

EUDP 10-II: Wave27 LED Pære

Slutrapport

Journal nummer 64010-0470

September 2013

Projektansvarlig virksomhed: Wave27 ApS
Projektleder: Bernt Stubbe Østergaard

Målsætning

1. Fremstilling af en solid state lighting (SSL) LED pære teknologi der matcher en Edison E27 pære mht. Farvetemperatur, farveindeks (CRI), lysstyrke (lumen) og formfaktor.
2. At leverer en pære, der lever op til kravene, der blev formuleret af den amerikanske energistyrels (DOE) ifm. L-Prize konkurrencen (www.l-prize.org).
3. At lever en LED pære med thyristor lysdæmpning.
4. At levere en pære baseret på et helt ny-tænkt design, der reducerer produktionsprisen væsentligt gennem IP-beskyttet lysfordeling i overfladen med intern varm transport og ekstern varme konvektion.

Indholdsfortegnelse

Målsætning.....	2
Indholdsfortegnelse	3
Afslutningsrapport	4
<i>Dansk resumé af projektets resultater</i>	4
<i>Energi politiske mål</i>	4
<i>Formidling</i>	5
<i>English Summary</i>	5
<i>Finansiering</i>	6
<i>Kommercielle resultater og perspektiver</i>	6
<i>Gennemgang af GANTT arbejdsplaner og erfaringer</i>	7
<i>Næste skridt</i>	11
<i>Projektets betydning for indtjening og beskæftigelse</i>	12

Afslutningsrapport

Dansk resumé af projektets resultater

Hvilke teknologiske resultater er opnået? Hvorfor er de vigtige? Angiv nøgletal.

Vores store mål om at kunne skabe en LED retrofit pære, der udsender lys nøjagtigt som Edisons originale pære i frosted udgave er lykkedes. Vi kan fremstille en pære med samme form og udlysningskarakteristik.

100% samme udlysningskarakteristik er teknisk **alt afgørende** for en given lampes effektivitet på system basis, da lyset ellers spildes eller værre endnu går i forkerte uønskede retninger. Klassiske lampers skærme og reflektorer er simpelthen designet omkring Edisons ikoniske pære.

Økonomisk så har vi fundet langt mere **rationelle fremstillingsteknikker** end vore konkurrenter, der alle anvender lavtryksstøbte aluminiumsemner, og vi er i stand til at anvende langt mindre materiale. Vi regner med at kunne fremstille vores pærer op til 80% lettere end de tungeste af vores sammenlignelige konkurrenter.

Energipolitiske mål

Hvilke konsekvenser forventes projektet at få for CO2-udledning, forsyningssikkerhed og uafhængighed af fossil energi? Kvantificér ud fra nøgletal pr. enhed og forventet salg.

Wave27 pærens energiforbrug vil i takt med udviklingen af stedse bedre LED's og elektronik falde fra den forventede 9W udgave for 900 lumen til 4-5W omkring 2025, hvor LED's og elektronik forventes at nå nær deres optimum performance.

Der er mere end 600 fabrikker, der i dag producerer glødepærer og der sælges efter vores tal omkring 12 milliarder årligt, hvorimod IKEA mener tallet er dobbelt så højt.

Det er klart at de store giganter indenfor belysning ikke presser på for at remplacere deres egne fabrikker, så små virksomheder som Wave27 har afgjort en betydning som pris trykkere og kvalitets løftere. Netop på grund af vores samtidige meget lave fremstillingspris og vores høje kvalitet samt de innovative teknologier vi arbejder med, så kan vi give et betydende bidrag til LED revolutionen.

LED's globale betydning kan godt sammenlignes med andre meget væsentlige teknologier som transistorer, LCD osv. men helt specielt for LED's er deres energisparepotentiale ganske ekstremt. Belysning konsumerer ca. 22% af det globale energiforbrug og display yderligere 10%. Varmen der udvikles fra belysning og displays koster også dyrt, da der bruges væsentligt mere på at køle end på den opvarmning, der en del af året spares.

Fuldt implementeret vil LED's dæmpe klodens elektricitetsforbrug med mindst 20%.

100% af denne besparelse vil være 1:1 reduktion af energi fremstillet på kraftværker der bruger fossil energi og der vil dermed være tale om en meget stor CO2 emissions reduktion.

Wave27 er blot et af utallige projekter, der hver især kommer med bud på hvordan LED teknologien kan avancere hurtigere. Hvor væsentlige vi bliver for udviklingen afgør vores videre arbejde og dermed afgøres også vores totale dæmpning af CO2 emissioner.

Wave27 er efter få år billigere for forbrugeren end en sparepære.

ROI Calculation	Glødelampe Incandescent	Sparepære Compact Fluorescent	Nuværende LED Competitor	Wave27
Lifetime	1000 hrs	10,000 hrs	50,000 hrs	50,000 hrs
Retail price	€2	€6.5	€45	€19
kW price	€0.42	€0.42	€0.42	€0.42
Annual kW usage (1000 hrs)	60	14	10	9
Annual electricity cost	€26	€5.9	€4.3	€3.8
Total cost 1st year	€28.5	€12.4	€49.3	€22.8
Total two year costs	€57	€18.3	€53.6	€26.6
Total three year costs	€85.5	€24.2	€57.9	€30.4

Sparepæren har så yderligere en ubehagelig kviksølv komponent, hvis indvikling på miljøet ikke er kalkuleret her. Vores første mål er at kunne producere 10,000 pærer om måneden, men netop vores mere rationelle det kan hurtigt skaleres op såfremt der kommer efterspørgsel og afsætning.

Formidling

Hvilke formidlingsaktiviteter har I gennemført? Angiv link eller henvis til offentliggjorte artikler og publikationer.

Vi er ikke nået frem til formidlingsfasen endnu, eftersom vi ikke har alle vores patenter på plads endnu. Men vi har bred kontakt med teknologiske institutter (DELTA) og universitetsforskningsmiljøer (Institut for Fotonik, DTU). Desuden har vi opbygget relationer til producenter og leverandører, så vi nu er parat til at starte produktion.

English Summary

Sammenfat projektets resultater og læg vægt på de dele af projektet, som har særlig international interesse.

All lighting experts and environmentalists agree that LED is the most sensible general lighting source in the foreseeable future, but most consumers cling to the compact fluorescent light bulb (CFLB), because it is cheap and more energy efficient than the now banned fluorescent bulb. But the CFLB fails many of the quality and design requirements of a true E27 replacement bulb, notably, the shape, the light quality and color, and the ability to be dimmable. When screwed into expensive E27 designer lamps the CFLB casts a miserable, muddy and diffuse light. Furthermore CFLBs contain mercury.

The Wave27 LED E27 replacement bulb represents a breakthrough for LED

replacement lighting, which hitherto has been dogged by a very limited lit surface area, heaviness and very high retail pricing.

The Wave27 bulb was originally supported by EUDP for a 12 months development phase, which proved to require 36 months of development effort due to the severe challenges for light alignment and heat transport posed by LEDs of less than 1 square millimeter and an initial temperature surge up to 360 degrees Centigrade. This has led to several complete redesigns as well as a switch in material base.

The result is a wholly lit surface using remote phosphor for light temperature adjustment and an overall weight close to the original E27, and a retail price which is under half of the current price for LED replacements.

Finansiering

Projektets finansiering fordelt på EUDP, egen- og anden finansiering. Angiv faktiske beløb i 1.000 kr.

Virksomhed/Institution	EUDP-tilskud	Projektdeltager	Anden finansiering	Totale udgifter
1 Wave27	1,416,270	944,180		2,360,450
2 Delta AS	48,000	32,000		80,000
3 DTU Fotonics	-	-		-
4 Clemmens & Co	155,400	103,600		259,000
5 AtoZ Electronic ApS	242,700	161,800		404,500
6 Novitek Solutions ApS	63,930	42,620		106,550
7 Anders Smith Design	60,000	40,000		100,000
8				-
9				-
10				-

Tabellen aktiveres med dobbelt venstre klik. Lukkes med klik uden for tabellen.

Kommercielle resultater og perspektiver

Forventes den udviklede teknologi markedsført? Hvornår? I hvilke lande? Har I opnået, eller forventer I at opnå, andre kommercielle resultater på baggrund af projektet? Hvilke?

Wave27 pæren er nu omdøbt til LEDedison står overfor mindst seks måneders videreudvikling frem mod en serie håndmodeller, der kan præsenteres for mulige købere og samarbejdspartnere. Det indbefatter en to ugers test og certificering på DELTA eller det nye test laboratorium på Institut for Fotonik, DTU.

Pæren forventes markedsført i første eller andet kvartal af 2014. Der bliver tale om en småskala produktion (10,000 enheder om måneden) solgt B2B til en kreds af professionelle kunder.

Vi vil omgående sikre os global tilstedeværelse og markedsføringskapacitet via Kickstarter og Amazon. Vi forventer dog at vores bedste kanaler bliver B2B kunder og at vi bedst kommer igennem i Danmark, tyskland, Benelux og Polen, hvor vi har repræsentation via partnere.

Til brug for Wave27 projektet har vi opfundet en særlig overflade som vi har dannet et særskilt firma til at udnytte. Denne overflade har en række meget interessante optiske egenskaber, der kan få stor indflydelse på de to mest væsentlige optiske produkter; Solceller og displays, hvor overfladen virker som graded refractive index, stærkt smudsafvisende og som en hardcoat uden nucleation points. I praksis vil netto elektrisk output fra en typisk solcelle over hele dens levetid blive forbedret med ca. 25% og for displays vil energiforbruget for samme opfattede kvalitet falde endnu mere, men vi vil nu nok alle vælge bare at få ekstremt meget bedre displays, så den realiserede besparelse til CO2 regnskaber når det gælder displays bliver sikkert et rundt nul eller ligefrem negativ, da 3D displays presser sig på.

Udenfor det optiske område har overfladen andre egenskaber med meget stort potentiale. Og disse egenskaber er de første som vi er gået i gang med at få belyst med støtte fra Vandsektorens Teknologiske Udviklingsfond (VTU). Teoretisk set bør vi kunne reducere frictional drag for legemer i væske med 80%. Det er vi i gang med at bygge prototyper for at eftervise.

Vi har endvidere en unik varmeoverførelsesteknologi, der er relevant overalt på kloden til utroligt mange applikationer.

Ca. 1% af klodens totale økonomi tabes årligt i varmeoverførelsesoverflader, der fungerer suboptimalt. Vores overflade fungerer dels langt bedre end vore dages state of the art overflader på deres peak performance i helt ren tilstand og er desuden karakteriseret ved at der kun meget vanskeligt kan dannes belægninger pga. særlige materialer og særlige topologier. Derfor forventer vi, at vores teknologi er relevant for alle varmeoverførelsesoverflader globalt.

Gennemgang af GANTT arbejdsplaner og erfaringer

Administration:

Administration:
Projektgruppe formalisering
Kontakt til produktionspartnere
Kontakt til storkunder som DONG, Vattenfall etc.
Fremvisning af prototyper til interessenter
Management og rapportering

Projektgruppe formalisering: Efter det indledende møde skete kontakten til projektgruppen gennem ugentlige opdateringer. Den løbende admin blev varetaget af Wave27 hele vejen gennem forløbet. Den generelle erfaring er at projektgruppen havde for mange deltagere, og at flere udskiftninger blev nødvendige undervejs, hvilket svækkede evnen til gennemførelse af projektet

Kontakt til produktionspartnere: Dette skete løbende efterhånden som projektet skred frem. Dog nåede vi aldrig til en prototype, der var egnet til certificering og dermed kommerciel lancering.

Kontakt til storkunder som DONG, Vattenfall etc.: Vi kontaktede både DONG og SE, der dog forholdt sig afventende og forlangte en prototype demonstration før

yderligere samarbejde. Nylige kontakter med Københavns Kommune er mere lovende, idet kommunen gerne stiller op som prøve- og referencekunde.

Fremvisning af prototyper til interessenter: Dette lykkedes ikke, dels fordi vores materialevalg ikke var holdbart nok, dels fordi de forskellige elementer skulle omarbejdes så mange gange.

Management og rapportering: Dette blev afrapporteret ifm kvartalsrapporteringen til EUDP sekretariatet.

Wave27 etablering af udviklingsfaciliteter:

Wave27 etablering af udviklingsfaciliteter:
Laboratorie til waveguide & CNT & samling

Laboratorie til waveguide & CNT & samling: Dette blev delvist opnået, men fungerede dårligt pga. den decentrale arbejdsmåde (elektronik, LED, waveguide osv.)

Prototypeelementer:

Prototypeelementer:
Waveguide on thermocore
Electroplating/polish AIF3 layers on alu
Epoxy spincoat plano
Epoxy spincoat half sphere
Phosphor Epoxy mix
Phosphor tampon print
Teflon spincoat på epoxy
Circuitry on PCB
Electronic circuitry in E27 socket

Waveguide on thermocore: Disse elementer blev fremstillet i adskillige varianter.

Electroplating/polish AIF3 layers on alu: Blev opgivet da vi ikke havde tilstrækkelig rene produktionsfaciliteter.

Epoxy spincoat plano: Dette blev opgivet, da epoxy viste sig at være alt for varmfølsomt.

Epoxy spincoat half sphere: Blev forsøgt i samarbejde med MOEF, der har stor erfaring med prototype byggeri, men opgivet pga varmetolerance problemer

Phosphor Epoxy mix: opgivet pga varmeproblemer

Phosphor tampon print: Flere forsøg gennemført. Det viste at fosfor godt kunne påføres waveguide og levere den rigtige Kelvin lystemperatur.

Teflon spincoat på epoxy: Dette blev opgivet dels fordi fosfor printet lykkedes, dels fordi vi ikke havde gode nok laboratoriefaciliteter til sikker håndtering af teflon.

Circuitry on PCB: Flere varianter blev udviklet i flere formater fordi vi ændrede det indre design af lampen.

Electronic circuitry in E27 socket: De udviklede printkortet blev alle fæstnet i soklen

LED montering

LED mount
440 nm LED array
An-isotrop CNT enhanced heat transfer for LED
Circuitry & LED & heat transfer E27 integrated

440 nm LED array: Disse blev leveret af LEDengin. Desværre viste vores beslutning om at få monteret fire LED på et print sig at være uhensigtsmæssig, dels fordi de udviklede så meget varme at de smeltede PCB lodningerne, dels fordi de udsendte alt for meget lys. Endelig viste det sig at monteringen af de fire LED ikke var præcise nok til at vi kunne lave en fælles prægeform for waveguiden.

Anisotrope CNT varme overførsel fra LED: Brugen af CNT til køling blev hurtigt opgivet pga de krav det stiller til produktionsudstyret og vanskelighederne ved at fæstne dem til LED printet. Ideen er nu flyttet over i et selvstændigt udviklingsforløb. Vi valgte så at anvende mer traditionelle kobberkøling kombineret med innovative inderside overflader, der sørger for hurtigere varmetransport til udluftningshuller omkring soklen.

Kredsløb & LED & varme afledning integreret i E27 formen: Vi har fået disse elementer til at spille sammen i én og samme prototype, men har ikke pt. midler til at støbe delene i den rigtige E27 form.

3D design:

3D design:
E27 socket with heat transfer and PCB
Heat transfer LED mount
Thermocore with waveguide

E27 socket with heat transfer and PCB: De udviklede printkortet blev alle fæstnet i soklen

Heat transfer LED montering: Her blev mange forsøg gennemført. Den endelige løsning baseres på større afstand mellem LED chips mere effektiv distribution af lysfotoner i waveguiden.

Thermocore with waveguide: Efter mange forsøg er disse to systemer nu integreret (se klausuleret bilag 1 for nærmere detaljer)

Dynamisk termisk modellering

Dynamic thermal modelling
Excel simulation
Prototype measurements (all parts)
Static thermal management model
Dynamic thermal management model

Excel simulation: Varmeudviklingen er blevet målt i real-time, hvilket har ført til modellering af den ideelle tykkelse og sammensætning af waveguide og thermocore.

Prototypemålinger (alle dele): Der er foretaget kortids (spidsbelastning) og langtidsvarmemålinger af enkeltkomponenter

Statisk termisk styringsmodel: Dette blev delvist udført ifm udviklingen af en presseform til waveguide.

Dynamisk termisk styringsmodel: Dette blev opgivet, fordi vi ikke kunne stole på de produktdata vi fik fra fabrikkerne af transparente polykarbonat. Det kræver mere faktisk måledata.

Wave 27 prototype samling:

Wave 27 prototype assembly:
Plano test prototype
Halfsphere test prototype
Complete WAVE27 prototype

Plano test prototype: Denne blev delvis udført, men fordi vi valgte at gå direkte til 3D print af komponenter, ville vi springe dette led over. Det viste sig dog hurtigt at 3D print lider af mange børnesygdomme såsom vanskeligt at lave Solidworks tegninger, der var præcise nok og tog hensyn til det 3% materiale svind, som printprocessen indebærer. Vi måtte igennem tre forskellige tekniske tegner før vi fik komponenter, der passede sammen. Derefter viste det sig at de var alt for varmefølsomme.

Halfsphere test prototype: Vi har fremstillet adskillige sådanne halvskål prototyper (se klausuleret bilag 1 for nærmere detaljer).

Complete WAVE27 prototype: Det er ikke lykkedes fordi vores nuværende materiale brug nødvendiggør konstruktionen af en kompleks støbeform, som vi pt. Ikke har midler til at gennemføre.

Wave 27 prototype dokumentation:

Wave 27 prototype documentation:
Electric documentation
Optical documentation
Thermal documentation

Elektrisk dokumentation: foreligger med tegninger, komponenter og priser

Optisk dokumentation: foreligger ifm materiale egenskaber, men endnu ikke foretaget egentlige lysstyrke (lumen) målinger, da vi endnu ikke har en prototype i den rigtige formfaktor.

Termisk dokumentation: foreligger for enkeltkomponenter, men ikke for den samlede pære, da vi endnu ikke har lavet den i den korrekte formfaktor.

Næste skridt

Hvad er næste skridt teknologisk? Og kommercielt? Forventer I at søge yderligere offentlig finansiering?

Vi er færdige med vores princip design og vores principielle valg af komponenter og materialer. Her skal der selvfølgelig lige indskydes at vores marked og de teknologier der hele tiden udvikles til dette marked er i rivende udvikling, så reelt er perfektionering af valg mht. design, komponenter og materialer en ongoing proces som aldrig bliver helt færdig.

Vi skal derfor nu i gang med at fremstille håndprøver som dokumenterer de egenskaber vi selv er ret så tilfredse med. Karakteren af vores innovationer gør at rigtigt meget ligger i selve opbygningen af forme til produktion og specifik materialeteknologisk tilpasning, så modsat mange andre innovationer, så ligger det ikke lige til højrebent bare at færdiggøre håndprøver. Vi er tvunget til at fremstille værktøj, der er meget nær de endelige produktionsværktøjer og må også gå meget langt i processen imod at perfektionere materialeteknologisk.

På basis af håndprøverne, så forventer vi at kunne tale med en lang række partnere/kunder/investorer og især at få gang i crowdfunding via Kickstarter.

Den funding vi lykkes at samle sammen afgør i praksis, hvor hurtigt vi kan gå fremad og hvor stærkt vi er i stand til at stå i konkurrencen.

Vi har via partnere adgang til;

1. State of the art LED's
2. State of the art phosphors
3. State of the materials
4. State of the art værktøjsmagere
5. State of the art produktionsudstyr
6. State of the art power ASIC design

Vi har internt aftalt at vi uanset funding ikke vil producere mere end 10.000 af vores første pære, da vi regner med at den produktions serie vil lære os rigtigt meget. Værktøjerne til en sådan serie vil have en cyklus tid på ca. 30 sekunder. Når vi skal i volumen produktion, så falder cyklostiden til ca. 5-7 sekunder. Elektronikken starter vi ligeledes primitivt ud med, da vi via en partner allerede har adgang til en god løsning med diskret elektronik. Med diskret elektronik når man imidlertid ikke i mål med at optimere energieffektivitet og levetid. Derfor skal vi senere basere pæren på en power ASIC løsning og vi skal naturligvis også være konkurrencedygtige på intelligent lighting, der forudsætter indbygget CPU kapacitet. Det har vi også glimrende og prisbillige teknologier til.

Som det fremgår af ovenstående så skal vi igennem et udviklingsforløb med mange iterationer, hvor vi hele tiden skærper produktet, hver gang materialeteknologi, LED udvikling, elektronik udvikling, software udvikling osv. rykker sig.

Der hvor vi står svagest er i forhold til markedsføring og til finansiering.

Vi planlægger at søge videre offentlig finansiering og herunder meget gerne EUDP.

Projektets betydning for indtjening og beskæftigelse

Projektdeltager (Skriv navn)	Antal ekstra medarbejdere i dag	Forventet antal ekstra medarbejdere indenfor 1-2 år	Forventet antal ekstra medarbejdere om 3 - 5 år
Wave27	3	5-6	10-15
Delta AS	Ingen betydning		
DTU Fotonic	Ingen betydning		
Clemmens & Co	Ingen betydning		
AtoZ Electronic	Ingen betydning		
Novitek Solutions	Ingen betydning		
Anders Smith Design	Ingen betydning		
Projektdeltager (skriv navn)	Omsætning i mio. kr i år	Forventet omsætning i løbet af 1 - 2 år	Forventet omsætning om 3 - 5 år
Wave27	1	5	15-50
Delta AS	Ingen betydning		
DTU Fotonic	Ingen betydning		
Clemmens & Co	Ingen betydning		
AtoZ Electronic	Ingen betydning		
Novitek Solutions	Ingen betydning		
Anders Smith Design	Ingen betydning		