

**Public Service Obligation project**

**PSO 340-026 HIGH QUALITY DANISH DESIGN WITH INTELLIGENT LED LIGHT.**

FINAL REPORT FEBRUARY 2010



DELTAGERE: DTU FOTONIK, JESPER OLSEN, MORFOSO

**MORFOSO**

## BAGGRUND

PSO projekt 337-068 "udvikling af LED lyskilder og lamper" påviste at det er muligt at designe og udvikle lamper der rent energimæssigt og lysstyrkemæssigt er i stand til at erstatte glødetråds- og halogen lyskilde belysning.

Formålet med dette nye projekt har været at bygge videre på danske og udenlandske designeres viden om integration af LED i design, for herigennem i et samarbejde mellem nogle af Danmarks bedste industrielle designere, MORFOSO og DTU- Fotonik, at sikre forbrugere den lyskvalitet som vi har stolte traditioner for i Danmark og for at forhindre at energibesparende belysning fravælges på grund af dårlig kvalitet.

Ved at skifte til en energibesparende belysning baseret på LED integreret i godt dansk design, i private hjem og på arbejdspladsen, kan forbrugeren sikre sig en reduktion i elforbruget og derved en reduceret udledning af CO<sub>2</sub>. Samtidigt med at de bevarer den gode lyskvalitet og det fornødne belysningsniveau.

Projektet har resulteret i design og konceptudvikling af energibesparende LED baserede belysningstyper med mulighed for brugerdefineret tilpasning af lyset hvad angår lysets intensitet, farvetone og farvegengivelse, alt afhængigt af brugerens individuelle behov.

**MORFOSO**

## FORMÅL

Projektgruppen har ønsket at arbejde videre på det fundament der blev grundlagt i PSO projekt 337-068, hvor designere, belysningsproducenter og forskere som et hold, for alvor transformerede LED teknologien fra et teknologisk potentiale til håndgribelige produkter til gavn for forbrugeren og på sigt for miljøet.

Ved at lade design, lyskvalitet og energibesparelser mødes i konkrete LED baserede belysningsløsninger har det været projektgruppens mål at markedsføre højkvalitetsbelysning i gennemført tidløst design, som et reelt alternativ til sparepærer, med alle LED teknologiens fordele, så som farvetemperatur (farvetone), farvegengivelse, levetid og frihedsgrader i design.

Nogle af danmarksk bedste nulevende designere indenfor industrielt design gav i det første PSO samarbejde, deres bud på fremtidens LED belysning. Igen i dette projekt gør det sig gældende, der har sågar i dette projekt været plads til at også internationale navne har medvirket til løsning af projektets målsætning.

Projektgruppens mål var fra start, udvikling og konstruktion af minimum tre armaturer eller applikationer, hvoraf armaturløsningerne forventedes at tage form som pendel, bord- eller gulvlampe og i applikationsform rette fokus mod brug i loft, over eller ved bord og ved eller over sofa eller sidde møbel.

## SPECIFIKKE KRAV

Belysningsløsningerne skal leve op til Elsparefondens krav til A-sparepærer, hvad angår levetid men med følgende skærpede krav:

- Leverer en effektivitet på minimum 60 lm/w
- Som minimum leverer en farvegengivelse (CRI) på 90
- I én indstilling kunne præstere en farvetemperatur på mellem 2500K og 4300K ("varmt lys")
- I én indstilling kunne præstere en farvetemperatur på mellem 4000K og 6000K ("koldt lys")

# MORFOSO

En gennemsnitlig sparepære solgt på detailmarkedet leverer lys i forholdet lumen/watt altså lys pr. energienhed på mellem 47-52 Lm/ w. Enkelte diodeproducenter er på markedet med dioder der leverer 60 lm/w eller derover, hvilket betyder at det er muligt at reducere energiforbruget yderligere i forhold til brugen af sparepærer ved at skifte til LED. Derudover kommer muligheden for at kombinere dioder og blande farver så en farvegengivelse eller CRI overstiger det der er kommercielt tilgængeligt indenfor traditionel energibesparende belysning.

Der er derfor i samtlige applikationer og armaturløsninger lagt vægt på forbrugers mulighed for individuelt at justere lyset med hensyn til intensitet, farvetemperatur og farvegengivelse samt hvor det er formålstjenstligt, via lysstyring at indarbejde armaturets samspil med tilskudslys fra f.eks. dagslys eller andre belysningsformer, således at armaturet f.eks. dæmper lyset når det er fuldt dagslys og et givent belysningsniveau i lokalet er opfyldt.

#### DELTAGERE

Paul Michael Petersen- DTU, Carsten Dam-Hansen- DTU, Birgitte Thestrup- DTU, Henrik Pedersen- DTU, Jesper Olsen- Jesper Olsen, Hans Falleboe- MORFOSO, Jakob Andersen- MORFOSO.

#### PROJEKTLEDELSE

Jakob Andersen- MORFOSO.

# MORFOSO

## PROJEKTETS RELEVANS

I USA foretog Department Of Energy (DOE) i 2006/2007 en evaluering af kommercielt tilgængelige belysningsprodukter baseret på LED. Samtlige testede produkter fejlede med hensyn til energieffektivitet samt lysudbytte, i forhold til producentens oplysninger. De eneste produkter der reelt var i stand til at give forbrugeren en energibesparelse i forhold til gløde- og sparepærer fejlede med mellem 30%-90% med hensyn til lysudbytte.

Generelt for alle produkter var farvegengivelsen på højde med eller lavere end farvegengivelsen for kommercielt tilgængelige sparepærer.

Dette har ved dette projekts opstart givet Danmark en enestående chance for at tage téten med hensyn til design og udvikling af troværdig, energieffektiv LED belysning med farvegengivelse i særklasse.

Projektgruppen har gennem samarbejdet mellem designere og de bedste danske forskere indenfor LED og optik, arbejdet målrettet på at sikre dansk energiforskning en førsteplads indenfor effektiv energianvendelse. Herved kan danske og internationale forbrugere sikres LED baserede belysningsprodukter af høj kvalitet med lavt energiforbrug, samt mulighed for at anvende LED teknologiens fordele med hensyn til dynamisk lysstyring samt unik farvegengivelse.

Miljøministeriet og Transport- og Energiministeriet igangsatte kampagnen "1 ton mindre" for at reducere den private forbrugers udledning af CO<sub>2</sub> med 1 ton årligt. Foruden efterisolering, og udskiftning af hårde hvidevarer, er belysning det område i private hjem hvor udledningen af CO<sub>2</sub> kan reduceres mest ved at skifte belysningen til energibesparende belysning. En reduktion på 180w (f.eks. 3x60w) glødepærerlys udskiftet til sparepære eller LED vil reducere udledningen med 100 kg/ år, altså en tiendedel af regeringens målsætning for den enkelte forbruger alene ved et skift til energibesparende belysning. Endvidere bør det nævnes at ca. 75% af al belysning i private hjem er gløde- eller halogenlyskilde baseret, hvorfor en skitseret reduktion på 100kg CO<sub>2</sub> årligt vil være et absolut minimum ved et skift. Da LED armaturers virkningsgrad grundet konstruktion og design, oftest er højere end armaturvirkningsgraden for sparepærebelysning, vil et skift til LED bidrage til en markant højere reduktion af udledningen af CO<sub>2</sub> end ved blot at skifte til A-sparepærer.

# MORFOSO

Dette projekt skal bidrage til opretholdelsen af den gode lyskvalitet ved skiftet til energibesparende belysning og samtidigt sikre at forbrugeren får en god oplevelse med LED belysning og ikke fravælger energibesparelsespotentialen til fordel for et langt bedre men mere energiforbrugende glødelys.

Miljøministeriets beregning lægger til grund at der forudsættes en belysning der i private hjem er tændt 4 timer dagligt. Projektgruppen tilsigter at anvende LED kombinationen af dynamisk lysstyring og høje farvegengivelse i arbejdspladsbelysning hvor der finder langt længere daglig brændetid sted. Hvorfor der ved en inddragelse af en arbejdsbelysnings betragtning forefindes en mere end dobbelt så stort miljømæssig gevinst forbundet med udviklingen af og skift til LED armaturer både i private hjem, på private - og offentlige arbejdspladser samt i det offentlige rum.

**MORFOSO**

## FREMGANGSMÅDE

Der har igennem projektet været arbejdet med to markante indsatsområder jf. projektets problemstilling. Det ene målrettet den private forbruger i eget hjem, men ikke begrænset hertil. Og den professionelle bruger af arbejdsbelysning, men ikke begrænset til arbejds-specifikt lys. Det vil sige, der er arbejdet med belysning til hjemmet som opfylder krav der gør belysningen anvendelig i arbejdsrelaterede sammenhænge og der er ligeledes arbejdet med arbejdspladsbelysning der opfylder generelle lysfunktionskrav der gør arbejdsbelysningen brugbar i mange generelle belysnings situationer.

Det er primært Jesper Olsen der har forestået arbejdsbelysningen i samarbejde med DTU-fotonik hvor MORFOSO ved Jakob Andersen og Hans Falleboe har arbejdet med belysning målrettet det generelle belysningsaspekt.

Der er i begge forskningsspor arbejdet med behov, krav og begrænsninger. Arbejdsbelysningen er udviklet med afsæt i tre arbejdsscenerier, gruppearbejde, analogt arbejde og digitalt arbejde dvs. henholdsvis mødeaktivitet, læse/skrive arbejde og det som dansk standard meget moderne kalder "skærmterminal arbejde", altså arbejde med PC, skærme og monitorer.

Udfordringen med den generelle belysning er gennemarbejdet med udgangspunkt i lyskvalitetskravene i projektets formål. Der er bevidst arbejdet efter den generelt bedst mulige lyskvalitet og intensitet til generelle formål. Altså ikke-opgave-specifikke formål.

# MORFOSO

GENEREL BELYSNING - Tablelamp

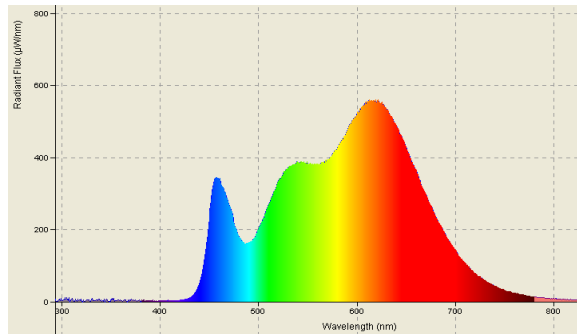
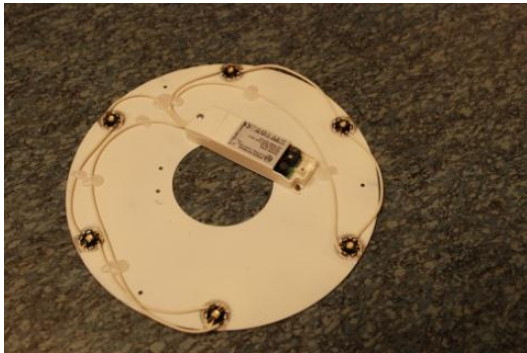


MORFOSO

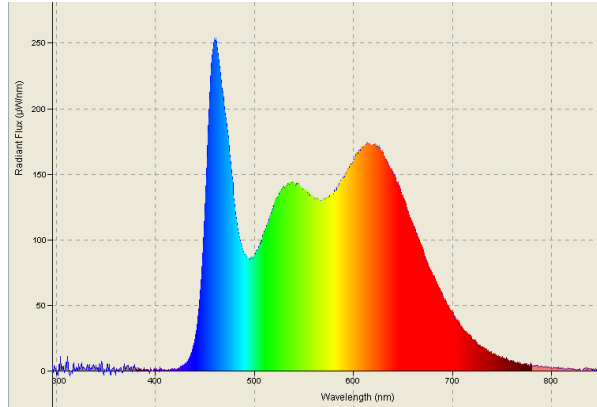


For at påvise potentialet i at indbygge den udviklede teknologi i eksisterende LED armaturer og derved gøre den kommercielt tilgængelig har MORFOSO udviklet flere typer LED lamper, med to forskellige korrelerede farvetemperaturer, ved hhv. 3300 K og ved 4400 K.

DTU Fotonik har udført lystekniske målinger på lamperne og billeder af dele af lamperne og de målte spektralfordelinger er vist herunder.



MORFOSO



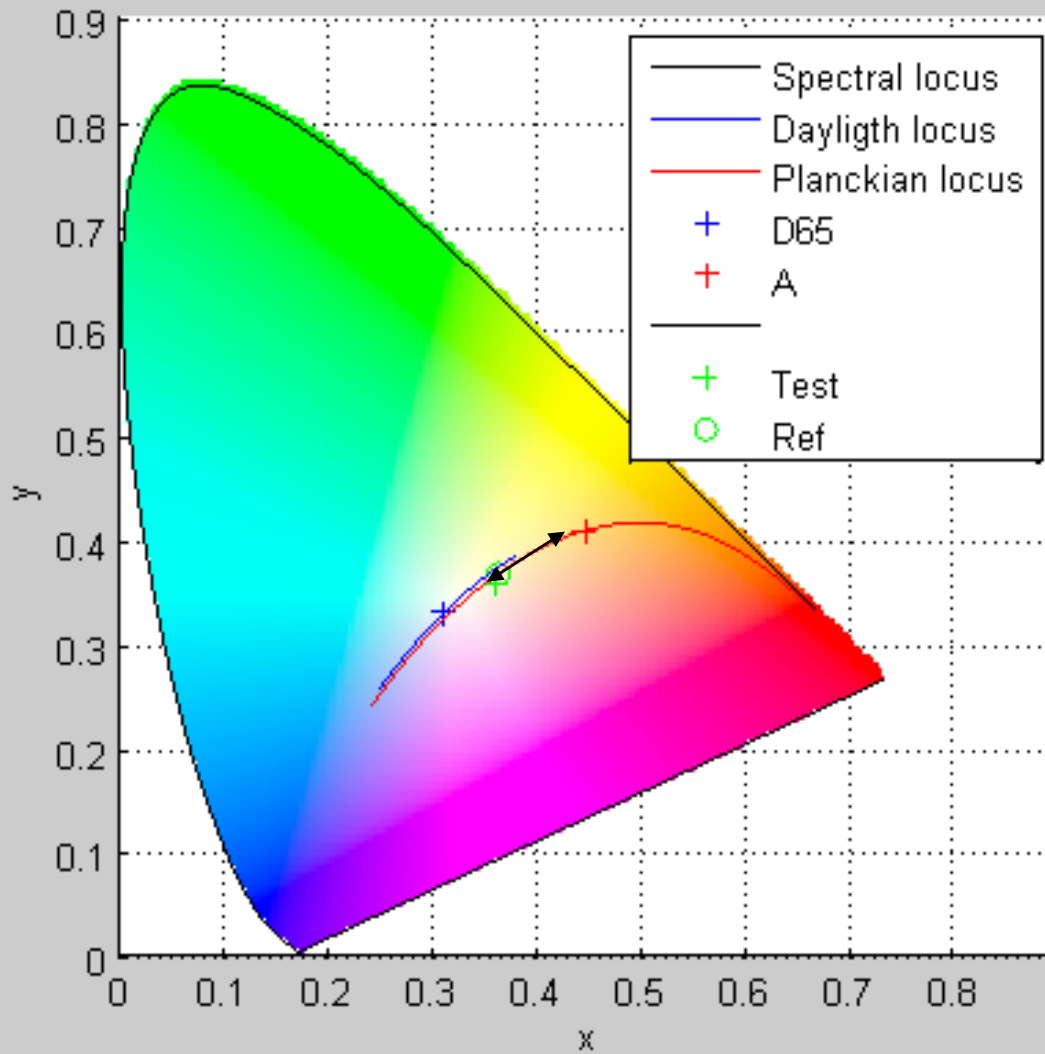
Sidst i denne rapport er indsat Light measurement reports for disse to målinger. Begge typer af hvidt lys ligger meget tæt på hvidt lys fra en temperaturstråler og udmærker sig ved en kontinuert spektral fordeling af lyset fra omkring 430 nm til 770 nm. Dette er medvirkende til en meget høj farvegengivelse givet ved et Ra-indeks på hhv. 94.0 og 94.1, hvilket er tilstrækkeligt til krævende arbejdsopgaver.

Der udvikles en lampe med MORFOSOs design som kan give et høj kvalitets lys med variable korreleret farvetemperatur og med et højt Ra-indeks på minimum 90 over hele indstillings området. Variations området er fra 3300 K til 4400 K med kontinuert variation imellem disse farvetemperaturer. Derudover kan lyset dæmpes ved de forskellige indstillinger af farvetemperaturen.

På kromaticitets diagrammet herunder ses den sorte linie med pil i begge ender. Linien indikerer de toner af hvidt lys som lampen vil kunne indstilles til. Linien indikerer kromaticitets koordinaterne for lampen som vil bevæge sig langs denne linie, som ligger helt tæt op ad kurven for en temperaturstråler, som er referencen (det bedste) for hvidt lys. Endepunkterne af linien er hhv. 3300 K og 4400 K.

# MORFOSO

CIE 1931 xy chromaticity diagram



MORFOSO

# Light measurement report

**Light source:** Morfoso LED lamp

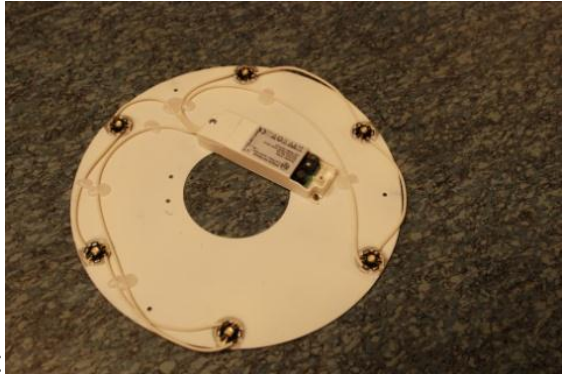
**Operating conditions:** Vertical operation base down in free air,  $T_{amb}$   
= 25 °C

In operation 30 min before measurement,  
 $T_{bulb}$  = °C

**Measurement conditions:** Part of total radians is measured using a spectroradiometer with a fibercoupled 40 inch integrating. The light source is mounted on the side of the sphere through a 3 inch aperture. Spectral measurement from 200-1000 nm.

MORFOSO

Photo:



C

**Measured spectral distribution:**

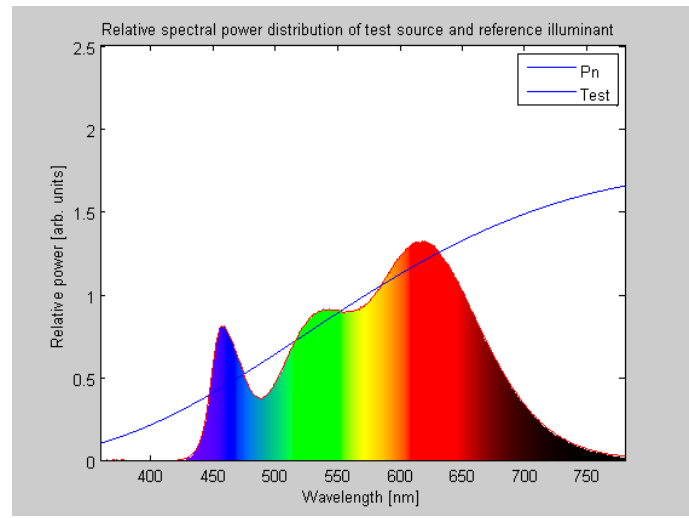
wavelength range 200 – 1000 nm

Small part of total flux:

Radiant flux:

$\Phi = 94.1 \text{ mW}$

Luminous flux:



MORFOSO

$\Phi_v = 28.4 \text{ lm}$

Color characteristics:

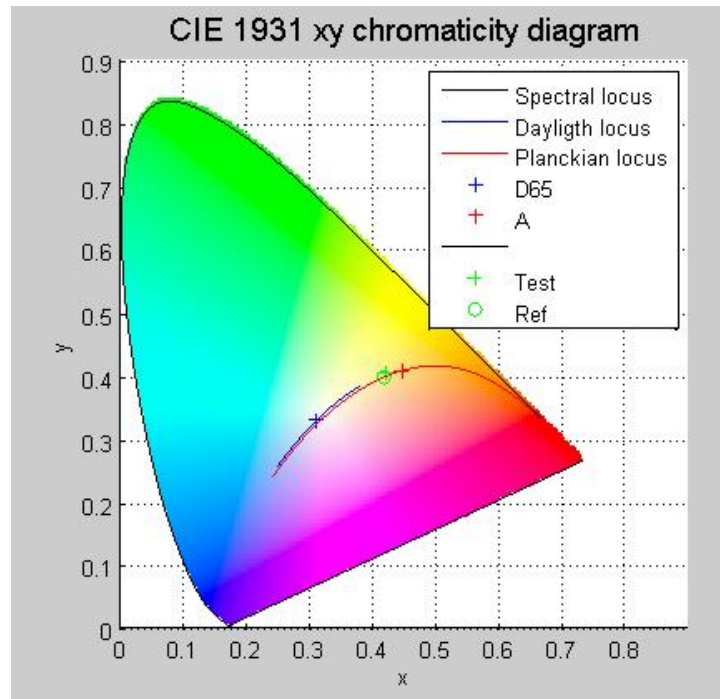
Color coordinates:

$x = 0.4217$

$y = 0.4041$

Correlated color temperature:

CCT = 3267 K



MORFOSO















**Color rendering:**

(CIE 13.3.-1995)

CRI = 94.0 [Planckian 3267 K]

CD =  $2.4 \cdot 10^{-3}$

Note: the CD is within the limit value  $5.4 \cdot 10^{-3}$  recommended by CIE.

i	Appearance under daylight	Swatch	CRI i
1	Light greyish red		95.7
2	Dark greyish yellow		98.0
3	Strong yellow green		98.1
4	Moderate yellowish green		93.6
5	Light bluish green		93.6
6	Light blue		96.8
7	Light violet		92.2
8	Light reddish purple		83.9
9	Strong red		62.5
10	Strong yellow		92.4
11	Strong green		95.4
12	Strong blue		72.7
13	Light yellowish pink (skin)		97.1
14	Moderate olive green (leaf)		97.7

**MORFOSO**

## Light measurement report

**Light source:**

Morfoso LED lamp

**Operating conditions:**

Vertical operation base down in free air,  $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

In operation 30 min before measurement,  $T_{bulb} = \text{ }^{\circ}\text{C}$

**Measurement conditions:**

Part of total radiance is measured using a spectroradiometer with a fibercoupled 40 inch integrating. The light source is mounted on the side of the sphere through a 3 inch aperture. Spectral measurement from 200-1000 nm.

MORFOSO



Photo:



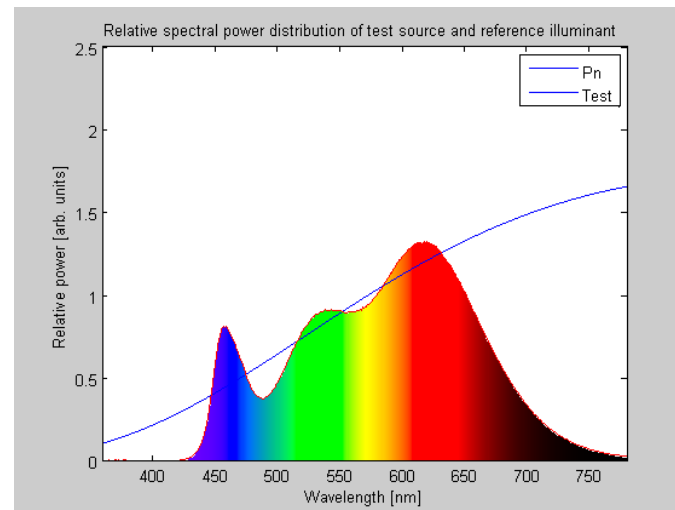
**Measured spectral distribution:**

wavelength range 200 – 1000 nm

Small part of total flux:

Radiant flux:

$\Phi = 35.3 \text{ mW}$



MORFOSO

Luminous flux:

$\Phi_v = 10.0 \text{ lm}$

**Color characteristics:**

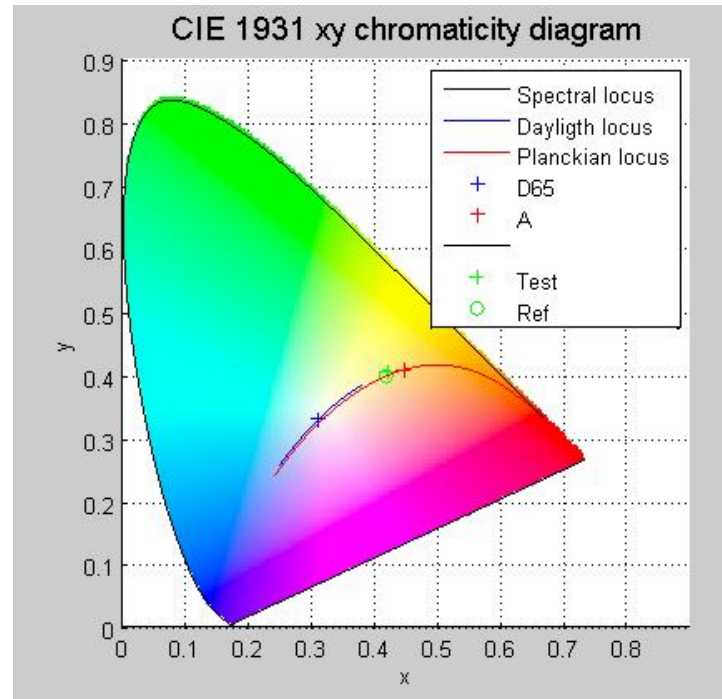
Color coordinates:

$x = 0.3629$

$y = 0.3567$

Correlated color temperature:

CCT = 4389 K



MORFOSO




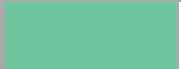







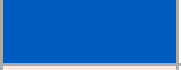
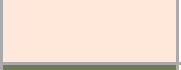

**Color rendering:**

(CIE 13.3.-1995)

CRI = 91.6 [Planckian 4389 K]

CD =  $4.1 \cdot 10^{-3}$

Note: the CD is within the limit value  $5.4 \cdot 10^{-3}$  recommended by CIE.

i	Appearance under daylight	Swatch	CRI i
1	Light greyish red		93.1
2	Dark greyish yellow		92.6
3	Strong yellow green		96.1
4	Moderate yellowish green		90.2
5	Light bluish green		91.9
6	Light blue		90.1
7	Light violet		88.2
8	Light reddish purple		90.4
9	Strong red		94.8
10	Strong yellow		89.1
11	Strong green		95.4
12	Strong blue		67.4
13	Light yellowish pink (skin)		92.1
14	Moderate olive green (leaf)		98.8

**MORFOSO**

MORFOSO

## ARBEJDSBELYSNING



MORFOSO

Arbejdsbelysningen er som nævnt skræddersyet til tre formål.

- 1) mødeaktivitet
- 2) analogt arbejde/ læse og skrive arbejde
- 3) arbejde med PC og skærme eller monitorer

Scenariet med mødeaktivitet kalder på et generelt jævnt belysningsniveau med lavere lysintensitet og uden krav til farvegengivelse. Både analogt arbejde og skærmarbejde har jf. Dansk Standard krav til lysintensitet og farvegengivelse. Men det målsatte krav om et farvegengivelsesindeks på min. 90 gør denne belysning mere end blot en belysning der opfylder kravene til generel arbejdspladsbelysning. Muligheden for at styre lyset og tone farve og regulering af intensitet gør denne belysningsløsning særdeles velegnet til opgave specifik belysning (som f.eks. vurdering af tekstil, tryk, print og grafik m.m.). Lampens tre lyskilder og den individuelle programmering af disse og brugen af dem i samspilsmatrix gør at kravene til arbejdsfladens oplysning og belysningsniveauet på de omkringliggende flader i det nære felt nemt honoreres samtidigt med at det med et enkelt tryk på lampens betjeningspanel gør det muligt øjeblikkeligt at skifte scenarie for derved at opfylde kravet til pc arbejde. Der kalder på skærmens belysningsgrad, lysintensitetsniveau, baggrundens belysningsniveau og de omkringliggende omgivers gradvise aftagende belysningsniveau.

**MORFOSO**

## Konklusion

Som det kan ses af DTU Fotoniks målinger på de eksisterende armaturer med den indbyggede LED teknologi er der opnået resultater udover hvad der var forventet ved projektets start. Samtlige krav til belysningen er indfriet og det må siges at LED er påvist at kunne erstatte både halogen, glødepære og sparepærelys og at myten om at LED lys ikke kan give et varmt eller godt farvegengivende lys er manet i jorden.

LED lys kan i den korrekte konstruktion og evt. tonet med den korrekte tilskudsfarve skræddersyes til den perfekte belysning til arbejdsopgaver og alment brug i private hjem og generelt alle steder hvor der er behov for godt lys.

Som det ses i spektralfordelingen (og Ra indexene) så er MORFOSOs lys svagt ved de rødlige nuancer og et tilskud af rødt lys udover de rene hvide dioder havde givet prikken over i'et.

Der er fortsat meget at arbejde med men det er i høj grad påvist at LED har sion berettigelse som lys både på arbejdspladsen og i private hjem. Ikke mere snak om dårligt koldt lys- de dage er forbi!

# MORFOSO