Downloaded from orbit.dtu.dk on: Apr 26, 2024

DTU Library

Udvikling af LED lyskilder og lamper. Slutrapport for PSO 337-068

Dam-Hansen, Carsten; Petersen, Paul Michael; Thestrup Nielsen, Birgitte; Holm, J.S.; Andersen, J.M.; Falleboe, H.; Olsen, J.; Flindt, C.

Publication date:
2007

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Link back to DTU Orbit

Citation (APA):
Dam-Hansen, C., Petersen, P. M., Thestrup Nielsen, B., Holm, J. S., Andersen, J. M., Falleboe, H., Olsen, J., & Flindt, C. (2007). *Udvikling af LED lyskilder og lamper. Slutrapport for PSO 337-068*. Danmarks Tekniske Universitet, Risø Nationallaboratoriet for Bæredygtig Energi. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R No. 1606(DA)

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Risø-R-Report

RISØ

Slutrapport for PSO 337-068
Udvikling af LED lyskilder og lamper

Carsten Dam-Hansen, Paul Michael Petersen, Birgitte Thestrup,
Jørn Scharling Holm, Jakob Munkgaard Andersen, Hans Falleboe,
Jesper Olsen og Christian Flindt

Risø-R-1606(DA)

Forskningscenter Risø
Danmarks Tekniske Universitet
Roskilde
April 2007

DTU

Forfatter: Carsten Dam-Hansen, Paul Michael Petersen, Birgitte Thestrup, Jørn Scharling Holm, Jakob Munkgaard Andersen, Hans Falleboe, Jesper Olsen og Christian Flindt
Titel: Slutrapport for PSO 337-068 Udvikling af LED lyskilder og lamper

Risø-R-1606(DA)
April 2007

Abstract (in English) (max. 2000 char.):

This report is the final and concluding report on the research and development project "Development of LED light sources and lamps" PSO no. 337-068 supported by Dansk Energi – Net. The project was a collaboration between Risø National laboratory, Louis Poulsen Lighting, Dong Energy, Laboratoriet Lys & Syn and RGB Lamps.

The objective of this project was to pave the way for replacement of incandescent- and halogen lighting by LED lightning through development of prototypes for new types of LED products: light sources and lamps.

The report summarizes and describes the main results of the project, which are:

- a new LED light source with an efficacy of 51 lm/W and a CRI index of 92 that can replace an incandescent bulb.
- two LED pendants/lamps, a LED table lamp and a chair with LED lighting developed by designers and researchers.
- LED seminar and two exhibitions of the newly developed LED products and user test by questionnaires.
- A new startup company "Morfoso"
- Developed course on light and LED technology for designers
- A new LED light laboratory for test and characterization of LED components and LED light sources and lamps.

ISSN 0106-2840
ISBN 978-87-550-3598-0

Kontrakt nr.:
PSO nr. 337-068

Gruppens reg. nr.:
1705112-01

Sponsorship:
Dansk Energi – Net
PSO kontrakt nr. 337-068
PSO program: 2997 kkr
Finansiering totalt: 5399 kkr

Forside :

Foto af nye LED lamper og fra udstillingen i Illums bolighus på kulturnatten. Omkring lysflyderen ses bagerst fra venstre: Jesper Olsen fra JesperOlsen, Jakob Munkgaard Andersen og Hans Falleboe fra Louis Poulsen Lighting (nu i firmaet Morfoso), Jørn Scharling Holm fra Dong Energy forrest fra venstre: Jacob Rudbeck og Dorte Lindholm samt Jørn Borup Jensen fra Dansk Energi, Paul Michael Petersen og Carsten Dam-Hansen fra Forskningscenter Risø.

Sider: 37
Tabeller: 1
Referencer:

Afdelingen for Informationsservice
Forskningscenter Risø
Danmarks Tekniske Universitet
Postboks 49
4000 Roskilde
Danmark
Telefon 46774004
bibl@risoe.dk
Fax 46774013
www.risoe.dk

Indhold

Forord 4

Sammenfatning af projektet 5

Mål 5
Hovedresultater 5
Konklusion 7

Projektresultater 8

Åkande, Cluster og Flip-Flop LED lamper 8

Indledning 8
Problemstilling 9
Åkande lampe 10
Teknisk design af Åkanden 10
Flip-Flop lampe 12
Teknisk design af Flip-Flop 12
Cluster lampe 13
Teknisk design af Cluster 15
Konklusion 16

Lysflyder 17

Hvordan opstod ideen om en LED sækkestol? 17
Lysflyder - en LED-sækkestol 17
Proces 17
Version 1: En helt transparent udgave 18
Version 2. En translucent udgave 18
Beskrivelse af lys- og elteknisk opbygning af *'Lysflyder'* 19
Målinger på 'Lysflyder' (Version 2) 19
Version 3. En translucent og energieffektiv udgave 20

LED lyskilder, arbejdslampe 21

Modellering 22

Forbrugertest af LED lyskilder og lamper 24

Test af LED lamper i Illums Bolighus 24
Test af LED lamper og lyskilder ved seminar på Forskningscenter Risø 25

Energiforbrug og lysudbytte 29

LED LYS LABoratoriet 31

Udannelse af designere 33

Laboratorium for lampedesignere 34

Formidling 35

Forord

Denne rapport indeholder beskrivelse af de opnåede resultater i projektet, Udvikling af LED lyskilder og lamper med projekt nr. 337-068, som blev startet i 2005 som et samarbejde mellem Louis Poulsen Lighting A/S, NESA A/S (nu Dong Energy), Laboratoriet Lys&Syn, RGB Lamps A/S og Forskningscenter Risø. Igennem Louis Poulsen Lighting var en række designere tilknyttet projektet. Projektet blev afsluttet pr. 31. december 2006.

Sammenfatning af projektet

Mål

LED lys - også kaldet diodelys - kan blive den idéelle energieffektive erstatning for det ineffektive gløde- og halogenlys. Ingen anden lysteknologi kan matche LED lysets kombination af kvalitet, effektivitet og holdbarhed. Der er dog en række teknologiske problemer som skal løses inden LED lyset får sit gennembrud.

Formålet med dette projekt var at vise vejen for erstatning af gløde- og halogenlys med LED lys gennem udvikling af prototyper på nye typer LED lysprodukter:

Udvikling af en 3-6 W LED lyskilde som kan erstatte en 25-40 W rundstrålende glødepære. LED lyskilden skal direkte kunne erstatte glødepærer i eksisterende lamper og armaturer. Til specielle anvendelser og for at demonstrere teknologiens muligheder skulle også udvikles en LED lyskilde med lystekniske egenskaber som dagslys.

Med udgangspunkt i LED teknologiens muligheder skulle der designes og udvikles 3 prototyper på LED lamper, der kan erstatte lamper og armaturer, hvori der traditionelt anvendes glødepærer - for eksempel PH lamper og arkitektlamper. De 3 prototyper var:

- En LED skrivebordslampe
- En LED spisebordslampe
- En LED badeværelseslampe

Som en del af projektet skulle tilknyttes en gruppe på 10-15 designere der skulle udarbejde deres bud på anvendelsen af LED-teknologien til belysningsformål. Designerne skulle uddannes inden for LED teknologi dels på Forskningscenter Risø dels hos Louis Poulsen Lighting.

Endelig var det målet med projektet af fremme udbredelsen af LED lys i Danmark gennem udvikling af et kursus for arkitekter, designere og rådgivende ingeniører, og gennem test af lyskilderne hos udvalgte brugere af gløde- og halogenlys. Projektet krævede, at der på Risø blev opbygget en facilitet til karakterisering af hvide lyskilder.

Hovedresultater

Igennem et godt tværfagligt samarbejdende projektteam med designere, udviklingsfolk i lampe og armatur virksomheder og forskere, er det lykkedes at opnå en række unikke resultater og nyskabende LED produkter.

Sammenfattende er projektets hovedresultater:

- En 5-6 W LED-lyskilde som kan erstatte en 25-40 W rundstrålende glødepærer. LED-lyskilden har høj lyskvalitet og kan af brugeren personligt reguleres i farvetemperatur og lysstrøm. Lyskilden har en målt energieffektivitet på 45 – 51 lm/W og en Ra-værdi på op til 92.
- En spise-/ mødebordspendel med et effektforbrug på 40 W.
- En spise-/ mødebordspendel med et effektforbrug på 35-40 W og en wall plug effektivitet på 36 lm/W, med mulighed for dynamisk farveskift til stemningsskabende belysning ved et ekstraforbrug på 5 W.

- En bordlampe med et effektforbrug på 18 W.
- Et siddemøbel til stemningsskabende belysning samt læseopgaver med et effektforbrug på 36 W.
- Start af et nyt firma ”Morfoso”. Virksomheden er baseret på udelukkende at udvikle, producere og markedsføre energibesparende LED-produkter til belysning.
- Der er udviklet og afholdt et kursus i lysdiodeteknologi for de af Louis Poulsen Lighting engagerede designere, som fik en grunduddannnelse inden for lys og lysdioder og blev opdateret med den nyeste viden om lysdiodeteknologi.
- Udstilling af nyudviklede LED lamper i Illums bolighus, med præsentation på Kulturnatten 2006.
- Afholdelse af LED seminar på Forskningscenter Risø for at fremvise projektets forsknings- og udviklingsresultater og give en status på LED-teknologi til belysning. Udstilling af de i projektet udviklede LED lyskilder og lamper.
- To afholdte forbrugertest i form af spørgeskemaundersøgelser, hvor potentielle forbrugere blev spurgt om deres holdning til bl.a. design og lyskvalitet af de nye LED lyskilder og lamper. Et markant resultat heraf var at design betyder mere for forbrugere end lyskvalitet.
- Et udbygget LED LYS LABoratorium til måling af lystekniske parametre for forskellige typer af lyskilder og specielt til test og karakterisering af såvel LED komponenter som LED lyskilder og lamper. Med nyt følsomt spektrometer og ø1 m integrerende kugle er det muligt at måle på store LED lyskilder og lamper.
- Et LED design laboratorium i umiddelbar forbindelse med LED LYS LAB, hvor designere, studerende og virksomheder kan komme og arbejde med deres ideer indenfor LED teknologi.

Projektet har udviklet en erstatning for glødetråds- og halogenbelysning, som vil kunne bidrage til udfasningen af de kviksølvholdige energisparepærer og forbedre brugernes oplevelse af lyset og lysets gengivelse af farver. Projektresultaterne er således højaktuelle i den globale energidebat.

Projektet har i projektperioden:

- Berørt og præget et teknologisk område hvori der befinder sig et enormt energibesparelsespotentiale med reduktion af CO_2 udledning til følge.
- Bidraget til initiativet angående reduktion af CO_2 udledning jf. Regeringens fremtidige miljø målsætning.
- Igennem offentlig præsentation af produkter fra projektet, påvist at der blandt forbrugerne er stor interesse for teknologien i kombination med gennemført integreret dansk design.
- Skabt resultater der på meget kort sigt kan komme forbrugerne til gode i form af reduktion af elforbrug og derved igennem en økonomisk tilgangsvinkel kan motivere forbrugerne til at anvende teknologien.
- Øget forbrugernes mulighed for valg af energieffektiv belysning, idet forbrugerne indenfor kort tid kan vælge mellem traditionelle energisparepærer

og diodelys med forbedret farvetone og farvegengivelses egenskaber men uden indhold af kviksølv.

- Skabt arbejdspladser i form af opstart af virksomheden Morfoso ApS.

Alle generelle perspektiver af projektet er blevet stillet til rådighed for offentligheden. Denne formidling er sket på konferencer, udstillinger og seminarer hvor projektet er blevet præsenteret for offentligheden. Målgruppen for disse arrangementer har været studerende, forskere, rådgivende ingeniører, iværksættere, designere, private brugere og firmaer som arbejder med lys.

Konklusion

Det er i projektet udviklet en lang række nye kompetencer indenfor LED-teknologi samt flere nye LED lyskilder og lamper. En 5-6 W LED-lyskilde er udviklet, som kan erstatte visse typer af 25-40 W rundstrålende glødepærer. Lysstyrken og farvetemperaturen kan reguleres af forbrugeren og farvegengivelsen er betydeligt bedre end for sparepærer.

I projektet er der på Forskningscenter Risø uddannet 10 designere i praktisk anvendelse af den nyeste LED teknologi. Designerne har med denne baggrund udviklet flere nyskabende LED armaturer til arbejdslamper, spisebordslamper og bordlamper. Herudover er der udviklet et ”lysende” siddemøbel og startet en ny virksomhed, Morfoso.

I projektet er der etableret laboratoriefaciliteter på Risø, hvor producenter og designere kan få testet deres ideer og karakteriseret nye LED produkter. Der er i projektet lavet en omfattende formidling af projektets resultater og det vurderes at over 3000 mennesker har set projektets resultater på udstillinger og seminarer.

Projektresultater

I denne del af rapporten gives en mere uddybede beskrivelse af projektets resultater.

Designerne giver deres beskrivelse af udviklingsprocessen og de udviklede LED lamper i de to første afsnit, det er først designerne Jesper Olsen og Jacob Rudbeck, der beskriver udviklingen af LED lamperne: *Åkande, Cluster og Flip-Flop.* I næste afsnit er det designeren Christian Flindt, der beskriver udviklingen af sækkestolen med lysdioder: *lysflyder*.

Den udviklede LED lyskilde, som er indsat som erstatning for en rundstrålende glødepære i en arbejdslampe, er beskrevet i afsnittet *LED lyskilder, arbejdslampe.* I afsnittet *Forbrugertest af LED lyskilder og lamper* gives en beskrivelse af de spørgeskemaundersøgelser der er udført i projektet som forbrugertest og resultaterne heraf.

I afsnittet *Energiforbrug og lysudbytte* beskrives resultater af lystekniske målinger af energieffektivitet og farvegengivelse på de i projektet udviklede LED lyskilder og lamper. LED LYS Laboratoriet, der er benyttet til test og karakterisering, beskrives i det efterfølgende afsnit.

I de to sidste afsnit beskrives arbejdet med formidling af LED teknologiens potentiale til belysning og projektets resultater og herunder det det udviklede kursus for designere.

Åkande, Cluster og Flip-Flop LED lamper

I løbet af 2005-2007 har vi (Christian Bjørn, Jacob Rudbeck & Jesper Olsen) arbejdet tæt sammen med Forskningscentret Risø, Louis Poulsen og modelmager Morten Lyhne. Samarbejdets omdrejningspunkt har været implementering af LED-teknologi i belysningsarmaturer til hjemmet og kontoret. Konkret er der kommet tre projekter ud af det, som aldrig var opstået, hvis det ikke var for en kompetent arbejdsgang i et tværfagligt miljø samt økonomisk støtte fra Dansk Energi - Net. Vi gennemgår kort forudsætningerne for innovationen og vores udfordring som designere, inden vi konkretiserer LED-teknologiens fordele og ulemper. Hernæst beskriver vi de tre projekter enkeltvist og forklarer, hvor vores inspiration kom fra, om det tværfaglige samarbejde og om hvordan LED har åbnet op for en ny æstetik inden for belysningsarmaturer.

Indledning

Al nyudvikling er et resultat af udefrakommende faktorer, der resulterer i opstart af den proces, som skal føre til det nye produkt. Følgende er nogle af de væsentligste faktorer:

Økonomi: Hvis der kan tilvejebringes ressourcer, der muliggør et fokus omkring et defineret projekt.

Teknologi: Hvis der åbnes for nye muligheder for at frembringe en defineret funktion.

Marked: Hvis den udvalgte målgruppe fremkommer med specielle ønsker til et nyt produkt. Eller der registreres nye mønstre, som peger på et produktbehov, der endnu ikke er registreret.

Samfund: Hvis man fra central side drejer en udvikling i en bestemt retning. Det kan være ønsket om en bedre økonomi, ønsket om en speciel livsstil og ønsket

om at forstærke en defineret samfundsmæssig retning eller et samfundsmæssigt mønster.

Forudsætningen for LED-projektet var en kombination af ovenstående faktorer. Gennem ELFOR blev der etableret midler til at skabe et tværfagligt miljø, der målrettet kunne arbejde med udviklingen af en række nye belysningsprodukter – alle baseret på LED.

Den teknologiske udvikling for LED har nu nået et niveau, hvor lyskilden ikke udelukkende kan benyttes til en streng, funktionel lyssætning, men også til et lys, hvor der tages hensyn til komfort og miljø. Dette leder over i, at det nuværende marked, der udelukkende efterspørger teknisk belysning baseret på LED, kan udvides med det marked, der er baseret på consumer-goods. Dette kan etableres, fordi kvaliteten af lyskilden nu er af en sådan beskaffenhed, at den kan bringes til at leve op til de komfortkrav, vi som konsumenter stiller til vores dagligdagsbelysning.

LED er en lyskilde, der kræver meget lidt energi og samtidig har en meget lang levetid i forhold til andre kendte lyskilder. Det betyder, at samfundet har en interesse i at udvikle armaturer, der er energi- og ressourcebesparrende, fordi samfundets ressourcer skal benyttes med omhu.

En anden forudsætning for projektet var, at der blev etableret en gruppe af mennesker med de kompetencer, der var nødvendige for projektets gennemførelse. Dette var nødvendigt, fordi udviklingsarbejde i dag må foregå i tværfaglige samarbejder. Projektopbygningen var så kompleks og resultatet så uforudsigeligt, at behovet for en repræsentation af forskellige fagområder var udtalt, fordi det på forhånd var meget svært at specificere opgaven, og fordi processens delresultater ville skabe et behov for løbende at justere specifikationen.

Problemstilling

Ethvert produkt har en indbygget æstetik, som er et udtryk for en kulturel baggrund, en teknologisk mulighed, en økonomisk platform og ikke mindst en samfundsmæssig model. Når en eller flere af disse forudsætninger bliver rykket, kræver det et nyt sæt spilleregler for vores opfattelse af et nyt produkt.

LED skaber mulighed for at opbygge et armatur, der indeholder helt andre signaler og en helt anden æstetik, end dem vi kender, der er baseret på kendt teknologi. Dette stiller meget store krav til den signalgivning, som bliver indbygget i produktets form og fremtoning.

Den store formgivningsmæssige udfordring lå derfor i at afkode de muligheder, der ligger i brugen af LED og på denne baggrund at fremstille et formsprog, der på en gang skaber en fortrolighed hos brugerne og samtidig udpeger retninger for fremtidige objekter, der kan komme til at indgå i det samme miljø.

For at dette skal lykkes er det nødvendigt at skabe en række billeder, der er med til at beskrive produktets karakter og egenart. Det betyder, at det nye produkt ikke kommer til at fremstå som en naturlig forlængelse af allerede eksisterede produkter, men som et objekt, der er helt sit eget, og som ikke tager form og farve fra andre produkter inden for samme kategori. De nye produkter fremstår således helt med deres egen æstetik, der har lånt formelementer fra en anden verden. Navngivningen er vigtig, fordi navnet skaber de nødvendige associationer hos brugeren.

En række produkter repræsenterede en radikal innovation, da de fremkom – eksempelvis *"koglen"*, hvis navn leder vores fantasi og billedverden hen mod et kendt fænomen og

hermed skaber en æstetik, som er kendt fra andre områder end det lystekniske. Eller *"ægget"*, der ligeledes repræsenterede en nytænkning inden for møbelområdet og hermed skulle have et navn, der skabte de nødvendig associationer og ledte brugerens opfattelse af æstetik overmod et kendt område.

Åkande lampe

Åkanden er det ældste af de 3 projekter (Åkande, Cluster og Flip-Flop). Intensionen med Åkanden var fra starten af at udvikle et armatur, der skulle rykke ved opfattelsen af et belysningsarmatur. Diodernes størrelse og egenskaber inspirerede til at bryde med de vante traditioner, hvor lyskilden afskærmes og lyset reflekteres i en ønsket retning. Vi var optagede af tanken om: " at sprænge Poul Henningsens *Koglen* i luften" for at opløse lampen som en central, defineret, fysisk størrelse. – En helt ny struktur, hvor lampens lyskilde/r ikke er lampens centrum eller omdrejningspunkt, men derimod en del af en større helhed. Billedet af den eksploderede kogle hang fast. Vi studerede træernes blade og så, hvordan lyset brydes gennem bladene og grenene, og hvordan det enkelte blad har to sider, som fremstår forskelligt. Bladets ene side gav indtryk af at lyse eller transmittere lys, mens den anden side reflekterede lyset. Dette blev grundlaget for den konceptuelle opbygning af åkandebladet. Ved at tage en tynd aluminiums plade og anbringe en diode på den ene side opnåede vi en fortolkning af inspirationen. (Den ene side afgiver lys, mens den anden reflekterer det.) Samtidig fungerede pladen også som en rigtig god varmeafleder for dioden.

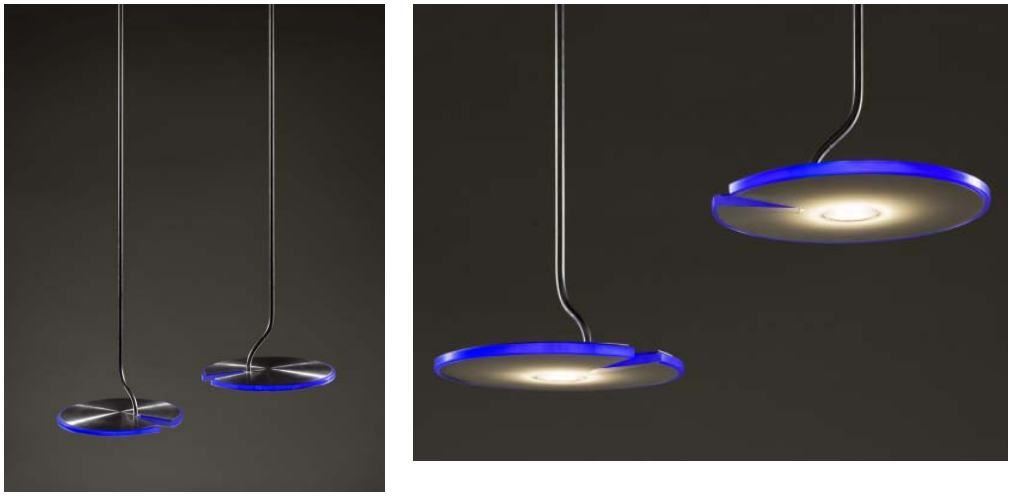
Dioden er i modsætning til glødepæren en retningsbestemt lyskilde. Den skal derfor anvendes i en mere præcis defineret sammenhæng. Vi søgte at skabe billedet af grenene med de overlappende blade, som i naturen har et fantastisk samspil. Men strukturen kom hurtigt til at virke rodet og alt for kompliceret, også rent lysteknisk. Senere da vi igen arbejdede med billeddannelsen bag lampen, registrerede vi åkanden. Åkandens rolige udtryk, som både kan fremstå flot alene, men også i samspil med andre åkander. Måden hvorpå sollyset reflekteres i kanten på åkandebladet og derved fremhæver Åkandens flotte form. Den enkle og forfinede måde som den lange, nærmest navlestrengsagtige stilk kobler sig på bladet. Slidsen i bladet giver åkanden sit eget karakteristiske udtryk. Alle disse detaljer og udtryk har inspireret kraftigt til den endelige udformning af Åkanden.

Åkanden er udviklet som en pendel, der skal hænge over mødebordet eller receptionsskranken. Den kan også hænge over spisebordet i private hjem. Lampen kan, fordi den bygges op af enkelte armaturer, tilpasses de enkelte miljøer, alt afhængig af kapacitetsbehov og rummets størrelse. Åkanden er opbygget med to former for lys. Den ene er et varmt hvidt lys, som lyser nedadrettet i en præcis defineret udlysningsvinkel. Dette lys er funktionslyset, som skal kunne fungere som arbejdsbelysning. Den anden er baseret på RGB-teknologi. Denne teknologi gør det muligt at justere lysets farve til præcis den, man ønsker. Det er endda også muligt at programmere dioderne, så de konstant changere i farverne. Det farvede lys anvendes i Åkande-bladets kant og markerer dens karakteristiske form. Dette lys er kun effektlys. De to forskellige lysformer kan styres og programmeres individuelt.

Teknisk design af Åkanden

Åkandelampen er en spisebords eller konferencebordlampe, se modelfotos på Figur 1. Den skal ifølge specificerede krav, kunne levere en middel-belysningsstyrke på 200 lux på bordet/arbejdsfladen, når den placeres i en passende højde over fladen. Til denne anvendelse bør lyset have en farvegengivelse givet ved et Ra-indeks på min. 80.

Farvetemperaturen er der ikke stillet specifikke krav til, dog ses det helst at den ligger i området 4200K-2700K. Udgangspunktet er at lave lamper med et ”varmt” lys. Dvs. lys med en farvetemperatur der er nede omkring farvetemperaturen for glødepærer eller halogenpærer.



Figur 1 Fotos af modeludførelse af Åkande lampe (Rudbeck.Olsen Aps og Louis Poulsen Lighting).

Udfra designernes oprindelige ide og skitse til lampen og de opstillede krav til lyskvaliteten er det valgt at benytte en varm hvid lysdiode frem for at benytte RGB-teknologien. Denne lyskilde skal give det funktionelle hvide lys i centrum af undersiden af lamperne som vist på Figur 1. Det vurderes, at der ikke er plads i lampedesignet til at benytte RGB-teknologien og at varm hvide LEDs vil kunne give en tilstrækkelig høj lyskvalitet, herunder farvegengivelse.

I dag fås to typer hvide LEDs, en fra OSRAM og en fra LumiLEDs. Der er foretaget karakteriseringsmålinger i Risøs nye LED laboratorium af disse to LED typer, med hensyn til total udstråling, farvetemperatur og farvegengivelse og måling af Ra-indeks. De to typer af LEDs giver nogenlunde samme lysstrøm på omkring 25 lm fra 1 W enheder og har nogenlunde samme energieffektivitet. Lysdioderne fra LumiLEDs har et markant bedre Ra-indeks på 93 mod bare 75 for OSRAM varm hvide LEDs. Dette skyldes en bedre spektralfordeling i det røde område af spektret for LumiLeds varm hvide LED. Farvetemperaturen for OSRAMs varme hvide LED er på 3160 K, som er lidt lavere end de 3400 K for LumiLEDs varm hvide LED. Til Åkanden er valgt at benytte den varm hvide LED fra LumiLEDs, som kan integreres i den centrale del af lampen. Åkanden er også senere implementeret med en kold hvis LED fra Lumileds med en farvetemperatur på 7000 K.

Der var et ønske om at begrænse lysudstrålingsvinklen fra hvert Åkandeblad og til design af en linse er der udviklet en 3-dimensional numerisk model af en LED opstilling med en samlelinse til Åkanden. Modellen er optimeret med hensyn til linsens krumningsradier for to forskellige linsetykkelser og herudfra er et linsedesign til Åkanden fundet. Dette er implementeret i funktionsmodellerne af Åkanden.

For at undersøge armaturets evne til at aflede varmen fra lysdioderne er der i Risøs laboratorium udformet en model af funktionslysdelen af åkandelampen. Der er opsat 6 stk. Lumiled warm white, med et effektforbrug på 6 x 1.2 W = 7.2 W. Ved en operationsstrøm på 350 mA er målt en temperatur tæt på dioderne på 46 °C i steady state. Der er derfor ikke noget problem i opsætningen af lysdioderne i Åkanden, idet de monteres på en stor aluminiumsflade med god varmeafledning til omgivelserne.

For lystekniske målinger på Åkanden se afsnittet: Energiforbrug og lysudbytte.

Flip-Flop lampe

Inspirationen til Flip-Flop lampen kom fra en diodeenhed med integreret linse. Linsen gjorde, at vi meget præcist kunne definere lyskildens udlysningsvinkel, hvorved der skabtes et meget klart og præcist spotlys. En af LED-teknologiens svagheder er dog, at effekten ikke helt er på det niveau, som man ønsker det. Derfor var spotlyset interessant, fordi vi inden for et mindre område skabte et præcist lys, som bl.a. er anvendeligt som arbejdsbelysning. Det blev rigtig interessant, da vi rettede to lyskegler mod samme punkt for derved at skabe en dobbelt effekt. Herfra udsprang idéen til det fleksible lys, som fokuseres, når man retter lyskilderne ind efter hinanden, og som diffuseres, når man retter dem væk fra hinanden.

Vi blev inspireret af vandmandens bløde krop og bevægelser og ønskede at lave en fleksibel hud, hvor lyset var integreret og derved på en organisk og let måde kunne styres og indstilles efter behov. Silikonens egenskaber var meget egnede, idet de muliggør at variere graden af lysgennemstrømning og fleksibilitet. Yderligere kan man indstøbe emner i silikonen, når den fremstilles, hvilket var oplagt for vores lyskilder. Diodernes behov for at kunne aflede varme stiller også krav til de anvendte materialer. Også her er silikonen egnet. Ikke at silikonen i sig selv er varmeafledende, men silikonen kan klare varmepåvirkningen fra køleemnerne uden at deformere. Det drejede sig derfor om rent designmæssigt at få klarlagt strukturen omkring ”silikoneskærmen” og tænke lampen ind i den rigtige kontekst.

De ønskede egenskaber for en bord- og arbejdslampe passede perfekt overens med konceptet, om at lyset kan variere fra et meget retningsbestemt og fokuseret lys til et mere spredt og diffust. Den æstetiske målsætning for arbejdslampen var at skabe en lampe, der i sit udtryk og valg af materialer, endnu ikke er set inden for belysningsarmaturer. Lampen skal fremstå eksklusiv og innovativ og er et high-end produkt.

Teknisk design af Flip-Flop

Flip-Flop lampen er en bordlampe/arbejdslampe som både skal kunne give hhv. rettet og mere spredt lys afhængigt af indstillingen. På Figur 2 er vist et foto af en modeludførelse af Flip-Flop lampen.

Designideen gik på, at lampen skulle bestå af små enkeltlysende enheder, omkring 6 stk, med en størrelse på omkirng 25 mm i diameter. Her var det igen designet, der gjorde, at en varm hvid LED blev valgt som lyskilde, frem for en lyskilde baseret på RGB-teknologi. Der er til denne lampe valgt at benytte OSRAMs varm hvide LEDs, som findes i en udgave Golden DragonPuck med 3 stk 1 W LEDs på en ø33 mm skive. Denne passer godt til designideen for lampen.

Figur 2 Foto af modeludførelse af Flip-Flop lampe med seks LED lyskilde enheder i skærmen. Lampen kan, som vist, positioneres i to forskellige positioner,til venstrei fokuserende postion og til højre i spredende position (Rudbeck.Olsen Aps og Louis Poulsen Lighting).

Der er udviklet en 3-dimensional numerisk model af en LED opsætning med linseelement til FLIP-FLOP lampen. Det er meningen, at der skal benyttes 6 sådanne opsætninger til en enkelt FLIP-FLOP lampe. Modellen er optimeret med hensyn til elementdesign for tre forskellige linseelementer, der stiger i kompleksitet. Efterfølgende er udvalgt et optimeret linseelement, således at lysudstrålingsvinklen fra LED pucken reduceres fra $\theta_{½} = 60°$ til ca. ± 25° - 30° (FWHM målt på plan detektor).

Linseelementet er et plant linseelement, hvor selve linsestrukturen ligger i overfladen af elementet. Dette kan fremstilles ved hjælp af Risøs Nanoplotter og replikeres igennem f.eks. mikrosprøjtestøbning i polumermaterialer. Der er ved en anden replikeringsproces fremstillet 21 eksemplarer af linseelementet og disse elementer indgår i en modeludførelse af lampen vist på Figur 2.

De termiske forhold for varmeafledning fra lyssioderne svarer helt til forholdene i Cluster LED lampen og resultaterne herfor er benyttet i designet af kølefladen i Flip-Flop lampen.

Cluster lampe

Diodernes lysmæssige begrænsninger gør, at man i modsætning til traditionelle armaturer ikke kan nøjes med en enkelt lyskilde. Det er nødvendigt at have mere end en diode, hvis lyset skal være anvendeligt. Dette inspirerede til at tegne en lampe, som netop får sit udtryk gennem gentagelsen. Cluster-lampen er samtidig tænkt som en lampe, der skal give anvendeligt, diffust og hyggeligt lys.

Udfordringen i at skabe en lampe, baseret på LED-teknologi, som afgiver et anvendeligt diffust lys er mere kompliceret end som så. Ved glødepærer eller halogen kan man lade lyset passere gennem eksempelvis opaliseret glas, papir eller et andet materiale, som bryder lyset og derved diffusere det. Denne manøvre er mere vanskelig med dioder, da effekttabet er stort, og et af de afgørende argumenter for anvendelse af LED netop er optimering af de energibesparende forhold. Men ønskes et diffust lys, er der ingen vej

uden om. Diodens retningsbestemte lys resulterer nemlig også i, at man nemt kan blive blændet, hvis ikke man tager sine forholdsregler. Vores ønske var at lave en lampe, som ikke kunne blænde beskueren, men samtidig give et spændende og behageligt lys uden at gå for meget på kompromis med energiforbruget. Ved at anvende indirekte belysning, som blot reflekteres i en integreret reflektor, kan vi opnå en forholdsvis stor ydelse – sammenlignet med lys som diffuseres ved brydning gennem et valgt materiale. Reflektoren gør nemlig, at vi stadig kan styre størstedelen af lyset til et ønsket område og derved skabe en oplevelse af en diffus lyssætning med det "overskydende" lys. Visionen var at skabe en lille enhed, som lysteknisk lever op til ovennævnte beskrivelse, og som i sig selv kan tåle at blive gentaget mange gange. Før vi kunne begynde at formgive det enkelte element, var det vigtigt at få billeddannelsen på plads omkring den færdige lampe.

Hvor kom inspirationen fra?

Opbygningen med gentagelsen af blomsten, som både er smuk i sig selv og i samspil med andre inspirerede os. Ved at betragte lampen som noget man stykker sammen af flere identiske emner, forekom det naturligt for os, at vi arbejdede med strukturen på samme måde som en blomsterbinder skaber en buket. Bukettens udtryk og princip er også interessant, da den har sit eget udtryk, afhængig af hvem der har samlet den. Muligheden for at arrangere sin egen buket og lysten til at justere på den efter humør, fascinerede os. Lampen er ikke blot til for at give lys og være til pynt, men appellerer også til interaktion og berøring. Lampen aktiverer på den måde rummet og skaber en foranderlighed og variation, som er dynamisk.

Det var derfor vigtigt, at lampen ikke blev designet til at hænge på en bestemt måde og hænger derfor lidt tilfældigt og rodet. Uordenen i lampen skabes dels af at vælge et passende antal enheder (14 stk.), dels ved måden, som de enkelte enheder støder op til hinanden på og dels ved valg af materiale. Ved at anvende silikone som lampeskærm opnåde vi mange af de egenskaber, vi ønskede.

Silikonens fleksibilitet og smidighed gør, at brugeren frit kan arrangere buketten uden at tænke på ridser eller skader på skærmen, hvilket, sammen med silikonens bløde og behagelige overflade, bidrager til den naturlige interaktion. Hvert af de enkelte belysningsarmaturer hænger ned fra samme punkt, der resulterer i, at skærmene støder ind til hinanden. Skærmenes lidt flade udformning gør derfor, at de naturligt vil overlappe hinanden en smule og forskyde sig lidt og på den måde fremstå levende og uregelmæssige. Silikonens gennemlysningsgrad kan også tilpasses efter behov, hvilket giver effekten af diffust lys, som vi kender det fra opaliseret glas. Yderligere er det også muligt at indstøbe reflektoren direkte i skærmen, hvilket nedbringer produktionsomkostningerne.

Dioderne monteres på et støbt aluminiumsemne og lyser op i skærmen og den integrerede reflektor. Aluminiumsemnet er formmæssigt inspireret af blomsternes støvfangere, men fungerer samtidig også som køleemne for dioderne. Hver enkel enhed hænger i en rød stofledning. Den røde stofledning er valgt, fordi den skaber en skarp kontrast til den nye teknologi, og fordi de nostalgiske referencer giver lampen et romantisk og berøringsvenligt udtryk. Lampens røde ledninger samles af en ring på samme måde som en buket er samlet – for at holde lyset/blomsterne på plads. Brugeren kan bevæge ringen op mod loftet eller ned mod silikoneskallerne og på den måde regulere om bukettens lys skal samles eller spredes.

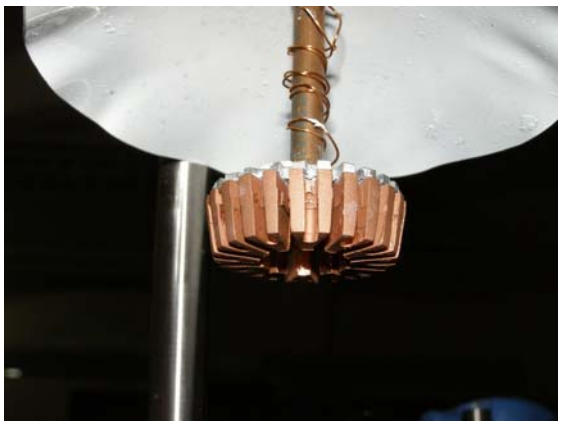
Teknisk design af Cluster

Til Cluster lampen ønskes ca. 15 enkeltlysende lampeenheder, som hver især består af en LED enhed der lyser op mod en reflektor skærm, som sender hovedparten af lyset ned mod bordfladen. Fotos af en modeludførelse af Cluster lampen er vist i Figur 3.

Figur 3 Fotos af modeludførelse af Cluster lampe, (Rudbeck.Olsen Aps og Louis Poulsen Lighting).

Udfra design betragtninger, blev der til denne lampe valgt en varm hvid LED som lyskilde, frem for en lyskilde baseret på RGB-teknologi. Der er til denne lampe valgt at benytte OSRAMs varm hvide LED, som findes i en udgave Golden DragonPuck med 3 stk 1 W LEDs på en ø33 mm skive. Denne passer godt til designideen til lampen. Til denne lampe skal der ikke benyttes en linse eller andet optisk system, idet lyset fra lysdiodene lyser op i mod en reflektorskærm, som tillader en lille del af lyset at passere.

Hovedproblemet i denne lampe er at lave et termisk design for opsætningen af lysdiode enhederne således at de kan komme af med varmen. Der er defor lavet en funktionsmodel af en enkelt Cluster enhed, som gør det muligt at undersøge de termiske forhold i lampeenheden og undersøge den maksimalt tilladelige operationsstrøm ved den til designet optimale heat sink. Kobberroset heat sink designet er udført på Risø, og heat sinken, som er benyttet i modeludførelsen er lagt tæt op af dette design. I enheden er opsat en DragonPuck med 3 stk. OSRAM 1.2 W LEDs 847, 4700 K, disse bruger nominelt 3.6 W. Temperaturmålinger er udført ved forskellige operationsstrømme. Temperaturen er målt tæt på lysdioden som angivet af OSRAM. Her må temperaturen ikke overstige 65 °C.



Figur 4 Eksperimentel opstilling af en Cluster enhed hvor lysdioderne er monteret på en kobberroset.

Disse analyser af testmålinger og designbetragtninger ledte til en udformning af heat sinken til DragonPucken i Cluster lampen, som ligner kobberrosetten i Figur 4 og disse betragtninger er også benyttet til det termiske design i Flip-Floplampen, hvor der benyttes den samme lysdiodeenhed som lyskilde.

Konklusion

Arbejdet med at udvikle de LED-baserede belysningsarmaturer har været præget af en stor grad af tværfaglighed. De enkelte projektdeltagere har, igennem gensidig forståelse og respekt og i kombination med en lyst til at overskride grænser, medvirket til at opnå resultater, der virkelig flytter.

Først og fremmest er de enkelte armaturer opbygget på en teknisk platform, der respekterer de spilleregler, som brugen af LED afføder.

Dernæst er de enkelte armaturer udformet på en sådan måde, at billeddannelsen automatisk opbygger associationer, som skaber fortrolighed, fordi billederne er kendte og samtidig flytter æstetikoplevelsen ud af de områder, som normalt er forbundet med belysningsarmaturer.

Endelig er resultatet et udtryk for, at en given teknologi, ved at flytte den fra et funktionsområde (det tekniske) til et andet (konsumenterne), kan blive bragt ind i en sammenhæng, hvor den endelige funktion og det valgte formudtryk skaber et helt nyt grundlag for vurdering af fremtidige armaturer inden for samme kategorier.

Projektforløbet har hermed vist, at en gensidig inspiration og respekt har medført et resultat, som fra starten har været uforudsigeligt, men som gennem udviklingsforløbet har affødt muligheder, der har accelereret forløbet og hermed skabt en langt større grad af innovation, end man fra starten har kunnet håbe på.

Lysflyder

Hvordan opstod ideen om en LED sækkestol?

Umiddelbart før dette PSO-projekt havde jeg, Christian Flindt, kontakt til Afdelingen for Optik og Plasma på Risø Forskningscenter. Vi talte dengang om, hvordan man kunne videreudvikle solcellevinduer og udnytte et mellemliggende plasmalag til belysning: I dagtimerne bliver laget brugt til at opfange solenergi, men i aftentimerne kunne dette udnyttes og aktiveres som en ekstra oplysende flade i hjemmet. Jeg var meget fascineret af ideen om at supplere hjemmets punktformede armaturbelysning med lysende overflader.

Jeg brainstormede i starten på flere forskellige scenarier, og endte med to koncepter med en henholdsvis *flad* og rummelig overflade:

- Et to-dimensionelt objekt: Et ægte LED-tæppe.

- Et tre-dimensionelt objekt: En LED-sækkestol.

Udgangspunkt er to eksisterende elementer i hjemmet, som vi ellers ikke forbinder med lys. Formålet var to ting:

1) at gøre lys til en mere integreret del af vores handlinger og ikke se lys som en separat størrelse, der oplyser vores handlinger.

2) at udfordre arketyperne i vores hjem og se, om det ekstra element af lys vil ændre vores forhold eller syn på dem – funktionelt som emotionelt.

Lysflyder - en LED-sækkestol

Ideen med en sæk fyldt med lys er at introducere en tre-dimensionel flade i hjemmet, der tilgodeser forskellige former for lysbehov.

'Lysflyderen' kan ændre form og tilpasse sig den person, der sidder i den Ikke kun som et rummeligt element i forhold til kroppen, men ved at understrege og tilføje sækkestolen en ekstra dimension og modulerbarhed ved hjælp af lys:

Sækkestolen er fyldt med kugler, som har indbygget lys og sensorer, så der etableres interaktivitet mellem brugeren og møblet. Når stolen ikke er i brug fungerer den som gulvlampe i hjemmet, som man kan regulere efter behov. I brug kan man skifte fra funktionsbelysning til orienteringsbelysning. Man kan modulere lyset til et koncentreret læselys eller sprede det ud omkring sig.

Proces

I det samlede udviklingsforløb har jeg været inde på overordnet 3 lysende stole opstillinger, som alle tager udgangpunkt i en sækkestol En sækkestol er defineret ved at bestå af det ydre volumen, indeholdende løst fyld i et materiale og med en vægtfylde, så stolen er let og modulerbar. Sækken er typisk ikke fyldt helt ud, så der derved er plads til at skubbe sig ned i stolen, der så vil forme sig omkring én.

Figur 5 Christian Flindt i sin LED sækkestol, lysflyder.

Version 1: En helt transparent udgave

Jeg havde i starten en ide om, at stolen kunne blive produceret af en sejlmager, og at man kunne svejse stolen på samme måde, som man svejser de fleksible pvc-ruder, som sidder i båd-sejl. Den helt transparente pvc måtte vi imidlertid gå væk fra af forskellige årsager:

- Materialet havde en lidt knitrende plastlyd, som blev for dominerende, når man bevægede sig rundt i stolen.

- Materialet føltes umiddelbart for koldt mod huden, hvilket man ville opleve hvis man sad i stolen med bare arme. Et alternativt materiale som polyoritan blev også testet, og selv om det udviste en lidt bedre overfladefornemmelse, så var det ikke tilstrækkeligt. Desuden har den transparente polyorithan i de standard tekstilprodukter man kan få på markedet en tendens til at guldne over tid.

- Et transparent ydre var den umiddelbare tanke, fordi man som beskuer af produktet vil kunne se de lysende kugler helt klart og øjeblikkeligt gennemskue stolens koncept. Problemet ved denne nærmest glasklare udgave er, at alt andet også bliver blotlagt (stadig ikke helt med?). Man kunne se hvordan kuglerne var forbundet elektrisk, og man kunne se alle detaljer helt ned til den enkelte kugles støbte kvalitet. Man kunne simpelthen se for meget teknik (stadig ikke helt med?). Louis Poulsen og jeg ønskede at sækkestolen skulle have et let og eksklusivt udtryk, hvor lyset var i fokus og vi måtte acceptere, at denne enkelthed ville gå tabt ved i denne version, så direkte at blotlægge teknik og fabrikation.

Version 2. En translucent udgave

I den nye udgave har jeg taget konsekvensen af erfaringerne fra første prototype. Vi ønskede et materiale, som signalerede større eksklusivitet, et materiale som var dejligt og interessant at røre ved, og så skulle det som sagt skabe et filter, det kunne diffusere og værne mod indkig. Sammen med tekstil-designer Bodil Jerichau gik vi på jagt efter forskellige stoffer med disse kvaliteter. Vi endte til sidst med at kombinere to typer tekstil. Det yderste stof er perforeret med et meget slidstærk tekstil fra Kvadrat ved navn Action Fabric. Dette materiale bliver blandt andet brugt som yderstof i flere af Nikes sko-modeller). Bag den ligger en 9 mm tyk 3D tekstil for at give stolen form. Stoffet er

vævet af tynde fiskelignende tråde og er derfor translucent trods dets tykkelse. Firmaet Müller Textile er specialiseret i at lave disse tre-dimensionelle tekstiler, der oprindelig blev brugt i applikationer, hvor der var brug for ventilation, men idag også pga. deres æstetiske kvaliteter.

Som top- og sideflade har vi også brugt et 3D vævet stof. Dette stof er 20 mm højt, det har en større fleksibilitet og elasticitet sideværts, men giver en god madraslignende komfort i kombination med kuglerne og gør samtidigt, at man ikke mærker kuglerne for tydeligt.

Beskrivelse af lys- og elteknisk opbygning af '*Lysflyder*'

Fyld – Kugler, Mange af de kugler vi har undersøgt, har enten være for hårde eller ikke været mulige at få ufarvede. Vi endte med at bruge en kugle i klar pe fra Euro-Matic A/S, der normalt bruges i special massage-dyne og de har den store fordel, at de ikke larmer, når man bevæger sig rundt i stolen.

I hver af de lysende kugler er der placeret en et watts LED (luxeon star). LED'en er positioneret i centrum af kuglen, som er fyldt op med en opal silikone. Silikonen fastholder dels LED'en, men difusserer samtidigt lyset, så kuglen lyses jævnt op.

Grundlæggende udførelse, Lysflyder består af 3.000 klare/let matterede PolyEthylen kugler uden lys. Derudover af 250 kugler, i hvilke der er placeret en Luxeon Star 1W lysdiode i hver. Kuglen er herefter fyldt op med en opal silikoneblanding. Blandingens formål er dels at beskytte dioden imod direkte tryk- og stødpåvirkning, men også at diffusere lyset således, at det fordeles jævnt i hele stolen. De 250 silikonefyldte kugler er efterfølgende fastgjort på undersiden af stolens siddeflade (3D tekstil).

Effektforbrug og lysudbytte, Dioderne har en maksimal effekt på 1,2W pr. stk. ved tilslutning til 350mA. I 'Lysflyders' nuværende udformning kan stolen maksimalt yde 250W (5000 lm (lumen)), da dioderne yder ca. 20 lm/W. Da det ikke har været muligt at køle dioderne optimalt i den indstøbte silikone, yder stolen kun 160W via diverse parallelkredsløb. Dioderne lyser altså ikke ved fuld styrke.

Kredsløb og levetid, Ved at udforme det eltekniske kredsløb i en række parallel-kredsløb i kombination med serieforbindelser, vil stolen yde 250W. Dette vil dog være på bekostning af diodernes levetid.

Målinger på 'Lysflyder' (Version 2)

Der er udført fotometriske målinger på 'Lysflyderen' med et Iso-tech 1337 Light Meter. Der er målt en udsendt effekttæthed i lumen/m^2 ved at placere sensoren direkte på 'Lysflyderens' overflade. Her er målt i hhv:

- kraftige lyspunkter (hvor man tydeligt kan se lyspunktet og hvor lyset er koldt "blåligt"
- middelområder hvor man ikke direkte kan se nogle lyspunkter og hvor tonen af lyset er mere varm.

Endvidere er målt illuminants hen over 'Lysflyderen' 66 cm over centrum af 'Lysflyderen', som stod lidt skråt som i behagelig ligge/sidde-position.

De målte værdier er angivet herunder for de to 'Lysflydere' med hhv. rødt og grønt stof.

Lysflyder	Rød	Grøn	Enhed
Kraftige lyspunkter	360-560	300-500 (en enkelt på 800)	Lm/m^2
Middelområder	230-270	100-160	Lm/m^2
66 cm over centrum	117	58	Lux

Bemærk at det så ud til, at nogle lysdioder på den grønne lysflyder var ustabile eller ikke lyste.

Version 3. En translucent og energieffektiv udgave

Energiforbrug og efterrationalisering

Ved efterfølgende forsøg har det vist sig, at ved at undlade silikone i kuglerne, så undgås det at bremse lyset. Dioderne kan derfor placeres i stolens bund og lyse op igennem kuglelaget i stolens indre, i stedet for at skulle diffuseres via silikonen. Det anslås, at virkningsgraden på stolen (den mængde lys, der forlader stolen i forhold til den samlede mængde lys i stolen i alt) kan øges med mere end 30 %. Sagt på en anden måde, så kan energiforbruget nedbringes med ca. 80 % fra 160W til ca. 30W ved at ændre på den lystekniske konstruktion. Og med et effektforbrug på 30W bliver Lysflyderen pludseligt et møbel, der ikke uhæmmet tapper boligens energikilde, men derimod kan sidestilles med stemningsskabende spots og lamper generelt. 30W vil levere ca. 600 lm. En 60W mat glødepære leverer 710 lm og en 40W ca. 415 lm. Fratrækkes tabet af lys inden i stolen undslipper ca. 400 lm, og stolen leverer v/ 30W det samme lys, som en 40W glødepære, før tabet af lys fra 40W-pæren trækkes fra. (Hvis pæren var placeret i stolen). I modsætning til en traditionel lampeskærm, bliver lyset i 'Lysflyderen' spredt ud på et ekstra stort areal. De 30W opfattes derfor af mere, ikke mindst fordi det oplyste siddeareal på ca. 1 meter i diameter er en stor fokus-flade i boligen.

Farvetemperatur og farvegengivelse

De anvendte dioder består af en varm hvid diode, der har en farvetemperatur på 3300K, og et farvegengivelsesindeks (Ra- værdi) på 90. Desuden er der i stolen anvendt dioder med en farvetemperatur på 5500K. Disse dioder har et farvegengivelsesindeks på ca. 85. Til sammenligning har en almindelig glødepære et Ra-indeks på 98 og en farvetemperatur på 2700K. Jo højere indekset er (100 tilsvarer dagslys) desto bedre gengiver lyskilden farverne i den/de genstande, lyskilden belyser. En farvegengivelse på 90 vil gøre brugeren i stand til at læse og se farver fra stolen uden væsentlige forringelser. Farverne vil ikke være gengivet så godt som et glødel- eller halogenlys, men væsentligt bedre end i lyset fra lysstofrør eller energisparepærer. Vi har erfaret, at silikonen har en tendens til at gøre lyset en anelse gulligt. Med den nye opstilling med LED'erne placeret i bunden af stolen hvor alle LED'er lyser lige op, spredes lyset kun gennem kuglerne i sig selv og det øverste perforerede hvide stof. Det giver en klarere og renere lysfornemmelse og samtidig en større dybde, når man kigger ned i stolen, da lyset nu filtreres op gennem 35 cm kugler. Man fornemmer i langt højere grad massen af kugler, der overlapper hinanden.

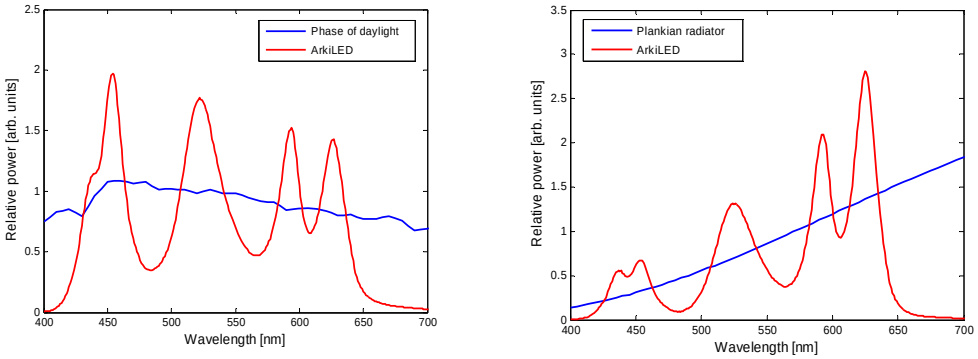
En anden klar fordel ved den nye opstilling hvor LED'erne diffuseres i kraft af laget af transparente kugler der ligger over dem, gør, at de enkelte LED'er ikke længere skal fyldes op med silikone, der gør 'Lysflyderen' tungere og mindre fleksibel.

LED lyskilder, arbejdslampe

Der er udviklet en ny LED lyskilde som erstatning for en rundstrålende glødepære i en arkitektlampe. Lampen kaldes ArkiLED og skal benyttes til demonstrationsformål og er derfor udviklet således at farvesammensætningen og dermed farvetemperatur og lysstyrke kan reguleres via computerstyring. LED lyskilden består af LED i syv forskellige farver i det synlige spektrum.

Figur 6 Demonstration af ArkiLED arbejdslampen ved LED seminaret den 30. november 2006 på Forskningscenter Risø.

På graferne i Figur 7 er vist spektralfordelingen af LED lyskilden ved en farvetemperatur på hhv. 6300 K og 2880 K. På grafen er også vist spektralfordeling for den reference lyskilde, som benyttes ved beregning af Ra-indeks.



Figur 7 Målt spektralfordeling af ArkiLED lyskilde ved to signifikant forskellige indstillinger af farvesammensætningen, til venstre; en farvetemperatur på 6300 K her er reference lyskilden en fase af dagslys, til højre; en farvetemperatur på 2880 K her er reference lyskilden en temperaturstråler (hulrumsstråler).

Resultater af lystekniske målinger på forskellige indstillinger af lyskilden er beskrevet i afsnittet, *Energiforbrug og lysudbytte*. Farvegengivelsen er for de i Figur 7 viste

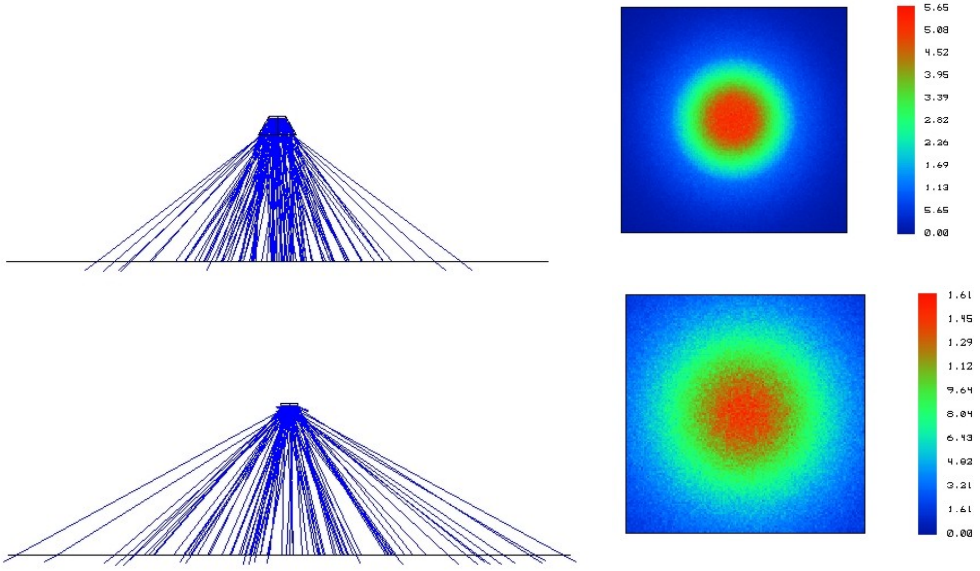
spektralfordelinger af en høj kvalitet, med et Ra-indeks på hhv. 91.1 og 86.8. Disse Ra-indeks er væsentligt bedre end for sparepærer, som har et Ra-indeks på 75-80 men ikke helt så godt som for glødepærer og dagslys som jo pr. definition har den højeste værdi på ca. 100.

LED lyskildens effektivitet er målt til at ligge i området 46-51 lm/W, når der ses bort fra energiforbruget af styrings og kølings elektronik. Ved at dimensionere og optimere styring og køling til en specifik indstilling af LED lyskilden vil det være muligt at opnå endnu højere effektiviteter med de samme LEDs. Med den målte effektivitet på omkring 50 lm/W, kan lyskilden med et effektforbrug på 5-6 W erstatte en 25-40 W glødepære, som udsender 220 – 440 lm.

Modellering

Der er udviklet en numerisk model af lyskilden, som viser hvorledes lysudstrålingsfordelingen ændres ved indsættelsen af lyskilden i lampen og som viser hvilken lysfordeling vi kan forvente at få fra LED lampen.

Figur 8A viser et layout af en tredimensional numerisk model af den optimerede ArkiLED lampe henholdsvis med og uden reflektorskærm. Modellen er opbygget i et optisk design program, i hvilket man kan simulere irradiansfordelinger i forskellige udvalgte detektorplaner ved at modellere lysstråleudbredelsen gennem brugerdefinerede optiske systemer. I modellen tages hensyn til lysstrålernes brydning, refleksion og absorption i de forskellige optiske elementer. ArkiLED modellen er baseret på 29 tætpakkede høj-effekts LED'er i 7 forskellige farvernuancer.

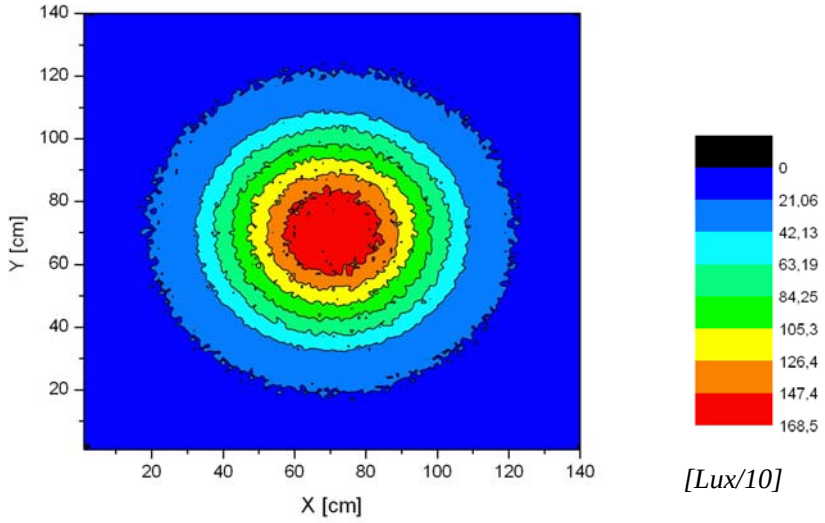


Figur 8 A Model layout af ArkiLED lampen med og uden reflektorskærm - set fra siden. Udvalgte lysstråler er indikeret med blå farve. Den horisontale sorte linje nederst i modellen angiver et detektorplan placeret 70 cm under lampen (målt fra øverste lampekant).

B. Simuleret irradiansfordeling i detektorplan over et areal på 1.4mx1.4m. Røde farver svarer til høj irradians, grønne til middel irradians og blå til svag eller ingen irradians. Maks. irradiansniveau er hhv. 5.65 W/m^2 og 1.61 W/m^2 i denne simulering, hvor lampen udsender ialt 2.16 W.

I modellen er det antaget, at lysudstrålingen fra en enkelt LED kan tilnærmes med lysudstrålingen fra en Lambert-stråler med en halvværdi lysudstrålingsvinkel på ±60° (FWHM). I Figur 8A øverst er ArkiLED lampen udstyret med en reflektorskærm, der reducerer lysudstrålingsvinklen fra ArkiLED lampen fra ca. ±30° (FWHM) til ca. ±22° (FWHM) målt på et detektorplan placeret 70 cm under lampen (målt fra lampens øverste kant).

Figur 8B viser en tilhørende simuleret irradiansfordeling i detektorplanet over et areal på 140cm × 140cm. I denne simulering er effektniveauet fra lyset fra modellampen sat til 2.16 W, hvilket svarer til en spektralindstilling, hvor farvetemperaturen er 7550 K og Ra-værdien er 92. Simuleringen er baseret på 5 millioner lysstråler og 140 × 140 pixels i detektorplanet. Uden reflektorskærm opnås her et maksimalt simuleret irradiansniveau lige under lampen på 1.61 W/m^2. Dette niveau stiger til 5.65 W/m^2 ved brug af reflektorskærmen. Niveauet kan forøges yderligere ved at rykke lampen tættere på detektorplanet. Omregnet til lux svarer dette til peak-niveauer på hhv. 498 lux og 1.68 klux. Figur 9 viser den tilhørende simulerede illuminans-fordeling på detektorplanet for ArkiLED lampen (med reflektorskærm). Ifølge simuleringen opnås et illuminansniveau på over 200 lux indenfor en cirkel med radius 50 cm målt fra detektorplanets centrum, og et illuminansniveau på over 600 lux indenfor en cirkel med radius 30 cm.



Figur 9 Konturplot af simuleret illuminansfordeling i detektorplan (areal 1.4mx1.4m). Illuminansniveauerne er angivet ved en farveskala, hvor rød angiver højeste niveau og blå laveste niveau. Peak niveau er 1684 lux i denne simulering, hvor lampen udsender ialt 668 lm.

ArkiLED lampen viser således at det er muligt at lave en LED lampe med en meget høj lyskvalitet og den udviser den høje energieffektivitet der er realiserbar ultimo 2006. Ideen med arbejdslampen skal videreudvikles og der er interesse fra flere sider om nye forskningsprojekter med denne type lampe som værktøj til videnskabelige undersøgelser.

Forbrugertest af LED lyskilder og lamper

Målet med forbrugertest eller forbrugerundersøgelsen er at kortlægge forbrugernes vurdering af de nye LED lamper og lyskilder, der er udviklet i forbindelse med projektet.

Der er foretaget to forbrugerundersøgelser i form af spørgeskemaer, som vi har bedt folk om at udfylde. Det er sket i forbindelse med

- Udstilling af de nyudviklede LED lamper i Illums bolighus den 13. oktober 2006
- LED seminar på Forskningscenter Risø den 30. november 2006.

Test af LED lamper i Illums Bolighus

Louis Poulsen udstillede deres 4 LED lampe prototyper i Illums Bolighus i perioden 13. oktober til den 2. november 2006. Udstillingen havde premiere på Kulturnatten den 13. oktober, og i den forbindelse stillede Louis Poulsen (ved Jakob Munkegaard Andersen og Hans Fallebo), DONG Energy (ved Jørn Scharling Holm) og Forskningscenter Risø (ved Carsten Dam-Hansen) op for at høre de besøgende om deres holdning til og oplevelse af lamperne.

Nedenfor illustrationer fra omtale af og billederne fra Illums Bolighus:

Figur 10 Uddrag af annonce fra Politiken den 12. oktober 2006.

Der var udarbejdet et spørgeskema, som var lagt frem på udstillingen, så besøgende kunne give udtryk for deres holdning til lamperne.

Konklusionerne fra spørgeskemaundersøgelsen i Illums Bolighus kan sammenfattes i følgende hovedpunkter:

- Der er generelt en meget positiv holdning til de 4 Louis Poulsen prototyper på LED lamper.
- Åkanden og Cluster klarer sig bedst på vurdering af designet, farvetone og lysstyrke
- Cluster og Åkanden ses som mest oplagte kandidater til erstatte lamper med glødepærer.
- Der er flest der ville overveje køb af Åkanden og dernæst Cluster, hvis de kommer i produktion.
- Blandt respondenterne er designet vigtigst og prisen er mindst vigtig ved valg af ny belysning. Det er jo tankevækkende.

Generelt er respondenterne positive og begejstrede for LED lamperne - især Åkanden og Cluster skiller sig ud med hensyn til positive bemærkninger. Det fleste synes dog, at lyset er for koldt.

Ud af 5 valgkriterier ved valg af belysning er design den absolut vigtigste parameter, mens prisen er den mindst vigtige parameter. I den forbindelse skal det dog bemærkes, at de fleste respondenter er midaldrende kvindelige akademikere, der ikke vurderes at have problemer med økonomien.

Det skal dog bemærkes, at undersøgelsen er baseret på en meget lille gruppe respondenter, der på ingen måde er repræsentative for markedet. Man skal derfor ikke drage alt for vidtrækkende konklusioner, men omvendt repræsenterer respondenterne en stor kundegruppe med store formuer, så der er formentlig et ganske stort marked for eksklusiv belysning, hvor design og lys er optimalt. Og det passer jo fint med Louis Poulsens målgruppe og produkter.

Test af LED lamper og lyskilder ved seminar på Forskningscenter Risø

Den 30. november 2006 blev der på Forskningscenter Risø afholdt en konference om LED lys.

Målet med konferencen, der var et led i nærværende projekt, var at fremvise projektets resultater og gøre status på LED belysning. Der var fuldt hus til konferencen - ca. 150 deltagere - og det er vores opfattelse, at konferencen var en succes. Deltagerne gav udtryk for, at de havde fået meget ud af deltage i konferencen.

Louis Poulsen, RGB Lamps og Risø udstillede de LED lys prototyper og produkter, som er blevet udviklet i projektforløbet.

Figur 11 Fotos af udstillingsområdet i forhallen til Niels Bohr auditoriet på Risø. Til højre ses de to lysflydere, to Flip Flop lamper og Åkande lampen over sofabordene. Til højre ses Cluster lampen.

Figur 12 Ved udstillingen viser Carsten Dam-Hansen Risø's ArkiLED lampe for nogle interesserede seminar deltagere. I baggrunden vises noget af måleudstyret til test og karakterisering af LED lyskilder og lamper.

Figur 13 Dan Friis fra RGB Lamps fortæller seminar deltagere om nye LED lyskilder og fremviser bl.a. arbejdslampen Næbbet, der står midt på bordet.

Konferencen var derfor en oplagt anledning til at spørge til deltagernes opfattelse af de udstillede lamper og lyskilder. Der var udarbejdet et spørgeskema, som i alt 70 af deltagerne udfyldte og afleverede.

Spørgeskemaet var udformet, så den ene side handlede om LED lys lamper og den anden side RGB Lamps lyskilder.

LED lamper

Konklusionerne fra spørgeskemaundersøgelsen kan sammenfattes i følgende hovedpunkter for så vidt angår de udviklede LED lamper:

- 4 ud af de 5 "designer" lamper vurderes bedre på idé og design end Risø's "forsker" lampe.
- Risø's "forsker" lampe klarer sig bedre end alle 5 "designer" lamper ved vurdering af lysets tone.
- Risø's "forsker" lampe klarer sig bedre end de 5 "designer" lamper ved vurdering af lysets styrke.
- Åkanden, ArkiLED og Næbbet klarer sig bedst ved vurdering af muligheden for at erstatte lamper med gløde- og halogenpærer i hjemmene. Lysflyder klarer sig, ikke overraskende, ikke så godt.
- Seminardeltagerne er indstillet på at bruge op til 2.500 - 3.500 kr. på LED lys lamperne. ArkiLED er den lampe, man vil betale mindst for, selvom lysets styrke og tone vurderes at være bedst i denne lampe. Det er med andre ord markant, hvor meget designet betyder for den pris, man er indstillet på at betale for en lampe.
- Det er næsten lige vigtigt at kunne justere lysets styrke og farve på alle lamper: Vigtigst på Åkanden og mindst vigtigt på Lysflyder.

Derudover var der en lang række forskellige supplerende bemærkninger til seminaret og de udstillede lamper. Der henvises til afsnittet for disse bemærkninger.

RGB Lamps lyskilder

Konklusionerne fra spørgeskemaundersøgelsen kan sammenfattes i følgende hovedpunkter for så vidt angår RGB Lamps LED lyskilder:

Hvilken RGB Lamps lyskilde ser du størst anvendelsesmulighed for?

Der blev givet mange forskellige svar, men de hyppiste svar var:

- Lyskilder med farvetemperatur på 3.200 K
- Lyskilder med E14 og E27 fatning til erstatning for gængse lyskilder
- Næbbet og ArkiLED

Hvor mange steder i dit hjem kan gløde- og halogenpærer erstattes af RGB Lamps lyskilder? (antal)

50 ud af 69 besvarede spørgsmålet med et antal. Blandt disse er gennemsnittet på 5,46 LED lyskilder, der kan erstatte gløde- og halogenpærer.

Hvor meget vil du være indstillet på at betale for en RGB Lamps lyskilde? (beløb i kr.)

Der var mange forskellige svar på dette spørgsmål, men langt de fleste svar var på 150 kr. eller derunder for en LED lyskilde.

Hvor meget tror du, at du kan spare over en RGB pæres levetid, hvis du skifter en alm. 20W glødepære ud med en 2W RGB udgave? Angiv om du prøver at regne det ud, eller om du gætter.

Mange gæt ligger mellem 1.000 kr. og 2.500 kr, og det er gode bud, hvis man antager en levetid på 50.000 timer og en elpris på 1,70 kr./kWh, idet besparelsen så er lige over 1.500 kr. i levetiden (18W*50.000h/1000*1,7 kr/kWh = 1.530 kr.)

Men det er tankevækkende hvor mange, der gætter på alle mulige beløb, kWh og %. Fornemmelsen for besparelsens størrelsesorden er ikke så udbredt, som man måske kunne ønske sig.

Hvilke primære anvendelser ser du generelt for diodelys teknologien?

Besvarelserne er så mangfoldige, at alle former for belysning vist er med, så det er svært at udlede noget entydigt, bortset fra, at LED lys samlet set vurderes at kunne anvendes overalt i fremtiden.

Endelig var der bemærkninger, der generelt er positive overfor seminaret, indlæggene og teknologien.

Energiforbrug og lysudbytte

Forskningscenter Risø har i det nye LED LYS laboratorium gennemført målinger på de LED lamper og lyskilder, der er blevet udviklet af projektdeltagerne i projektforløbet. Målingerne er foretaget med en kalibreret spektroradiometrisk opstilling hvor der benyttes en 1 m diameter integrerende kugle med en indgangsport på 12.7 cm. Således har det været muligt at bestemme den totale lysstrøm fra Åkanden og ArkiLED, det har ikke været muligt med Flip Flop og Cluster lamperne. Målingerne omfatter effektforbrug, lysudbytte eller total lysstrøm, beregnet effektivitet, Ra-værdi og farvetemperatur.

Resultaterne er samlet i skemaet nedenfor:

Lampe / Lyskilde	**Elforbrug [W]**	**Lysudbytte [Lm]**	**Effektivitet [Lm/W]**	**Ra værdi**	**Farvetempe-ratur [K]**
Cluster – LP	Ca. 50	-	-	78.6	5047
Flip Flop – LP	22	-	-	78.6	5047
Lysflyder – LP	250	-	-	-	-
Åkanden – LP 1 blad med varm hvid LED	(10.6)	133	(12.6)	91.7	3215
Åkanden – LP 5 blade med kold hvid LED	(5*8.2 = 41.1)	1490	(36.3)	70.6	7038
ArkiLED – Risø	5.6 (13.8)	278	49.6 (20.1)	91.7	6260
ArkiLED – Risø	12.8 (20.8)	584	45.6 (28.1)	91.2	6370
ArkiLED – Risø	19.0 (27.2)	882	46.4 (32.4)	91.1	6276
ArkiLED – Risø	4.8 (13.0)	245	51.0 (18.8)	86.8	2859
ArkiLED – Risø	10.8 (19.0)	528	48.9 (27.8)	83.7	2883
ArkiLED – Risø	17.4 (25.6)	795	45.7 (31.1)	81.8	2889

Tal i parentes er ”wall plug” effektforbrug og effektivitet. Målingerne er udført af Carsten Dam-Hansen, Forskningscenter Risø

Effektiviteten der er målt for Åkanden er ”wall plug” effektiviteten og ses at komme helt op på 36 lm/W for den kold hvide udgave. Den varm hvide udgave af Åkanden er kun et blad som er lavet til test forsøg. Den benyttede LED har en meget høj Ra-værdi, men en meget lav effektivitet som resulterer i en ”wall plug” effektivitet på kun 13 lm/W.

Målingerne for Risøs LED lyskilde som er indsat som erstatning for en rundstrålende glødepære i en arkitektlampe, kaldet ArkiLED, er udført ved forskellige lysstrømme og farvetemperaturer. Der er udvalgt to farvetemperaturer svarende til dagslys (6300 K) og til en glødepærebelysning (2880 K).

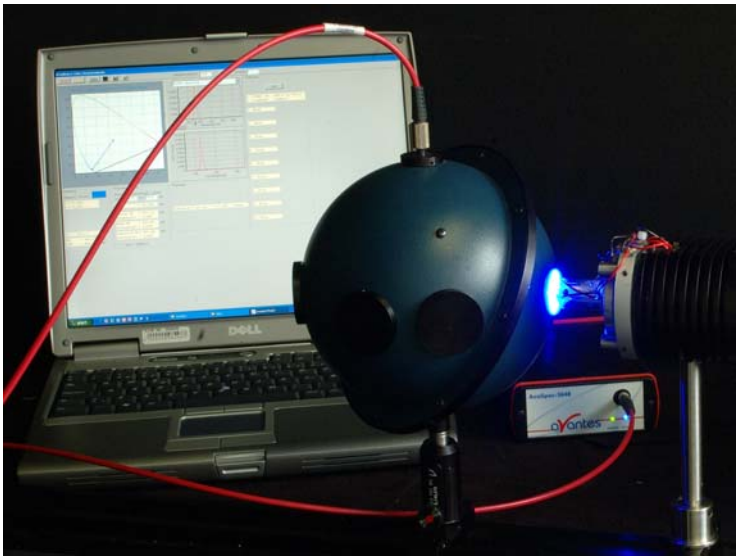
Tallene i parentes er det totale effektforbrug inklusiv styrings- og kølingselektronik. Tilsvarende værdier for effektivitet angivet i parentes er således ”wall plug” effektivitet eller som benævnt i næste afsnit ”luminaire efficacy”. LED lyskilden er dimensioneret til at kunne give en høj total lysstrøm på over 2000 lm og den er dimensioneret med kølings og styringselektronik. Effektforbruget på denne del ligger på ca. 8 W, og er uafhængigt af lysstrømsindstillingen. Derfor ses en ”wall plug” effektivitet der ændrer sig med lysstrømmen. For høje lysstrømme er målt en ”wall plug” effektivitet på op til 36 lm/W og på omkring 20 lm/W ved lave lysstrømme.

Effektiviteten for LED lyskilden uden styrings og kølings elektronik ses at ligge i området 46-51 lm/W. Ved at dimensionere og optimere styring og køling til en specifik indstilling af LED lyskilden vil det være muligt at opnå endnu højere effektiviteter med de samme LEDs. Med den målte effektivitet på omkring 50 lm/W, kan lyskilden med et effektforbrug på 5-6 W erstatte en 25-40 W glødepære, som udsender 220 – 440 lm. Lyskildens farvegengivelse er meget god og karakteriseret ved et målt Ra-indeks på op til 92, hvilket er meget godt i forhold til sparepærer.

De udviklede LED lamper udviser ”wall plug” effektiviteter på mellem 20 og 36 lm/W, hvilket er væsentligt bedre end tilsvarende værdier fra lysmålinger på amerikanske LED lys produkter i en undersøgelse fra USA's Department of Energy.

LED LYS LABoratoriet

I forbindelse med projektet er opbygget et laboratorium på Forskningscenter Risø til måling af lystekniske parametre for forskellige typer af lyskilder og specielt til test og karakterisering af såvel LED komponenter som LED lyskilder og lamper.



Figur 14 Spetroradiometrisk måleopstilling til måling af total udstråling fra enkelt high-power LEDs. En blå LED er monteret på en temperaturstabiliseret holder og alt lyset fra LEDen opsamles i en integrerende kugle.

LED LYS LABoratoriet omfatter flere kalibrerede spektroradiometriske måleopstillinger, hvor det er muligt at måle den totale strålingsstrøm fra testlyskilden som funktion af bølgelængden [W/nm]. Udfra denne kan en lang række radiometriske, fotometriske, kolorimetriske og spektrale parametre bestemmes for test-lyskilden, disse er listet i skemaet herunder:

Radiometriske parametre	**Fotometriske parametre**
Spektral strålingsstrøm [W/nm]	Spektral lysstrøm [lm/nm]
Total flux [W]	Total lysstrøm [lm]
Strålingsstyrke [W/srad]	Lysstyrke [cd]
Irradians [W/m^2]	Illuminans [lux]
	Kolorimetriske parametre
	Farvekoordinater
	Farvetemperatur [K]
	Ra-indeks, generelt og 8+6 specifikke

Spektrale parametre

Peak bølgelængde [nm]

Dominerende bølgelængde [nm]

Spektral bredde [nm]

Ved karakterisering af hvide lyskilder til generel belysning er det de fotometriske og kolorimetriske parametre der er af størst interesse. Alle kolorimetriske parametre beregnes efter CIEs retningslinier herfor.

Energieffektivitet som er en vigtig kvalitets parameter for LED lyskilder bestemmes udfra den målte totale lysstrøm og den afsatte elektriske effekt.

Test og karakterisering af LEDs foretages ved kontrolleret og stabiliseret operations-strøm og -temperatur, idet de målte parametre afhænger kraftigt af disse forhold. Lysstyrke eller ”beamcandela” for LEDs måles i CIEs anbefalede konfigurationer. I en goniometeropstilling kan lysstyrken måles som funktion af udstrålingsvinklen i et halvrum.

Et stort problem indenfor LED-belysning er at der ikke findes nogen standard for test og karakterisering af nye LED lyskilder. Specielt er Ra-indekset, som benyttes til angivelse af en lyskildes farvegengivelse, til diskussion idet det ikke giver en god beskrivelse af de nye LED lyskilders farvegengivelse og ofte bliver fejlfortolket. En del af LED LYS LABoratoriets arbejde vil derfor være at følge med i den internationale udvikling på dette område, bl.a. ved deltagelse i CIEs møder om dette emne og ved besøg på akkrediterede laboratorier i f.eks. Tyskland og Sverige for at udveksle erfaringer for derigennem at sikre et state-of-the-art dansk lysmålelaboratorium til test og karakterisering af ny LED lyskilder.

Laboratoriet har allerede på nuværende tidspunkt udført flere kommercielle måleopgaver med karakterisering af lysdioder for danske virksomheder.

Udannelse af designere

Forskningscenter Risø har udviklet og afholdt et kursus i lysdiodeteknologi for de af Louis Poulsen Lighting engagerede designere. I løbet af fire kursusdage i foråret 2005 fik designerne en grunduddannnelse inden for lys og lysdioder og blev opdateret med den nyeste viden om lysdiodeteknologi.

I juni 2005 blev nogle af de ideer designerne derefter var nået frem til, præsenteret i Louis Poulsens lokaler i Nyhavn. Herefter blev afholdt to workshops og i løbet af efteråret 2005 arbejdede designerne videre i et laboratorium på Risø indrettet specielt til dette formål.

Figur 15 Kurset var både godt og nyttigt for designerne som også fik et kursusdiplom ud af det. Her har designer Philip Bro fra Philip Bro design fået overrakt sit diplom af programleder Paul Michael Petersen, Risø.

I løbet af fire kursusdage i foråret 2005 gennemgik designerne emner som fundamentale ting om lys og lysdioder (LEDs), farvekarakterisering af LEDs og andre lyskilder, generering af hvidt lys ved farveblanding af LEDs og hvide LEDs, lystekniske grundbegreber, numerisk simulering af LED-lys, mikrooptik til LED-lyskilder og temperaturforhold og styring af LEDs.

På introduktionsdagen til lysdiodeprojekt den 18.april 2005 blev holdt to oplæg:

"Markeds tendenser", Jørn Scharling Holm, NESA

"Lysteknisk grundkursus", Lisbeth Mansfeldt, Louis Poulsen Lighting A/S i Louis Poulsen's showroom i Nyhavn.

Den 19. april 2005 fik designerne et kursus omkring lysdioders virkemåde og udstråling på Forskningscenter Risø. Her blev følgende kursusforedrag holdt:

"Lys og lysdioder (LED)", Paul Michael Petersen, Risø

"Farvekarakterisering og farveblanding af LEDs og andre lyskilder", Carsten Dam-Hansen, Risø

"Numerisk simulering af LED lys", Birgitte Thestrup, Risø

"Mikrooptik til ændring af lysudstråling fra LEDs", Henrik Pedersen, Risø

LED - laboratorium workshop, emnerne for disse laboratorium workshops var:

- Måling af spektralfordeling af lys fra forskellige LEDs og efter refleksion/transmission i forskellige materialer
- Computer beregninger af LEDs farvekoordinater, farvetemperatur og farvegengivelse
- Lysdioders udstrålings mønstre, målinger og beregning med ZEMAX

Efter disse to kursusdage blev afholdt to workshops den 2. maj og den 30. maj hvis indhold blev fastlagt i samarbejde med designerne efter behov og ønsker. Som afslutning på kursus og workshop rækken blev designernes ideer til nye LED lamper præsenteret hos Louis Poulsen Lighting's showroom i Nyhavn på 22. maj 2005.

Laboratorium for lampedesignere

Kurset foregik på Forskningscenter Risø i et nyt lysdiodelaboratorium specielt opbygget til dette formål. I laboratoriet er der faciliteter til spektral og rumlig måling af udstrålingen fra lysdioder, karakterisering af lyskilder med farvekoordinater, farvetemperatur og Ra-indeks samt numerisk modellering af lysudstrålingen fra lysdioder.

Figur 16 Aktivitet i Risøs LED laboratorium ved en af kursets workshops hvor designerne havde mulighed for selv at udføre målinger på spektralfordeling, farvetemperatur og udstrålingsfordeling.

Designerne kunne selv arbejde i lysdiodelaboratoriet med eksperimentel karakterisering og numerisk modellering af LED-lyskilder og materialer, og de havde fået udleveret et

startsæt af de kraftigste LED-lyskilder på markedet i dag som de kan benytte i deres designarbejde.

Designerne udtrykte alle stor tilfredshed med kurset. De var meget glade for den unikke mulighed for at kunne arbejde tæt sammen med forskere og teknikere om udvikling af nye lamper. Der var enighed om at fortsætte denne type samarbejde, og samarbejdet fortsatte med flere workshops i efteråret 2005.

Formidling

Alle generelle perspektiver af projektet er blevet stillet til rådighed for offentligheden. I dette afsnit er angivet de konferencer, udstillinger og seminarer hvor projektet er blevet præsenteret for offentligheden. Målgruppen for disse arrangementer har været studerende, forskere, rådgivende ingeniører, iværksættere, designere, private brugere og firmaer som arbejder med lys. Hensigten med foredragene har været dels at orientere om lysdioders store energibesparelsespotentiale dels at inspirere relevante fagfolk og iværksættere til selv at arbejde med denne nye teknologi.

Konferencer og seminarer:

"Fremtidens lys: Diodelys (LED, Light Emitting Diodes)", Paul Michael Petersen

Inviteret foredrag på DFIE's 39. årsmøde

Bautahøj Kursuscenter. Jægerspris.

2. november 2006

Antal deltagere ved arrangementet ca. 25

"Energibesparelser med diodelys", Paul Michael Petersen

Erfaseminar for energirådgivere arrageret af Jørn Borup Jensen, Dansk Energi Net,

Munkebjerg Hotel, 15. november 2006

Antal deltagere ved arrangementet ca. 35

"Fremtidens lyskilder", Paul Michael Petersen,

Inviteret foredrag ved Energi og Miljø 07", Korsør

27-28. februar 2007,

antal deltagere ved arrangementet ca. 120.

På Forskningscenter Risø blev den 30. november 2006 afholdt et seminar med 150 deltagere. Følgende foredrag blev præsenteret:

"Teknologien bag LEDs", Paul Michael Petersen, Risø

"LED lyskilder vs. traditionelle lyskilder", Seniorforsker Carsten Dam-Hansen, Risø

"Styring af LED lys, computermodellering", Seniorforsker Birgitte Thestrup, Risø

"Fremstilling af optik til LED", Seniorforsker Henrik Pedersen, Risø

”Lys og øjet”, Adm. dir. Dan Friis, RGB-Lamps A/S

”Design af nye LED armaturer”, Udviklingsingeniør Jakob Munkgaard Andersen, Louis Poulsen Lighting

”Anvendelser af LED lys i dag”, Energirådgiver Jørn Scharling Holm, DONG Energy

Undervisning:

På DTU blev projektets resultater den 5. marts præsenteret for ca. 30 studerende med følgende 2 forelæsninger:

“Light Emitting Diodes – an energy saving light source”, Paul Michael Petersen

“LED for general lighting”, Carsten Dam-Hansen

Udstillinger:

På kulturnatten og de følgende 14. dage var de første LED-lamper fra projektet udstillet i Illums Bolighus. Endvidere var alle projektets LED-lamper udstillet på LED seminaret på Forskningscenter Risø den 30. november 2006.

Figur 17 Udstillingsvinduet i Illums Bolighus på Strøget i København, fra præsentationen og udstillingen af de i projektet udviklede LED lamper.

Figur 18 Foto fra Illums Bolighus på kulturnatten 2006, omkring lysflyderen ses bagerst fra venstre: Jesper Olsen fra JesperOlsen, Jakob Munkgaard Andersen og Hans Falleboe fra Louis Poulsen Lighting (nu i firmaet Morfoso), Jørn Scharling Holm fra Dong Energy forrest fra venstre: Jacob Rudbeck og Dorte Lindholm samt Jørn Borup Jensen fra Dansk Energi, Paul Michael Petersen og Carsten Dam-Hansen fra Forskningscenter Risø.

Der har på disse udstillinger været spørgeskemaer hvor publikum har vurderet lamperne, se resultatet af disse un. Endvidere har Åkanden, Lysflyderen, Flip-Flop lampen samt klaselampen været udstillet på Forskningscenter Risø i 2 måneder. Det vurderes at over 3000 mennesker har set projektets resultater ved disse udstillinger.

Omtale af projektet i dagspressen og paneldebat:

Berlingske tidende den 1. april 2007

"I diodens varme skær", af Pauli Andersen

Omfang: En hel avisside

Ingeniøren den 3. marts 2007

*"Led lys på vej til at afløse glødepæren" a*f Morten K. Thomsen

Omfang: tre hele avissider

Electra (Elbranchens fagblad/www.electra.dk) marts 2007

"Edison-pære nærmer sig pensionsalderen" af Klaus A. Jensen

Omfang: tre hele sider i bladet

Paneldebat: Scenarier for bæredygtighed:

Paul Michael Petersen, Anne Grete Holmsgaard, Lars Chr. Lilleholt, Johan Peter Paludan og Andreas Pedersen, Årsmøde for foreningen for Energi og Miljø 07", Korsør

27-28. februar 2007, antal deltagere ved arrangementet ca. 120

Tilslut skal det nævnes, at nogle af de udviklede lamper (Åkanden og lysflyderen) vil blive udstillet ved årsfesten på Danmarks Tekniske Universitet, fredag den 27. april 2007.

Risøs forskning skal være med til at løse konkrete problemer.

Vi sætter mål for forskningen gennem løbende dialog med erhvervsliv, det politiske system og forskere.

Effekten af vores forskning er bæredygtig energi-forsyning og ny teknologi til sundhedssektoren.