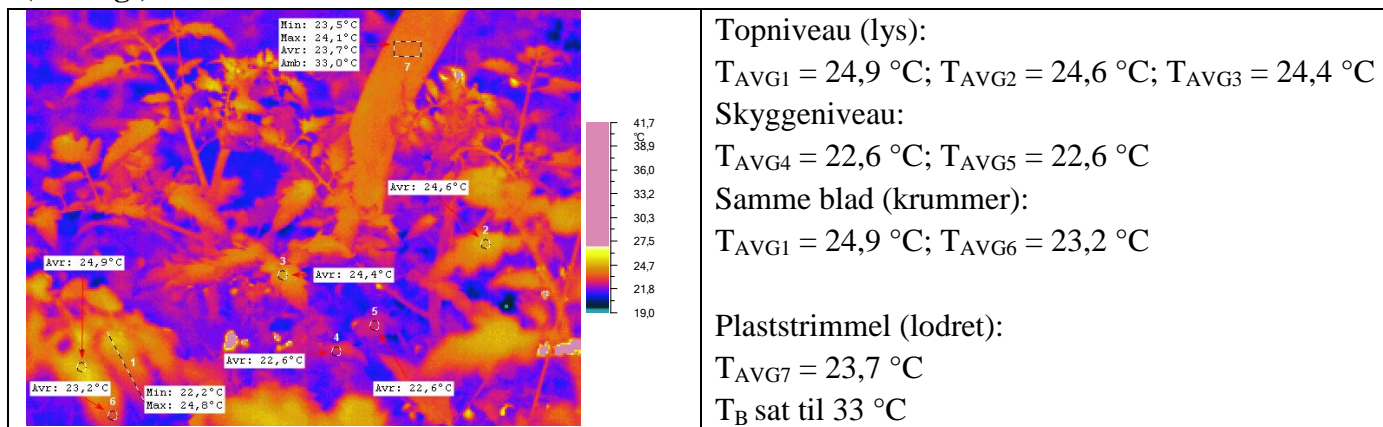


Fig. 8a: Frame 02160005. Skala: 19,5 – 26,9 °C. Delvis under LED og delvis under HPS. Der er placeret 6 identiske arealer på forskellige blade. Kun gennemsnitstemperaturen er angivet. Areal 7 er placeret på et gult markeringsbånd. Der er placeret en linie på et blad for at vise temperaturprofilen hen over bladet.

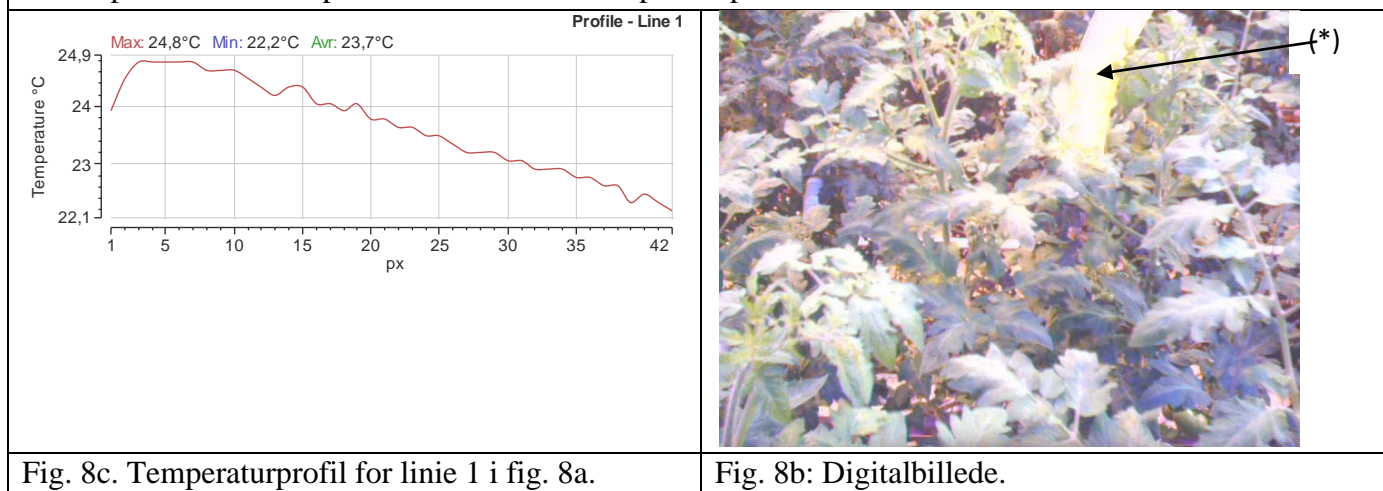


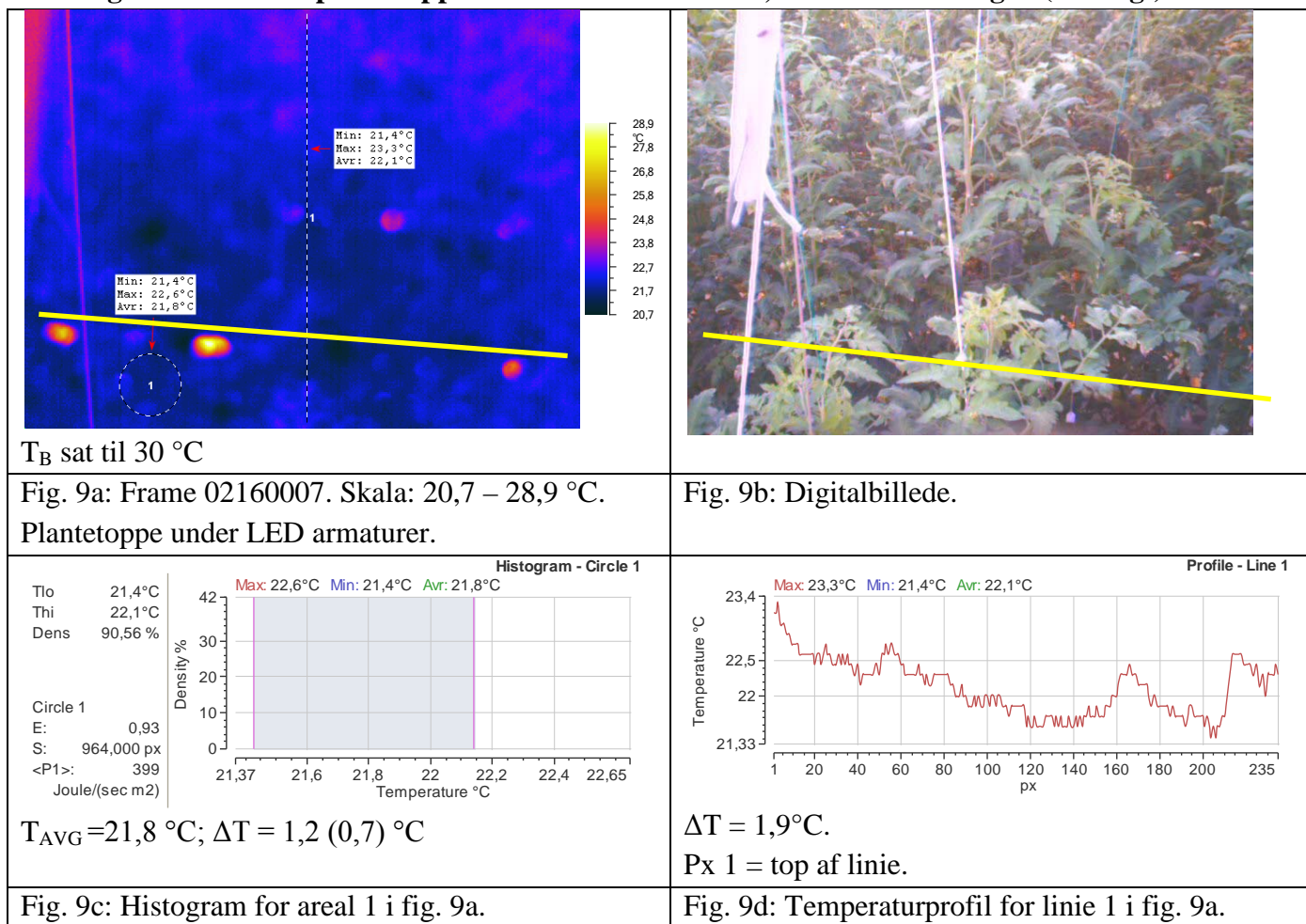
Fig. 8c. Temperaturprofil for linie 1 i fig. 8a.

Fig. 8b: Digitalbillede.

**Delkonklusion:**

Det gule markeringsbånd (\*) er placeret midt mellem HPS-lys og LED-lys. Af areal 1 – 5 på fig. 8a ses, at der er en temperaturforskel på ca. 2 °C for blade i ”lys” kontra i ”skygge”. Desuden ses af areal 1 og areal 6 samt linie 1, at bladets position (vinkel) betyder meget. Temperaturforskellen hen over bladet er ca. 2,7 °C.

**Termografibilleder af plantetoppe under LED armaturer, modsat side af fig. 8 (oversigt):**



**Kommentarer:** Termografibilledet er lidt ude af fokus, så maksimalværdier (temperatur) passer ikke; men gennemsnitværdier kan anvendes.

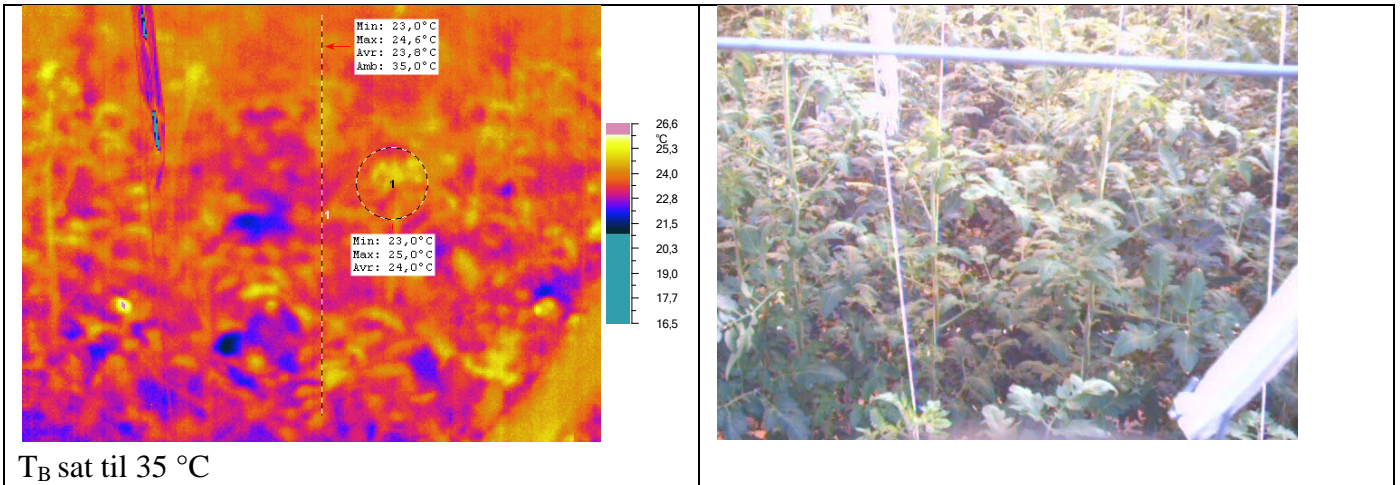
De meget varme punkter er et underliggende varmerør (gul markeringslinie placeret lidt forskudt). Optagelsen er taget fra en position under en yderrække i LED området og ind over LED området.

**Delkonklusion:**

**Fig. 9:** Af billedet og temperaturprofilen kan det ses, at bladtemperaturen stiger over mod HPS armaturerne (top af billedet).

**Fig. 9/ Fig. 8:** Sammenlignes gennemsnitstemperaturer i fig. 9 (planter mest under LED/strålevarme armaturer) med gennemsnitstemperaturer i fig. 8 (planter med nabo-HPS armaturer) ses at bladtemperaturen i fig. 8 er ca. 2 °C større hvis alle arealer placeret på blade medtages. Sammenlignes med arealer placeret i ”skygge” er der stadig en højere bladtemperatur (0,4 °C) i fig. 8.

**Termografibilleder af plantetoppe under LED/HPS taget fra midte af LED område (oversigt):**

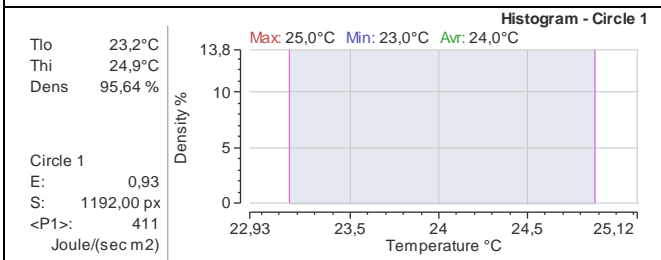


$T_B$  sat til 35 °C

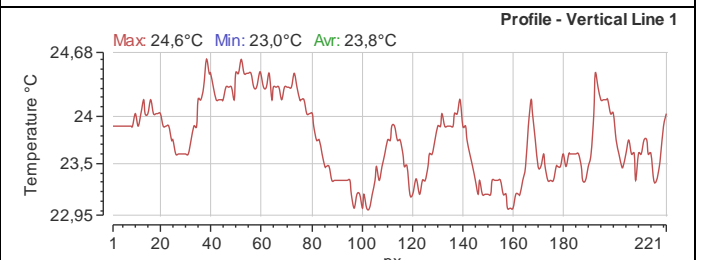


Fig. 10b: Digitalbillede

Fig. 10a: Frame 02160015. Skala: 21,0 – 26,0 °C.



$T_{AVG} = 24,0 \text{ °C}$ ;  $\Delta T = 2,0 \text{ °C}$



$\Delta T = 1,6 \text{ °C}$

Fig. 10c: Histogram for areal 1 i fig. 10a.

Fig. 10d: Temperaturprofil for linie 1 i fig. 10a.

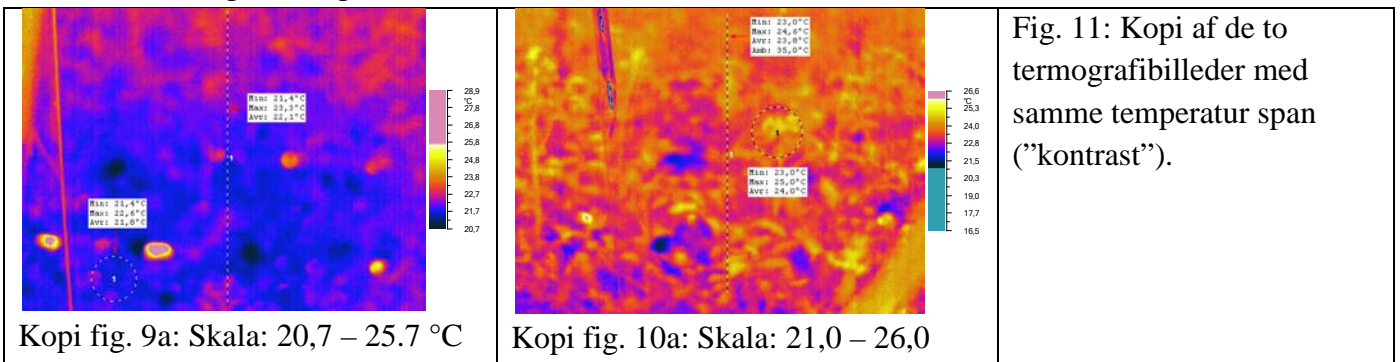
**Kommentarer:** Termografibilledet er også her lidt ude af fokus, så maksimalværdier (temperatur) passer ikke; men gennemsnitværdier kan anvendes.

Optagelsen er taget fra en position under de midterste række LED armaturer og over mod HPS området (top af billeder).

**Delkonklusion:**

**Fig. 10:** Af fig. 10d ses, at også denne optagelse viser en temperaturstigning over mod HPS området, samme observation kan gøres ud fra fig. 10a. Det skal dog bemærkes, at desto større afstanden til kameraet er desto mere kompakt synes bladmassen.

**Fig. 10/fig. 9:** Sammenlignes bladmasstemperaturen i de to figurer, ses at temperaturforskellen hen over den indlagte linie i de to billeder er større i fig. 9 (1,9 °C) end i fig. 10 (1,6 °C). Det kan se ud til, at der er en markant lavere temperatur midt under LED/strålevarme armaturerne. Fig. 11 viser de to optagelser med samme temperatur span.



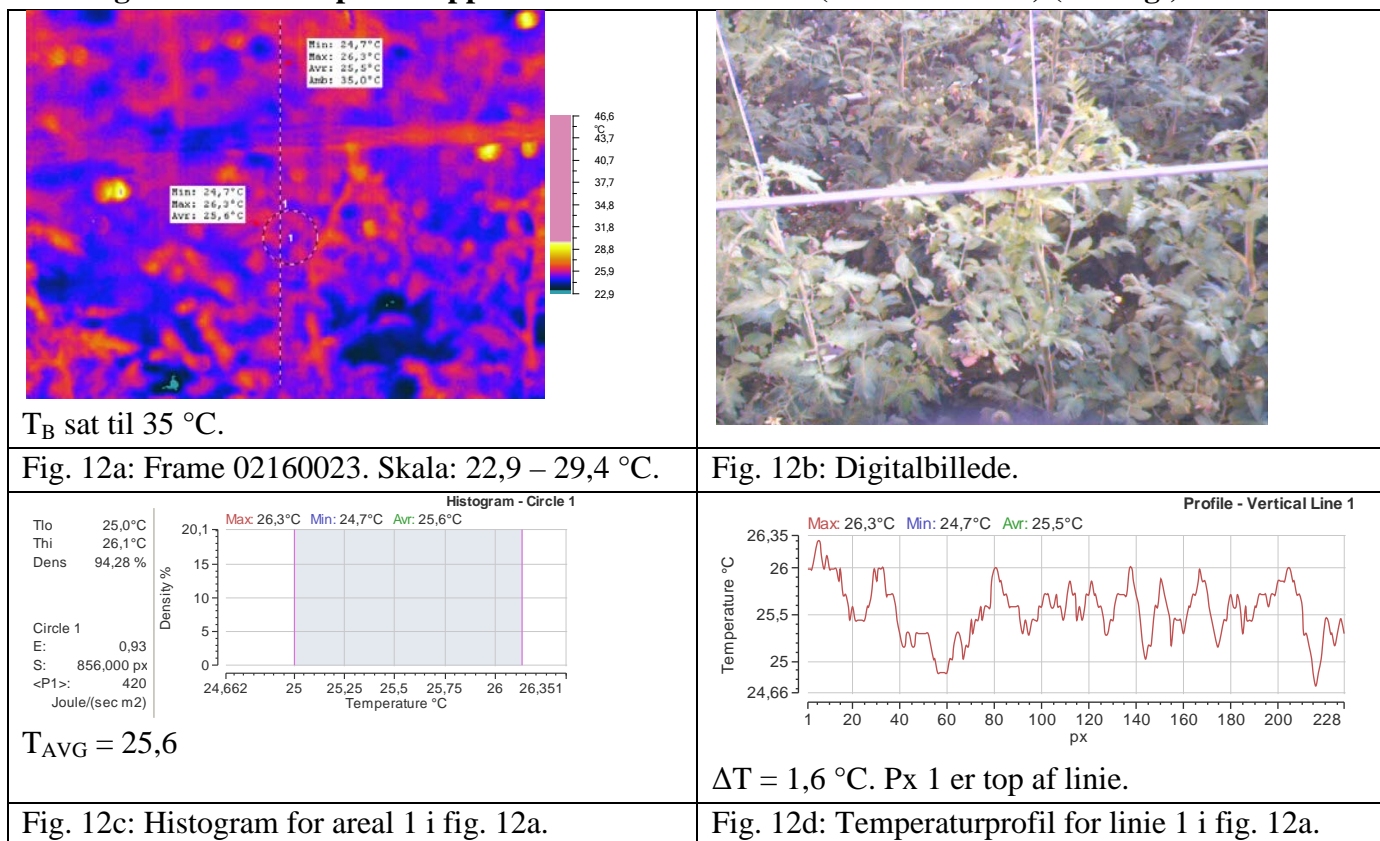
Kopi fig. 9a: Skala: 20,7 – 25,7 °C

Kopi fig. 10a: Skala: 21,0 – 26,0

Fig. 11: Kopi af de to termografibilleder med samme temperatur span ("kontrast").

Sammenlignes fig. 9d med fig. 10d, ses at der er flere markante "hot spots" i fig. 10. Dette kan skyldes bladpositioner (vinkler) sammenholdt med en kortere afstand til HPS-området.

## Termografibilleder af plantetoppe under HPS armaturer (midt i området) (oversigt):



**Kommentarer:** Subjektiv bedømmelse: Solens indflydelse nu kraftig.

### Delkonklusion:

**Fig. 11:** Ses der på temperaturprofilen er der også her som i fig. 10 tale om markante "hot spots". Det kunne tyde på at dette er mere udtalt under HPS armaturer end under LED/strålevarme armaturer. Oversigtsoptagelserne var ikke planlagte; men spontane, derfor er "motivet" ikke valgt ud fra ønske om disse "konklusioner".

Hvis dette skal undersøges, bør motiv (områdestørrelse, -placering og evt. -markering) overvejes.

### Fig. 9, 10 og 11:

Fig. 9: Plantetoppe under LED/strålevarme armaturer  $T_{AVG} = 21,8$  °C

Fig. 10: Plantetoppe under LED/Strålevarme og HPS nabo.  $T_{AVG} = 24,0$  °C

Fig. 11: Plantetoppe under HPS armaturer.  $T_{AVG} = 25,6$  °C

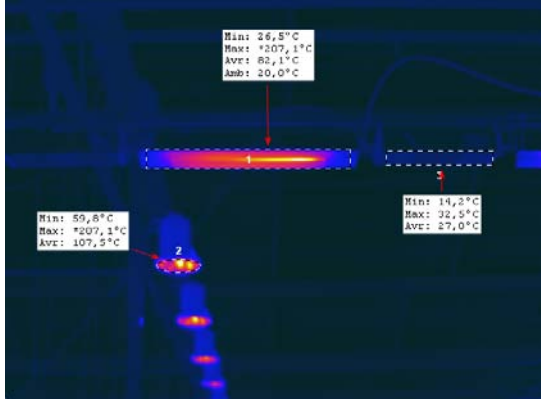

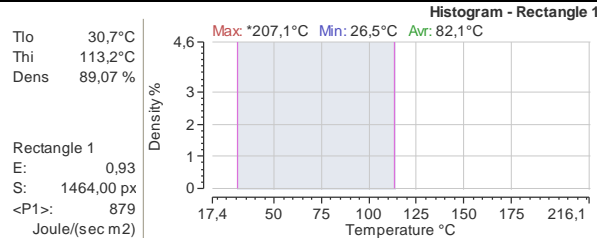
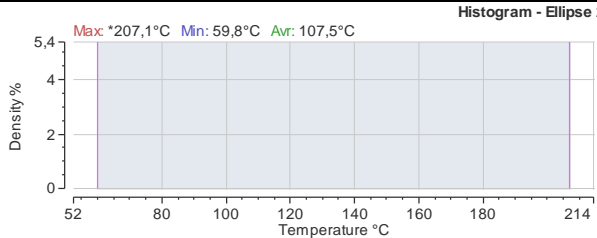
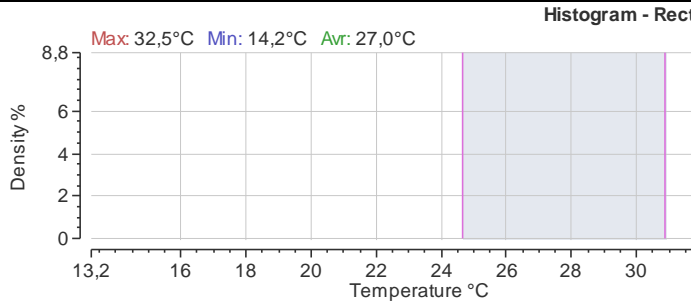
Sammenlignes gennemsnitstemperaturen for det indlagte areal ses en tydelig temperaturstigning i bladmassen desto mere HPS-lys de udsættes for.

Det skal dog bemærkes at den tidsmæssige forskel i optagelserne og solens fremkomst også kan spille ind.

### Info-optagelser relateret til armaturer og strålevarmere:

De efterfølgende optagelser er informationsoptagelser af armaturer og strålevarme. Den maksimale temperatur overstiger kameraets øvre grænse (120 °C) i det valgte måleområde, så temperaturangivelser over 120 °C er påhæftet stor usikkerhed.

## LED-armaturer og strålevarmere (tændt):

 <p><math>T_B</math> sat til 20 °C (plantemasse). Emissiviteten for enkeltdele kendes ikke. (<math>\epsilon</math> sat til 0,93)</p>	
<p>Fig. 13a: Frame 02160009. Skala: 8,4 – 207,1 °C. Max. temperaturer er uden for kameraets "range".</p>	<p>Fig. 13b: Digitalbillede</p>
	
<p>Fig. 13c: Histogram for areal 1 i fig. 13a. Strålevarmer (varmelegeme er ikke synligt).</p>	<p>Fig. 13d: Histogram for areal 2 i fig. 13a. HPS armatur.</p>
	
<p>Fig. 13d: Histogram for areal 3 i fig. 13a. LED armatur.</p>	

### Kommentarer:

Areal 1 er placeret på en strålevarmer, selve varmelegemet er dog ikke synligt.

Areal 2 er placeret på et HPS armatur.

Areal 3 er placeret på et LED armatur.

### Iagttagelser:

Af fig. 13c fremgår det, at strålevarmernes temperaturer ligger i området 30 – 100 °C for selve armeturet hvor "varmelegemet" ikke er synligt.

Af fig. 13d ses at HPS armaturerne tilsvarende har en intensitetspukkel i området 60 – 110 °C; men desuden har et væsentlig bidrag ved højere temperaturer (over 190 °C).



## Optagelser af strålevarmere og LED armatur umiddelbart efter slukning (max. 1 min.)

<p> <math>T_B</math> sat til 20 °C (plantemasse).              Emissiviteten for enkeltdele kendes ikke. (<math>\epsilon=0,93</math>)         </p>	
<p>Fig. 13a: Frame 02160027. Skala: 11,4 – 207,1 °C.              Max. temperaturer er uden for kameraets "range".</p>	<p>Fig. 13b: Digitalbillede</p>
<p>Fig. 13c: Histogram for areal 1 i fig. 13a.              Strålevarmer (varmelegeme er ikke synlig)</p>	<p>Fig. 13d: Histogram for areal 2 i fig. 13a.              LED armatur</p>

### Kommentarer:

Areal 1 er placeret på en strålevarmer, selve varmelegemet er dog ikke synligt.

Areal 2 er placeret på et LED armatur.

### Bladtemperaturer

#### Planlægning:

Formålet med målingerne er at undersøge om bladtemperaturen afhænger af plantens position i forhold til lyskildetype og varmekilder.

Der er på forhånd valgt 6 målepositioner (se fig. 1). Placeringerne er valgt ud fra den betragtning at de afdækker bladtemperaturen der hvor varmekilderne i hvert anlæg har mindst og mest indflydelse.

Det tilstræbes, at der findes et blad i ca. samme højde ved hver måleposition.

Bladets højde over gulv angives sammen med den pågældende plantes højde. Herved kan bladets relative position på planten også vurderes.

Målinger:

Termografi: Baggrundsstråling / baggrundstemperatur ( $T_B$ ) og termografioptagelse

Temperaturmåling: Omgivelsestemperatur ( $T_A$ ) for bladet (lufttemperatur)

Måling af baggrundsstrålingen (se bilag 1) anvendes i det senere analysearbejde. Dette giver en mere nøjagtig temperaturmåling på bladet.

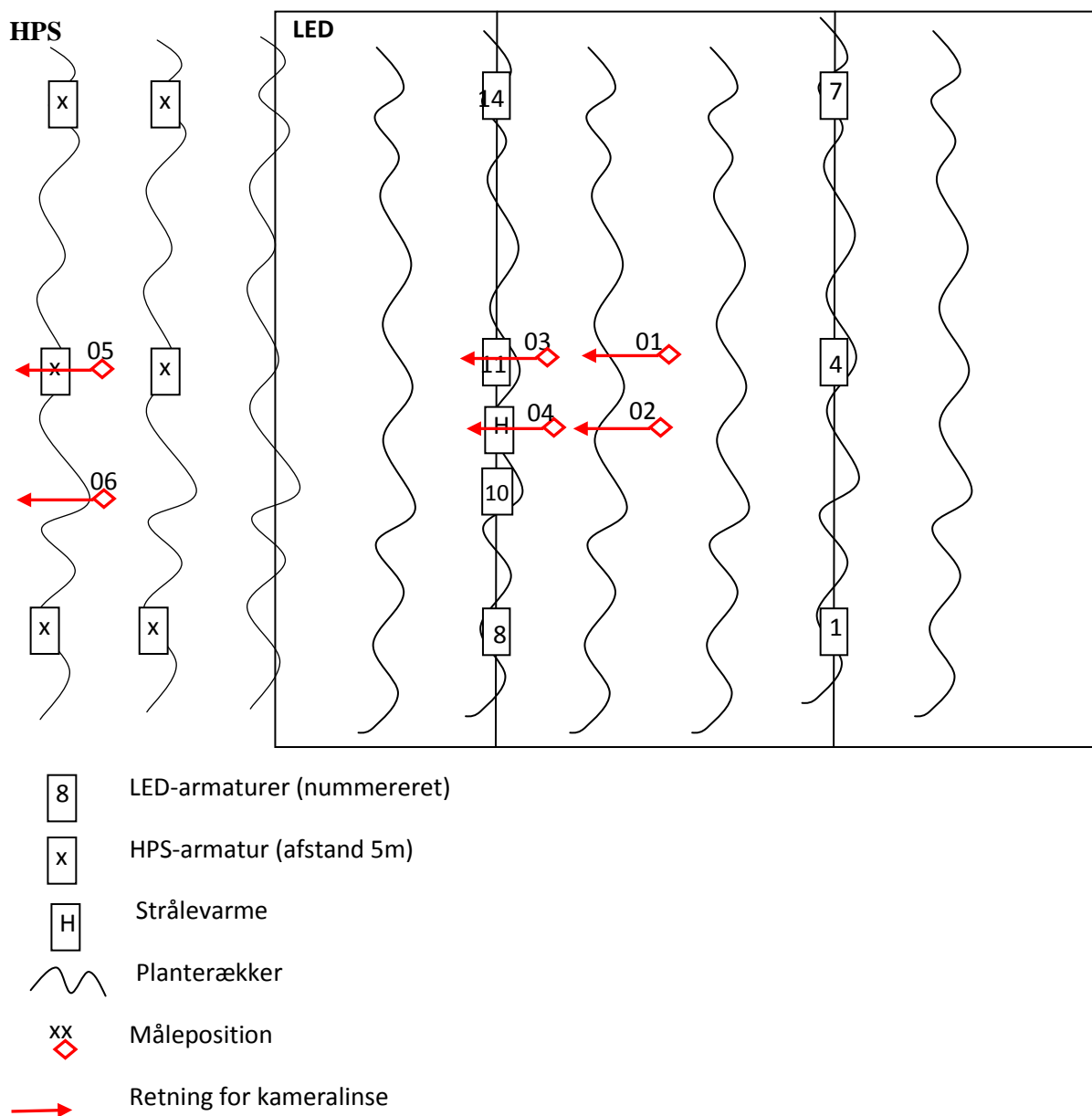


Fig. 1: Oversigt over valgte målesteder.

#### Analyse:

$T_B$  er baggrundstemperaturen bestemt ved strålingsmåling (se bilag 1).

$T_A$  er omgivelsestemperaturen målt med digitaltermometer (TESTO 922, med termopar type K)

Temperaturskalaerne i figurene er valgt individuelt.

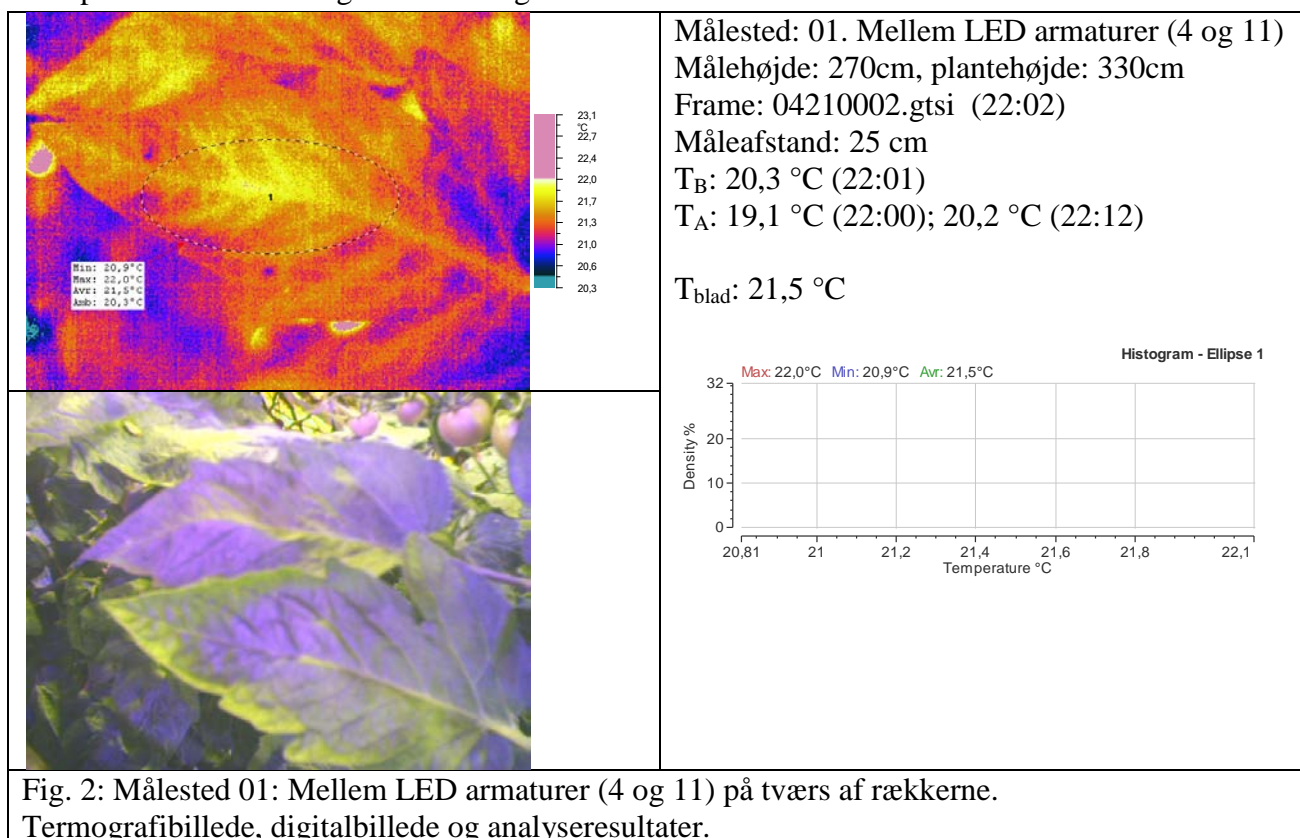


Fig. 2: Målested 01: Mellem LED armaturer (4 og 11) på tværs af rækkerne.  
Termografibillede, digitalbillede og analyseresultater.

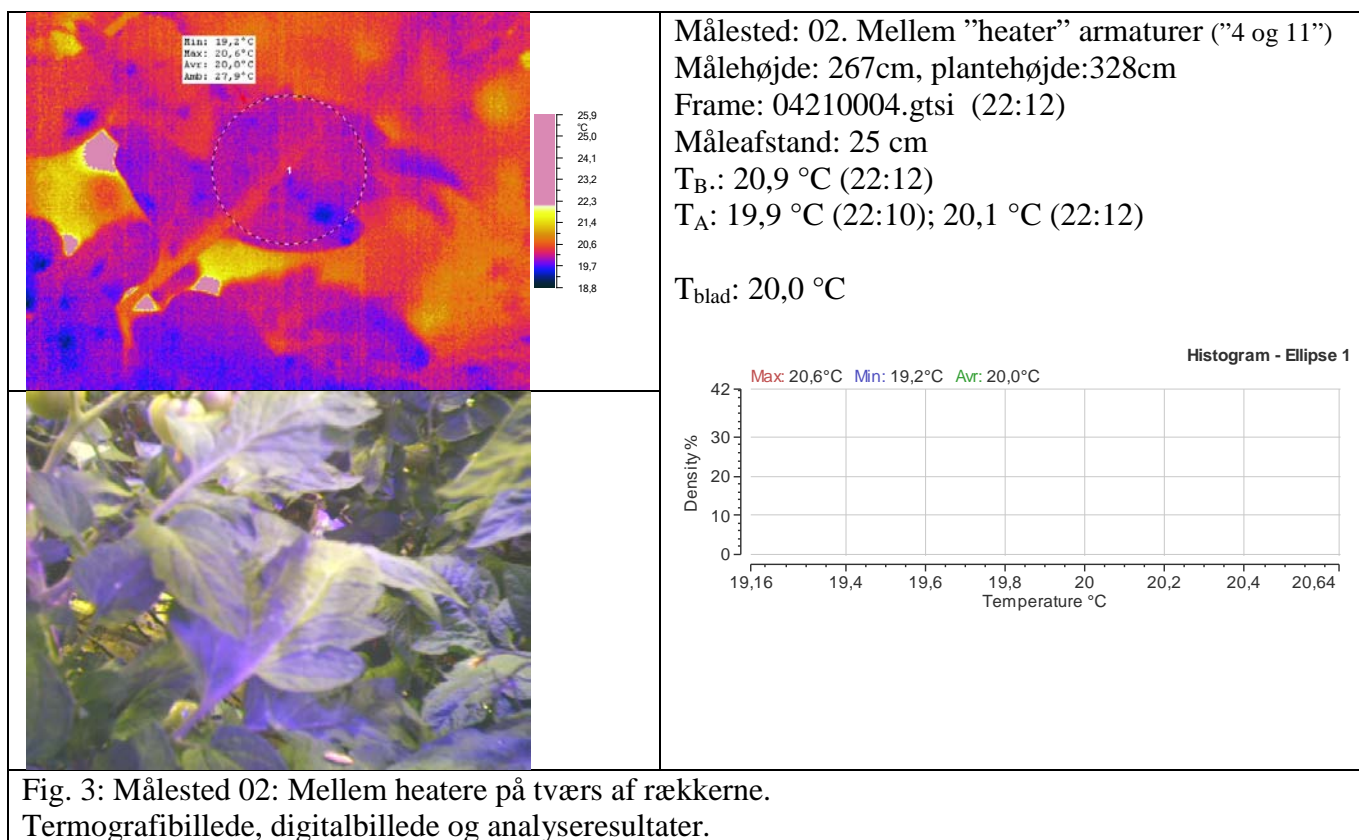


Fig. 3: Målested 02: Mellem heatere på tværs af rækkerne.  
Termografibillede, digitalbillede og analyseresultater.

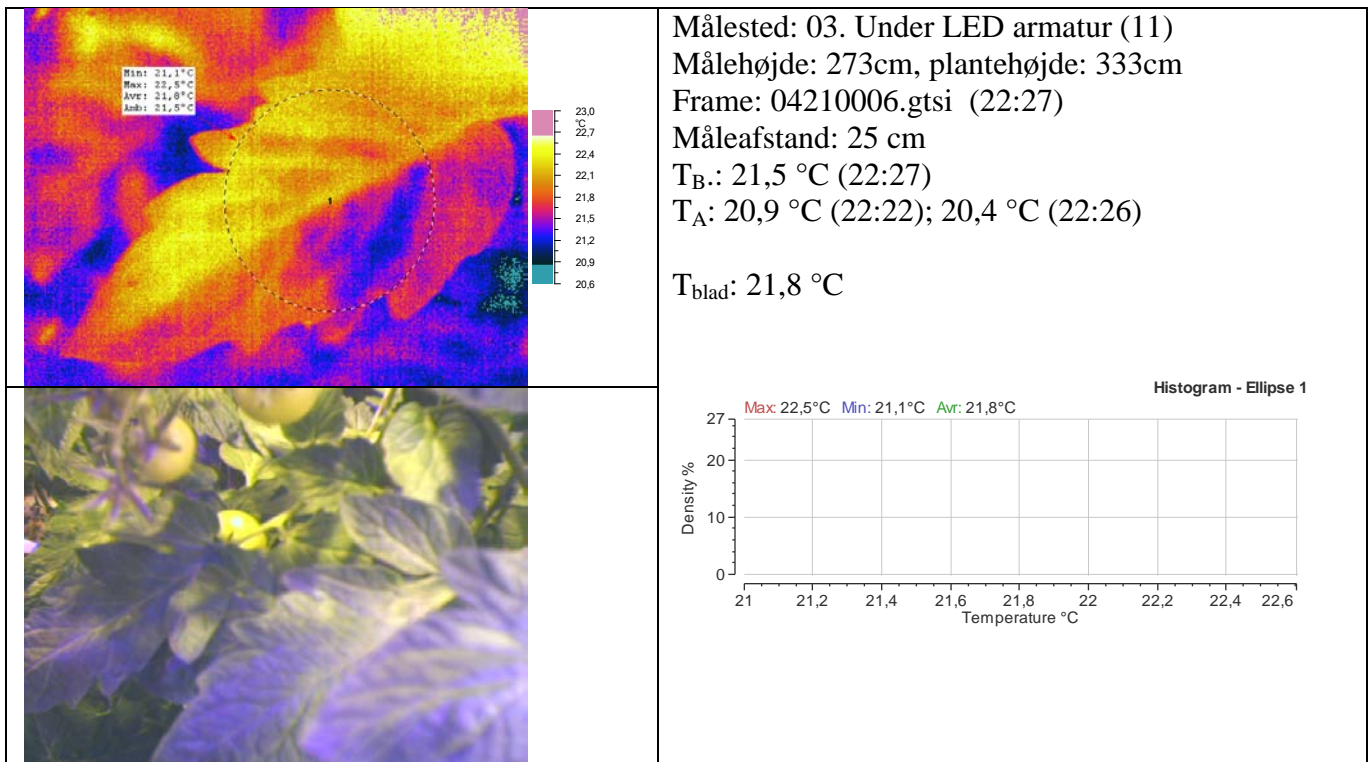


Fig. 4: Målested 03: Under LED armatur (nr 11).  
Termografibillede, digitalbillede og analyseresultater.

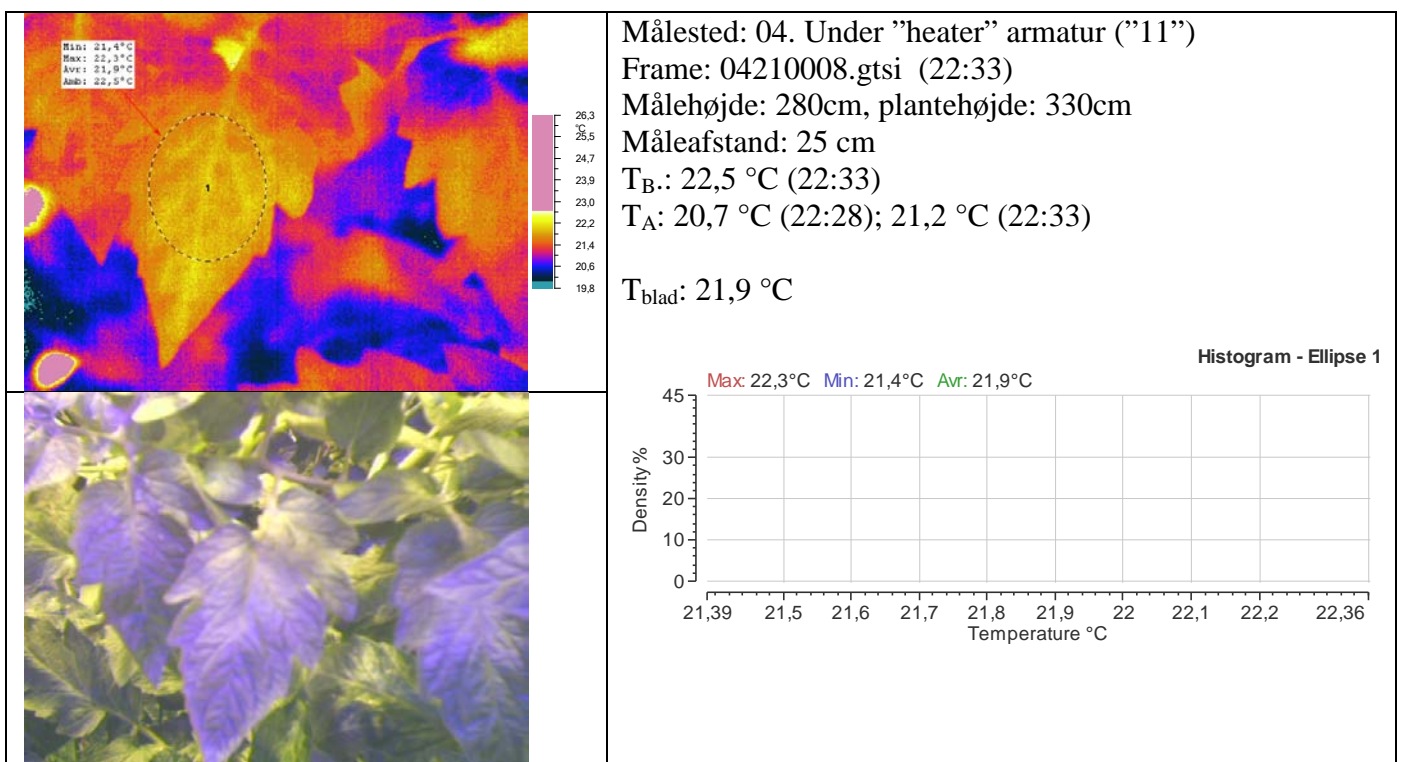


Fig. 5: Målested 04: Under Heater armatur (mellem LED10 og LED11).  
Termografibillede, digitalbillede og analyseresultater.

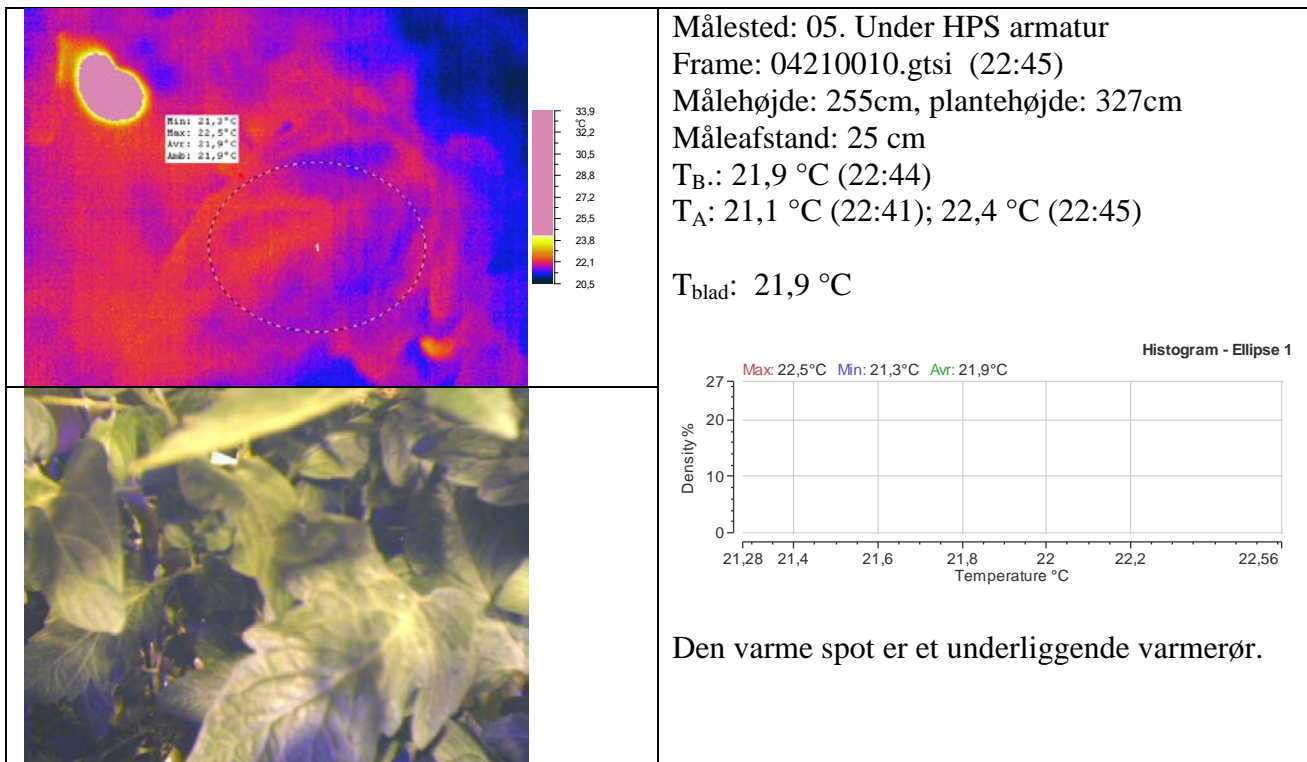


Fig. 6: Målested 05: Under HPS armatur. Termografibillede, digitalbillede og analyseresultater. Blade blev "flyttet" for at se om der var tale om et varmerør. Derfor 2 måleværdier for omgivelsestemperaturen ( $T_A$ ). Som det ses påvirkede "flytning" af bladene  $T_A$ . Næste fig. (fig. 7) viser en ekstra måling, som blev foretaget på et andet blad.

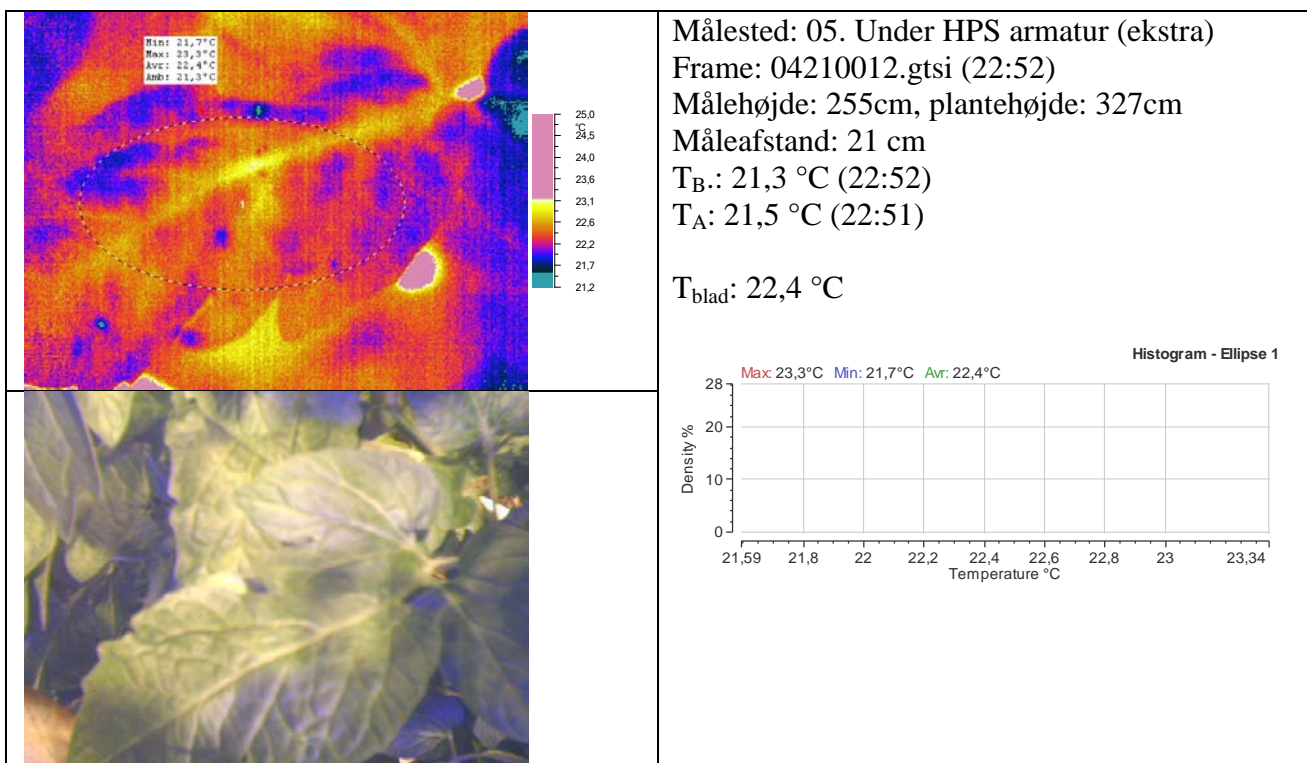


Fig. 7: Målested 05: Under HPS armatur. Ekstra blad i måleposition 5. Termografibillede, digitalbillede og analyseresultater.

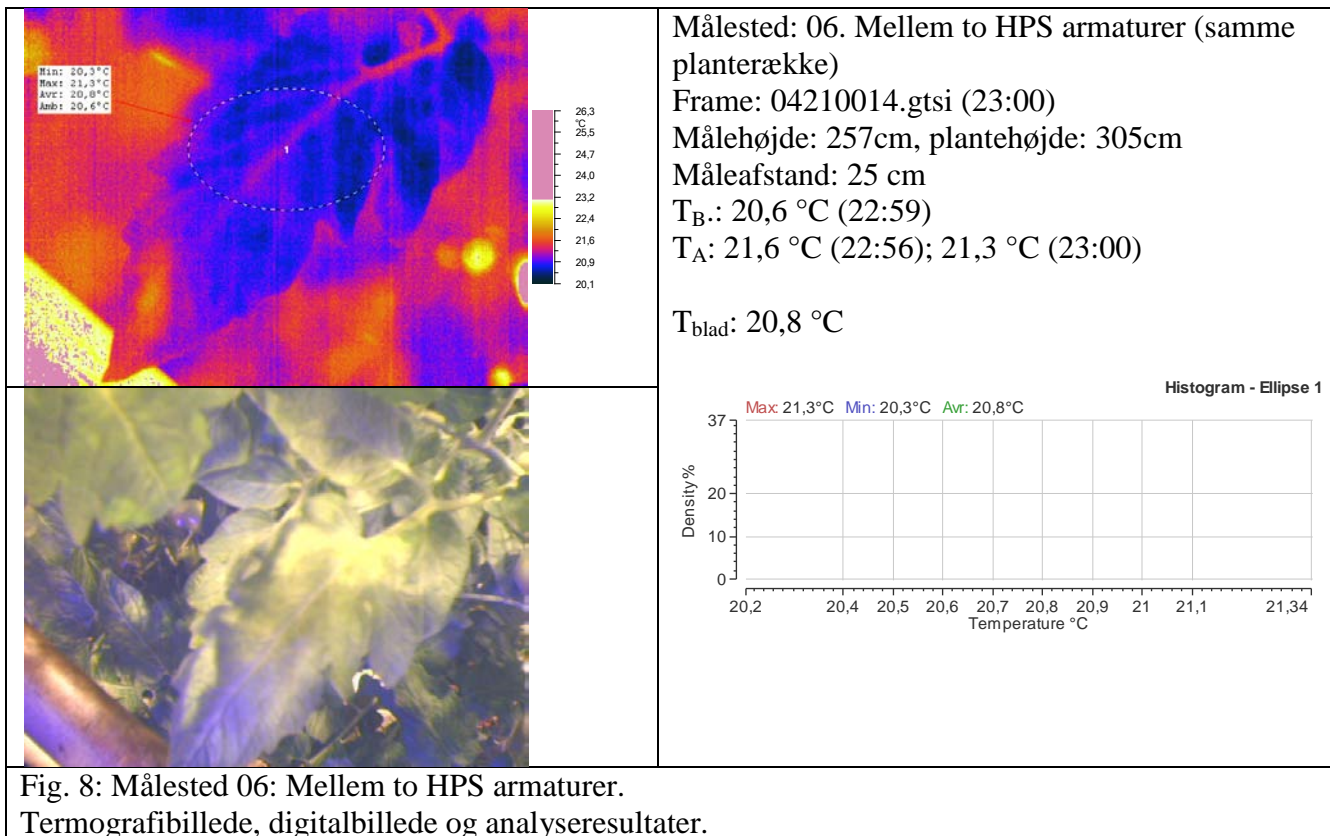


Fig. 8: Målested 06: Mellem to HPS armaturer.  
 Termografibillede, digitalbillede og analyseresultater.

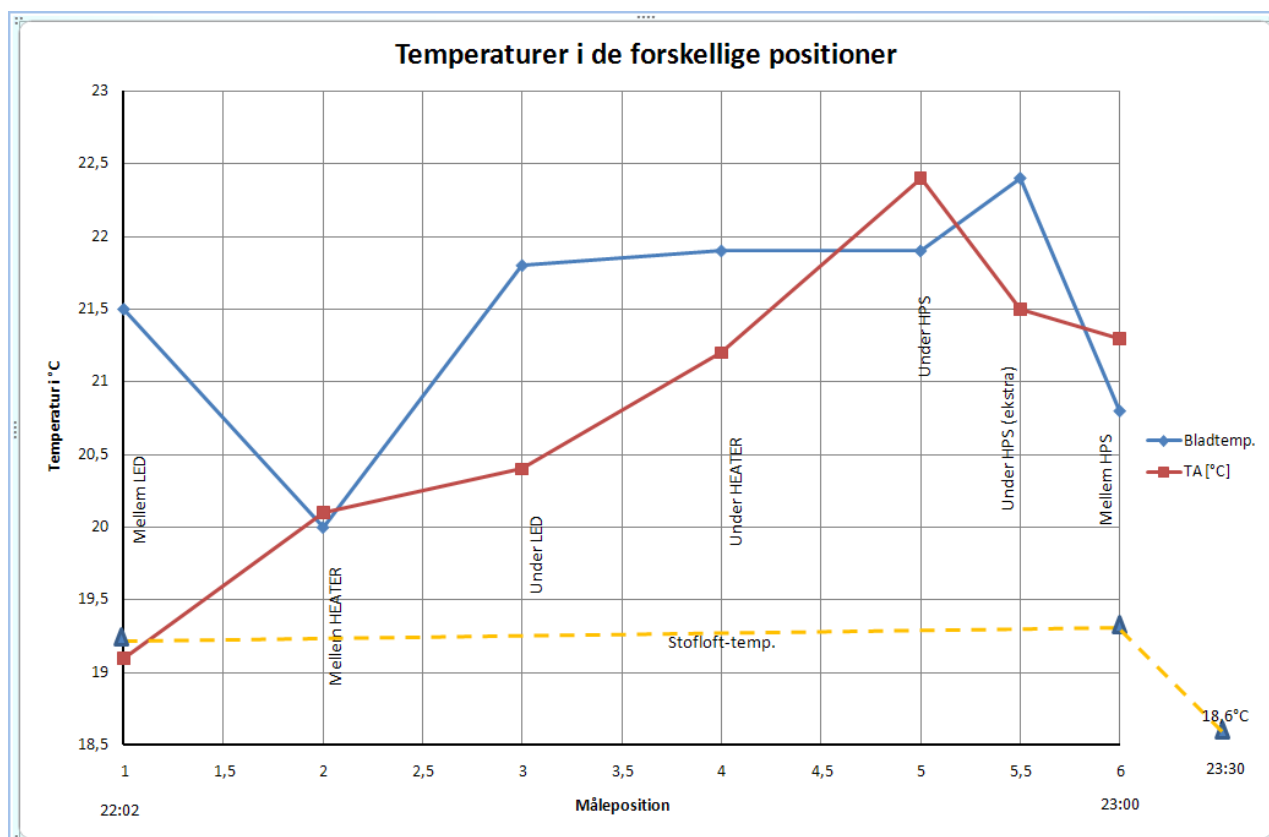


Fig. 9: Grafisk visning af de målte temperaturer i de 6 målepositioner.

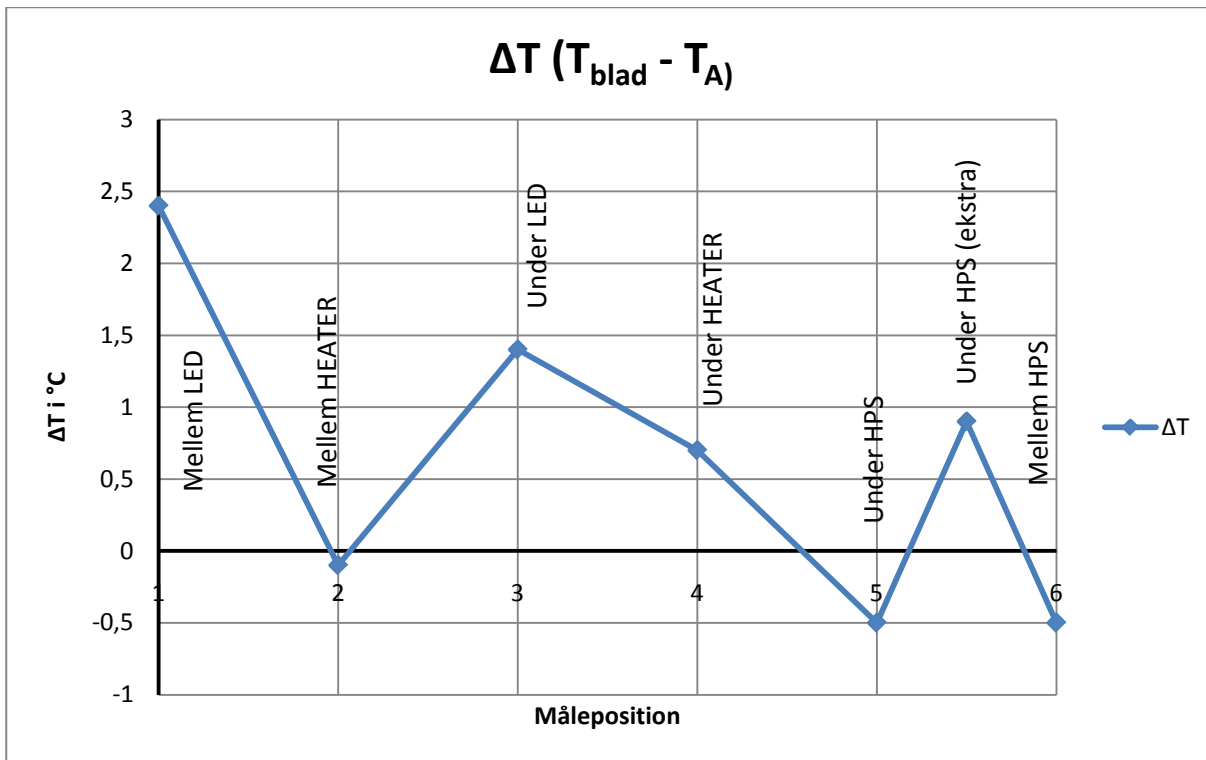


Fig. 10: Temperaturforskellen mellem blad og omgivelser i de 6 målepositioner.

Da det bemærkes, at analysen for måleposition 2 er udført på det koldeste blad i billedet, blev der indlagt ekstra arealer på ”naboblade” som en kontrol. Som det ses af fig. 11 er der en lille spredning på gennemsnitstemperaturerne for de tre arealer ( $\pm 0,3^\circ\text{C}$ ). Indføres alle tre arealer i regnearket fås fig. 12 og 13.

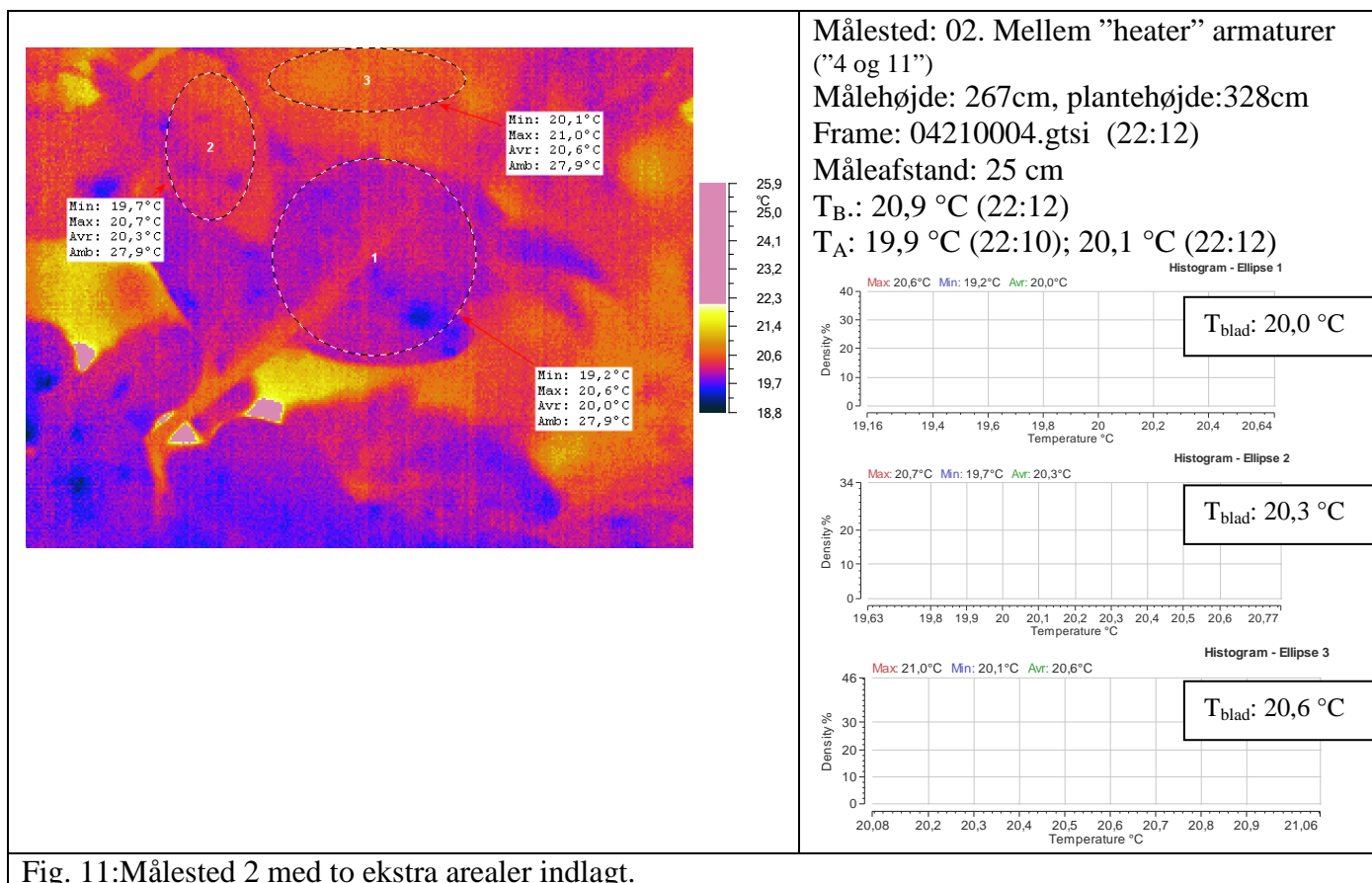


Fig. 11: Målested 2 med to ekstra arealer indlagt.

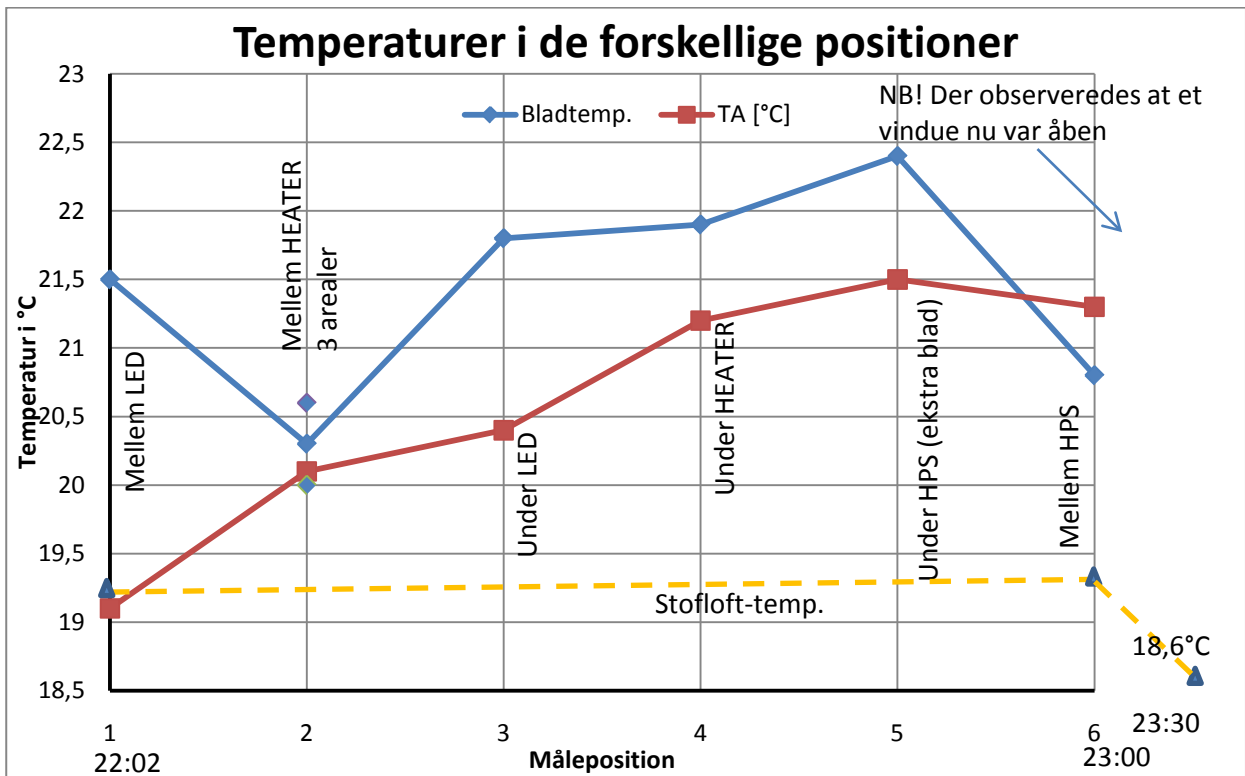


Fig. 12: Grafisk visning af de målte temperaturer i de 6 målepositioner. I position 2 er der tre målearealer og kun det ekstra blad i position 5. Det blev vurderet ud fra den tidligere beskrevne hændelse omkring flytning af nogle blad, at den ekstra måling foretaget i position 5 gav den mest retvisende resultat.

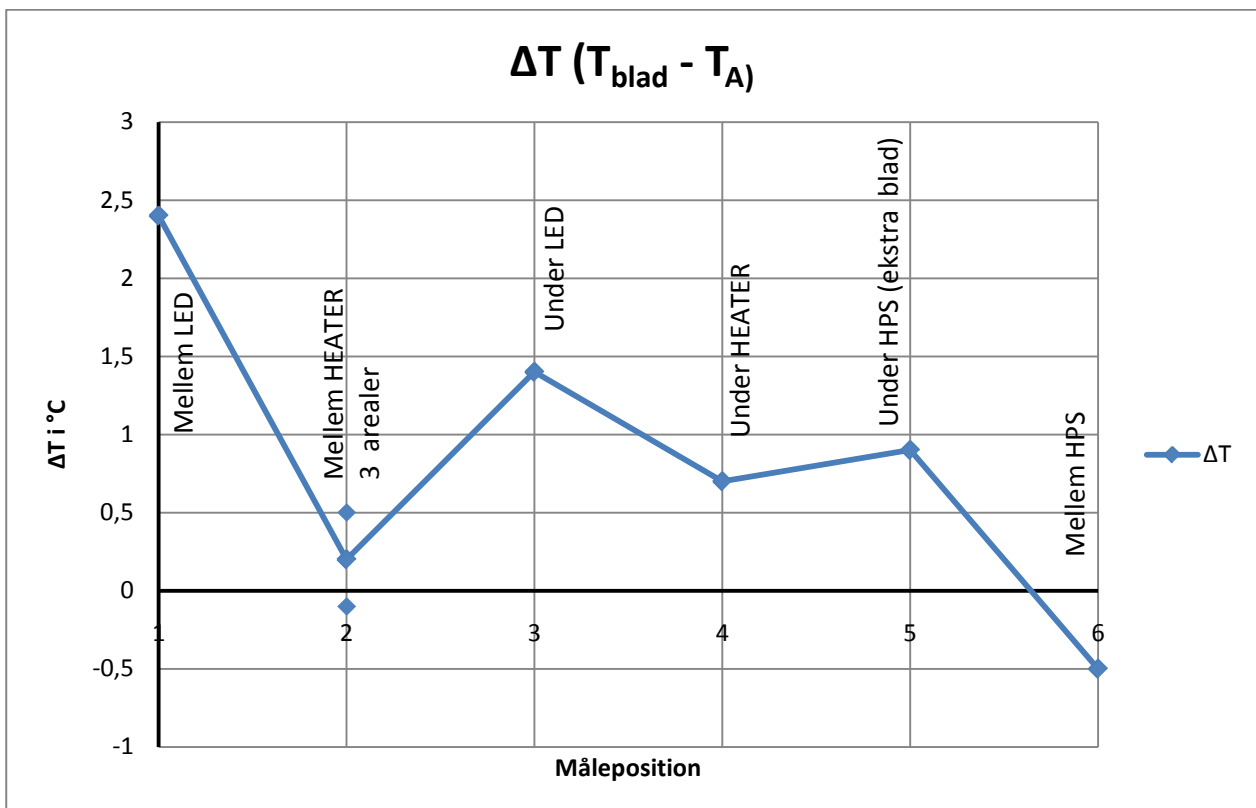


Fig. 13: Temperaturdifferensen mellem blad og omgivelser i de 6 målepositioner med ekstra arealer indlagt på blade i måleposition 2 og kun det ekstra blad i position 5.



## Diskussion/Konklusion:

Af figur 12 ses, at omgivelsestemperaturen ( $T_A$ ) forløber som forventet fra måleposition 1 til 6:

- 1) Temperaturen er lavest i position 1 (mellem LED lampe 4 og LED lampe 11, se fig. 1).
- 2) I position 2 mellem to "heaters" placeret i samme rækker som ovenstående LED lamper er temperaturen højere.
- 3) I position 3 er målingen foretaget under LED 11, hvilket er nærmere en "heater" end målingen i position 2, så det passer med en øget temperatur her.
- 4) I position 4 er målingen foretaget under en "heater", hvilket giver yderligere en øgning i temperaturen.
- 5) I position 5 er målingen foretaget under en HPS-lampe. Her er der yderligere en temperaturstigning ( $0,3^{\circ}\text{C}$ ). Fra temperaturmålinger på "heater" og HPS-lamper (se bilag 1), ses at "heaters" har en højere maksimal temperatur end HPS-lamperne; men til gengæld har HPS-lamperne et større areal, så den lille temperaturstigning må siges at kunne forventes.
- 6) I position 6 er målingen foretaget mellem to HPS-lamper. Som forventet ses et lille fald i temperaturen

Det skal bemærkes, at målingerne blev foretaget udenfor lyssæsonen, så belysningen blev tændt til lejligheden ca. 45 minutter før første målingen blev udført. Det kan derfor ikke udelukkes, at kurven for omgivelsestemperatur skjuler et element, der hedder stigende lufttemperatur på væksthushøjde grundet langsom opvarmning fra hele belysningsanlægget.

Af fig. 12 ses ligeledes den målte bladtemperatur. Værdierne er også angivet i Tabel 1. Her er det bemærkelsesværdigt, at der er et fald i bladtemperaturen fra position 1 til position 2. En mulig forklaring kan være, at bladet i position 1 har helt eller delvis lukkede spalter pga. lavere omgivelsestemperatur. I følge et ældre studie af transpiration i tomatplanter, Cook *et al.* (1964), kan helt lukkede spalter give en øget bladtemperatur på op til  $5^{\circ}\text{C}$  i forhold til et blad med fuldt åbne spalter.

Måleposition	#1 Mellem LED	#2 Mellem HEATER	#3 Under LED	#4 Under HEATER	#5 Under HPS	#6 Mellem HPS
$T_{\text{blad}} [^{\circ}\text{C}]$	21,5	20,3	21,8	21,9	22,4	20,8

Tabel 1: Oversigt over de målte bladtemperaturer.

Ellers forløber bladtemperaturen som forventet, dog er der et større end forventet fald i position 6, som måske kan forklares ved at der er åbnet et vindue oven over. Åbningen af vinduer blev først konstateret efter måleforløbet, og åbningstidspunktet samt den fysiske placering af vinduer relativt til målesteder er ikke observeret.

Hvis vi betragter de målepositioner i begge anlæg, hvor varmekilden har mest indflydelse, dvs. position 4 i LED anlægget ( $T_{\text{blad}} = 21,9^{\circ}\text{C}$ ) og position 5 i HPS anlægget ( $T_{\text{blad}} = 22,4^{\circ}\text{C}$ ), giver det en temperaturforskel på  $0,5^{\circ}\text{C}$  mellem de to anlæg.

En sammenligning af de placeringer, hvor varmekilderne har mindst påvirkning på bladtemperaturen, er vanskeliggjort af de tidligere beskrevne omstændigheder for temperaturmålingerne foretaget i positioner 1 og 6.

Baggrundstemperaturen, som anvendes i forbindelse med bestemmelsen af bladtemperaturen, er i denne måleserie målt (bilag 1) og er lavere end de estimerede værdier i tidligere målinger. Det skal bemærkes, at de tidligere målinger blev foretaget i dagtimer, hvor denne måleserie er fortaget om natten.

Sammenlignes temperaturer fra de forskellige måleserier, skal dette tages med i betragtning. De estimerede værdier i de tidligere målinger kan være lidt for store; men det skal bemærkes, at en  $\Delta T_{\text{baggrund}}$  på  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  ved en  $\varepsilon$  på 0,93 giver en ændring på målt bladtemperatur på  $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ .

#### **Reference**

Cook, G.D, Dixon, J.R., and Leopold, A.C. (1964), Transpiration: Its Effects on Plant Leaf Temperature, *Science* **144**, 546 – 547.

## Alfred Pedersen Tomater. 21/4 2010

### Måling af baggrundstråling (baggrundstemperatur) – ”krøllet” sølvpapir.

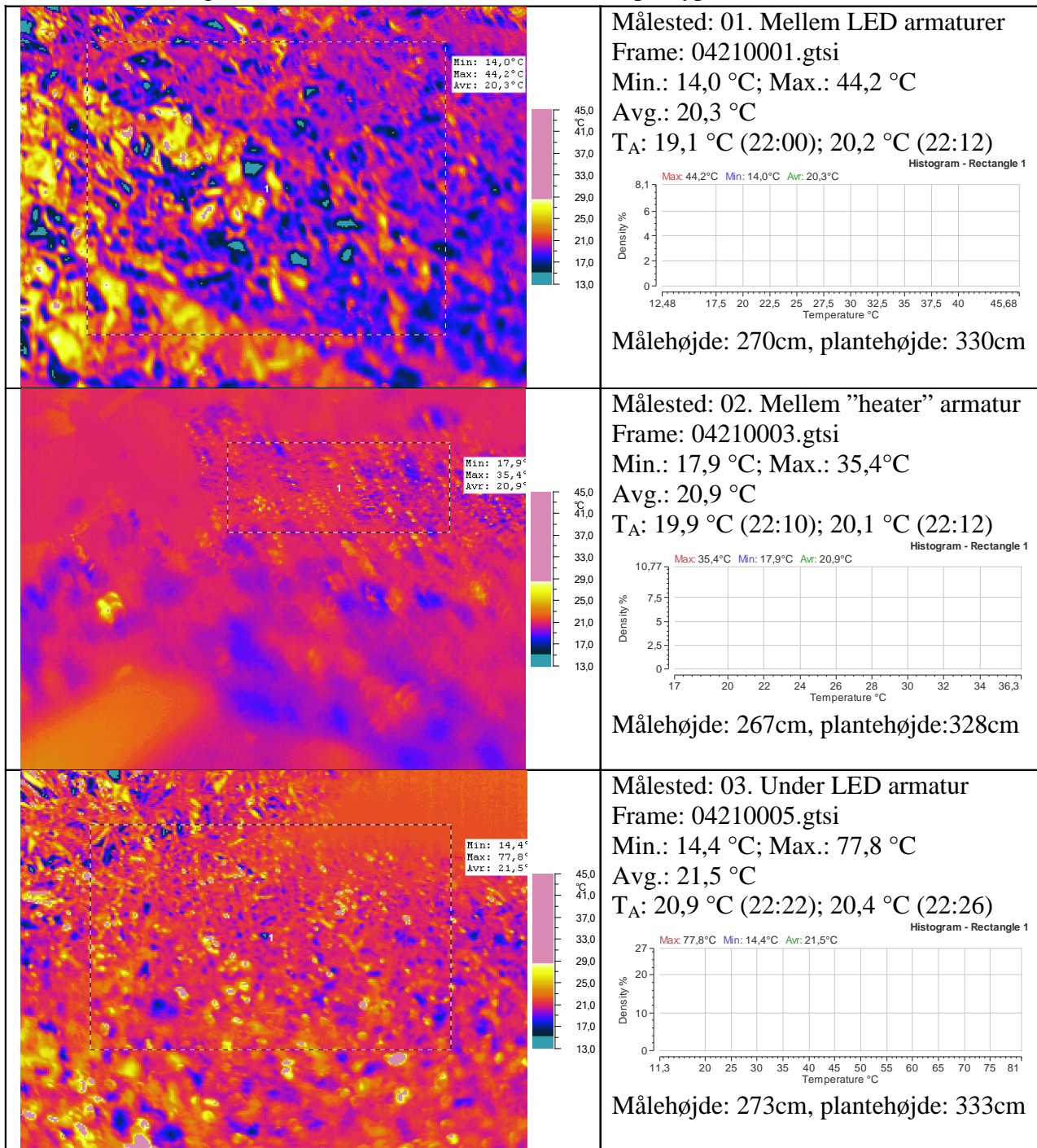
Emissivitet ( $\epsilon$ ) sat til 1.

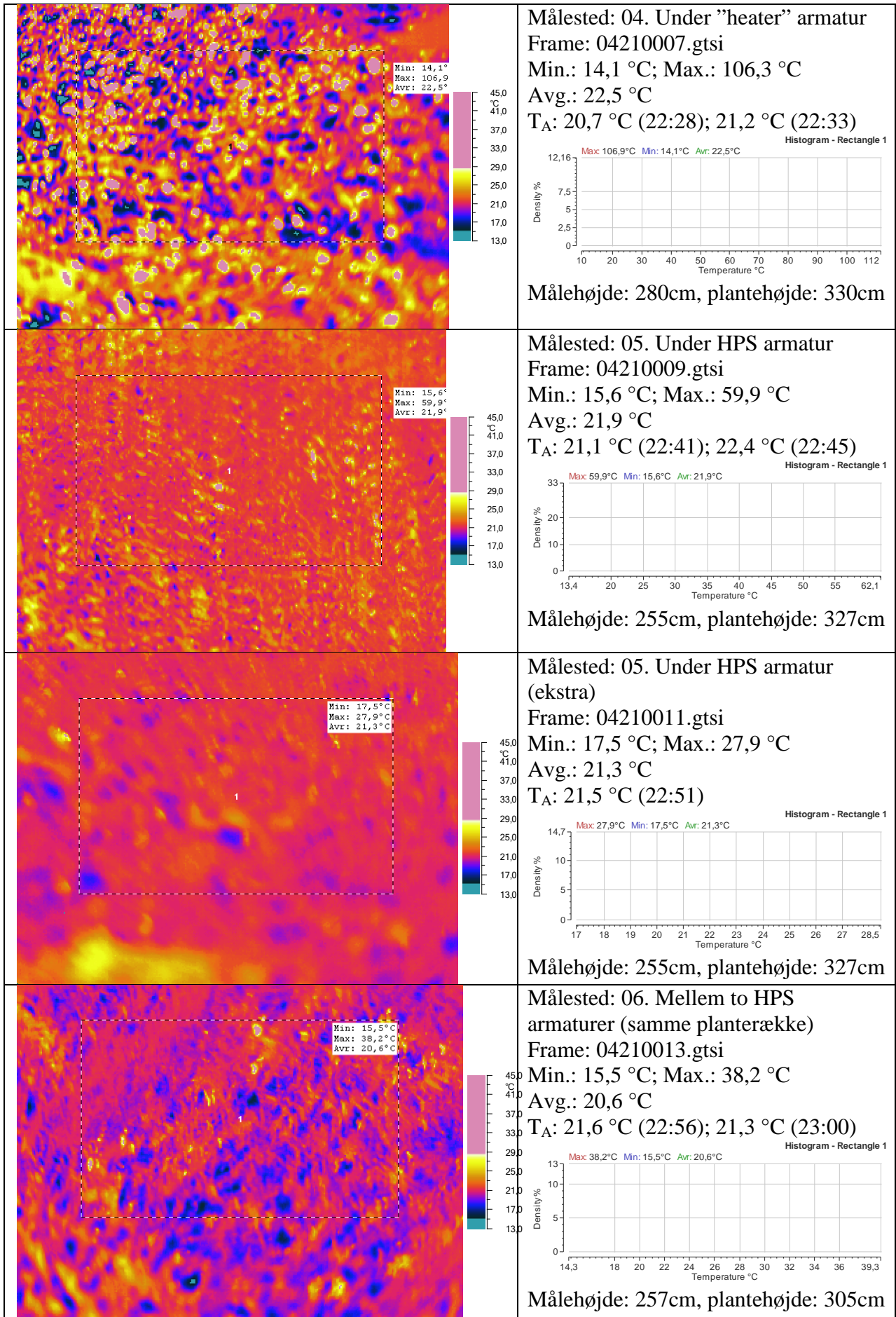
Der er anvendt samme temperaturskala på alle ”billederne” (13-45 °C), selv om der er ”spots” med temperaturer uden for området.

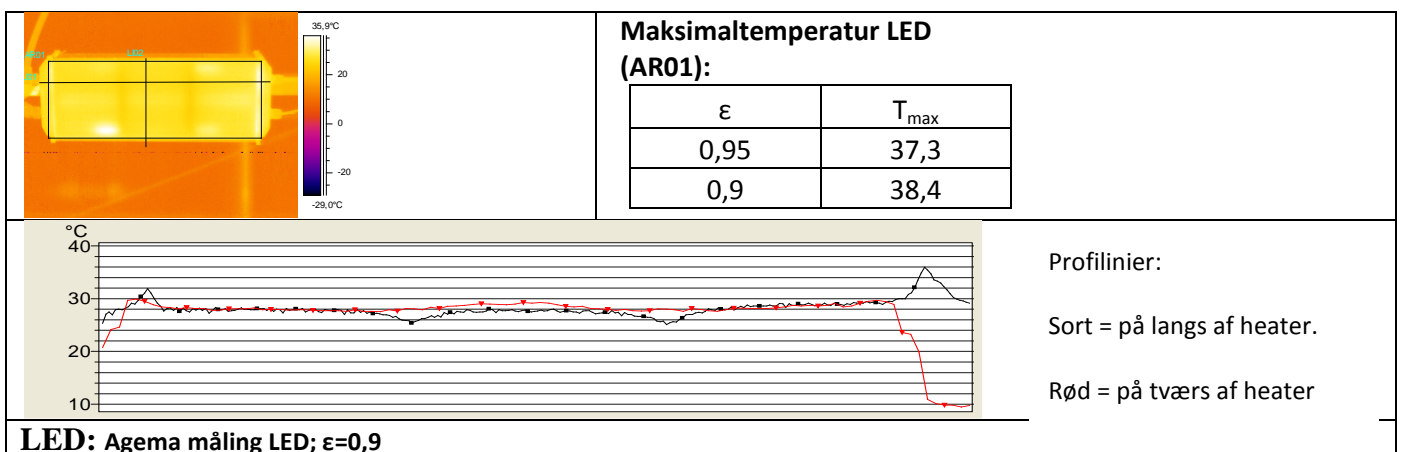
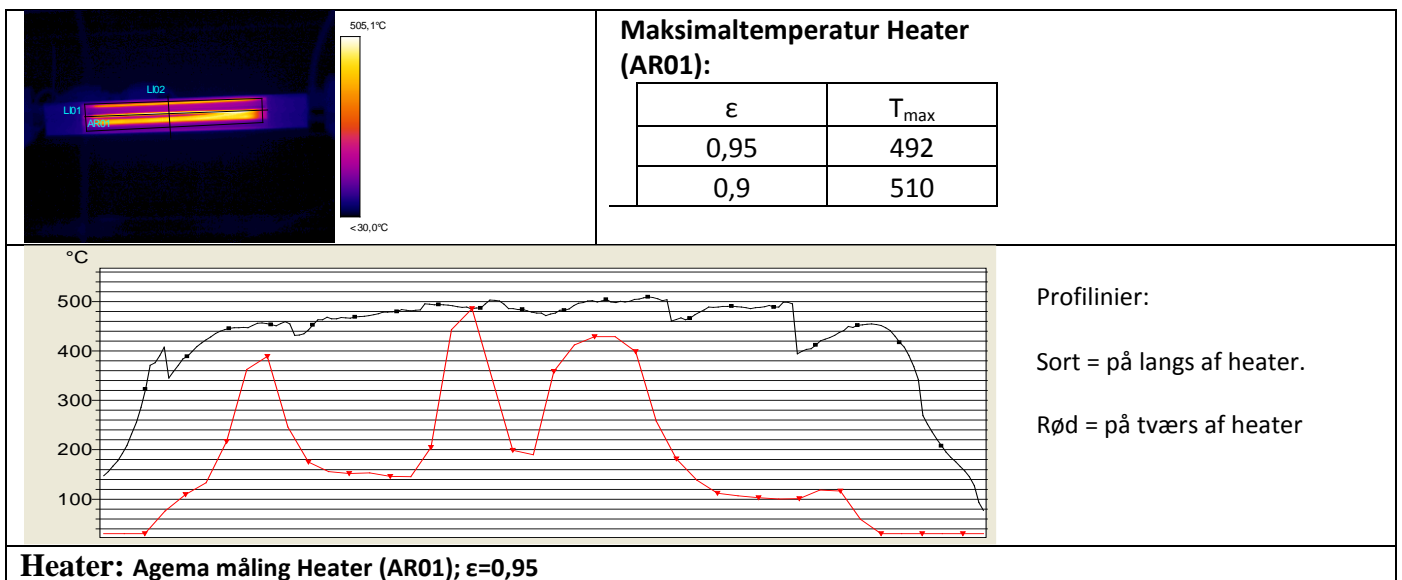
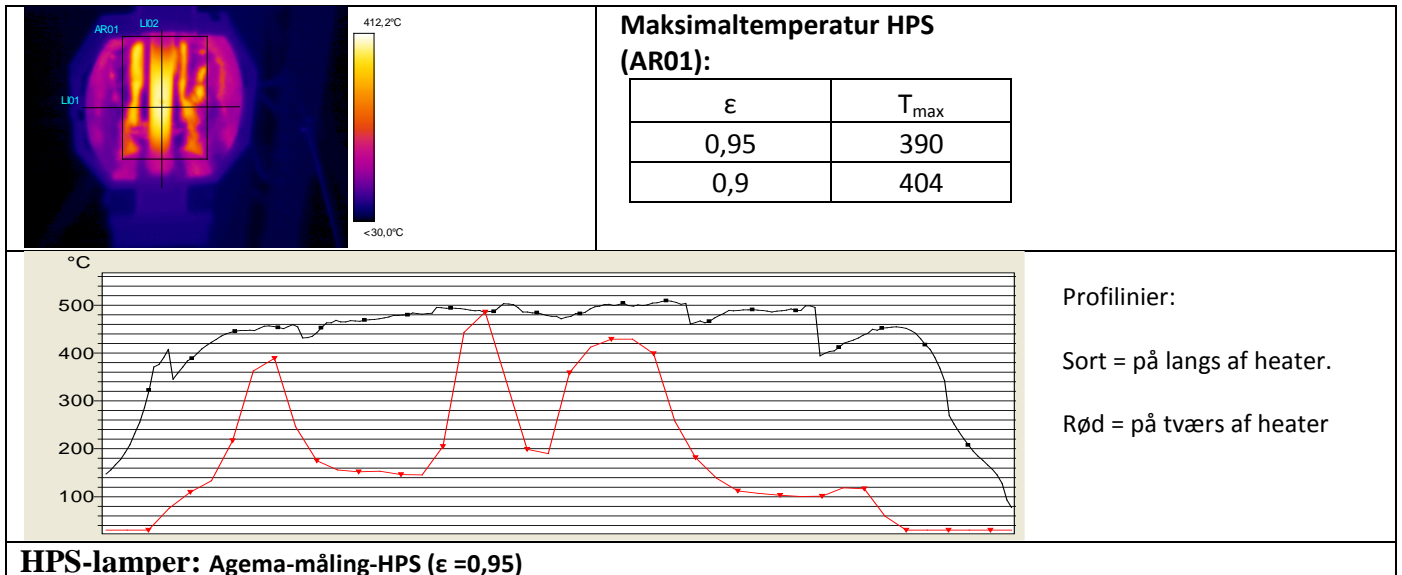
De angivne målesteder referer til figur 1

De målte baggrundstemperaturer, ”Avg.,” anvendes efterfølgende som  $T_B$  i analysen af bladtemperaturer.

$T_A$  er målt med digitaltermometer (TESTO 922, med termopar type K).







<b>Kl.</b>	<b>Målested</b>	<b>Avg. [°C]</b>	<b>T<sub>A</sub> [°C]</b>	<b>Højde [cm]</b>	<b>Plantehøjde [cm]</b>	<b>Kommentarer</b>	
22:00	01	20,3	19,1	270	330	Mellem LED	
22:12	01		20,2	270	330		
22:10	02	20,9	19,9	267	328	Mellem HEAT	
22:12	02		20,1	267	328		
22:22	03	21,5	20,9	273	333	Under LED	
22:26	03		20,4	273	333		
22:28	04	22,5	20,7	280	330	Under HEAT	
22:33	04		21,2	280	330		
22:41	05	21,9	21,1	255	327	Under HPS	
22:45	05		22,4	255	327		
22:51	05-ekstra	21,3	21,5	255	327	Under HPS	
22:56	06	20,6	21,6	257	305	Mellem HPS	
23:00	06		21,3	257	305		

## BILAG D - Termografianalyse RosaDanica - 19/11 2009

SDU SENSE – TEKNISK FAKULTET J. FLY HANSEN

### Planlagte målinger:

Bladtemperaturmåling på planter under forskellige lyskilder (LED og HPS).

- 1) Planter under LED lamper
- 2) Planter under HPS lamper
- 3) Plante flyttet fra LED til HPS
- 4) Plante flyttet fra HPS til LED

### Målinger:

Nr.	Filnavn	Dig.	Lyskilde		Bemærkning	Tidspunkt
			HPS	LED		
01	9N190001	x		x		
02	9N200002	x		x		09:19:03
03	9N200003	x	x			09:21:56
04	9N200004	x	x		Flyttet fra LED	09:24:42
05	9N200005	x	x		Bund + plante HPS	09:26:44
06	9N200006	x		x	Bund + plante LED	09:29:22
07	9N200007	x		x	Flyttet fra HPS	09:30:49
08	9N200008			x	Testbillede	09:39:15
09	9N200009			x	Testbillede	09:45:21
10	9N200010	x		x	Testbillede	09:45:58
11	9N200011				Serie med gardin fratrækning (11-25)	09:48:33
12	9N200012					09:49:32
13	9N200013					09:50:32
14	9N200014					
...	.....					
...	.....					
24	9N200024					
25	9N200025					10:02:32

x i Dig. indikerer, at der er taget et digitalbillede.

Emissivitet sat til 0,93 under optagelse.

Der er lavet en midling over 8 frames.

Måling på "bund" er foretaget med emissivitet sat til 0,93 (plastbund); men ændret til 0,95 i analysearbejdet.

Gardin fratrækning starter kl. 9:48 og gardinerne er fra kl. 9:51.

Pyrometermålinger ( $\varepsilon = 0,93$ ):

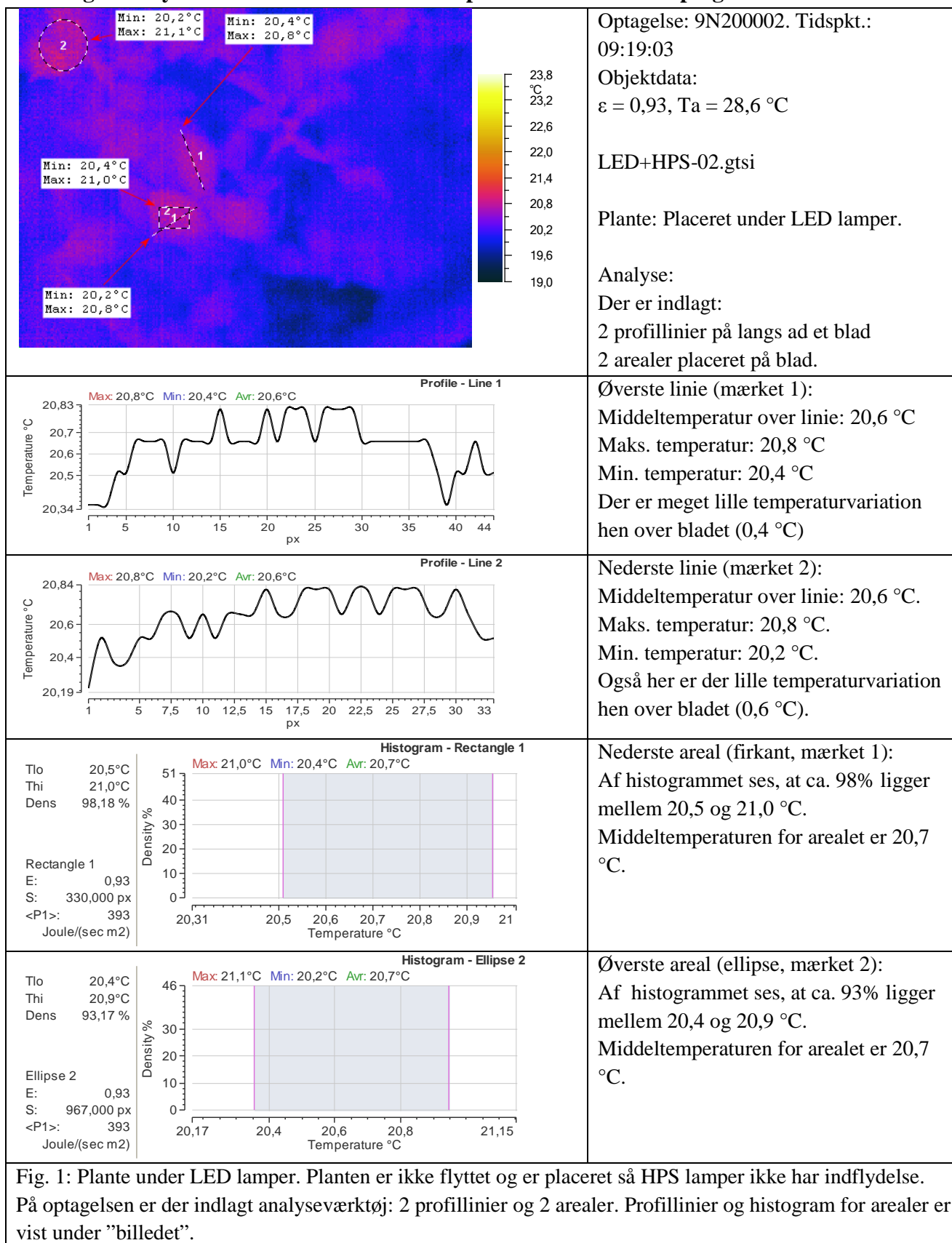
HPS lamper: Bladtemperatur = 21,6 °C, "bund" temperatur = 22,6 °C

LED lamper: Bladtemperatur = 19,1 °C, "bund"temperatur = 18,5 – 18,9 °C

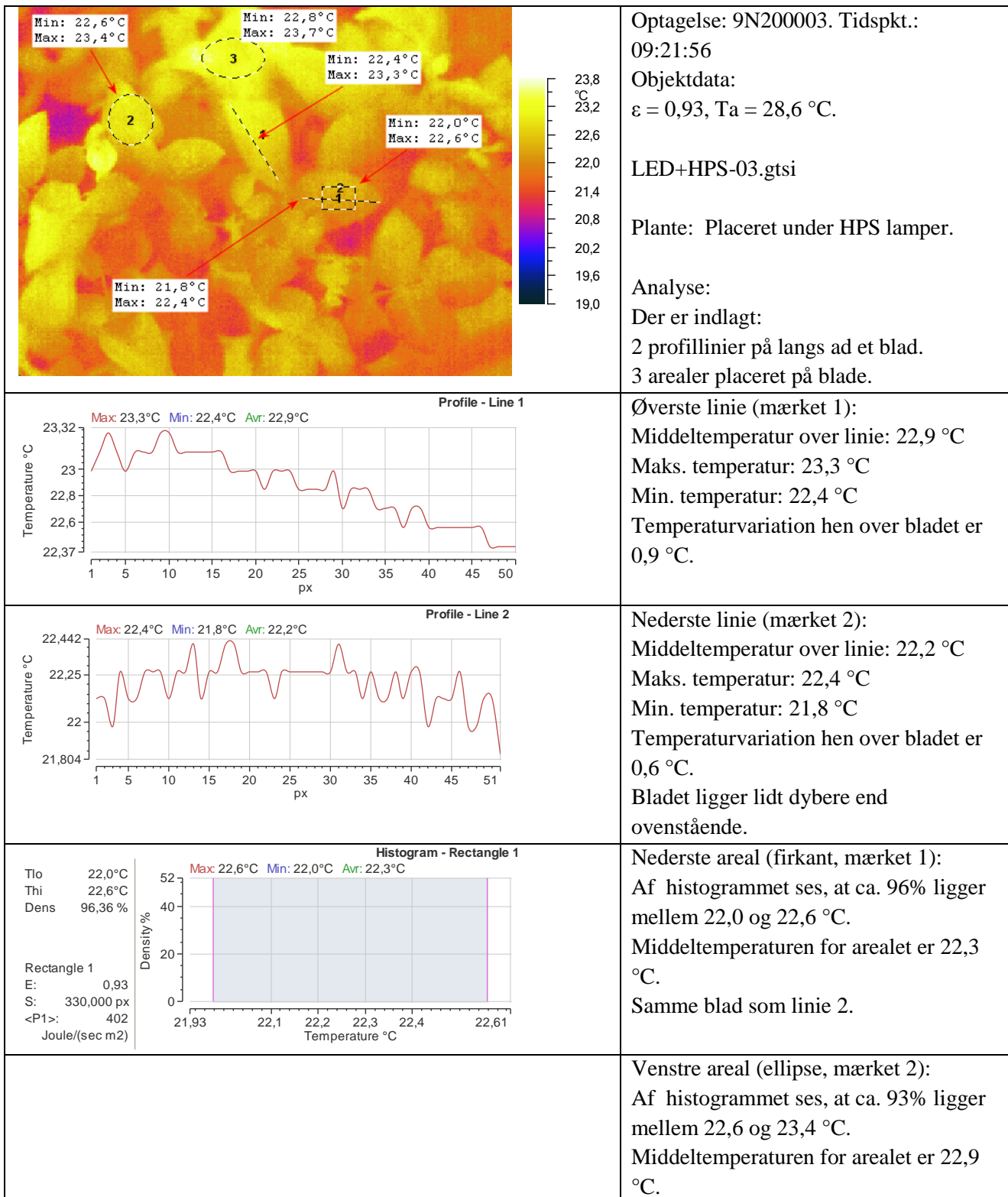
Rumtemperatur HPS lamper aflæst til 24 °C på termometer.

**Analyse:** Det er valgt at have samme temperaturskala (19,0 – 23,8 °C) ved alle analyser.

**Termografianalyse. Plante under LED kontra plante under HPS. Optagelse 0002 kontra 0003:**







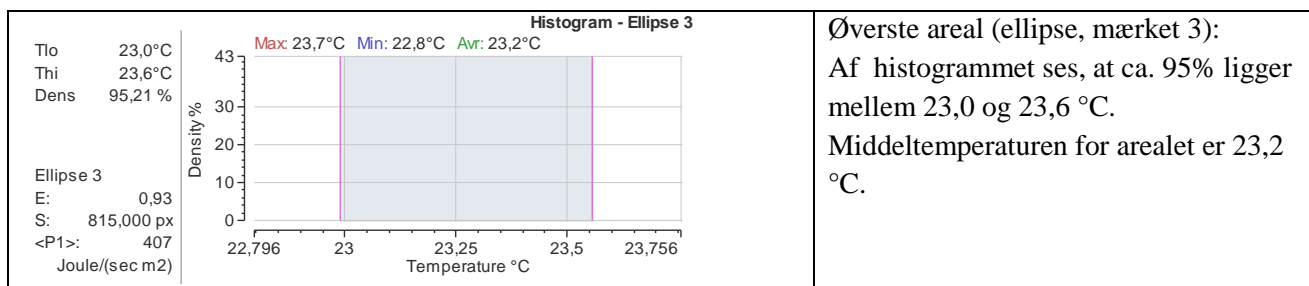


Fig. 2: Plante under HPS lamper. Planten er ikke flyttet. På optagelsen er der indlagt analyseværktøj: 2 profillinier og 3 arealer. Profillinier og histogram for arealer er vist under "billedet".

### Digitalbilleder:

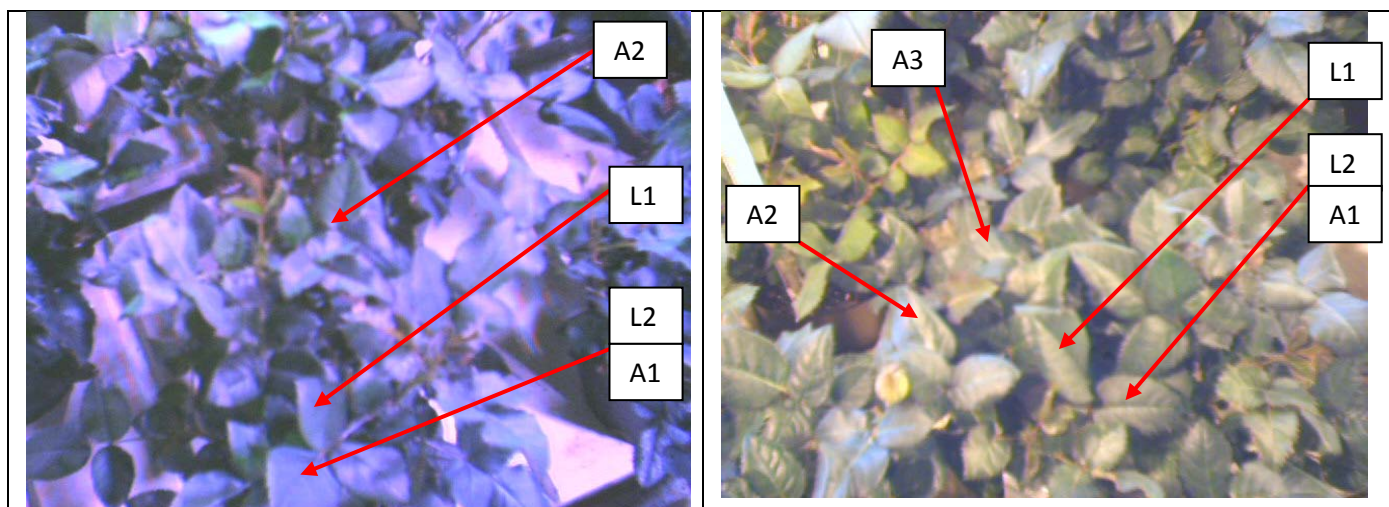


Fig. 3a: Digitalbillede til fig. 2. Fil: 9N200002.jpg  
 Fig. 3b: Digitalbillede til fig. 2. Fil: 9N200003.jpg

For begge billeder gælder at pilene refererer til analysepunkterne på de tilhørende termografioptagelser.

### Sammenligning LED og HPS:

	LED		HPS		
	Mærk 1	Mærk 2	Mærk 1	Mærk 2	Mærk 3
$\Delta T$ linie [°C]	0,4	0,6	0,9	0,6	
$T_{avg}$ Linie [°C]	20,6	20,6	22,9	22,2	
$T_{avg}$ Areal [°C]	20,7	20,7	22,3	22,9	23,2
$\Delta T$ Areal (>90%) [°C]	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6

Tabel 1: Sammenligning af plante rundt LED lamper og planter under HPS lamper. Areal mærket 3 for HPS måling er valgt hvor plantemassen ser varmest ud. Det skal bemærkes at HPS lamperne er meget varme og hvis  $\epsilon = 0,93$  passer er der risiko for refleksion fra lamper (7 %). HPS-plante: De to linier (mrk. 1 og mrk. 2) er placeret på blade som vender mod hinanden. Tabellen er lavet ud fra fig. 1 og fig. 2.

**Delkonklusion:**

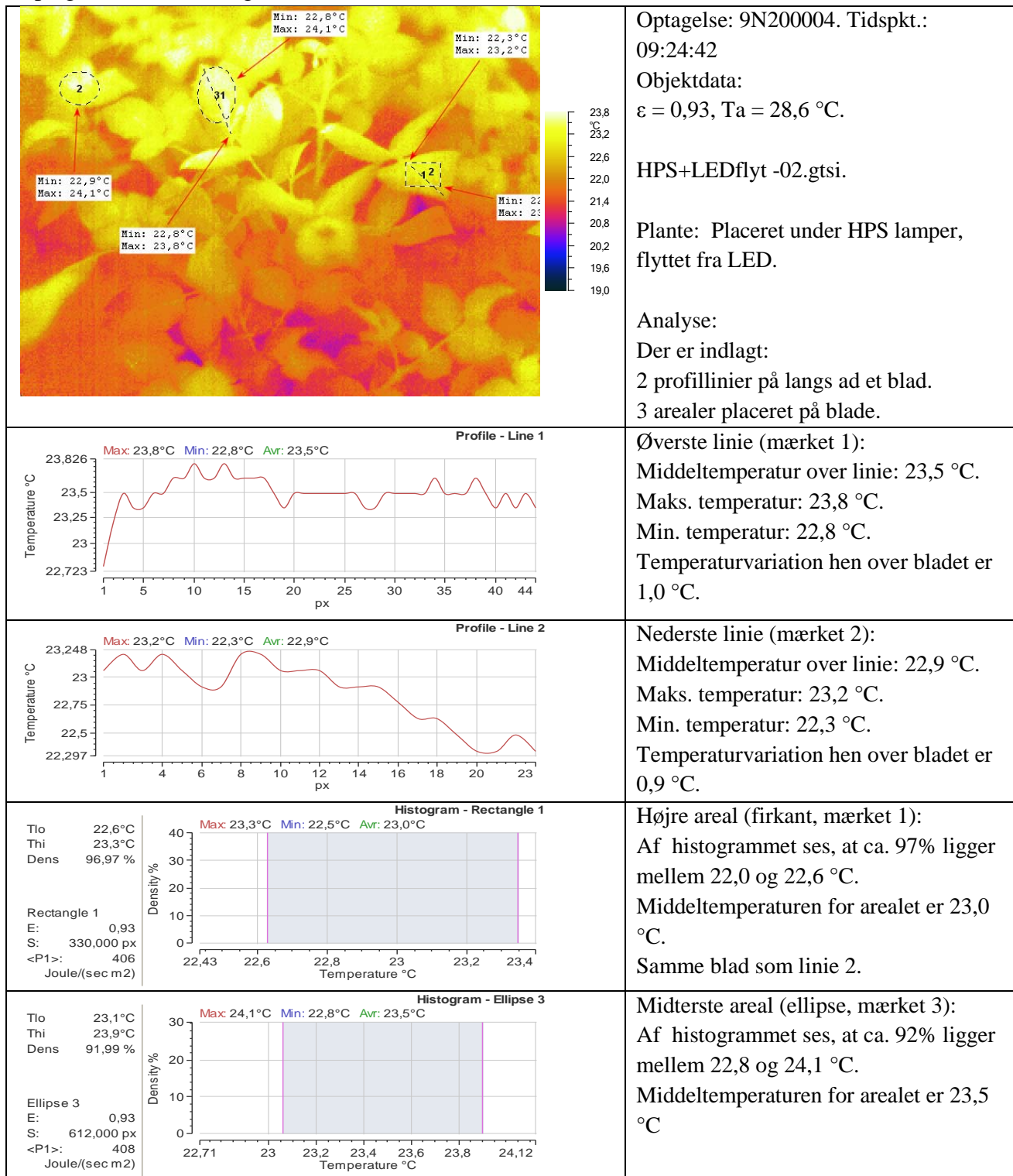
Ud fra tabel 1 (fig. 1 og fig. 2) ses, at bladtemperaturen er 1,6 – 2,6 °C højere for planter under HPS lamper end for planter under LED lamper. For HPS-planternes vedkommende er der 1,0 °C forskel i de valgte blades temperatur. Dette kan skyldes bladets orientering i forhold til HPS lampen, som er meget varm, således, at bladene opvarmes uens pga. deres vinkel og placering i bladmasse. Det kan ikke udelukkes, at en del af den ”højere” temperatur” skyldes refleksioner i bladet (8-14µm).

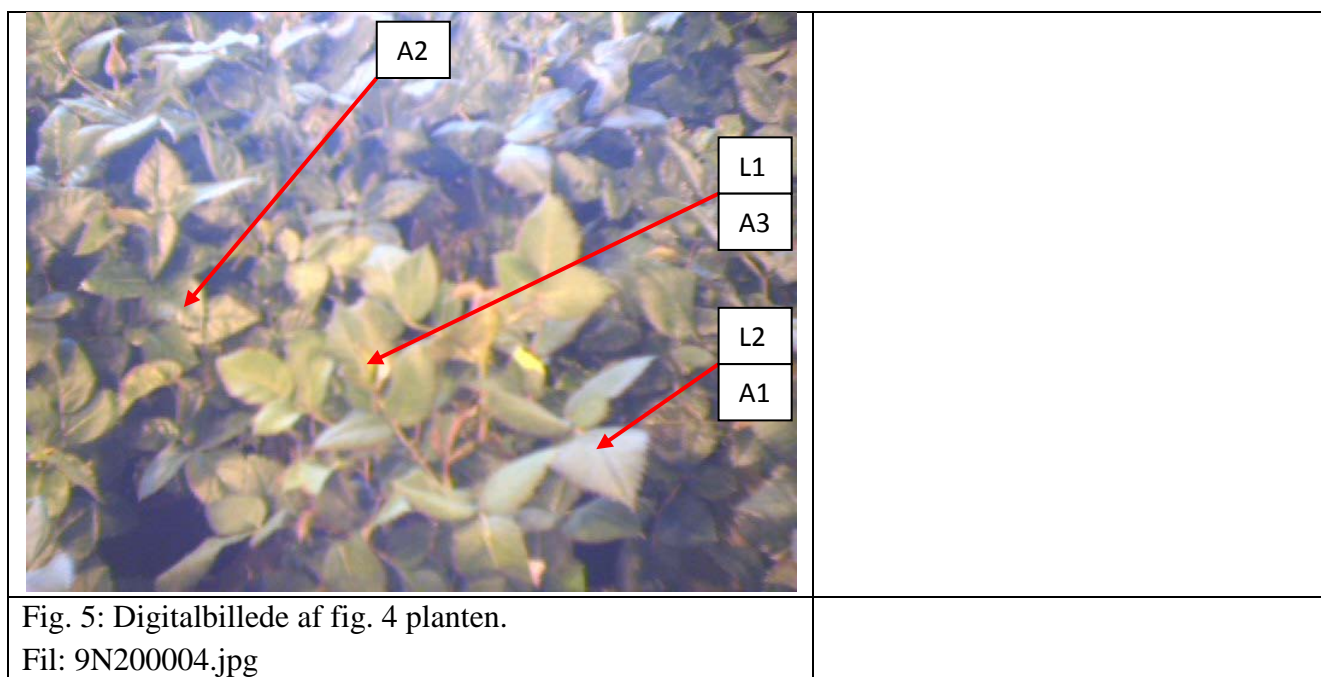
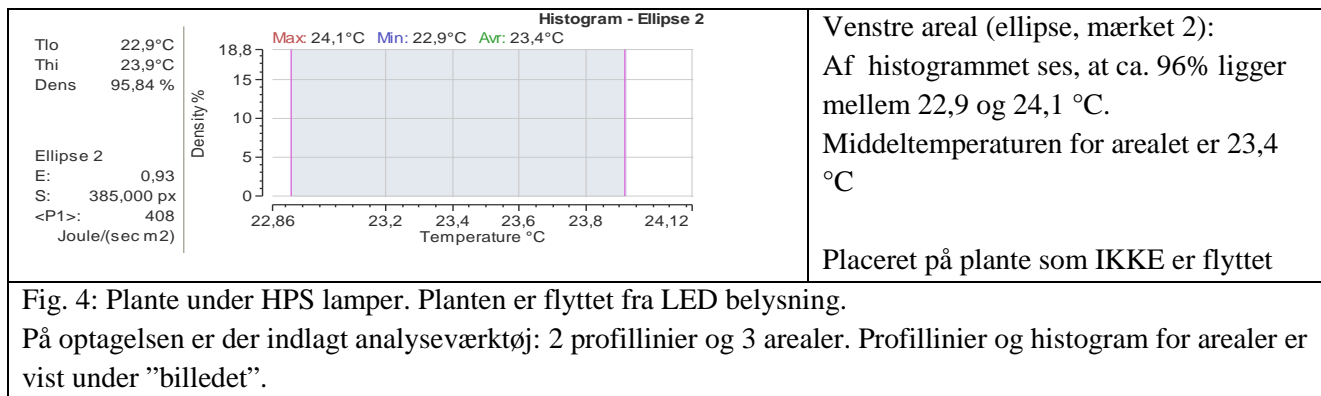
Det ses også, at temperaturfordelingen hen over bladet en mere homogen for planter under LED.

Det skal dog bemærkes, at der er tale om få blade/planter.

## Termografianalyse. Plante under HPS kontra flyttet plante (fra LED). Optagelse 0003 kontra 0004:

Optagelse 0003 ses i fig. 2.





### Sammenligning HPS og plante flyttet fra LED:

	LEDflyttet (fig. 4+5)			HPS (fig. 2+3b)			
	Mærk 1	Mærk 2	Mærk 3	Mærk 1	Mærk 2	Mærk 3	
$\Delta T$ linie [°C]	1,0	0,9		0,9	0,6		
$T_{avg}$ Linie [°C]	23,5	22,9		22,9	22,2		
$T_{avg}$ Areal [°C]	23,0	23,4	23,5	22,3	22,9	23,2	
$\Delta T$ Areal (>90%) [°C]	0,6	1,2	1,3	0,6	0,8	0,6	

Tabel 2: Sammenligning af planter under HPS lamper, hvor den ene er flyttet fra LED belysning.

Bemærk at areal mærket 2 er placeret på en plante, som ikke er flyttet.

Areal 1 og 3 på LEDflyttet er placeret på blade, som vender ”mod” hinanden. Det betyder, at der kan være forskel på hvordan de vender mht. HPS lamperne. Areal 2 og 3 på LEDflyttet vender nogenlunde samme vej.

Tabellen er lavet ud fra fig. 2 og fig. 3.

**Delkonklusion:**

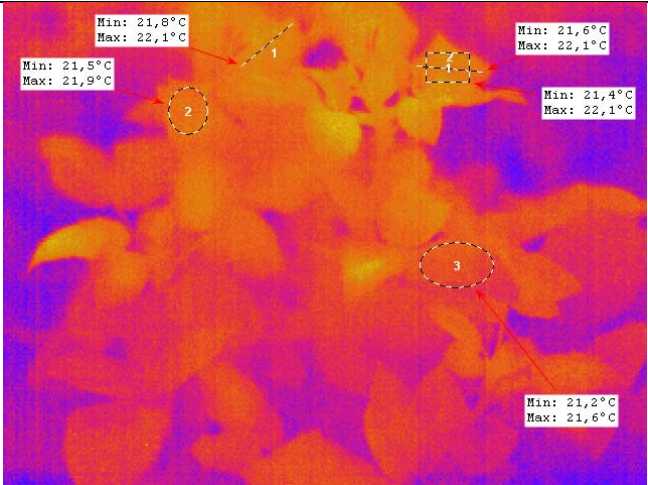
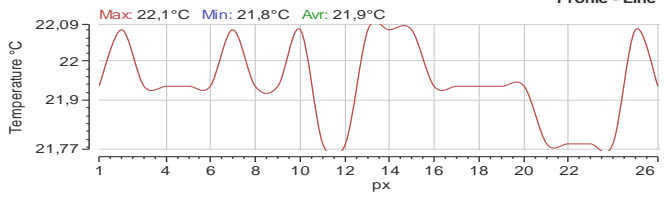
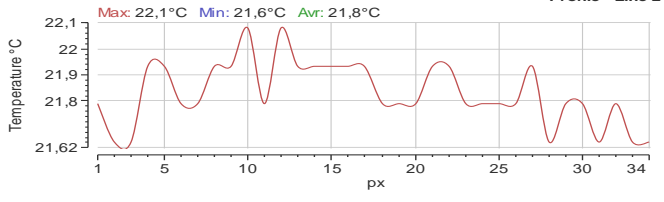
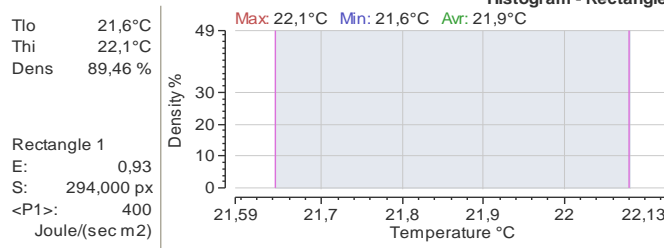
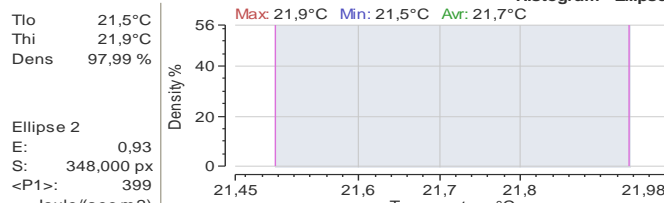
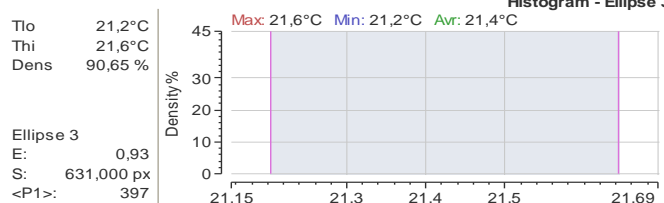
Ud fra tabel 2 (fig. 4 og fig. 2) ses, at den flyttede plante (har stået 10-15 min. under HPS) tilsyneladende har lidt lavere temperatur. Dette kan dog skyldes bladendes orientering, hvilket underbygges ved sammenligning af areal 1 og 3 på "LEDflyttet", hvor middeltemperaturen for areal 3 er væsentlig højere (0,5 °C) end middeltemperaturen for areal 1. Dette gør sig også gældende for HPS-plantens  $\Delta T$ -linie (mrk. 1 og mrk. 2) som også er på blade, som vender mod hinanden. Ved sammenligning af areal 1 med areal 2 og 3 for "LEDflyttet" ses, at bladendes position får indflydelse for fordelingen af temperaturerne.

Temperaturforskellene under HPS lamper kan skyldes egentlig opvarmning; men også refleksion fra HPS lamperne kan være delårsag.

Det skal bemærkes at der kun er tale om få data.

## Termografianalyse. Plante under LED kontra flyttet plante (fra HPS). Optagelse 0002 kontra 0007:

Optagelse 0002 ses i fig. 1.

 <p>Min: 21,8 °C Max: 22,1 °C</p> <p>Min: 21,5 °C Max: 21,9 °C</p> <p>Min: 21,6 °C Max: 22,1 °C</p> <p>Min: 21,4 °C Max: 22,1 °C</p> <p>Min: 21,2 °C Max: 21,6 °C</p> <p>23,8 23,2 22,6 22,0 21,4 20,8 20,2 19,6 19,0</p>	<p>Optagelse: 9N200007. Tidspkt.: 09:30:49 Objektdata: <math>\epsilon = 0,93</math>, <math>T_a = 28,6</math> °C.</p> <p>LED+HPSflyt -03.gtsi.</p> <p>Plante: Placeret under LED lamper, flyttet fra HPS.</p> <p>Analyse: Der er indlagt: 2 profillinier på langs ad et blad. 3 arealer placeret på blade/bladmasse.</p>
 <p>Profile - Line 1</p> <p>Max: 22,1 °C Min: 21,8 °C Avr: 21,9 °C</p> <p>Temperature °C</p> <p>px</p>	<p>Venstre linie (mærket 1): Middeltemperatur over linie: 21,9 °C. Maks. temperatur: 22,1 °C. Min. temperatur: 21,8 °C. Temperaturvariation hen over bladet er 0,3 °C.</p>
 <p>Profile - Line 2</p> <p>Max: 22,1 °C Min: 21,6 °C Avr: 21,8 °C</p> <p>Temperature °C</p> <p>px</p>	<p>Højre linie (mærket 2): Middeltemperatur over linie: 21,8 °C. Maks. temperatur: 22,1 °C. Min. temperatur: 21,6 °C. Temperaturvariation hen over bladet er 0,5 °C.</p>
 <p>Histogram - Rectangle 1</p> <p>Max: 22,1 °C Min: 21,6 °C Avr: 21,9 °C</p> <p>Tlo 21,6 °C Thi 22,1 °C Dens 89,46 %</p> <p>Rectangle 1 E: 0,93 S: 294,000 px &lt;P1&gt;: 400 Joule/(sec m2)</p> <p>Density %</p> <p>Temperature °C</p>	<p>Højre/øverste areal (firkant, mærket 1): Af histogrammet ses, at ca. 90% ligger mellem 21,6 og 22,1 °C. Middeltemperaturen for arealet er 21,9 °C. Samme blad som linie 2.</p>
 <p>Histogram - Ellipse 2</p> <p>Max: 21,9 °C Min: 21,5 °C Avr: 21,7 °C</p> <p>Tlo 21,5 °C Thi 21,9 °C Dens 97,99 %</p> <p>Ellipse 2 E: 0,93 S: 348,000 px &lt;P1&gt;: 399 Joule/(sec m2)</p> <p>Density %</p> <p>Temperature °C</p>	<p>Venstre areal (ellipse, mærket 2): Af histogrammet ses, at ca. 98% ligger mellem 21,5 og 21,9 °C. Middeltemperaturen for arealet er 21,7 °C.</p>
 <p>Histogram - Ellipse 3</p> <p>Max: 21,6 °C Min: 21,2 °C Avr: 21,4 °C</p> <p>Tlo 21,2 °C Thi 21,6 °C Dens 90,65 %</p> <p>Ellipse 3 E: 0,93 S: 631,000 px &lt;P1&gt;: 397 Joule/(sec m2)</p> <p>Density %</p> <p>Temperature °C</p>	<p>Nederste areal (ellipse, mærket 3): Af histogrammet ses, at ca. 91% ligger mellem 21,2 og 21,6 °C. Middeltemperaturen for arealet er 21,4 °C.</p>

	Bladet er fra en plante der ikke er flyttet.
<p>Fig. 6: Plante under LED lamper. Planten er flyttet fra HPS belysning. På optagelsen er der indlagt analyseværktøj: 2 profillinier og 3 arealer. Profillinier og histogram for arealer er vist under ”billedet”.</p>	



Digitalbillede:

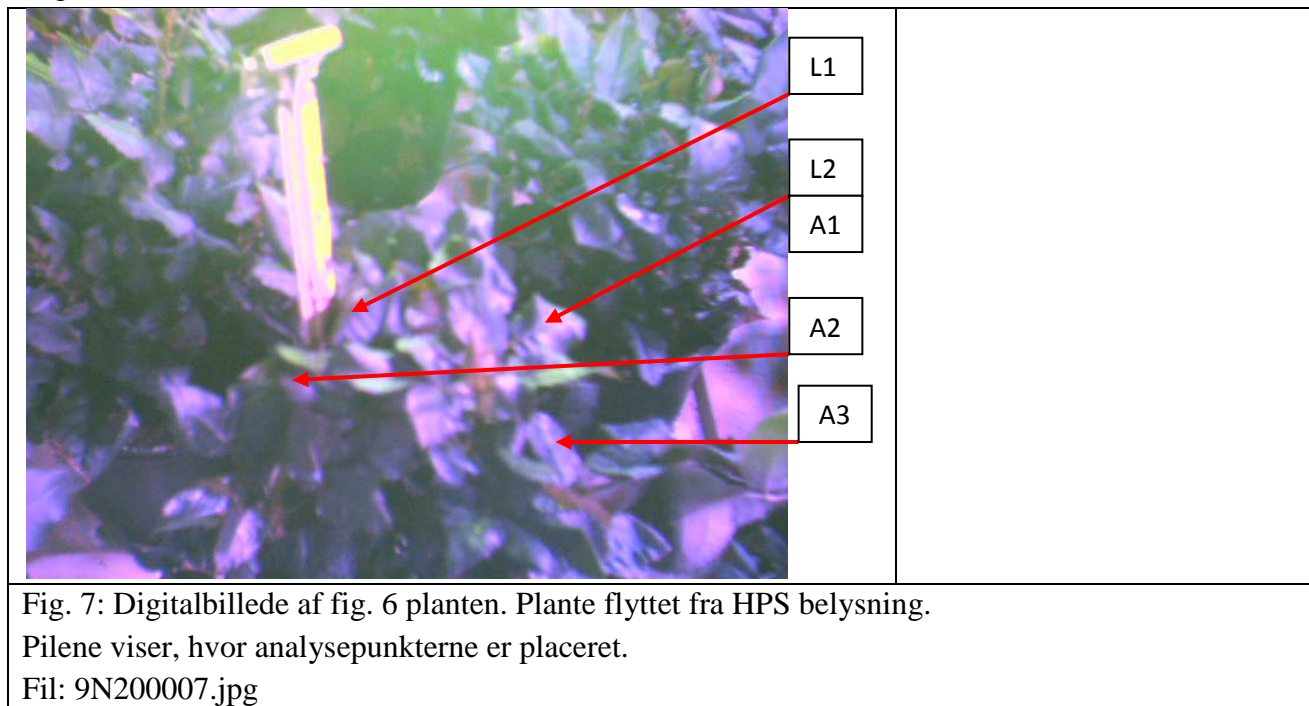


Fig. 7: Digitalbillede af fig. 6 planten. Plante flyttet fra HPS belysning. Pilene viser, hvor analysepunkterne er placeret.  
Fil: 9N200007.jpg

### Sammenligning LED og plante flyttet fra HPS:

	LED (fig. 1+3a)			HPS-flyttet (fig. 6+7)			
	Mærk 1	Mærk 2	Mærk 3	Mærk 1	Mærk 2	Mærk 3*	
$\Delta T$ linie [ $^{\circ}\text{C}$ ]	0,4	0,8		0,3	0,5		
$T_{\text{avg}}$ Linie [ $^{\circ}\text{C}$ ]	20,8	20,6		21,9	21,8		
$T_{\text{avg}}$ Areal [ $^{\circ}\text{C}$ ]	20,7	20,7		21,9	21,7	21,4	
$\Delta T$ Areal (>90%) [ $^{\circ}\text{C}$ ]	0,5	0,5		0,5	0,4	0,4	

Tabel 3: Sammenligning af planter under LED lamper, hvor den ene er flyttet fra HPS belysning

\*Bemærk at areal mærket 3 er placeret på en plante, som ikke er flyttet.

Tabellen er lavet ud fra fig. 1 og fig. 6.

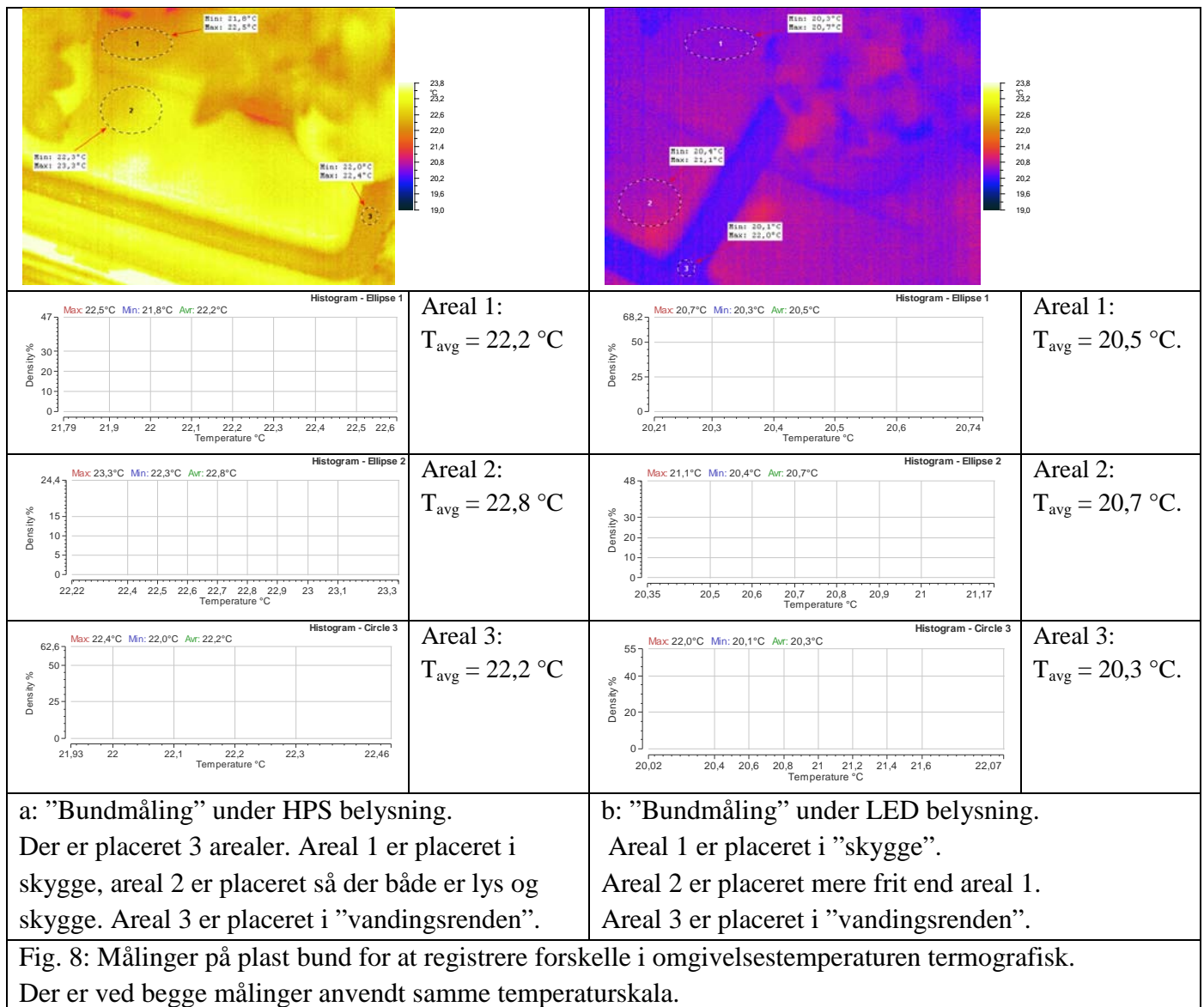
### Delkonklusion:

Ud fra tabel 3 ser det umiddelbart ud til, at den flyttede plantes bladtemperatur er lidt højere ca. 1  $^{\circ}\text{C}$ ; men der er tale om to forskellige tidspunkter (09:19 og 09:30). Målingen på areal 3 (med \*) indikerer dog også en højere temperatur, og her er der tale om en naboplante og samme tidspunkt. Bladpositionen kan dog også spille ind; men bladet er lavere placeret, se fig. 7.

Igen, det er ud fra meget få data; men bladet HPS-flyttet, ser også ud til at have en lavere gradient.

### Testmåling omgivelsestemperatur:

For at få en indikation af forskelle omgivelsestemperaturerne (HPS og LED) er der foretaget målinger på plastbunden. Plastbundens emissivitet er sat til 0,95 (erfaringsvalg). Den eksakte værdi er ikke væsentlig, da det er temperaturforskelle vi eftersøger. Hvis der måles under en plante (skygge), vil evt. refleksion få mindre indflydelse.



Ud fra målingerne vist i fig. 8 ses, at der ca. 2 °C i temperaturforskelle mellem HPS belysningsområdet og LED belysningsområdet.

Pyrometermålingerne gav en forskel på 3,7 °C (22,6 – 18,9). Altså væsentligt større forskel. En forskel som også kan findes på de viste optagelser hvis arealet placeres i områder med fuldt lys. Her fås  $T_{avg}$  til 24,0 °C, hvilket giver en temperaturforskelle på 3,5 °C. Dette indikerer, at der er en kraftig opvarmning af bunden fra HPS lampenes stråling. Et "fritstående" termometer viste 24 °C i HPS området.

### Testmåling, fratrækning af gardin:

I LED belysningsområdet blev der optaget en sekvens med en termografioptagelse ("1 billede" pr minut), mens gardinet blev kørt fra.

"Gardin frakørslen" blev startet kl. 9:48 og gardinerne var fra kl. 9:51. Sekvensen blev startet kl. 09:48:33 og stoppet 10:02:32. Der blev således optaget i alt 15 frames (billeder).

Der blev valgt et område, hvor der også var placeret en plastpind.

Der foretages en trendanalyse af de to arealer.

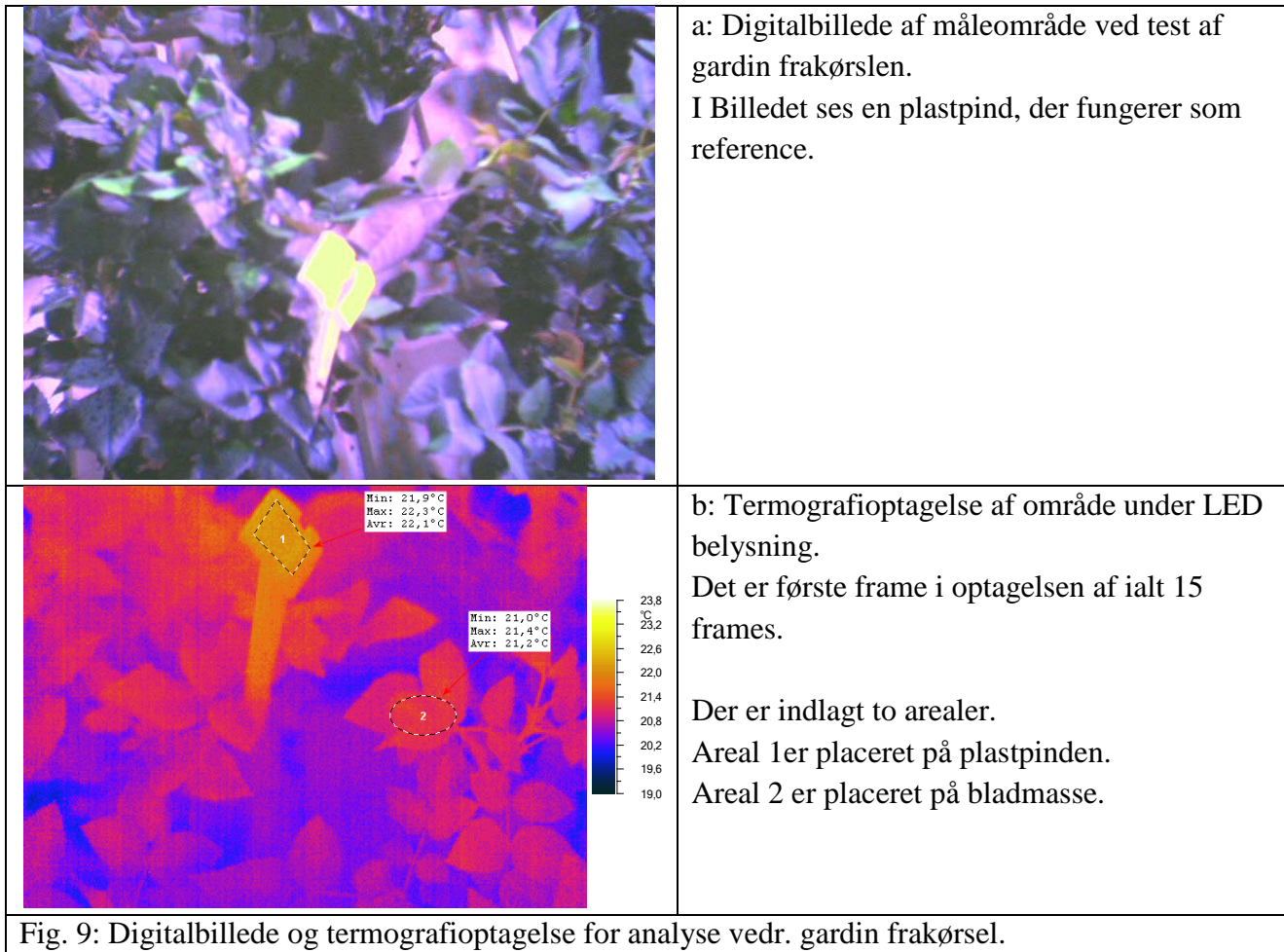


Fig. 9: Digitalbillede og termografioptagelse for analyse vedr. gardin frakørsel.

Trend analyse:

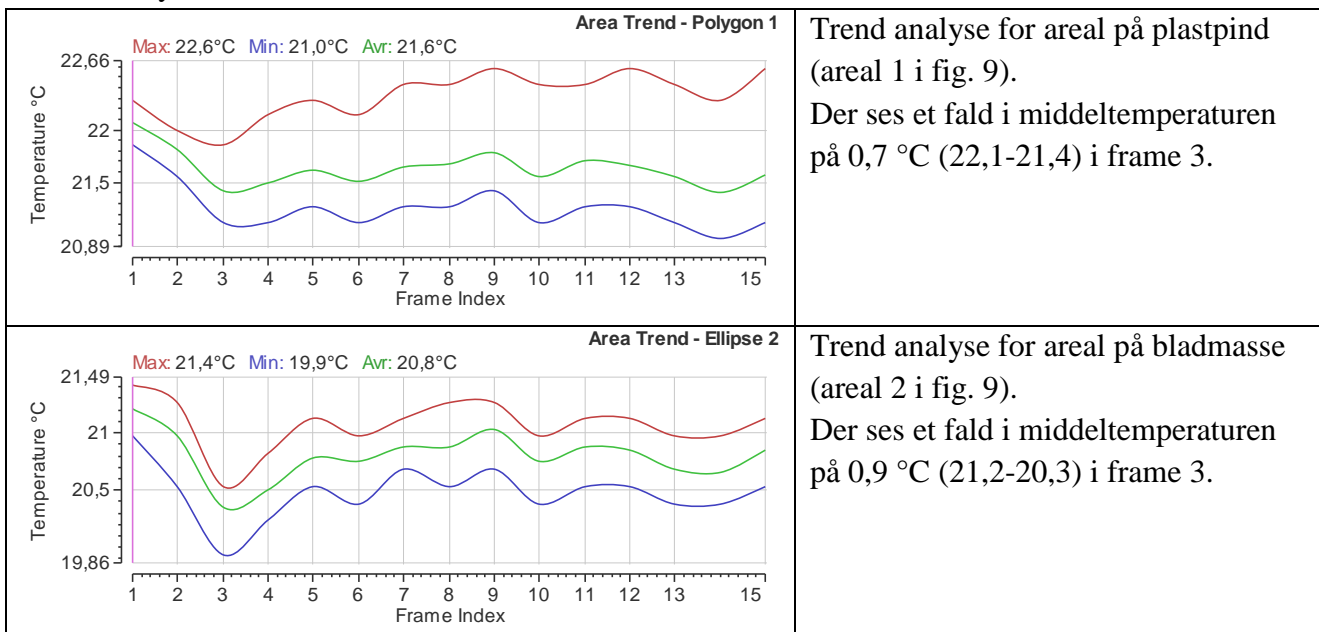


Fig. 10: Trendanalyse af de 15 optagelser. Frame index er de enkelte frames med 1 min. mellemrum.

Frame 1: 09:48:33. Gardin fra kørsel startet 09:48  
Frame 3: 09:50:32. Gardin kørt fra kl. 09:51.  
Frame 15:10:02:32.  
Der var klar himmel, da gardinerne blev kørt fra.

Af fig. 10 fremgår det, at efter gardin frakørslen, er der et mere markant fald i bladtemperaturen end i plastpindens temperatur. Hvorvidt det skyldes større varmekapacitet i plastpinden er ikke undersøgt.

Efterfølgende stiger middeltemperaturen på bladmassen ca. 0,5 °C, hvorimod middeltemperaturen på plastpinden kun stiger ca. 0,3 °C. Plastpindens max. temperatur stiger 0,5 °C efter gardin frakørslen, så der er markant større spredning i temperaturerne på plastpinden.

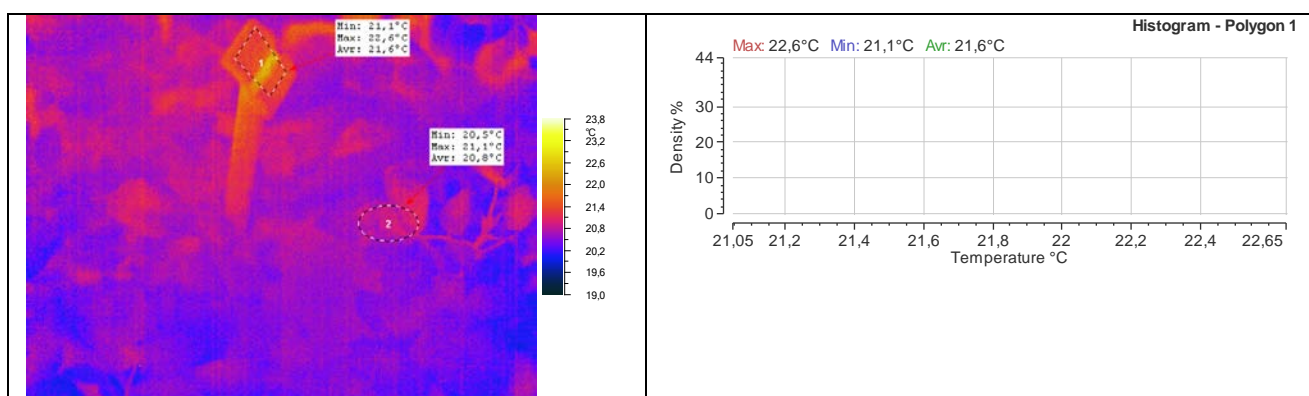


Fig. 11: Sidste frame i sekvens med histogram for areal 1 (på plastpinden).

Det ses klart at rillen i plastpinden er varmere en resten af pinden.

På baggrund af fig. 11 med den varme rille ændres arealet på plastpinden så rillen ikke er med. Med den foretagne ændring, laves en ny trendanalyse.

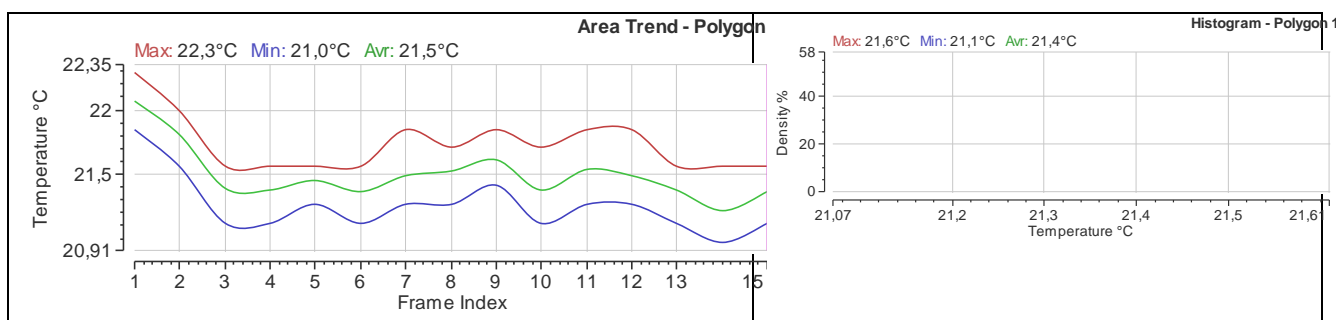


Fig. 12: Trendanalyse og histogram for det ændrede areal på plastpinden.

Det er klart at spredningen i temperaturerne nu er mindsket.

Sammenlignes fig. 11 og 12, ses at med det ændrede areal er spredningen i temperaturer væsentlig mindre, og stigningen i middeltemperaturen for arealet (plastpind) meget lille.

## Bilag E – Formidling

### Patentansøgning

*METHOD AND APPARATUS FOR USING LIGHT EMITTING DIODES IN A GREENHOUSE SETTING*

(PCT/EP2009/055959)

<http://www.wipo.int/pctdb/images4/PCT-PAGES/2009/482009/09141287/09141287.pdf>

### Pressemeddelelser

*Klimapris blåstempler Fionia Lighting* (26.2.2009),

[http://energiinvestfyn.dk/fileadmin/templates/energiinvestfyn/documents/Klimapris\\_blaastempler\\_Fionia\\_Lighting.pdf](http://energiinvestfyn.dk/fileadmin/templates/energiinvestfyn/documents/Klimapris_blaastempler_Fionia_Lighting.pdf)

*Gennembrud for LED belysning* (22.3.2009),

[http://www.fionalighting.dk/modules/Filarkiv/upl/PR\\_PKM-FL-SEN\\_22\\_MAR\\_DK.pdf](http://www.fionalighting.dk/modules/Filarkiv/upl/PR_PKM-FL-SEN_22_MAR_DK.pdf)

*Flower Power – bright LEDs for healthy plant growth* (21.9.2010),

[http://www.osram-os.com/osram\\_os/EN/Press/Press\\_Releases/LED/2010/documents/PM\\_red\\_LED\\_660nm\\_engl.pdf](http://www.osram-os.com/osram_os/EN/Press/Press_Releases/LED/2010/documents/PM_red_LED_660nm_engl.pdf)

### Artikler

*Danske dioder kan halvere gartneriers energiforbrug*, Ingeniøren, Energi og klima tillæg (1.5.2009)

<http://ing.dk/artikel/98315-danske-dioder-kan-halvere-gartneriers-energiforbrug>

*LED giver lys i drivhuset*, Teknikeren #7/2009

[http://doc.sde.dk/EAL\\_Dokumenter/Fuldtidsuddannelser/IT%20teknolog/Artikel\\_i\\_Teknikeren\\_johnny\\_drud.pdf](http://doc.sde.dk/EAL_Dokumenter/Fuldtidsuddannelser/IT%20teknolog/Artikel_i_Teknikeren_johnny_drud.pdf)

*Dansk LED lampe på vej*, Gartner Tidende #1/2010

<http://viewer.zmags.com/publication/fc6bab78#/fc6bab78/18>

*Fynsk samarbejde blomstrer*, SDU Ny Viden #5/2010

<http://www1.sdu.dk/Adm/Nyheder/sdu-nyviden-05-2010ui.pdf>

*LED-belysning kan spare danske gartnerier for millioner*, Ingeniøren, online artikel (17.7.2010)

<http://ing.dk/artikel/110467-led-belysning-kan-spare-danske-gartnerier-for-millioner>

Ovenstående er vedlagt dette bilag i kopi - se efterfølgende sider

(19) World Intellectual Property Organization  
International Bureau



(43) International Publication Date  
26 November 2009 (26.11.2009)

(10) International Publication Number  
**WO 2009/141287 A1**

- (51) International Patent Classification:  
A01G 7/04 (2006.01) F21V 15/01 (2006.01)  
A01G 9/24 (2006.01)
- (21) International Application Number:  
PCT/EP2009/055959
- (22) International Filing Date:  
15 May 2009 (15.05.2009)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:  
61/055,223 22 May 2008 (22.05.2008) US
- (71) Applicant (for all designated States except US): SYD-DANSK UNIVERSITET [DK/DK]; Campusvej 55, DK-5230 Odense M (DK).
- (72) Inventors; and
- (75) Inventors/Applicants (for US only): Chapman, Kirk [GB/DK]; Tjoernevej 3, DK-5220 Odense SO (DK). Rubaek, Thomas [DK/DK]; Hjallesøvej 26, 2. sal, DK-5000 Odense C (DK). Erland Oestergaard, John [DK/DK]; Kastanievej 17, DK-5230 Odense M (DK). Hassing, Soeren [DK/DK]; Kai Nielsens Vej 102, DK-5700 Svendborg (DK). Lindstorff Johansen, Poul [DK/DK]; Julagervaenget 34, DK-5260 Odense S (DK).

Loennsman Iversen, Jens Joergen [DK/DK]; Sdr. Boulevard 296b, DK-5000 Odense C (DK).

(74) Agent: Orsnes, Henrik; Forskerparken 10, DK-5230 Odense M (DK).

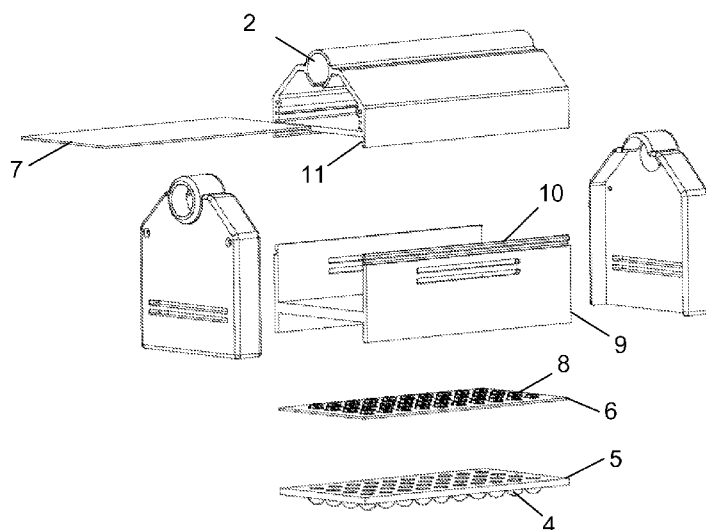
(81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Continued on next page]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR USING LIGHT EMITTING DIODES IN A GREENHOUSE SETTING

FIGURE 2



(57) Abstract: There is provided a modular LED system comprising a frame (1) having a plurality of light emitting diodes (LEDs) (8) of at least two different colors for generating light within a color spectrum, said LEDs (8) being mounted, preferably clickable, on or adjacent to a, preferably heat conductive, plate equipped with cooling means (3) for cooling the LEDs with cooling medium; a processor for controlling an amount of electrical current supplied to the plurality of LEDs, so that a particular amount of current supplied thereto determines a color of light generated by the plurality of LEDs,- and a flat translucent member (5) having translucent lenses (4) associated with the LEDs for decreasing or increasing the diffusion angle for light emitted from each LED. The LED system is suitable as an illumination system for plants to supplement natural light without substantially interfering with the amount of natural light. The system delivers uniform illumination and reduces energy and maintenance costs. The system may be installed in a commercial greenhouse. Because of its narrow width, the system is useful to supplement

natural light because it allows a maximum amount of natural light to reach the plants.

WO 2009/141287 A1

**Published:**

— with international search report (Art. 21(3))

— before the expiration of the time limit for amending the claims and to be republished in the event of receipt of amendments (Rule 48.2(h))

## **METHOD AND APPARATUS FOR USING LIGHT EMITTING DIODES IN A GREENHOUSE SETTING**

### **5 FIELD OF THE INVENTION**

The present invention relates to a method and apparatus for using light emitting diodes in a greenhouse setting. More particularly, it relates to a method of using LEDs to supplement natural light and a support structure for using LEDs in a greenhouse setting. Also, the present invention relates to systems and methods for controlling the diffusion angle of the LED light, so as to permit even illumination of a surface.

### **15 DESCRIPTION OF RELATED ART**

Sunlight is made up of a variety of wavelengths. The energy of light is inversely proportional to its wavelength. In other words, the longer the wavelength the less energy the light has. Sunlight can be separated into different wavelengths or colors by passing it through a prism. Similarly, when the sun is at an angle to the earth's atmosphere, the light is reflected and spread by the atmosphere. This is why sunrises and sunsets are so colorful. Another less desirable result of this phenomenon is that a portion of blue light is not transmitted through the atmosphere during the winter.

The light humans see is in the visible spectrum. Visible light ranges from approximately 400 nm to approximately 700 nm. Violet light is the shortest wavelength; highest energy light of the visible spectrum and red light is the longest wavelength, lowest energy light of the visible light. The longer the wavelength of visible light the more red its color. Ultraviolet light has a shorter wavelength and has more energy than visible light. X-rays are the highest energy, shortest wavelength light. Infra red light is a low energy light, having a wavelength longer than that of red light. A large portion of sunlight is in the infrared range.

Photosynthesis is the process that converts energy from sunlight or other light to chemical forms of energy that can be used by biological systems. Energy for photosynthesis is provided by light, which is absorbed by the pigments of the plant.



The color and intensity of light are used in different photosynthesis reactions. The brighter or more intense the light, the more energy the plant receives. Red light promotes height and blue light promotes growth in girth. Thus, plants grown in red light will be tall and spindly and plants grown in blue light will have a thick, strong stem, but will not be especially tall.

In greenhouses, it is often desirable to control a plant's growth. For example, due to conditions, customer or seasonal demands, transportation issues, etc. it may be desirable to promote or inhibit budding, promote or inhibit flowering, promote germination, promote the leafiness of the plant, encourage a strong and/or lengthy stem, have a stronger plant, have a bigger harvest, and/or promote or inhibit ripening of a fruit or vegetable.

Commonly, greenhouses will use lights to encourage or discourage plant growth. Common types of lighting for landscapes and greenhouses include incandescent lights, fluorescent lights, high-pressure sodium lights, metal halide lights, and mercury vapor lights. Incandescent lights produce all wavelengths of light and are closest to natural sunlight. Thus, they are commonly used to promote vegetative growth. The intensity of particular wavelengths of light may be adjusted with the type of lights used to control growth mode. In addition to controlling growth modes with light, growth modes can also be controlled by adjusting or changing the fertilizer, stressing the plant such as with cold, shorter or longer lighted periods or by adding a lighted period at night.

In the winter the sun is lower on the horizon. When sunlight passes through the ozone layer about 50% of the blue light is reflected off the ozone layer rather than being transmitted. Incandescent lights, while mimicking natural light tends to be comprised of a higher percentage of low energy light than natural light. Thus, a plant grown under incandescent light or under natural winter light tends to get less blue light than is optimal. There is a need for a system which can be used to supplement the natural light in the winter by providing the short wavelengths reflected by the ozone layer to the plants with minimal interference to the amount of natural light.

Flower producers may wish to grow leafy, strong plants, but discourage flowering until it is the season for the plant. A greenhouse vegetable producer may wish to

encourage germination growth, budding and fruiting of plants but then inhibit ripening of the vegetable so that is not overly ripe at the time it reaches the food market. Thus, there is a need for a plant illumination system which allows the grower to supplement natural light to adjust the growth mode of plants without interfering with the amount of natural light received.

Light Emitting Diodes (LED) consists of a layer of two different semi-conductors. They can be used to provide a source of light with a specific wavelength. Currently, light emitting diodes LEDs have been used for low light, small size greenhouse environments. There is a need for a LED plant illumination system, which allows for the use of LEDs on a large scale, such as a commercial greenhouse.

There is a need for a plant illumination system, which makes use of LEDs to provide the desired light intensity and/or wavelength to promote or discourage specific growth modes without interfering with the natural light. There is also a need for a system that can be used with natural light, artificial light or a combination of artificial and natural light without blocking a significant amount of the light.

Prior art lighting systems for greenhouses are about 18 cm wide and, thus, block a portion of the natural light. There is a need for a system that reduces the amount of blocked natural light.

Prior art lighting systems are heavy. A single sodium vapor lamp can weigh 20 kg. There is a need for a lightweight lighting system.

The lamps of prior art lighting systems must be placed far above the plants. There is a need for a lighting system which optionally can be located closer to the plants.

## **SUMMARY OF THE INVENTION**

The present invention relates to an illumination system for plants to supplement natural light without substantially interfering with the amount of natural light. The present invention uses LEDs that deliver uniform illumination. The LEDs reduce energy and maintenance costs. The system may be installed in a commercial

greenhouse. Because of its narrow width, the system is useful to supplement natural light because it allows a maximum amount of natural light to reach the plants.

In accordance with the present invention there is provided a modular LED system

5

comprising:

- a frame having;
- a plurality of light emitting diodes (LEDs) of at least two different colors for generating light within a color spectrum, said LEDs being mounted, preferably clickable, on or adjacent to a, preferably heat conductive, plate equipped with cooling

10

- means for cooling the LEDs with cooling medium;
- a processor for controlling an amount of electrical current supplied to the plurality of LEDs, so that a particular amount of current supplied thereto determines a color of light generated by the plurality of LEDs; and

15

- a flat translucent member having translucent lenses associated with the LEDs for decreasing or increasing the diffusion angle for light emitted from each LED;

wherein the frame is provided with a tunnel for receiving a tube carrying power and optionally cooling medium for the LED system.

The tunnel for receiving a tube carrying power and optionally cooling medium is herein

20

defined as an opening in the frame, wherein electrical plug-ins as well as connections for cooling medium are provided. The wording of optionally cooling medium for the LED system is used to indicate that the cooling medium can be introduced into the frame separate from the tube carrying power.

25

In one embodiment of the present invention, LEDs with specific wavelengths are used in the system for a specific effect. For example, blue LEDs to supplement the winter sunlight.

In another embodiment of the present invention the plants are exposed to sunlight

30

and/or artificial lights, preferably, natural light or sunlight and LEDs are used to supplement the light. For example, in winter high frequency light is reflected off the ozone layer. Blue LEDs are used to supplement the natural light to compensate for the high frequency light that is not transmitted by the ozone layer. In addition, when specific wavelengths are needed for a desired effect, additional LEDs may be

35

provided which emit light at the desired wavelengths.

5 The LED system of the present invention has been modified to provide substantially uniform illumination of a surface. In one embodiment, the modular LED system comprises a plurality of light emitting diodes (LEDs) of at least two different colors for generating light within a color spectrum, a processor for controlling an amount of electrical current supplied to the plurality of LEDs, so that a particular amount of current supplied thereto determines a color of light generated by the plurality of LEDs, a heat sink, and a translucent member associated with the LEDs for determining a diffusion angle of light emitted from each LED. The presence of a translucent member  
10 can permit the control of the diffusion angle of the light emitted from the LEDs to provide substantially uniform illumination of a surface. In a preferred embodiment the LEDs can be clicked onto the module.

15 In accordance with a preferred embodiment of the present invention the translucent member is provided with a plurality of lenticular lenses disposed on or in the translucent layer. The translucent layer and the lenticular lenses are positioned in spaced relation to the LEDs, with each lenticular lens over at least one LED to affect the diffusion angle of the emitted light. To engage the LED, each lenticular lens may include a recess adapted to complementarily receive at least one LED.

20 The modular LED lighting system may further include a processor to control an amount of electrical current supplied to the plurality of LEDs, so that a particular amount of current supplied thereto determines a color of light generated by the plurality of LEDs. In such embodiments, controlling the amount of electrical current supplied to the plurality of LEDs can affect the color of light generated by the plurality  
25 of LEDs. The modular LED system may also include a connector for removably coupling in series a plurality of translucent member and LEDs. The modular LED system may additionally have a power module for providing electrical current from a power source to the LED, and, optionally, an electrical connector for removably  
30 coupling the LED system to the power module. In certain embodiments, a modular LED system includes means for programming the processor and/or a mechanism for facilitating communication between the LEDs and the processor.

35 The modular LED lighting system, in accordance with another embodiment of the invention, may also provide a color gradient or color grid along the surface. To

generate such a gradient or grid, light emitted from each LED or group of LEDs may be of a distinct color, and may be provided with a particular diffusion angle, so as to permit the light from that LED or group of LEDs to illuminate a specific region of the surface.

5

In accordance with another embodiment of the present invention, a method for manufacturing a modular LED system is provided. In particular, a plurality of LEDs is first arranged in a predetermined array. Subsequently a member having a plurality of spatially adjustable lenses arranged in an array similar to that of the plurality of LEDs is provided, each lens having a recess to complementarily receive an LED. Thereafter, the plurality of LEDs is engaged with the plurality of lenses so that each lens complementarily receives an LED.

10

15

LEDs (Light Emitting Diode) have the advantage that their spectrum can be designed such that it exactly meets the requirements of plants. The said advantage also applies to all types of LEDs, including OLEDs (Organic Light Emitting Diodes), which is a special type of a light emitting diode in which the emissive layer may comprise a thin film of certain organic components. The expression LED is meant to comprise OLEDs. The advantage of the OLED is that it is a homogeneous large area light source with potentially low cost and high efficiency and hence, OLEDs are better suited for horticulture applications where the total cost of ownership is important. These OLEDs utilize current flowing through a thin-film of organic material to generate light. The color of light being emitted and the efficiency of the energy conversion from current to light are determined by the composition of the organic thin-film material. However, the OLEDs comprise a substrate material as a carrier layer, which may be made of glass or an organic material or from non transmittive materials such as metal foils. Furthermore, organic light emitting diodes consist of at least one very thin layer with a layer thickness of approx. 5-500 nm of organic substances on a glass substrate covered with an electrically conducting and optically transparent oxide. This conducting layer usually is performed as Indium-Tin-Oxide (ITO). Usually the ITO-layer forms the anode and a layer of Aluminum forms the cathode, whereas the Aluminum layer features a thickness of approx. 100 nm and thus a thickness like the ITO-layer. Aluminum of such a thickness works as a mirror, such that the emission is through the transparent ITO anode and the transparent substrate only. If the cathode metal is thin enough to be partially transparent, part of the light can also be emitted

20

25

30

35

through the cathode. By using other appropriate materials as cathode, the OLED can be made optical transparent. In this case the OLED may work as a kind of window, which at daytime is letting the sunlight falling into the greenhouse. But at nighttime the OLED may work as a lighting mean, illuminating the greenhouse.

5

According to another embodiment of the invention the lighting element can consist of an array of OLEDs, comprising at least two different groups of OLEDs, wherein the first group of OLEDs deliver a grow light and the second group of the OLEDs deliver a control light for the plant. It is known, that the sheer growth of the plant is mainly depending on the amount of light, possessing the wavelength absorbed by Chlorophyll A or B. To achieve a generous growth of the plant the first group of OLEDs of the light emitting element should consists of at least two types of OLEDs, emitting at different wavelength. It is preferred that the first type of OLED emits in the region of blue light with a wavelength between 400 nm to 500 nm. Furthermore, the second type of OLED should emit in the region of red light between 600 to 700 nm. In another preferred embodiment the grow light emitted by the first group of OLEDs can consists of approximately 80% to 90% red light and 10% to 20% blue light.

10

15

20

25

In addition to the described grow light, a control light should be used to steer the growth of the plant. The growths of a plant whether it is huge or small and compact can be controlled by illuminating the plant with light of different colors. It is known, that the use of a large amount of blue light (400 nm to 500 nm) results in a tall plant whereas the use of a small amount of blue light results in a small and compact plant. Furthermore, the light in the green spectrum increases the tendency of the plant to propagate. In addition, by using light with the appropriate wavelength the blooming of the plants can be controlled. So by controlling the type of wavelength being emitted onto the plants, the way and the manner of the growing of the plant can be controlled.

30

It is an aim of the present invention to promote the growth, development and health of plants. Another aim of the invention is to realize substantial energy savings. The invention comprises enhanced monitoring or sensing the growth, development and/or health of the relevant plants and adequate "fine tuning" of the properties of their illumination.

35

To that end it is preferred, according to the present invention, in a greenhouse system

which comprises the modular LED lighting system for the illumination of plants etc. inside the greenhouse for the benefit of plant growth, to include sensor means for measuring one or more variables which are directly or indirectly related to the growth, development or health of those plants or relevant groups of plants, as well as control means which are arranged to control the illumination in dependency of the output of the sensor means.

It is highly preferred, in such a greenhouse system, that the illumination with the modular LED lighting system and control means are arranged to vary the intensity as well as the spectral distribution of the light emitted by the modular LED lighting system.

As known as such from the prior art, the emitted light may be pulsed light, wherein, according to a preferred option of the invention, the pulse characteristics may be varied by the control means in dependency of the output of the sensor means.

It is preferred that the control means are arranged to interpret the relevant variables measured by the sensor means and to assess the actual and/or expected growth of the relevant plants, and to control the intensity and/or the spectral distribution of the light emitted by the illumination means to those relevant plants in accordance with the assessment result.

E.g. in greenhouses which are arranged to use incident (sun) light, one or more sensors may be provided for measuring the intensity and/or spectral distribution of the actual light in the greenhouse, thus enabling that such incident light may be e.g. filtered, screened etc. by filters, screens etc., or that the incident light is supplemented by the artificial, spectrally "fine tuned" illumination.

One or more sensors may be provided for measuring one or more plant dimensions, e.g. the size of the plant roots, leaves, stems, fruits or flowers, of the relevant plants or groups of plants.

Finally, it is noted that, to still increase the energy efficiency of the greenhouse system (which, after all, was one aim of the present invention), the LED modules of the present invention may be cooled by means of a cooling medium, e.g. a fluid or air,

5 which cooling medium preferably can be connected to a heating or air conditioning system of the greenhouse, thus enabling that the energy which in the LED modules is not converted into light but into heat, can be recuperated. This is a special opportunity of LED modules, as in LEDs, as a result of their nature, the heat is mainly generated at the backside of the LEDs (contrary to e.g. in sodium lamps etc. which radiate their heat from their illuminating front side) and, due to that, can be collected from the backside of the modules without hindering the light emission at the front side, and can, via a cooling medium and a circulation system, be supplied to the greenhouse's heating or air conditioning system or any other heating or air conditioning system.

10

The present invention also provides system for screening the photosynthetic activity of a plant material, said system comprising a closed photobioreactor illuminated with one or more modular LED systems of the present invention.

15

In accordance with the present invention there is also provided a method for screening optimum illumination of a plant material, comprising the steps of placing the plant material in a bioreactor illuminated with one more modular LED systems of the present invention, and measuring the CO<sub>2</sub> production rate of the plant material by various light intensities.

20

It is also an object of the invention to provide an improved reactor for the cultivation of phototrophic micro organisms such that sunlight is converted more efficiently into biomass. In a further aspect of the invention, it is an object to provide a process for the cultivation of phototrophic micro organisms in which sunlight is more efficiently converted into biomass.

25

According to the invention, there is provided a reactor for the cultivation of phototrophic micro organisms comprising:

30

- i) one or more compartments suitable for containing a liquid comprising an phototrophic micro organism culture,
- ii) an inlet for supplying a CO<sub>2</sub> comprising gas flow to the one or more compartments,
- iii) an outlet for removing gas from the one or more compartments, a



- iv) means for regulating the temperature of the phototrophic micro organism culture, and
- v) an LED system of the present invention to illuminate the phototrophic micro organisms.

5

Moreover, the present invention is directed to a system for controlling optimum illumination of plants in a greenhouse, said system comprising:

- a photobioreactor comprising means for screening the photosynthetic activity, which photobioreactor is illuminated with an LED system of the present invention in addition to incoming sun light, said photobioreactor is also equipped with one or more photodiodes that measure the intensity of the incoming sunlight;
- a computer for treating data received from the means for screening the photosynthetic activity, and which computer implements a program that
  - i) screens the photosynthetic activity of the plant material of the photobioreactor illuminated with light of various wavelength and intensity;
  - ii) measures the incoming sunlight and if the intensity thereof decreases it increases the intensity of the LEDs; and
  - iii) controls the illumination of the plants in the greenhouse by illuminating the plants with light having a composition of wavelength and intensity which has given rise to the highest photosynthetic activity in the photobioreactor.

10

15

20

Also, the present invention concerns a method for controlling optimum illumination of plants in a greenhouse, said method comprising the steps:

- providing a photobioreactor for screening the photosynthetic activity of a plant material placed in the bioreactor, which photobioreactor is illuminated with an LED system of the present invention in addition to incoming sun light; and
- providing a computer for treating data received from the means for screening the photosynthetic activity;

25

30

wherein the computer screens the photosynthetic activity of the plant material of the photobioreactor illuminated with light of various wavelength and intensity, and then controls the illumination of the plants in the greenhouse by illuminating the plants with light having a composition of wavelength and intensity which has given rise to the highest photosynthetic activity in the photobioreactor.

As in many of the above discussed embodiment one or more photodiodes may be used to compensate for reduced incoming sunlight due to seasonal variations or cloudy weather.

5 In certain embodiments, the systems and methods described herein utilize a current control for the lighting assembly, which may be a pulse width modulated (“PWM”) current control or other form of current control where each current-controlled unit is uniquely addressable and capable of receiving illumination color information on a computer lighting network. As used herein, “current control” means PWM current  
10 control, analog current control, digital current control, and any other method or system for controlling current.

#### **BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS**

15 Figure 1 shows three views of one embodiment of the present invention with cooling ribs: (a) upper view, (b) lower view and (c) lower view with end housing removed to reveal inner structure.

20 Figure 2 shows an exploded view of an embodiment of the present invention utilizing a click system for releasable mounting of the lower housing containing the LEDs and lens array.

#### **DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION**

25 Plants grow due to photosynthesis. Plants use water, carbon dioxide and light to create energy and oxygen. Different wavelengths of light affect plants differently. The best light for most plant growth is in the red and blue wavelengths.

30 The maximum transmission of blue light occurs about midday. Because of the angle of the sun, the high-energy blue light tends to be reflected off the ozone layer in the morning and evening. Thus, there is less blue in the light. Similarly, there is less blue light in the winter because the earth is at an angle to the sun. In the winter about 50%  
35 of the high-energy blue light is reflected by the ozone layer and the light that is

transmitted consists primarily of lower-energy light. As a result, plants may not get sufficient amounts of blue light.

5 Plants grown under artificial light may also be deficient in blue light. For example, high intensity sodium lamps, which are often used in greenhouses, maximize the light that can be seen by humans. Incandescent lights, which are often used in home plant growing situations, also have less blue light than the amount needed for optimal plant growth. A grower may want to supplement the amount of blue light. In some situations, the grower may wish to encourage or discourage particular plant growth modes with  
10 specific wavelengths of light. Thus, it is often necessary or desirable to supplement natural or artificial light with specific wavelengths of light.

Prior art lighting systems block a portion of the natural light entering the greenhouse. Prior art systems utilize bulky lights that block 10% or even more of the footprint of the  
15 lighted area of the greenhouse. This undesirable effect is worsened by shadows that are cast by the frame and/or lights. The prior art system uses a plurality of lights. For example, in a typical system using high-pressure sodium (HPS) lamps, the reflector of the lamp is 35 cm wide by 35 cm long, the power supply of the lamp is about 18 cm wide by 38 cm long, and the attachment supports are about 4 cm wide. The  
20 greenhouse support frame is about 3 cm wide.

Another disadvantage of prior art systems is uneven lighting. Some plants are illuminated by two lamps while others are illuminated by three. As a result, the plants may not grow and mature at the same rate. Some plants may mature slowly or will not  
25 grow as large as others.

Prior art lighting systems are heavy, a single sodium vapor lamp can weigh 20 kg. Thus, the greenhouse frame needs to be strong enough to support the lighting system. Further, prior art lighting systems have lamps that must be kept away from the  
30 plants. This requires the greenhouse structures be of sufficient height to keep the lights away from the plants.

The light engine comprises a board, preferably a metal core with a plurality of LEDs mounted thereon. The board is in the form of a plate that can be mechanically  
35 attached to a frame. Preferably, the LEDs are power package LEDs. Preferably, the

LEDs are spaced equally along the plate. The LEDs are powered by a power supply. Preferably, the board is connected to the power supply by wires and the power supply is remote from the light engine. The power supply can power more than one light engine. Preferably the light engine is attached to an electrically conductive wire, wherefrom it supplied with power. Alternatively the light engine is mounted on a tube, which in addition to provide the light engine with power also provides a gas flow for cooling purposes.

The light engines are relatively light. Thus, the greenhouse can be built so the frame can support the greenhouse. Extra weight of the lamps does not need to be a consideration when determining the frame strength and/or design.

Further, the LEDs can be located close to or away from the plants. Thus, the light engines can be retrofit on an existing greenhouse frame. In addition, because the LEDs do not have to be kept away from the plants, the greenhouse can be built lower to the ground. This saves materials and may allow lighter weight frames to be used. It may also allow for reduced heating and/or cooling costs since the room to be heated or cooled may be smaller than in conventional greenhouses.

Figure 1 shows three views of one embodiment of the present invention with cooling ribs: (a) upper view, (b) lower view and (c) lower view with end housing removed to reveal inner structure. The LED lighting system comprises a modular housing **1**, a tunnel **2** for insertion of a pipe/cable for transport of power and possibly other connections to the LED system. Cooling ribs **3** are used to effectively transfer heat away from the LEDs. Each individual LED (not shown) is provided with a lens **4** to give uniform illumination of the plants. These lenses are formed as part of an injection moulded clear plastic lens array **5**, behind which the LED circuit board **6** is mounted. The electronics board **7** containing the control processor and providing power to the LEDs is mounted in the upper part of the modular housing.

Figure 2 shows an exploded view of an embodiment of the present invention utilizing a click system for releasable mounting of the lower housing containing the LEDs and lens array. In this view, the recesses for accepting the LEDs can be seen in the lens array **5**, and the bases of the reverse mounted LEDs **8** can be seen on the circuit board **6**. The light emitting part of each LED is placed in a hole in the board to allow

illumination out through the lens array. The lens array and LED board are in turn mounted on the lower housing module **9**, which can be clicked on to the rest of the modular housing using a tongue **10** and groove **11** system.

5

#### EXAMPLE

In order to clarify the objective of the present invention a case study is presented. Growing the flower Campanula requires high intensity artificial light, in order to ensure high plant quality throughout the year. PKM A/S is a Danish greenhouse/nursery, who among other crops grows app. 11 mill Campanula yearly. The electricity bill for lighting is about 2/3 of the utility bill, meaning that the interest in energy savings regarding electricity is high. The traditional "high pressure sodium" lamp is an efficient system regarding light output, but inefficient in terms of providing the correct wavelengths for high photosynthetic activity. By changing HPS with the LED system of the present invention the Nursery owner is subject to an electrical energy saving of 50 %. The system used comprises two colors of LED equipped with cooling means and in front of the LEDs a flat translucent member is provided. The cooling medium is transferred into and out of the fixture using a tunnel. The energy taken from the fixtures with the cooling medium is reused in the greenhouse for e.g. heating purposes.

10  
15  
20

25

30

35

**CLAIMS**

1. A modular LED system comprising:

- a frame having;

5

- a plurality of light emitting diodes (LEDs) of at least two different colors for generating light within a color spectrum, said LEDs being mounted, preferably clickable, on or adjacent to a, preferably heat conductive, plate equipped with cooling means for cooling the LEDs with cooling medium;

10

- a processor for controlling an amount of electrical current supplied to the plurality of LEDs, so that a particular amount of current supplied thereto determines a color of light generated by the plurality of LEDs; and

- a flat translucent member having translucent lenses associated with the LEDs for decreasing or increasing the diffusion angle for light emitted from each LED;

15

wherein the frame is provided with a tunnel for receiving a tube carrying power and optionally cooling medium for the LED system.

2. The modular LED system as set forth in claim 1, wherein the translucent member includes an array of lenticular lenses disposed on the member.

20

3. The modular LED system as set forth in claim 1, wherein the translucent member includes a plurality of individual lenticular lenses.

4. The modular LED system as set forth in claim 1, wherein the translucent member includes a recess adapted to complementarily receive at least one LED.

25

5. The modular LED system as set forth in claim 1, wherein the plurality of LEDs are arranged in a substantially linear array.

30

6. The modular LED system as set forth in claim 1, wherein the LEDs are in the form of OLEDs.

7. The modular LED system as set forth in claim 1, further comprising a power module for providing electrical current from a power source to the LED system.

8. The modular LED system as set forth in claim 1, wherein the processor is configured as an addressable processor capable of receiving data from a network.

5 9. The modular LED system as set forth in claim 1, wherein the processor is configured to control the plurality of LEDs using signals selected from the group consisting of pulse modulated signals, pulse width modulated signals, pulse amplitude modulated signals, pulse displacement modulated signals, analog signals, and combinations and/or modulations thereof.

10 10. The modular LED system as set forth in claim 1, wherein the control of the LEDs is determined by the intensity of the incoming sun light and/or the intensity of the light from the modular LED system thereby compensating for the reduced or increased intensity of the sunlight during winter or cloudy weather, or the intensity of the light from the modular LED system.

15 11. The modular LED system as set forth in claim 1, wherein the plurality of LEDs includes at least a first color LED and a second color LED, wherein the electrical current includes a first current supplied to the first color LED and a second current supplied to the second color LED, and wherein the processor controls respective  
20 amounts of the first and second currents to vary the color of the light generated by the plurality of LEDs.

25 12. A system for screening the photosynthetic activity of a plant material, said system comprising a closed photobioreactor illuminated with one or more modular LED systems according to claim 1.

30 13. A method for screening optimum illumination of a plant material, comprising the steps of placing the plant material in a bioreactor illuminated with one more modular LED systems according to claim 1, and measuring the CO<sub>2</sub> production rate of the plant material by various light intensities.

14. A system for controlling optimum illumination of plants in a greenhouse, said system comprising:

- a photobioreactor comprising means for screening the photosynthetic activity, which photobioreactor is illuminated with an LED system according to claim 1 in addition to incoming sun light;

- a computer for treating data received from the means for screening the photosynthetic activity, and which computer implements a program that

- i) screens the photosynthetic activity of the plant material of the photobioreactor illuminated with light of various wavelength and intensity;

- ii) measures the incoming sunlight and if the intensity thereof decreases it increases the intensity of the LEDs; and

- iii) controls the illumination of the plants in the greenhouse by illuminating the plants with light having a composition of wavelength and intensity which has given rise to the highest photosynthetic activity in the photobioreactor.

15. A method for controlling optimum illumination of plants in a greenhouse, said method comprising the steps:

- providing a photobioreactor for screening the photosynthetic activity of a plant material placed in the bioreactor, which photobioreactor is illuminated with an LED system according to claim 1 in addition to incoming sun light; and

- providing a computer for treating data received from the means for screening the photosynthetic activity;

wherein the computer screens the photosynthetic activity of the plant material of the photobioreactor illuminated with light of various wavelength and intensity, and then controls the illumination of the plants in the greenhouse by illuminating the plants with light having a composition of wavelength and intensity which has given rise to the highest photosynthetic activity in the photobioreactor.

16. Greenhouse system, comprising:

- i) the modular LED system as set forth in any one of the claims 1-11 inside the greenhouse for the benefit of plant growth;

- ii) sensor means for measuring one or more variables which are directly or indirectly related to the growth, development or health of those plants or relevant groups of them;

- iii) and control means which are arranged to control the illumination means in dependency of the output of the sensor means.



17. Greenhouse system according to claim 16, the modular LED system and control means being arranged to vary the intensity and the spectral distribution of the light emitted by the illumination means.

5

18. Reactor for the cultivation of phototrophic micro organisms comprising:

i) one or more compartments suitable for containing a liquid comprising an phototrophic micro organism culture,

ii) an inlet for supplying a CO<sub>2</sub> comprising gas flow to the one or more compartments,

10

iii) an outlet for removing gas from the one or more compartments,

iv) a means for regulating the temperature of the phototrophic micro organism culture, and

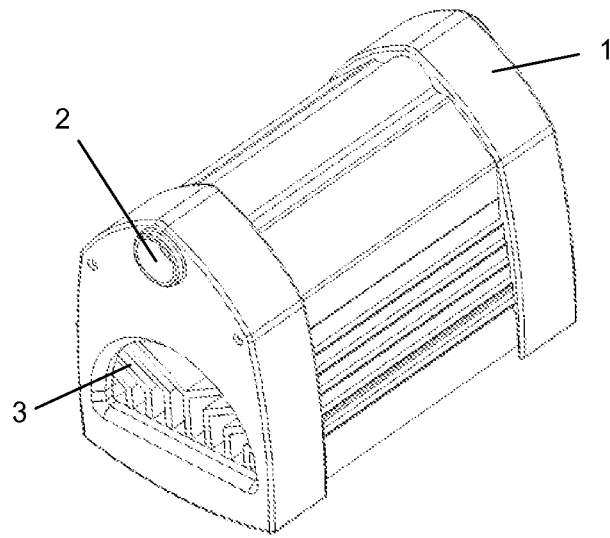
v) the modular LED system as set forth in any one of the claims 1-11.

15

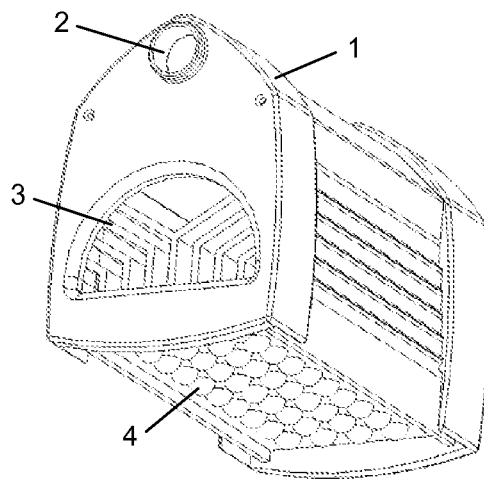
20

25

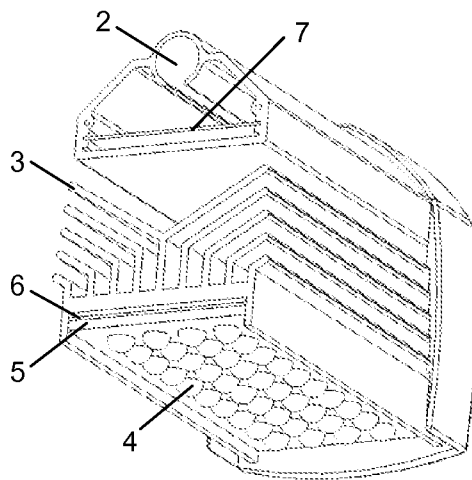
FIGURE 1



(a)

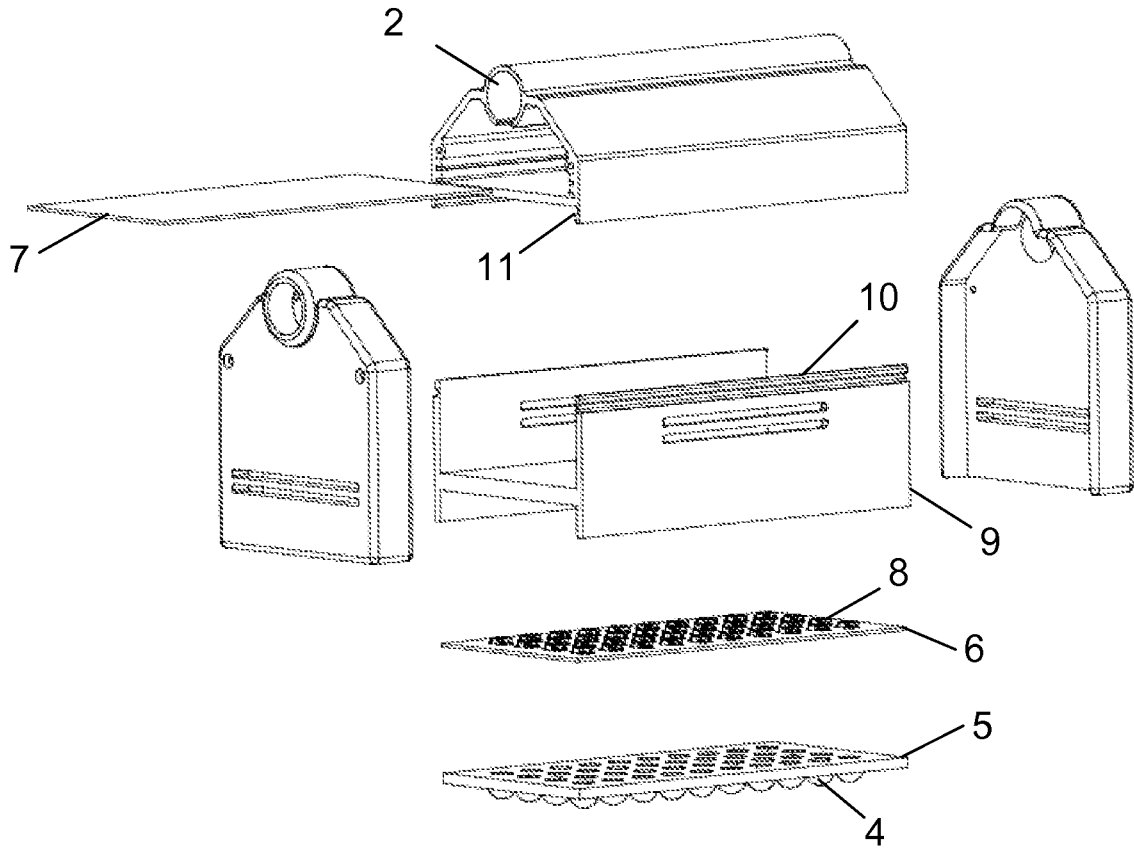


(b)



(c)

FIGURE 2



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2009/055959

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. A01G7/04 A01G9/24 F21V15/01

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A01G F21V

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	NL 1 031 466 C2 (PLL SYSTEMS B V [NL]) 3 October 2007 (2007-10-03) page 2, line 12 - line 20 page 3, line 26 - page 4, line 28 page 5, line 34 - page 6, line 4 page 7, line 1 - line 17; figures 1,2 -----	1-18
Y	WO 2007/147242 A (THEOREME INNOVATION INC [CA]; TREMBLAY FRANCOIS [CA]; GERMAIN CHARLES-) 27 December 2007 (2007-12-27) page 4, line 22 - page 5, line 18 page 6, line 10 - line 13 figures 2-6 -----	1-11
Y	US 2008/089071 A1 (WANG CHIN-WEN [TW]) 17 April 2008 (2008-04-17) paragraphs [0008], [0009], [0019], [0023]; figures 2-4,6 -----	1-11
	-/--	

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&amp;\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 September 2009

Date of mailing of the international search report

13/10/2009

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Dagnelies, Joëlle

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2009/055959

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 300 066 A (COSMO PLANT CO LTD [JP] KINPARA SHIRO [JP]) 9 April 2003 (2003-04-09) paragraphs [0040], [0058], [0059], [0065], [0081]; figures 9a,9b -----	1
A	EP 1 574 126 A (FIAT RICERCHE [IT]) 14 September 2005 (2005-09-14) paragraphs [0022], [0024], [0029] - [0033], [0056] - [0059], [0063]; figures 2-9 -----	1,3, 16-18
A	US 2003/005626 A1 (YONEDA KENJI [JP] ET AL) 9 January 2003 (2003-01-09) paragraphs [0008] - [0019], [0028] - [0030]; figures 1,2 -----	12,14-18

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No <b>PCT/EP2009/055959</b>
--

Patent document cited in search report	Publication date	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
NL 1031466	C2	03-10-2007	NONE	
WO 2007147242	A	27-12-2007	NONE	
US 2008089071	A1	17-04-2008	NONE	
EP 1300066	A	09-04-2003	AU 4473601 A	21-01-2002
			CA 2417172 A1	07-01-2003
			CN 1447646 A	08-10-2003
			CN 1831418 A	13-09-2006
			HK 1058879 A1	27-10-2006
			WO 0203777 A1	17-01-2002
			US 2005268547 A1	08-12-2005
			US 2004163308 A1	26-08-2004
EP 1574126	A	14-09-2005	NONE	
US 2003005626	A1	09-01-2003	CA 2392424 A1	05-01-2003
			DE 10230133 A1	20-02-2003
			JP 2003079254 A	18-03-2003
			KR 20030005023 A	15-01-2003

## Klimapris blåstempler Fionia Lighting

*Virksomheden har med en speciel LED-belysning fundet frem til en perspektivrig teknologi, der kan halvere gartneriernes energiforbrug. På den baggrund har Fionia Lighting netop fået overrakt Simon Spies Fondens Klimapris af Klima- og Energiminister Connie Hedegaard.*

Større bæredygtighed og øget konkurrenceevne for danske gartnere. Sådan vurderede komitéen bag Simon Spies Fondens Klimapris den teknologi, Fionia Lighting har haft under udvikling de seneste tre år. Det skete, da den fynske virksomhed torsdag den 26. februar fik overrakt prisen og 150.000 kroner af Klima- og Energiminister Connie Hedegaard ved en højtidelighed i ministeriet.

Teknologien består i at indføre LED-lys på gartnerierne i stedet for de traditionelle natriumlamper, samt at indtænke det nye lys i hele gartneriernes "økosystem". LED-lys bruger mindre end halvt så meget strøm som natriumlamper, og det kan i modsætning til natriumlamper underlægges en egentlig styring. Så snart solen bryder frem fra skyerne, skruer dioderne automatisk ned for lysstyrken.

Projektet blev af komitéen kaldt nyskabende og innovativt, og med et potentiale for store energibesparelser i et meget energitungt erhverv og en deraf reduceret CO<sub>2</sub>-udledning fra gartneribranchen.

- Det er en kæmpe blåstempling af hele vores projekt. Komitéens sammensætning borger for kvalitet, og at de vælger os, som et af de fire bedste projekter, er en stor anerkendelse, siger Bo Jacobsen, direktør i Fionia Lighting A/S.

Bestyrelsesformand i Fionia Lighting A/S, Bent Agerholm, der også er koncernchef i Energi Fyn, glæder sig over prisen, og over det samarbejde mellem Energi Fyn og Syddansk Universitet, der ligger til grund for virksomheden.

- Det er Energi Fyns vision at medvirke til at fremme erhvervslivet på Fyn, og jeg ser store fremtidsperspektiver for Fionia Lighting. Jeg ser også klimaprisen som en officiel blåstempling af Energi Fyns energispareinitiativer, for Fionia Lighting ligger i naturlig forlængelse af vore øvrige aktiviteter: Energirådgivningen til virksomheder via Enervision A/S, installation af fjernaflæste elmålere over hele Fyn og opbygning af regulerkraftværker, der skal sørge for at produktionen af strøm modsvarer forbruget og dermed giver mulighed for endnu flere vindmøller i energisystemet. Endvidere tilbyder vores handelsselskab grøn el til forbrugerne, siger Bent Agerholm.

### **Samarbejde mellem forskning og erhvervsliv**

Fionia Lighting er en såkaldt spin-out virksomhed fra Syddansk Universitet og det første resultat af Energi Invest Fyn A/S, der er sat til livs i et samarbejde mellem SDU og Energi Fyn for at kommercialisere energiteknologier.

I forskningsmiljøet glæder man sig over Fionia Lightings klimapris.

- Det er et mønstereksempel på forskning, der bliver forvandlet til en kommerciel succes. Oven i købet en succes som både virksomheder, samfundet og miljøet får glæde af. Jeg er meget glad for prisen og den anerkendelse, der ligger i den, siger Per Overgaard Nielsen, direktør på Syddansk Universitet og næstformand i Energi Invest Fyns bestyrelse.

Institutleder på SENCE, SDU, John Erland Østergaard, forklarer, at LED-lyset er ideelt for planterne.

- I udviklingsteamet med civilingeniørerne Thomas Rubæk og Kirk Chapman har vi udmålt fotosynteseprocessen i vores bio-reaktorsystem, og fundet frem til den optimale sammensætning af røde og blå farver i LED-lyset i forhold til individuelle planters vækst og effektiv udnyttelse af energien. Planterne får præcis samme udseende, antal knopper osv. som med almindeligt lys, men med et strømforbrug, der er langt mindre, siger han.

**Fakta om Simon Spies Fondens Klimapris**

Simon Spies Fondens Klimapris uddeles til projekter med et klimarelateret og samfundsmæssigt formål. Prisen kan uddeles til enkeltpersoner, borgergrupper eller firmaer m.v., som ønsker støtte til et projekt, der kan fremme CO2-besparelser blandt borgerne i Danmark. For at komme i betragtning til prisen skal projekterne være nyskabende pilotprojekter. Der uddeles 1 mio. kr. årligt.

Formand for bedømmelseskomitéen er Ulla Røttger, direktør på Amagerforbrændingen. Komitéen består desuden af Preben Mejer, direktør for Innovation Lab, Poul Erik Morthorst, Senior Research Specialist på Risø, Christian Stadil, ejer af og bestyrelsesformand i Hummel International A/S og Anja Philip, projektleder i Kræftens Bekæmpelse og tidligere vært på TV-programmet "Viden Om".

**Fakta om Fionia Lighting A/S**

Fionia Lighting A/S er en forskningsbaseret virksomhed med speciale i LED-belysning til gartnerier. LED-lysets muligheder udnyttes på en helt ny måde. Ideen er kun at tilføje planterne det røde og det blå lys, som er optimalt for fotosyntesen.

LED-belysningen er blevet grundigt testet på gartnerierne Rosanova og PKM.

Fionia Lighting A/S er en spin-out virksomhed fra Syddansk Universitet og det første resultat af Energi Invest Fyn A/S - samarbejdet mellem SDU og Energi Fyn om at kommercialisere energiteknologier.

[www.fionalighting.dk](http://www.fionalighting.dk)

**Yderligere oplysninger fås hos:**

Bo Jacobsen, direktør i Fionia Lighting A/S, tlf. 29 44 35 55.

Bent Agerholm, bestyrelsesformand i Fionia Lighting A/S og i Energi Invest Fyn A/S, samt koncernchef i Energi Fyn, tlf. 63 17 19 00.

Per Overgaard Nielsen, direktør SDU, tlf. 65 50 10 20.

John Erland Østergaard, leder af SENCE på SDU (Institut for Sensorer, Signaler og Elektroteknik), tlf. 65 50 74 25.

Jens Kr. Damsgaard, direktør i Energi Invest Fyn A/S, tlf. 31 787 780.



Regensburg, 21 September, 2010

## **Flower Power – bright LEDs for healthy plant growth**

High efficiency at 660 nm

**Golden DRAGON Plus and OSOLON SSL LEDs with their efficiency of 37% are among the most efficient light sources on the market in the deep red range (660 nm wavelength). Operators of commercial greenhouses will benefit from the high efficiency and the associated energy savings the new LEDs can deliver. In cooperation with Fionia Lighting A/S in Denmark a pilot project covering several thousand square meters of planting achieved energy savings of 40%.**

For plants to grow well in greenhouses they need the right temperature and also the right light. Light in the deep red spectrum plays an important role in plant growth because the absorption of chlorophyll in this red range is very high. Both Golden DRAGON Plus and OSOLON SSL now provide this deep red light with particularly high efficiency with typical power of 330 mW at an operating current of 400 mA. Their powerful chips are based on OSRAM's thin-film technology, and with a life of 100,000 hours they offer maintenance-free operation for many years.

Golden DRAGON Plus has a wide beam angle of 170° and can be used with good effect in reflector systems for illuminating large areas under cultivation. OSOLON SSL has a smaller footprint and a narrow beam angle of 80° which means they can be arranged close to one another. They can also be equipped with external optics. Their unique characteristics make them ideal for special applications such as "multi-layer cultivation" in which salad plants are grown on stacked levels. In this arrangement it is important for the lighting to be both compact and uniform.

A recent pilot project, completed in cooperation with Fionia Lighting A/S and the OSRAM distribution partner Arrow in Denmark, confirmed the enormous energy-saving potential of LEDs in horticultural applications. As part of the project, Fionia Lighting A/S developed a luminaire system specifically for greenhouses which was equipped with a total of approximately 50,000 Golden DRAGON Plus LEDs. Over a cultivated area of several thousand square meters it was possible to reduce power consumption by 40%. "Flowers cultivated under LED lighting developed just as quickly as the control specimens under conventional lighting. Also the flowers cultivated under the LED lights had more buds which attracted

higher sales prices”, said Thomas Rubaek of Fionia Lighting A/S with justified pride. “At the same time we were able to reduce the use of chemicals such as growth regulators.”

The colors red and blue are particularly important for plant growth. The emission curve of the new red LED is a good match for the spectral sensitivity of chlorophyll. Depending on the type of plant and the growth phase, the ratio of red and blue has to be individually adjusted between 10 and 30%. Dr. Christoph Gärditz from the SSL Business Development department at OSRAM Opto Semiconductors explains: “If the emission curve of the light source is mapped against the spectral sensitivity curve of the plant (according to DIN 5031-10) the system luminous efficacy with LEDs is 60% higher than with the high-pressure sodium lamps currently used. The combination of deep red and blue LEDs offers impressive energy savings in this project as well.”



Picture: Fionia Lighting A/S  
<http://www.fionalighting.dk/>  
<http://www.osram-os.com/press>

Tailor-made light can have a positive effect on commercial horticulture, with every plant receiving precisely the light it needs.

#### ABOUT OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS

OSRAM is part of the Industry sector of Siemens and one of the two leading lighting manufacturers in the world. Its subsidiary, OSRAM Opto Semiconductors GmbH in Regensburg (Germany), offers its customers solutions based on semiconductor technology for lighting, sensor and visualization applications. OSRAM Opto Semiconductors has production sites in Regensburg (Germany) and Penang (Malaysia). Its headquarters for North America is in Sunnyvale (USA), and for Asia in Hong Kong. OSRAM Opto Semiconductors also has sales offices throughout the world. For more information go to [www.osram-os.com](http://www.osram-os.com). OSRAM, the parent company, offers its customers a complete supply chain in the LED sector including components, modules and solutions. More than 50% of annual outlay on research and development is devoted to these technologies.

#### PRESS CONTACT:

Marion Reichl

Tel. +49 941 850 1693

Fax +49 941 850 444 1693

Email: [marion.reichl@osram-os.com](mailto:marion.reichl@osram-os.com)

#### TECHNICAL INFORMATION:

Tel. +49 941 850 1700

Fax +49 941 850 3305

Email: [support@osram-os.com](mailto:support@osram-os.com)

Odense, 23 marts 2010

## **Gennembrud for LED-belysning.**

**Gartneriet PKM A/S og virksomheden Fionia Lighting A/S viser i storskalaforsøg at LED-belysning reducerer strømforbrug til belysning i gartnerier med op til 40%.**

På Gartneriet PKM A/S i Odense høster man nu frugterne af et storskalaforsøg med LED belysning af planter. Det er for første gang lykkedes et gartneri at producere og sælge LED-belyste planter på samme vilkår, som planter udsat for traditionel belysning.

Blot med den store forskel at LED-belysningen bruger ca. 40% mindre strøm.

Et normalt gartneri i Danmark har udgifter til elektricitet for op mod 6-7 mio. kroner om året, så det er et gennembrud med store perspektiver for branchen.

LED-projektet er et samarbejde mellem Gartneriet PKM A/S og den fynske virksomhed Fionia Lighting A/S. LED-armaturene er udviklet i samarbejde med Syddansk Universitet og med flere store virksomheder som underleverandører.

- Allerede i de første produktioner under LED-lyset, er det lykkedes os at producere potteplanter af samme høje kvalitet, som under traditionel væksthusbelysning. Det er meget positivt, og lover godt for den videre udvikling af LED-belysning, siger Erik Moes, produktions- og økonomidirektør på Gartneriet PKM A/S

Det store kommercielle gennembrud for LED-belysning i gartnerier forventes at ske i takt med at prisen på dioder falder.

- Vi har gennem vores samarbejde med en af verdens største diodeproducenter set diodeprisen komme stadig tættere på et punkt, hvor det bliver virkelig interessant. Og når det sker er vi klar, siger Jens Kristian Damsgaard, direktør i Fionia Lighting A/S.

LED-belysning giver bl.a. gartnerierne mulighed for at skrue op og ned for lyset efter behov og efter den aktuelle dagspris på EL. Men det er også et kompliceret produkt, der griber ind i hele gartneriernes økosystem. Der skal derfor tages hensyn til bl.a. temperatur, CO<sup>2</sup>, indkøb af EL og gartneriernes dyrkningspraksis.

Fionia Lighting A/S og Senmatic DGT Volmatic A/S, der leverer integrerede løsninger til gartnerier, indleder derfor et strategisk samarbejde. Det betyder at Fionia Lighting flytter sin udvikling og produktion fra Odense til Senmatic DGT Volmatic i Sønderød på Fyn.

- Vores fokus på energibesparelse og kompetencer i softwarebaseret klimastyring gør det helt naturligt, at vi ser på mulighederne for at integrere energibesparende LED-teknologi i vores produkter, siger Torben N. Hansen, adm. direktør i Senmatic A/S

### **Om Gartneriet PKM A/S**

Gartneriet PKM as beskæftiger 180 fuldtidsansatte medarbejdere og er verdens største producent af Campanula og blandt de førende producenter af kaktuskulturerne Schlumbergera og Rhipsalidopsis samt lavendler og juleroser. Gartneriet råder over 167.000 kvm. moderne væksthuseareal og 80.000 kvm. frilandsareal. Der produceres årligt ca. 20 mio. potteplanter, hvoraf 85 pct. afsættes på eksportmarkederne.  
[www.pkm.dk](http://www.pkm.dk)

### **Om Fionia Lighting A/S.**

Virksomheden blev i 2008 stiftet som et såkaldt spin-out selskab fra Syddansk Universitet. I 2009 modtog Fionia Lighting Simon Spies Fondens Klimapris, overrakt af klimaminister Connie Hedegaard. Ejer kredsen udgøres af Energi Invest Fyn A/S, Energi Fyn Holding A/S, Syddansk Teknologisk Innovation A/S, Gartneriet PKM A/S og GIH ApS.  
[www.fionalighting.dk](http://www.fionalighting.dk)

### **Om Senmatic DGT Volmatic A/S**

Senmatic er et selskab i Nielsen & Nielsen koncernen med hovedsæde i Sønderlø på Fyn. Senmatic DGT Volmatic har igennem 58 år specialiseret sig i udvikling, produktion og distribution af automatiske klima og vandingssystemer til den grønne branche. Virksomheden sælger udstyr og servicere danske gartnere gennem et godt netværk af forhandlere samt via eget salgs- og montørteam. Senmatic DGT Volmatic er stærkt repræsenteret i hele Skandinavien via lokalt forhandlernet. Flere europæiske lande betjenes efter samme metode.  
[www.senmatic.com](http://www.senmatic.com)

## **KONTAKT**

Erik Moes, produktions- og økonomidirektør, Gartneriet PKM A/S, mob. 40 162 501, mail: [emo@pkm.dk](mailto:emo@pkm.dk)  
Jens Kr. Damsgaard, direktør, Fionia Lighting A/S, mob: 31 787 780, mail: [jkd@energiinvestfyn.dk](mailto:jkd@energiinvestfyn.dk)  
Torben N. Hansen, adm. direktør, Senmatic A/S, mob: 40 502 495, mail: [tnh@senmatic.dk](mailto:tnh@senmatic.dk)

Regensburg, 21 September, 2010

## **Flower Power – bright LEDs for healthy plant growth**

High efficiency at 660 nm

**Golden DRAGON Plus and OSOLON SSL LEDs with their efficiency of 37% are among the most efficient light sources on the market in the deep red range (660 nm wavelength). Operators of commercial greenhouses will benefit from the high efficiency and the associated energy savings the new LEDs can deliver. In cooperation with Fionia Lighting A/S in Denmark a pilot project covering several thousand square meters of planting achieved energy savings of 40%.**

For plants to grow well in greenhouses they need the right temperature and also the right light. Light in the deep red spectrum plays an important role in plant growth because the absorption of chlorophyll in this red range is very high. Both Golden DRAGON Plus and OSOLON SSL now provide this deep red light with particularly high efficiency with typical power of 330 mW at an operating current of 400 mA. Their powerful chips are based on OSRAM's thin-film technology, and with a life of 100,000 hours they offer maintenance-free operation for many years.

Golden DRAGON Plus has a wide beam angle of 170° and can be used with good effect in reflector systems for illuminating large areas under cultivation. OSOLON SSL has a smaller footprint and a narrow beam angle of 80° which means they can be arranged close to one another. They can also be equipped with external optics. Their unique characteristics make them ideal for special applications such as "multi-layer cultivation" in which salad plants are grown on stacked levels. In this arrangement it is important for the lighting to be both compact and uniform.

A recent pilot project, completed in cooperation with Fionia Lighting A/S and the OSRAM distribution partner Arrow in Denmark, confirmed the enormous energy-saving potential of LEDs in horticultural applications. As part of the project, Fionia Lighting A/S developed a luminaire system specifically for greenhouses which was equipped with a total of approximately 50,000 Golden DRAGON Plus LEDs. Over a cultivated area of several thousand square meters it was possible to reduce power consumption by 40%. "Flowers cultivated under LED lighting developed just as quickly as the control specimens under conventional lighting. Also the flowers cultivated under the LED lights had more buds which attracted

higher sales prices”, said Thomas Rubaek of Fionia Lighting A/S with justified pride. “At the same time we were able to reduce the use of chemicals such as growth regulators.”

The colors red and blue are particularly important for plant growth. The emission curve of the new red LED is a good match for the spectral sensitivity of chlorophyll. Depending on the type of plant and the growth phase, the ratio of red and blue has to be individually adjusted between 10 and 30%. Dr. Christoph Gärditz from the SSL Business Development department at OSRAM Opto Semiconductors explains: “If the emission curve of the light source is mapped against the spectral sensitivity curve of the plant (according to DIN 5031-10) the system luminous efficacy with LEDs is 60% higher than with the high-pressure sodium lamps currently used. The combination of deep red and blue LEDs offers impressive energy savings in this project as well.”



Picture: Fionia Lighting A/S  
<http://www.fionalighting.dk/>  
<http://www.osram-os.com/press>

Tailor-made light can have a positive effect on commercial horticulture, with every plant receiving precisely the light it needs.

#### ABOUT OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS

OSRAM is part of the Industry sector of Siemens and one of the two leading lighting manufacturers in the world. Its subsidiary, OSRAM Opto Semiconductors GmbH in Regensburg (Germany), offers its customers solutions based on semiconductor technology for lighting, sensor and visualization applications. OSRAM Opto Semiconductors has production sites in Regensburg (Germany) and Penang (Malaysia). Its headquarters for North America is in Sunnyvale (USA), and for Asia in Hong Kong. OSRAM Opto Semiconductors also has sales offices throughout the world. For more information go to [www.osram-os.com](http://www.osram-os.com). OSRAM, the parent company, offers its customers a complete supply chain in the LED sector including components, modules and solutions. More than 50% of annual outlay on research and development is devoted to these technologies.

#### PRESS CONTACT:

Marion Reichl

Tel. +49 941 850 1693

Fax +49 941 850 444 1693

Email: [marion.reichl@osram-os.com](mailto:marion.reichl@osram-os.com)

#### TECHNICAL INFORMATION:

Tel. +49 941 850 1700

Fax +49 941 850 3305

Email: [support@osram-os.com](mailto:support@osram-os.com)



## TEKNOLOGI

Fionia Lighting modtog 1. februar Simonsens Fondens Klimapris på 150.000 kroner.

# Danske dioder kan halvere gartneriers energiforbrug

Fynske Fionia Lighting har udviklet en række automatiske diodearmaturer, der kan op mod halvere energiforbruget i gartnerier.

### ENERGI

Af Tommy Brandt Krog tkk@ing.dk

Hemmeligheden bag den danske virksomhed Fionia Lightings teknologi er en kombination af diodeteknologi og planters morfologi. LED-lys bruger kun cirka halvt så meget strøm som de gangse natriumlamper, og desuden kan dioder styres langt mere præcist, så de eksempelvis automatisk dæmper lysstyrken, når solen bryder frem.

Den anden halvdel af hemmeligheden handler som nævnt om biologi. I samarbejde med flere af de største danske gartnerier har Fionia Lightings ingeniører kortlagt lysbehovet for flere end ti af de mest gangse plantetyper i gartnerihvervet for at finde den optimale kombination af

røde og blå farver i dioderne, fortæller civilingeniør Thomas Rubæk, der har speciale i bioteknisk processtyring:

»Med diodeteknologien kan vi styre lyset præcis derhen på planten, hvor den har mest brug for det – og ikke alle mulige andre steder hen. Ved at tage eksempelvis tomater og rosers fingeraftryk kan vi så at sige skræddersy vores armaturer til den enkelte plantetype.«

Netop udmåling af fotosynteseprocessen i de enkelte plantetyper, der er sket via et bioreaktorsystem, har været den klart største udfordring i det

tre år lange udviklingsarbejde, uddyber Thomas Rubæk.

### Tjent hjem på tre år

Fionia Lighting har ikke selv udviklet dioderne, der fås i et hav af varianter, men alene arbejdet med at optimere farvesammensætningen. Diodearmaturerne er omtrent halvt så store som traditionelle natriumarmaturer, cirka 15x30 centimeter, og rummer hver især op mod 300 dioder. Firmaet, der udspringer af forskningsmiljøet på Syddansk Universitet, har brugt tre år på at opbygge sin viden om dioder og planter og forventer i løbet af foråret 2010 at kunne udbyde de første skræddersyede lysløsninger til gartneribranchen.

I indkøb er diodearmaturer to-tre gange så dyre som natriumlamper, men med en halvering af elforbruget vil investeringen være betalt tilbage i løbet af højst tre år, vurderer Fionia Lighting. Strøm likviditet i gartnerierhvervet udgør dog en risiko for den energivenlige teknologis udbredelse, medgiver Thomas Rubæk: »Derfor overvejer vi lige nu mulig-



heden for at få en ekstern kapitalpartner ind, som kan finansiere armaturerne i første omgang og så få penge ind, efterhånden som energibesparelserne kommer i hus.»

Diodearmaturerne har løbende været afprøvet på danske gartnerier, og i løbet af efteråret ventes teknologien for første gang afprøvet på et komplet drivhus.

Store internationale producenter af lys til gartneribranchen, som Philips, arbejder på lignende løsninger, men Fionia Lighting forventer at være



**Ved at tage eksempelvis tomater og rosers fingeraftryk kan vi så at sige skræddersy vores armaturer til den enkelte plantetype.**

Thomas Rubæk,  
Fionia Lighting

**ISAMARBEJDE** med flere af de største danske gartnerier har Fionia Lightings ingeniører kortlagt lysbehovet for mere end ti af de mest gangse plantetyper i gartnerihvervet. Arkivfoto

blandt de første til at uddybe nøglefærdige løsninger på verdensmarkedet. Bag virksomheden står blandt andet Energi Invest Fyn, som er etableret af Energi Fyn og Syddansk Universitet med det formål at kommerciellere energiteknologi. ■

**Johnny Drud**

- 26 år
- Bor i Odense
- Uddannelse: it- og elektronikteknolog
- Softwareudvikler hos redWEB

Tekst: Johan Rasmussen Illustration: Mark Airs

# LED giver lys i drivhuset

**It- og elektronikteknolog Johnny Druds afgangprojekt fra Syddansk Erhvervsskole er blevet en del af en ny dansk lysteknologi, der kan skære 50 procent af gartneriernes energiforbrug.**

Det er langt fra alle afgangsp projekter fra en videregående uddannelse, der kan være med til at skære en halv procent af Danmarks samlede CO<sub>2</sub>-udslip.

Den nyuddannede it- og elektronikteknolog Johnny Druds afgangprojekt fra Syddansk Erhvervsskole i Odense er dog et af dem.

I samarbejde med virksomheden Fionia Lightning har Johnny Drud udvik-

let hardware og software til en helt ny lysteknologi til gartnerier. Det kan spare store mængder strøm til gavn for miljøet og gartneriernes pengepunge.

"Jeg har udviklet et softwaresystem, så gartneren fra en computer kan overvåge og styre lysintensiteten for lysarmaturer i hele gartneriet. Armaturerne kan udstyres med sensorer, der kan måle luftfugtighed, lyset udefra og temperaturen i rummet. De enkelte armaturer kan justeres i forhold til de data, som sensorerne indsamler. På den måde kan man optimere planternes fotosyntese, og gartnerierne vil derfor ikke som i dag skulle bruge unødigt meget strøm," fortæller Johnny Drud.

## Lyset skal styres

I dag bruger de fleste danske gartnerier natriumlamper til at give lys og varme til grønsager og afgrøder.

Med Fionia Lightnings nye teknologi udskiftes de energikrævende natrium-

lamper med diodelys, også kaldet LED-lys. Resultatet er et halveret strømforbrug og muligheden for at styre lyset alt efter, om solen skinner eller der er overskyet.

"En del af min opgave bestod i at skrive programkode, der gør det muligt at følge temperatur udviklingen på armaturerne. På den måde vil det hurtigt blive opdaget, hvis et armatur er blevet for varmt, og der måske er fare for, at det kan tage skade af varmen. Jeg programmerede også et modul til eksport af data og en alarm, der gør det muligt at overvåge, hvornår de enkelte armaturer har været tændt og slukket, så der kan reageres, inden planterne risikerer at blive ødelagt pga. manglende belysning," forklarer Johnny Drud.

Teknologien bliver i øjeblikket testet i forskellige gartnerier i Danmark, og alt tyder på, at de fleste gartnerier inden længe kan udskifte de gamle natriumlamper med den intelligente styring af LED-lys. ■

## Store besparelser på LED

- Danske gartnerier bruger 250 mio. kwh/året
- Det svarer til ca. 470.000 ton CO<sub>2</sub> om året – én procent af Danmarks samlede CO<sub>2</sub>-udledning.
- LED-teknologien kan halvere udledningen af gartneriernes CO<sub>2</sub>
- Primære afgrøder er potteplanter, tomater og agurker

FAKTA

- 1 Sensorer registrerer, om solen skinner eller der er overskyet.
- 2 Lysarmatur. De gamle natriumlamper er erstattet af energibesparende diodelys og lysstyrken bliver automatisk reguleret op og ned afhængig af meldingerne fra sensorerne.
- 3 Lys består af bølger, og hver planteart har sin favoritbølgelængde. Lamperne kan indstilles, så de kun sender lys ved den bølgelængde, der passer til f.eks. en tomatplante.
- 4 Gartneren kan fra computeren overvåge og styre lys-intensiteten i hele gartneriet. Elektronikteknolog Johnny Drud har bidraget med løsninger til denne del af projektet.
- 5 Strømforbruget falder. Fiona Lightning forventer en halvering.



# Dansk LED lampe på vej

Fionia Lighting har hængt LED lamper op i et 1.500 m<sup>2</sup> stort væksthuse i Gartneriet PKM. Et storskala forsøg skal afgøre de dansk producerede lampers fremtid, og forventningerne er store

Det begynde som et forskningsprojekt ved Syddansk Universitet. En gruppe forskere ville undersøge forskellige planters respons på forskellige typer af lys. Og resultaterne var lovende. Så lovende, at det blev besluttet at etablere virksomheden Fionia Lighting med det mål at udvikle kommercielle LED lamper til vækstlys i gartnerier. Hovedaktionærer i den nye virksomhed er EnergiFyn og Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, der også har ydet støtte til udviklingsprojektet.

- Vores udgangspunkt er både biologisk og teknisk. Vi ser på potentialet fra plantens synsvinkel. Det er fotosyntese, der er vores spidskompetence, siger Thomas Rubæk fra Fionia Lighting.

Derfor er et væsentligt værktøj i Fionia Lightings udviklingsarbejde en laboratorieopstilling, hvor forskellige planters respons på lyset kan måles. Det er nemlig ikke alle planter, der reagerer på de samme bølgelængder af lys, og derfor er det ikke nok at udvikle en lampe med en given spektralfordeling. Lampen skal så at sige skræddersys til kulturen.

- Ideen er, at gartneriet skal kunne ringe ind og bestille lamper med præcist den spektralfordeling, han har brug for til sin kultur. Eller måske snarere at vi kan hjælpe ham til at finde frem til den rigtige fordeling af rødt og blå lys og på den baggrund producere lampen, forklarer Thomas Rubæk.

## Testes i to år

Fionia Lightings projekt er for længst nået ud over laboratoriets grænser, for når målet er at udvikle kommercielle produkter, er en laboratorieafprøvning ikke nok. Produkterne skal vise, hvad de dur til ude i den virkelige verden.

Derfor har Fionia Lighting i samarbejde med Gartneriet PKM netop taget hul på en toårig testperiode, hvor de nye LED lamper er ophængt i halvdelen af et 1.500 m<sup>2</sup> stort væksthuse i gartneriet, mens konventionelle vækstlyslamper leverer lyset i den anden halvdel. Dermed kan to identiske plantehold under de to forskellige vækstlyskilder løbende sammenlignes.

I Gartneriet PKM er det først og frem-

*Fionia Lighting og Gartneriet PKM har indledt et samarbejde om at teste og videreudvikle LED lamper til vækstlys.*



*Erik Moes og Thomas Rubæk har begge store forventninger til LED lampernes potentiale i væksthushgartnerier.*

mest Campanula kulturen, der er interessant i forsøget, da det er den, der kræver meget tilskudslys.

LED lamper er som bekendt et omdiskuteret fænomen i gartneribranchen, og det, man hører, er ofte, at lamperne endnu er for dyre og for dårlige til at være interessante.

- Det hører vi selvfølgelig også. Men her i gartneriet holder vi os orienteret, og når vi ser noget interessant, vil vi også gerne være med i udviklingsfasen. Og for os er det meget interessant, når det teoretisk skulle være muligt at spare 50% af strømforbruget, understreger produktionsdirektør Erik Moes, Gartneriet PKM, der ikke lægger skjul på, at han har store forventninger til lamperne fra Fionia Lighting.

### Store forventninger

I løbet af de kommende to år testes alle aspekter af LED lamperne anvendt som vækstlys til Campanula i Gartneriet PKM, og parallelt kører mindre afprøvninger i andre gartnerier med andre kulturer.

- Vi vil måle kulturtid, registrere kvalitet, holdbarhed frisk- og tørvægt, og vi vil også undersøge, om LED lyset har indflydelse på den biologiske bekæmpelse, vi arbejder med i gartneriet. Vi ved jo i hvert fald, at skadedyr trækker på forskellige farver, så måske har lyset også indflydelse i den sammenhæng, siger Erik Moes, der understreger, at han afventer forsøgsresultaterne med et åbent sind.

- Det nytter ikke noget at være forudindtaget, før vi har nogen resultater overheadet. Men det ville da være skønt, hvis planterne blev lige så gode eller - måske - endnu bedre takket være LED lyset. Og jeg må da indrømme, at jeg bliver skuffet hvis de ikke gør, men nu må vi først skaffe os beviserne for, at det virker, pointerer Erik Moes.

I forsøgsopstillingen i gartneriet hænger lamperne meget tæt, men den færdigudviklede lampe vil kunne dække et areal på 10 m<sup>2</sup>, forsikrer Thomas Rubæk. Han forklarer også, at LED lamper i modsætning til konventionelle lamper vil kunne juste-



res til at dække et areal præcist, således at der ikke skal overlap til som hidtil.

### Kun lige begyndt

Som det ser ud nu, har LED lamperne en brændtid på 50.000 timer svarende til cirka 10 år ved væksthushbrug. Fionia Lighting har udviklet teknik til den nødvendige køling af lamperne. Den arbejder med vandkøling, så den overskydende varme opsamles i kølevandet, der ledes ned i væksthushusets varmesystem og således kommer til nytte.

Når det gælder LED lampernes fremtid i vækstlyssammenhæng, er Thomas Rubæk ikke i tvivl om, at den tegner lys og lovende.

- Det er rigtigt, at lamperne stadig er for dyre. Men LED belysning er noget helt nyt, hvorimod det eksisterende udstyr er ved at

have nået sin begrænsning. Det kan snart ikke udvikles yderligere, mens udviklingen af LED teknologien kun lige er begyndt. Det forventes faktisk, at lampernes effektivitet vil vokse med 30-40% om året i de kommende år, og så varer det ikke længe, før de også bliver kommercielt interessante for væksthushusproducenter, siger Thomas Rubæk.

Fionia Lighting er en lille spiller på et stort marked og holder i sagens natur sine kort tæt ind til kroppen. Af samme grund samles lamperne internt i virksomheden på Fyn på grundlag af komponenter fra en række underleverandører.

Thomas Rubæk forventer, at Fionia Lighting vil være klar med et kommercielt interessant produkt, inden testperioden på de to år er afsluttet.



# Fynsk samarbejde blomstrer

Forsøg i Odense kan give gevinst til flere fynske virksomheder, når drivhus-belysning med dioder får sit kommercielle gennembrud

Gartneriet PKM producerer cirka 20 millioner pottedplanter om året, så der er godt blus på lamperne i drivhusene nord for Odense, hvor campenulaer, kaktusser og lavendler strækker sig i lange rækker. Og det bærer el-regningen præg af.

Et almindeligt dansk gartneri har nemlig el-udgifter på op til 6-7 millioner kroner om året, så foranstaltninger, der kan nedbringe strømforbruget, er mere end velkomne – ikke kun hos PKM, men i hele gartneribranchen.

Der er derfor stor interesse for et fynsk forsøg, som har gjort det muligt for PKM at producere og sælge LED-belyste planter på samme vilkår som planter udsat for traditionel belysning. Blot med den store forskel at LED-belysningen reducerer elforbruget med 40 procent. Forsøget på PKM er et mønstereksempel på, at samarbejde på tværs kan bane vejen for regional udvikling og konkurrencedygtighed inden for flere brancher. Syddansk Universitet, lokale virksomheder og Energi Fyn har alle bidraget til projektet, som kan bringe Fyn i spidsen for et kommercielt gennembrud for LED-belysning i gartnerier.

## Samarbejde på tværs

Virksomheden Fionia Lighting, der har gennemført projektet sammen med gartneriet, er udsprunget af forskning på Syddansk Universitet, og forskere på universitetet har således været med til at udvikle de særlige LED-armaturer til gartneriet.

Virksomheden tæller i sin ejerkreds selskaber under Energi Fyn, som jo er stærkt interesseret i energibesparende foranstaltninger, og samtidig har flere store virksomheder været involveret i projektet som underleverandører.

Seneste udvikling er et strategisk samarbejde mellem Fionia Lighting og Senmatic DGT Volmatic i Sønder sø, som leverer klima og vandingssystemer til gartnerier og således har tæt kontakt med gartneribranchen.

Samarbejdet skal sikre, at de fynske virksomheder står klar til at høste frugterne af LED-udviklingsarbejdet, når denne form for diode-belysning for alvor slår igennem i gartnerierne. Fionia Lighting flytter derfor sin udvikling og produktion til Senmatic. – Vores fokus på energibesparelser og kompetencer i softwarebaseret klimastyring gør det helt naturligt, at vi ser på mulighederne for at integrere energibesparende LED-teknologi i vores produkter, siger Torben N. Hansen, der er administrerende direktør i Senmatic.

Af Bente Dalgaard, bda@sdu.dk

## FAKTA

### LED (Light Emission Diode)

LED er engelsk og betyder Light Emitting Diode eller på dansk kaldet lysdiode.

Lysdioder eller LEDs er små elektriske komponenter, som udsender lys, når der løber strøm igennem.

Der forskes på højtryk for at få produceret ekstremt effektive LED pærer til at erstatte den konventionelle form for belysning (gløde-, halogen- og energisparepærer). De vil gøre det muligt at sætte verdens energiforbrug betydeligt ned.

## LED-belysning kan spare danske gartnerier for millioner

Et forsøg med 750 kvadratmeter drivhus viste, at LED-belysning kunne fjerne 40 procent af elforbruget. Med en udgift på mellem seks og syv millioner kroner årligt på regningen for danske gartnerier er der store penge at spare.

Af Stefan Petersen, lørdag 17. jul 2010 kl. 12:00

Gartneriernes grønne drivhuse har en knap så grøn side. Danske gartnerier bruger nemlig mellem 6-7 millioner årligt på elregningen, og lysinstallationer på 75-150 watt per kvadratmeter er standarden, mens nogle ligger på omkring 200 watt per kvadratmeter.

Men det forsøger en fynsk virksomhed at gøre noget ved. Fionia Lighting udspringer af en ide om at bruge LED belysning til at reducere energiforbruget i drivhuse, og det første storskalaforøg er afsluttet.

40 % røg der af elforbruget på det 750 kvadratmeter drivhus, som Gartneriet PKM stillede til rådighed. Og det er gode resultater for et gartneri med 167.000 kvadratmeter drivhuse.

»I den her tid med meget fokus på CO2 og gartnere, der bliver udsat for flere restriktioner, så gælder det om at reducere energiforbruget. Og i sidste ende handler det om kroner og ører på regningen,« siger Thomas Rubæk, der er udviklingsingeniør hos Fionia Lighting.

LED-lamperne giver trods deres smalle elforbrug det helt rigtige lys til planter. Planter opfanger nemlig bedst fotonerne i det blå og røde spektrum, så der er ikke nogen grund til at bruge energi på det hvide og orange lys.

Derfor arbejder Fionia Lighting med typiske lysfrekvenser på 450 og 660 Hz. Men der bliver også brugt andre frekvenser, og LED-lysene baner vejen for nye måder at påvirke planternes vækst med forskellige lyssammensætninger.

»Vi kan give dem det rigtige spektrum, så roser kan få flere knopper. Og vi kan sætte et spektrum til tomatplanter, som kan fokusere på frugtdannelsen. Alt efter hvilket krav gartnerne har til deres afgrøder, så kan vi påvirke dem i de rigtige områder,« siger Thomas Rubæk.

Og det er ikke kun virksomheden selv, der er begejstret for idéen om LED-belyste planter. Efter at have deltaget i forsøget valgte Gartneriet PKM at købe sig ind i Fionia Lighting.

Hvert år sælger gartneriet 20 millioner potteplanter, hvoraf 85 % er til eksport. Så det er et erfarent Gartneri, der under forsøgsperioden har solgt LED-belyste planter under samme vilkår som de sædvanlige.

Og her er man ikke i tvivl om, at der er fremtid for LED-belysning i Gartnerier.

»Jeg ser store muligheder i det. På sigt kan det udkonkurrere traditionel belysning, og så er der et meget stort verdensmarked,« siger produktions- og økonomidirektør på Gartneriet PKM, Erik Moes.

### LED er stadig en stor investering

Men hæmskoen er prisen, ligesom for mange andre nye produkter. Målsætningen for Fionia Lighting er at nå en tilbagebetalingstid på fire år for gartnerierne. Men den kan ikke nås, før priserne på komponenterne falder. Det sker formentlig først, hvis en masseproduktion af komponenterne starter.

»Vi kan stort set ikke påvirke LED-priserne. Men med den efterspørgsel, der er på LED-produkter kan vi godt reducere tilbagebetalingsperioden inden for en fornuftig tidsramme,« siger Thomas Rubæk.

Næste trin for Fionia Lighting bliver at opbygge et demonstrationsanlæg på 3000 kvadratmeter, hvor de nye LED-lys kan demonstreres og sammenlignes med de traditionelle.