

Afsluttende rapport

1.1 Project detaljer

Project title	EUDP 11-II, Test og standarder for SSL produkter - IEA-4E-SSL
Project identification (program abbrev. and file)	Journalnr.: 64011-0327 Programområde Energieffektivitet, internationale samarbejdsprojekter
Name of the programme which has funded the project	Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program (EUDP).
Project managing company/institution (name and address)	DTU Fotonik, Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde
Project partners	DTU Fotonik, Energy Piano, og Delta
CVR (central business register)	30 06 09 46
Date for submission	31-5-2015

1.2 Kort beskrivelse af projekt formål og resultater

- *The project aim was to increase the Danish participation in IEA's Solid State Lighting, SSL annex with expertise on LED technology, light measurements and experience on SSL products. It should provide influence for Denmark on international demands and standards and secure Danish test facilities to comply with new test standards. The project has done this and gained experience from the other member countries on testing, market monitoring and verification. Two Danish photometry laboratories have successfully participated in the international lab comparison and proven their proficiency on testing SSL products. The gained influence and knowledge on the new SSL test method has been brought to benefit the Danish lighting industry and political promotions of quality SSL products.*
- *Projektets formål var at øge den danske deltagelse i IEA's Solid State Lighting, SSL annex med ekspertise indenfor LED teknologi, lystekniske målinger og erfaring med SSL produkter. Det skulle give Danmark indflydelse på internationale krav og standarder og sikre at danske testfaciliteter lever op til de nye SSL teststandarder. Projektet har gjort dette og bragt viden og erfaring fra de andre deltager lande omkring test, markeds monitorering og verifikation. To danske fotometri laboratorier har med succes gennemført den internationale laboratorie sammenligning og derigennem bevist deres færdighed i test af SSL produkter. Den opnåede indflydelse og viden om den nye test standard er blevet bragt til gavn for den danske belysnings industri og politiske tiltag til fremme af kvalitets SSL produkter.*

1.3 Executive summary

Solid State Lighting (SSL) eller LED baseret belysning anses for fremtidens belysningsteknologi og har potentiale til at bringe mere energieffektive og langlivede kvalitetslyskilder end de traditionelle lyskilder, der udgør markedet i dag. Energieffektiviteten er i dag langt højere end for gløde- og halogenpærer, og LED baserede erstatningslyskilder yder i dag en god og

mere energieffektiv erstatning af halogenspot lyskilder, og til dels lysstofrør. Igennem intensiv forskning og udvikling bringer fremtiden kun forbedringer i form af øget effektivitet, højere lyskvalitet og lavere pris med sig, hvilket løbende gør nye markedsområder rentable, givende et stort økonomisk vækstpotentiale for virksomheder også i Danmark, der leverer produkter og services baseret på denne teknologi.

Antallet af SSL produkter på markedet er meget kraftigt stigende. Desværre er der stor variation i disse produkters kvalitet og ydeevne og en del af produkterne har en uacceptabel kvalitet. Mærkningen af SSL produkter er ofte mangelfuld, misvisende eller helt fraværende. Undersøgelser i USA, Holland og herhjemme igennem DTU Fotoniks arbejde viser, at det er under 20 % af produkterne, der lever op til det, de selv angiver. Dårlige produkter og forkert information truer for alvor med at spolere forbrugernes tillid til LED teknologien, hvilket vil forsinke dennes udbredelse og markedsindtrængning. Med udfasningen af gløde- og halogenlyskilder, som er iværksat i EU og mange andre steder i verden, er der et akut behov for at sikre, at de SSL produkter der er på markedet, har en tilstrækkelig god kvalitet. Der skal derfor stilles krav til kvaliteten af SSL produkter. Problemet er, at det er et globalt marked, og at der ikke findes internationalt accepterede krav til LED belysningsprodukter og standarder for, hvordan man tester og karakteriserer disse. Når man stiller sådanne krav f.eks. i kampagner for at fremme udbredelsen af energibesparende LED lyskilder, vil der være behov for metoder og faciliteter til at verificere, at produkterne rent faktisk lever op til disse krav. At forskellige regioner ikke benytter samme test metoder har skabt et internationalt marked med barrierer da et produkt vil skulle testes i henhold til to eller flere metoder for at kunne sælges verden over. Dette er en ekstra økonomisk byrde for virksomheder og for testlaboratorierne da test og akkrediterings arbejde er omkostningstunge.

Dette projekt har bidraget til at skabe bedre oplysning omkring disse forhold for dansk belysning industri og for energistyrelsen som står for markeds monitorering og verifikation af belysningsprodukter. Det er sket igennem deltagelse i det Internationale Energi Agenturs, IEA SSL annex, se ny hjemmeside på <http://ssl.iea-4e.org/>. Det blev etableret i efteråret 2010, med fokus på at tilvejebringe "værktøjer" over for regeringer, som kan benyttes som basis for politiske tiltag for at sikre kvaliteten af SSL produkter på de nationale markeder. Projektet har øget den danske deltagelse med ekspertise på LED teknologiområdet, lystekniske målinger og erfaring med SSL produkter på det danske marked, bl.a. ved at tilknytte Carsten Dam-Hansen, DTU Fotonik som national ekspert i annex arbejdet sammen med Casper Kofod, Energy Piano. Annex arbejdet har resulteret i publicering af en række dokumenter med niveauinddelte kvalitetskrav til forskellige typer af SSL produkter, rapport over life-cycle og helbreds aspekter af SSL og en ny midlertidig testmetode [1]. Sidstnævnte blev benyttet i den internationale laboratorie sammenligning, IC2013, som 110 laboratorier verden over deltog i. IC2013's resultater beviste testmetodens evne til at skabe grundlag for reproducerbare måleresultater af en række fotometriske, elektriske og kolorimetriske parametre for forskellige typer af SSL produkter. Specielt har dette projekt sikret at de to danske lystekniske laboratorier, Delta og DTU Fotonik, fik opdateret deres måleprocedurer således at de var klar til IC2013. Begge laboratorier gennemførte IC2013 med et godt resultat og har derigennem vist deres målefærdighed i henhold til testmetoden. De måletekniske krav i denne er i overensstemmelse med den nye internationale test metode [3] som er blevet publiceret efter projektets afslutning i foråret 2015. De danske laboratorier har således igennem deltagelsen i IC2013 etableret en vital del af grundlaget for at få laboratorierne akkrediteret i henhold til den nye testmetode. Og derigennem sikre at de danske laboratorier kan servicere den danske belysnings industri og marked monitorerings og verifikations arbejde.

De deltagende lande har i 2014 besluttet at forlænge arbejdet i SSL Annexet til 2019 med en række nye arbejdsopgaver, bl.a. anvendelsen af den nye testmetode og en ny international laboratorie sammenligning med fokus på goniofotometer målinger. Dette er et vigtigt område som DTU Fotonik, DFM og Delta samarbejder med dansk industri omkring i innovationskonsortiet "LEDMET – Center for LED metrologi". Det er projektets anbefaling at fortsætte arbejdet under IEAs SSL Annex som forventes at kunne bringe øget viden og erfaring til det danske SSL marked. Arbejde vil blive forsat i det EUDP støttede projekt "Global Test af SSL Produkter - IEA-4E-SSL" som er bevilliget efter afslutningen af dette projekt.

1.4 Project objectives

Projektets målsætning var at sikre en øget dansk deltagelse i det internationale samarbejde omkring kvalitets krav til og testmetoder til harmoniseret test af SSL produkter. Dette er sket igennem Casper Kofod og Carsten Dam-Hansens deltagelse i IEAs SSL Annex, som følgende ni lande deltager i:

- Australien
- Danmark
- Frankrig
- Korea
- Nederlandene
- Sverige
- England
- USA
- Kina (Deltagende Teknisk Ekspert).

En del af arbejdet har bestået i deltagelse i halvårlige ekspert møder. Møderne har været afholdt som beskrevet i tabellen herunder.

Møde	Sted	Dato	DK deltagere	Laboratorie
3.	Stockholm	6.-8. september, 2011	CDH, CK	
4.	Tokyo	5.-8. marts, 2012	CDH, CK	
5.	Beijing	12.-14. september, 2012	CDH, CK	NLTC
6.	Paris	10.-12. april, 2013	CDH, CK, BH	
7.	Seoul	4.-6. september, 2013	CDH, CK	
8.	Delft	7.-9. april, 2014	CDH, CK	VSL
9.	Portland	15.-17. oktober, 2014	CDH	

Deltagere: CDH Carsten Dam-Hansen, DTU Fotonik, CK Casper Kofod Energy Piano og BH Bjarke Hansen, Energistyrelsen.

Møderne har igennem landrepræsentationer givet et værdifuldt indblik i medlemslandenes SSL markeder, deres arbejde med markeds monitorering og verifikation, og programmer til fremme af kvalitetsprodukter. Møderne har været forum for landenes eksperter til at diskutere indhold og udførelse af de forskellige arbejdsopgaver. Dette projekt har været mest fokuseret på arbejdet i arbejdsopgave 2, omkring harmonisering af testmetoder og akkreditering. Arbejdet har omfattet gennemgang af dokumenter, forslagsudkast, kommentering og erfaringsudveksling omkring kvalitetskrav til en række forskellige typer af SSL produkter. Besøg og udveksling af erfaring med andre laboratorier har været en del af arbejdet. I forbindelse med forberedelserne til IC2013 er der arbejdet med at etablere og beskrive måleprocedurer i laboratorier til SSL test, forberedelse af laboratoriefaciliteter til og gennemførelse af målekampagnen. Såvel DTU Fotonik som Delta har gennemført målekampagnen som planlagt og med gode resultater.

Det var i projektansøgningen afsat tid til benchmarking af SSL produkter på det danske marked. Dette arbejde blev modificeret da Energistyrelsen, i samarbejde med Sekretariatet for Ecodesign og Energimærkning (SEE) og Energi Piano, arbejder med opgørelse af SSL produkter på det danske marked. Det blev derfor besluttet at rette den denne del af projektet ind med en undersøgelse af retningsbestemte LED lyskilder og nyttelysstrøms målinger som kræver goniofotometer målinger. Det udføres i samarbejde med SEE hvor man måler med målekufferten "LightSpion" fra Viso Systems. Sammenlignende målinger er blevet gennemført i DTU Fotoniks laboratorie goniofotometer for at vurdere nøjagtigheden af denne hurtige og bærbare målefacilitet. SEE ønsker at benytte dette system i markeds monitorerings arbejde som grundlag for hvilke SSL produkter der skal udvælges til en akkrediteret verifikations måling. Der er i projektet benyttet benchmarking resultater fra Elforsk projektet "LED Positivlisten" (PSO 342-035), som testede en række retningsbestemte og ikke-retningsbestemte LED pærer i 2010 og 2011. Disse resultater er bl.a. benyttet sammen med tilsvarende resultater fra Australien som del af grundlaget for kvalitetskrav i Annexets ar-

bejdspakke 1. I dette projekt er der foretaget langtidstest på disse lyskilder som ved projektafslutningen udgør 28.00 timers data. Dette er værdifuldt for fortsættelsen af Annex arbejdet hvor standarder og metoder til estimering af SSL produkters levetid er et vigtigt område.

1.5 Projekt results and dissemination of results

I det følgende afsnit er beskrevet en række af de vigtigste resultater af projektet og hvordan de er blevet formidlet til interessenter.

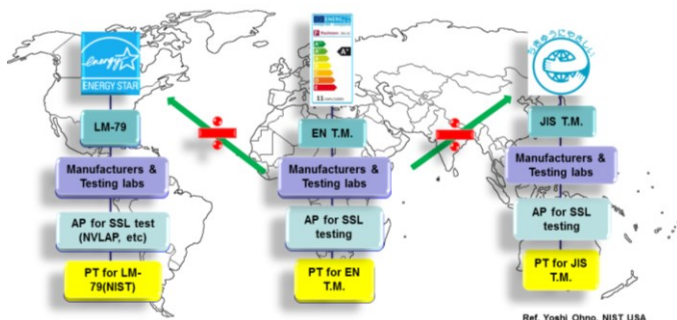
1.5.1 Interlaboratory Comparison IC2013

Udgangspunktet for projektet var at der i verden var en række forskellige lokale test metoder som laboratorierne skulle akkrediteres til for at kunne måle på LED lyskilder. De forskellige test metoder blev benyttet som grundlag for regulerings programmer, som f.eks. testmetoden LM-79 i og Energy star programmet i USA. Denne situation er illustreret i Figur 1. Et laboratorium ville derfor måske skulle have mange forskellige akkrediteringer for at kunne teste produkter i forhold til de mange testmetoder og programmer. Dette er uholdbart idet det øger omkostningerne for såvel laboratorier og producenter som også vil skulle teste deres produkter i forhold til de forskellige programmer. Problemerne og omkostningerne ved disse forhold skaber reelt handelsbarrierer. Ideelt ville man have en international test metode så alle laboratorier skulle akkrediteres til denne, se Figur 3, og så man kunne basere de regionale programmer i forhold til denne. I SSL Annexet var målet at skabe en midlertidig situation, se Figur 2, som kan være med til at hurtigere bringe os til den ideelle situation i Figur 3.

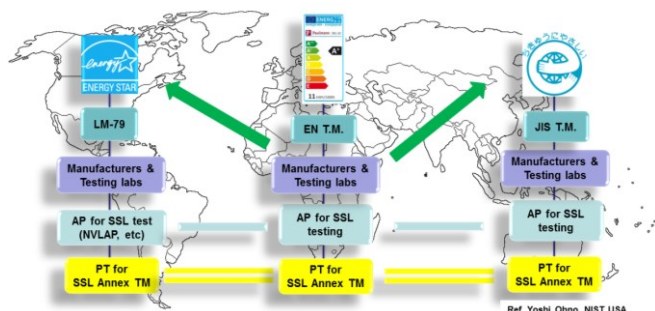
Da der til IC2013 skulle bruges en veldefineret målemetode blev der i annexet udfærdiget en midlertidig test metode. Den blev udformet således at den benytter de strengeste krav og tolerancer fra de regionale og iværksatte målemetoder, således at alle disse opfyldes:

- LM-79-08 IESNA
- CEN/CIE Test method draft
- IEC 62722 (LED luminaire) IEC 62612 (LED lamp) Annex A
- JIS 7801, 8105-5 (Japan)

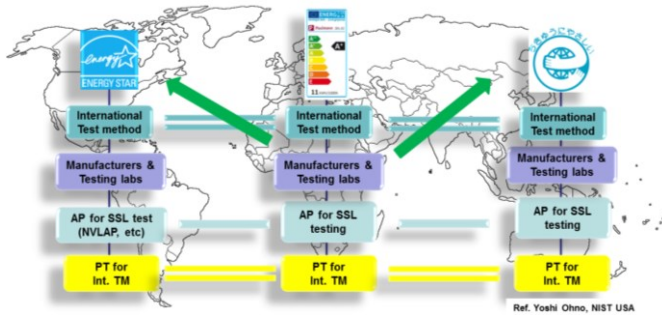
Hvis et laboratorium således lever op til kravene i denne midlertidige målemetode vil de samtidig leve op til kravene i de andre målemetoder. Det tager lang tid at udvikle nye testmetoder og standarder og såvel CIE (Dein internationale belysnings commision) og CEN har været i gang i hele projektperioden for at komme til en ny international test metode. Den internationale CIE test metode [3] er efter projekt afslutningen blevet udgivet i foråret 2015.



Figur 1 situationen hvor forskellige dele af verden har deres egne test metoder, akkrediteringsprogrammer (AP) og færdigheds test (PT), hvilket udgør markedsbarrierer.



Figur 2 midlertidig situation hvor forskellige dele af verden har deres egne test metoder, men benytter en fælles SSL Annex test metode som grundlag for færdigheds test (PT) og akkrediteringsprogrammer (AP).



Figur 3 ideel situation hvor der er en fælles international test metode, og som benyttes som grundlag for færdigheds test (PT) og akkrediteringsprogrammer (AP).

Der blev udvalgt en række forskellige typer af LED lyskilder og en glødepære som blev benyttet som reference lyskilde, da den burde være nem at måle da normale lystekniske måle-faciliteter bliver kalibreret med en gløde- eller halogen pære. LED lyskilderne blev udvalgt således at deres specielle egenskaber kom til at teste forskellige dele af målemetoden. Der skulle benyttes mindst fire forskellige LED lyskilder, som

- Retningsbestemt
- Ikke retningsbestemt
- Lav power factor
- Høj korreleret farve temperatur

De stiller hver for sig specielle udfordringer til målingen og således vil man få testet flere aspekter med denne sammenligning. Derudover kunne af de fire centrale laboratorier udvælge to ekstra typer af LED lyskilder til testen. De deltagende laboratorier skulle udføre målinger af følgende fotometriske, elektriske og kolorimetriske parametre:

- total lysstrøm luminous flux,
- aktiv effekt
- RMS spænding og strøm
- Lysstrøms effektivitet
- Kromaticitet x og y
- Korreleret farve temperatur
- Farvegengivelses index, Ra-indeks
- Power factor (optional).

IC2013 er designet til at undersøge robustheden af SSL testmetoden og kunne fungere som færdighedstest i en akkrediteringsproces idet den følger standarden ISO/IEC 17043. IC2013 blev annonceret i oktober 2012 og målinger gennemført i perioden indtil august 2013. Den blev ledet og gennemført af de 4 kernelaboratorier,

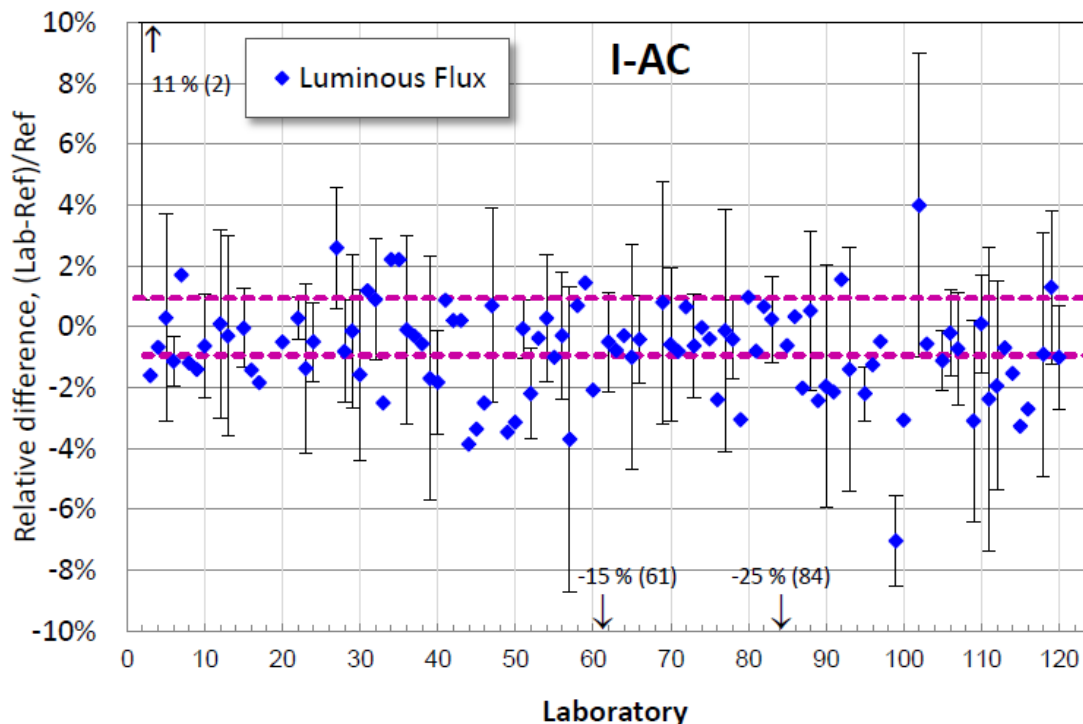
- National Institute of Standards and Technology (NIST) i USA;
- National Lighting Test Centre (NLTC) i Kina;
- National Metrology Institute of The Netherlands (VSL) i Nederlandene
- National Metrology Institute Japan i National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST, NMIJ) i Japan.

IC2013 blev meget omfattende og der er 54 laboratorier fra 18 lande der har deltaget i målekampagnen og med associerede laboratorie test i USA og Kina udgør det samlede antal 123 laboratorier. Dette gør IC2013 til verdens mest omfattende laboratorie sammenligning. Fra Danmark har Delta og DTU Fotonik deltaget i målekampagnen, hvilket var en hovedmilepæl for projektet. I slutningen af december 2013 har såvel DTU Fotonik som Delta modtaget og kommenteret "Participant Results Report PRR" som er fortrolige rapporter og kan benyttes af det pågældende laboratorium i akkrediterings sammenhæng.

23 laboratorier har gennemført IC2013 i Europa under VSL, og i Danmark har DTU Fotonik og Delta deltaget. Disses målinger blev foretaget i maj-juni 2013. I januar 2014 har VSL udsendt "IC 2013 Interim Report VSL", som sammenfatter alle måleresultater på alle testlyskilder fra 27 laboratorier. I rapporten er laboratorierne anonyme og kendes kun af laboratorierne selv og kernelaboratoriet. Denne rapport er værdifuld i akkrediterings sammenhæng da den viser et laboratoriums færdigheder i forhold til andre laboratorier.

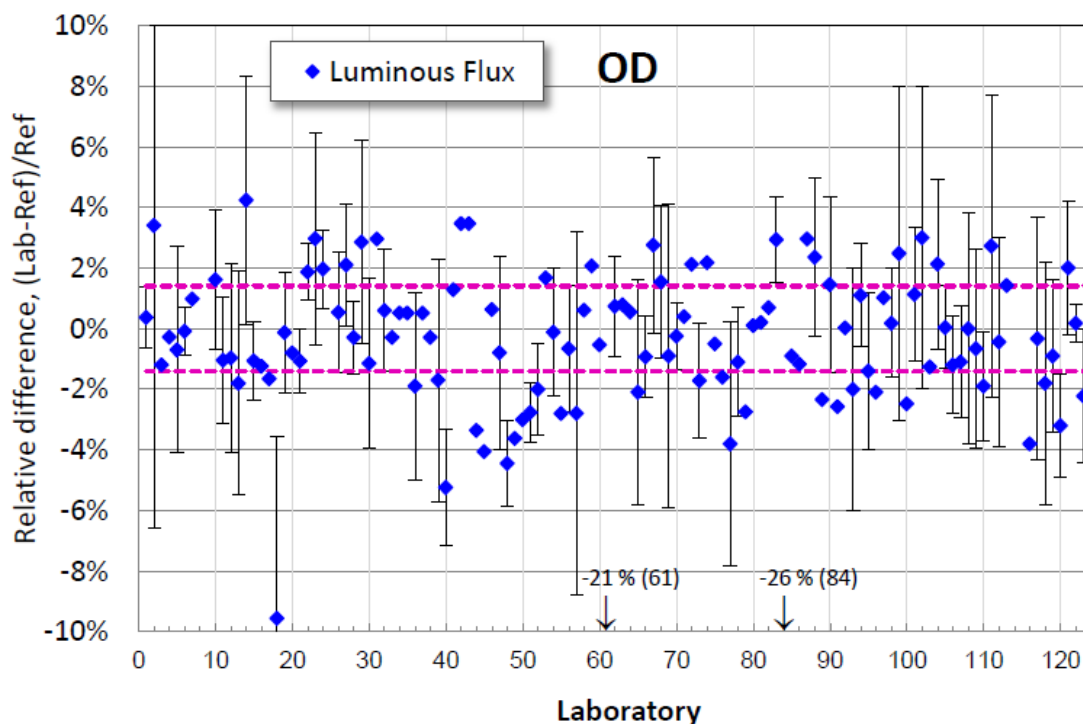
I juni 2014 har vi gennemlæst, kommenteret og rettet den sammenfattende internationale rapport for IC2013. Rapporten giver et overblik over alle laboratoriers resultater for alle typer af test lyskilder. Rapporterne viser at DTU Fotoniks måleresultater er rigtig gode og ligger tæt på kernelaboratoriets resultater og vel indenfor måleusikkerheden. En enkelt undtagelse er måling af strøm som har vist sig at være et generelt problem for alle laboratorier. Der arbejdes derfor intensivt videre med dette for at sikre at den kommende teststandard er robust i forhold til strømmålinger. Slutrapporten [2] er udgivet i september 2014 og er offentligt tilgængelig på <http://ssl.iea-4e.org/> og det direkte link er http://ssl.iea-4e.org/files/otherfiles/0000/0067/IC2013_Final_Report_final_10.09.2014a.pdf.

I det følgende er vist en række repræsentative resultater af målingerne i IC2013. De er taget fra slutrapporten [2] som samler alle resultatet fra de 123 deltagende laboratorier. I Figur 4 er vist den relative forskel i lysstrømmen fra en rundstrålende glødepære som den blev målt på de medvirkende laboratorier i forhold til reference laboratorierne. Laboratorierne er angivet med numre fra 1 til 123 og er på den horisontelle akse. Nogle laboratorier har angivet usikkerheden på deres resultat (udvidet usikkerhed med en dæknings faktor, $k=2$). Det ses at nogle laboratorier har angivet deres måleusikkerhed, men ikke alle. Den nye internationale test metode [3] kræver angivelse af måleusikkerheden på alle parametre, hvilket er nyt i forhold til tidligere metoder og IC2013 viser at nogle laboratorier har problemer med angivelsen af måleusikkerhed. Figur 4 viser at langt hovedparten af laboratorierne estimerer den totale lysstrøm fra glødepæren med en difference på $\pm 2\%$. De to lilla stiplede linier viser middelværdien af måleusikkerheden for de fire kernelaboratorier. Der er således en meget god overensstemmelse med undtagelse af tre laboratorier med meget store afvigelser.



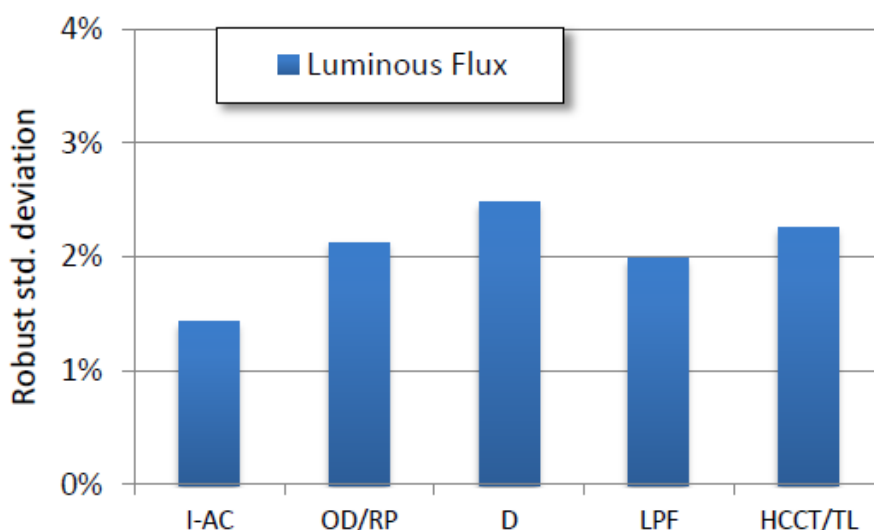
Figur 4 viser den relative forskel i lysstrømmen fra en rundstrålende glødepære som den blev målt på de medvirkende laboratorier i forhold til reference laboratorierne med angivelse af deres måleusikkerhed. Figuren er taget fra rapporten [2].

Figur 5 viser de tilsvarende resultater for måling af den totale lysstrøm fra en rundstrålende LED pære. Det ses at afvigelserne er noget større end for glødepæren og laboratoriernes usikkerheder er tilsvarende større. Det ses at laboratoriernes resultater ligger indenfor $\pm 4\%$.



Figur 5 viser den relative forskel i lysstrømmen fra en rundstrålende LED som den blev målt på de medvirkende laboratorier i forhold til reference laboratorierne med angivelse af deres måleusikkerhed. Figuren er taget fra rapporten [2].

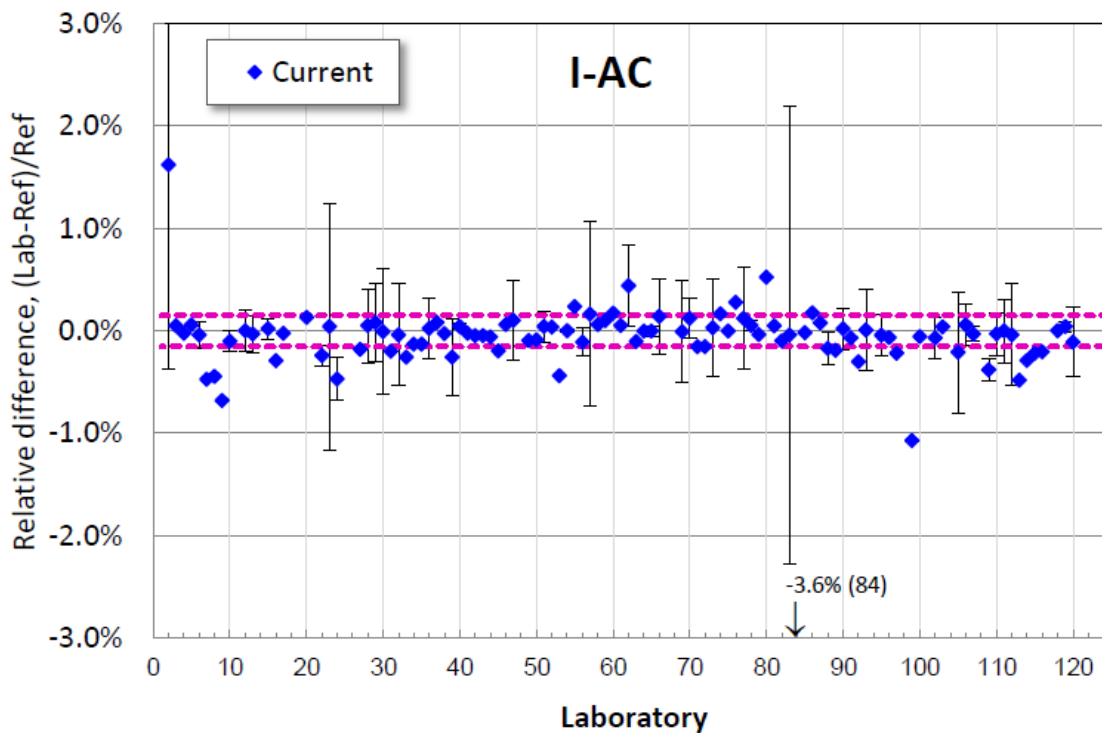
I Figur 6 er vist den robuste standard afvigelse for laboratoriernes måling af lysstrøm for de forskellige testlyskilder, hvor I-AC er glødepæren, OD/RP er en ikke retningsbestemt eller remote phosphor pære, D er en retningsbestemt pære, LPF er en pære med lav power faktor og HCCT er en pære med høj korreleret farvetemperatur.



Figur 6 Den robuste standard afvigelse for laboratoriernes måling af lysstrøm for de forskellige testlyskilder.

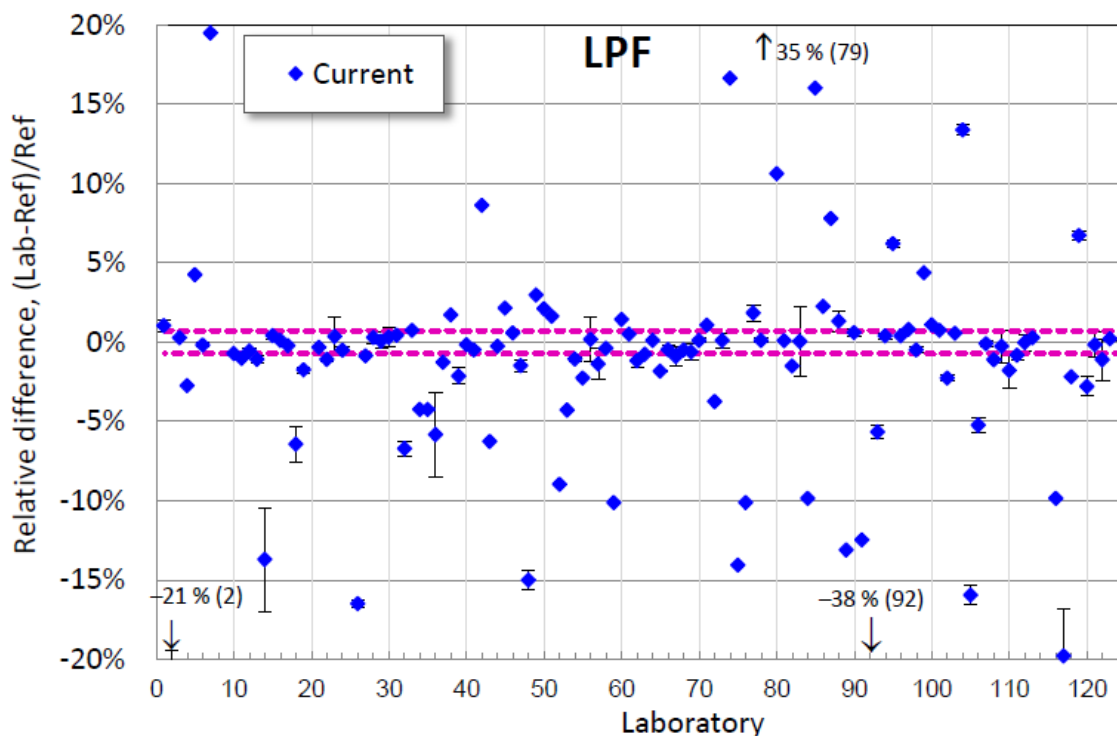
Det ses at afvigelsen er mindst for glødepæren og nogenlunde den samme for de forskellige typer af LED pærer med en lidt højere værdi for den retningsbestemte (D).

På Figur 7 er vist den relative forskel i den målte RMS strøm for glødepæren. Den viser at langt de fleste laboratorier måler denne strøm med meget lille afvigelse fra kernelaboratorierne og indenfor disses måleusikkerheder.



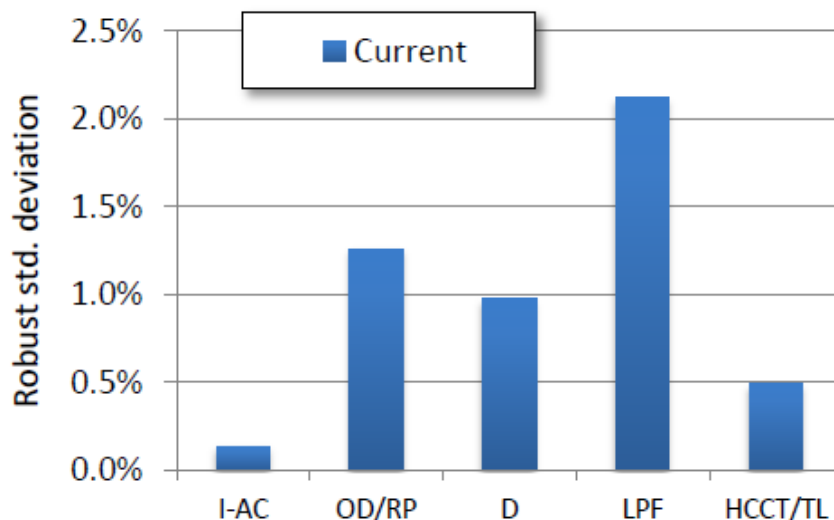
Figur 7 viser den relative forskel i RMS strøm for en rundstrålende glødepære som den blev målt på de medvirkende laboratorier i forhold til reference laboratorierne med angivelse af deres måleusikkerhed. Figuren er taget fra rapporten [2].

I Figur 8 er vist den relative forskel i RMS strømmen målt for en LED pære med lav power faktor (LPF). Den viser meget større afvigelser end for glødepæren med værdier på $\pm 15\%$. Dette er et problem da langt de fleste laboratorier har angivet en langt mindre usikkerhed. Problemerne hænger sammen med den lave power faktor og de høje frekvenskomponenter i strømmen.



Figur 8 viser den relative forskel i RMS strømmen for en LED pære med lav power faktor (LPF), som den blev målt på de medvirkende laboratorier i forhold til reference laboratorierne med angivelse af deres måleusikkerhed. Figuren er taget fra rapporten [2].

I Figur 9 er vist den robuste standard afvigelse for laboratoriernes måling af RMS strømmen for de forskellige testlyskilder, hvor I-AC er glødepæren, OD/RP er en ikke retningsbestemt eller remote phosphor pære, D er en retningsbestemt pære, LPF er en pære med lav power faktor og HCCT er en pære med høj korreleret farvetemperatur.



Figur 9 Den robuste standard afvigelse for laboratoriernes måling af RMS strøm for de forskellige testlyskilder.

Den viser den meget store forskel i afvigelse fra glødepæren som var under 0,2 % og over 2% for pæren med lav power faktor (LPF).

Til brug for vurderingen af de enkelte laboratoriers målefærdighed blev benyttet to parametre. z' er givet ved

$$z' = \frac{x - X}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 + u_X^2 + u_{\text{drift}}^2}},$$

hvor x er den af laboratoriet målte værdi og X er den af reference laboratoriet målte middelværdi før og efter det deltagende laboratorium. z' er afvigelsen i forhold til den generiske usikkerhed, kernelaboratoriernes usikkerhed og usikkerheden associeret med drift af lyskilderne under de forskellige målinger.

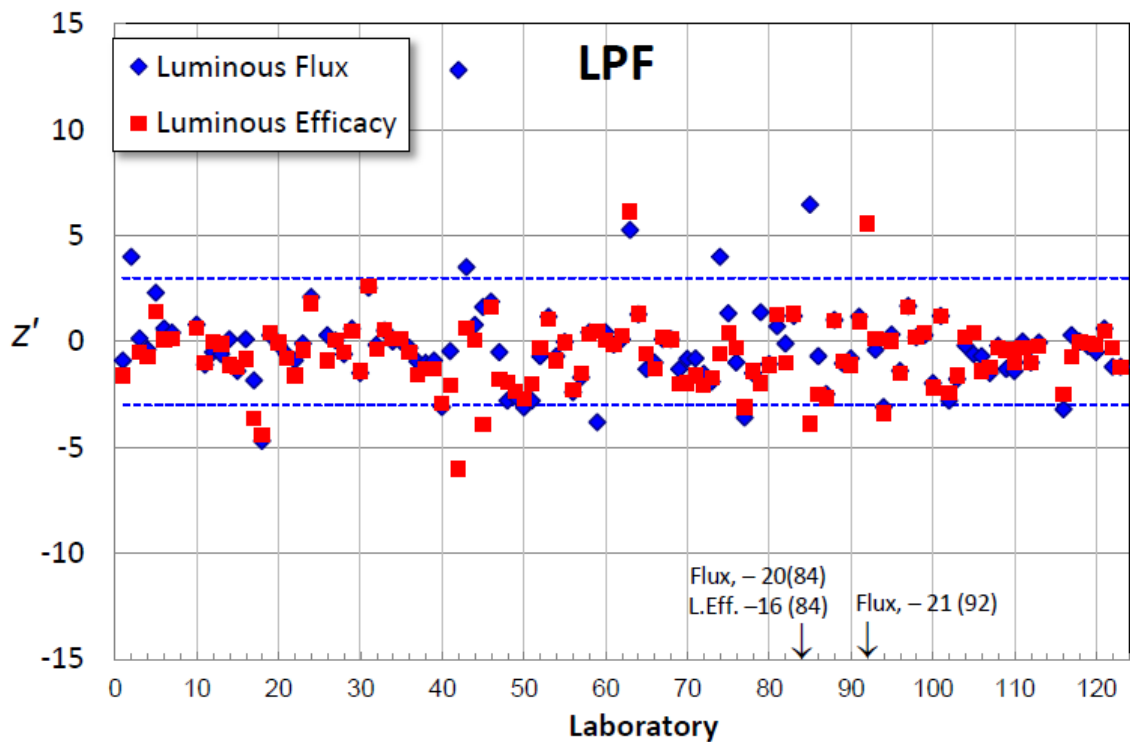
Den anden parameter er E_n

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{\text{lab}}^2 + U_{\text{ref}}^2}},$$

hvor x er den af laboratoriet målte værdi og X er den af reference laboratoriet målte middelværdi før og efter det deltagende laboratorium. E_n er afvigelsen i forhold til den udvidede måleusikkerhed for det enkelte laboratorium og reference laboratoriet. Denne værdi er kun beregnet for laboratorier der har angivet deres måleusikkerhed.

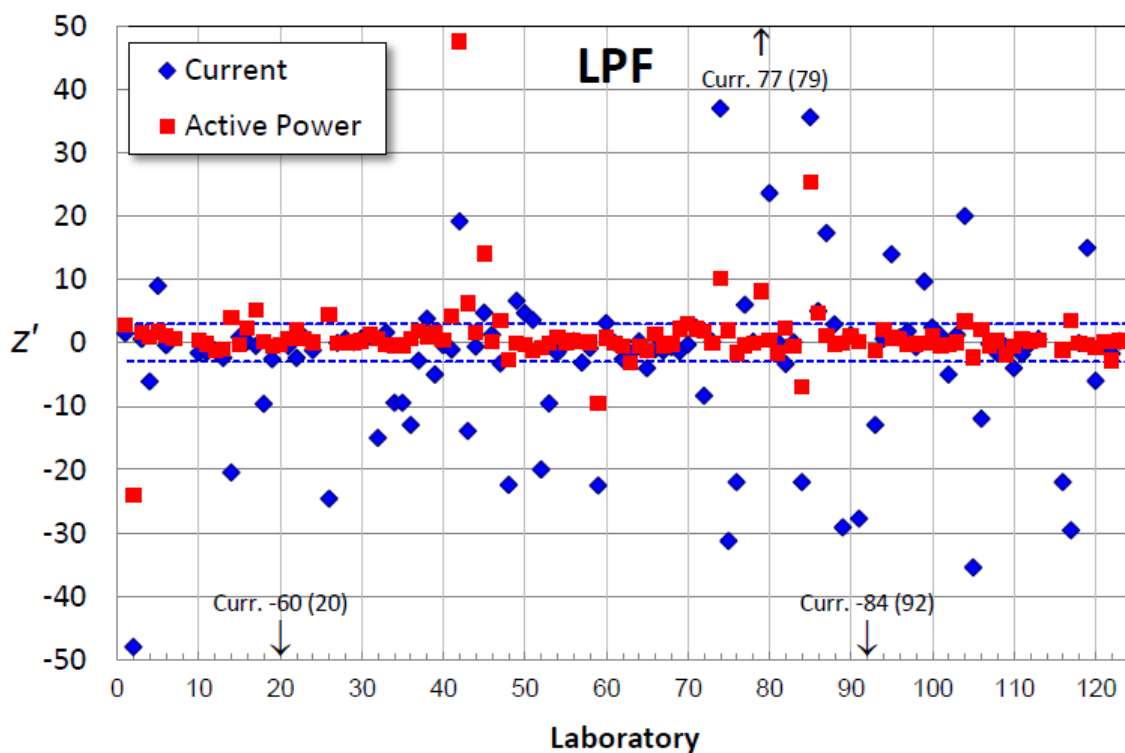
Generelt anses det at hvis den numeriske værdi af E_n er større end 1.0 er målingen utilfredsstillende. Det er hvis afvigelsen i de målte værdier er større end den udvidede usikkerhed af sammenligningen.

I Figur 10 er vist z' scorer for total lysstrøm og effektivitet for LED pære med lav power faktor (LPF). De stiplede linier angiver $z' = \pm 3$, udenfor hvilken resultaterne generelt anses som værende utilfredsstillende, z' skal helst være indenfor ± 1 . Det ses at langt de fleste laboratoriers resultater er tilfredsstillende ved at deres z' scorer er indenfor ± 3 .



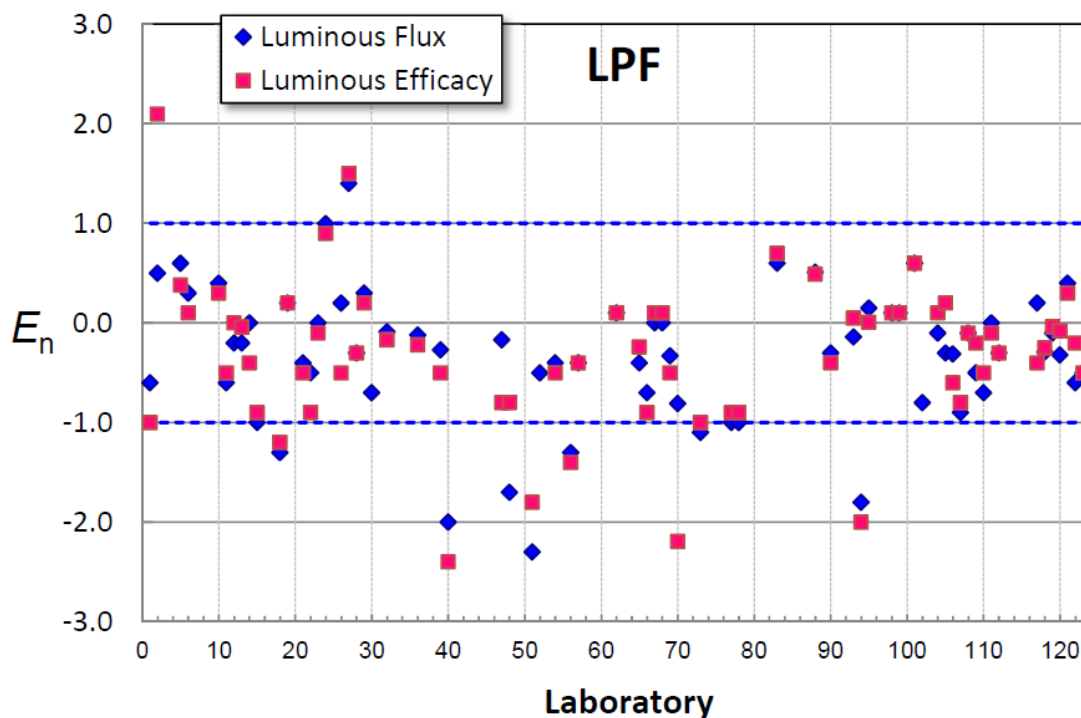
Figur 10 Laboratoriernes z' scorer for total lysstrøm og effektivitet for LED pære med lav power faktor (LPF). Figuren er taget fra rapporten [2].

De tilsvarende z' scorer for måling af RMS strømmen og den aktive effekt er vist på Figur 11, hvor det ses at z' scorerne er meget højere for RMS strøm målingerne med mange laboratorier uden for ± 3 . Det ses at denne store usikkerhed på den målte RMS strøm ikke afspejles i den målte effekt og at der er en bedre overensstemmelse med reference værdierne.



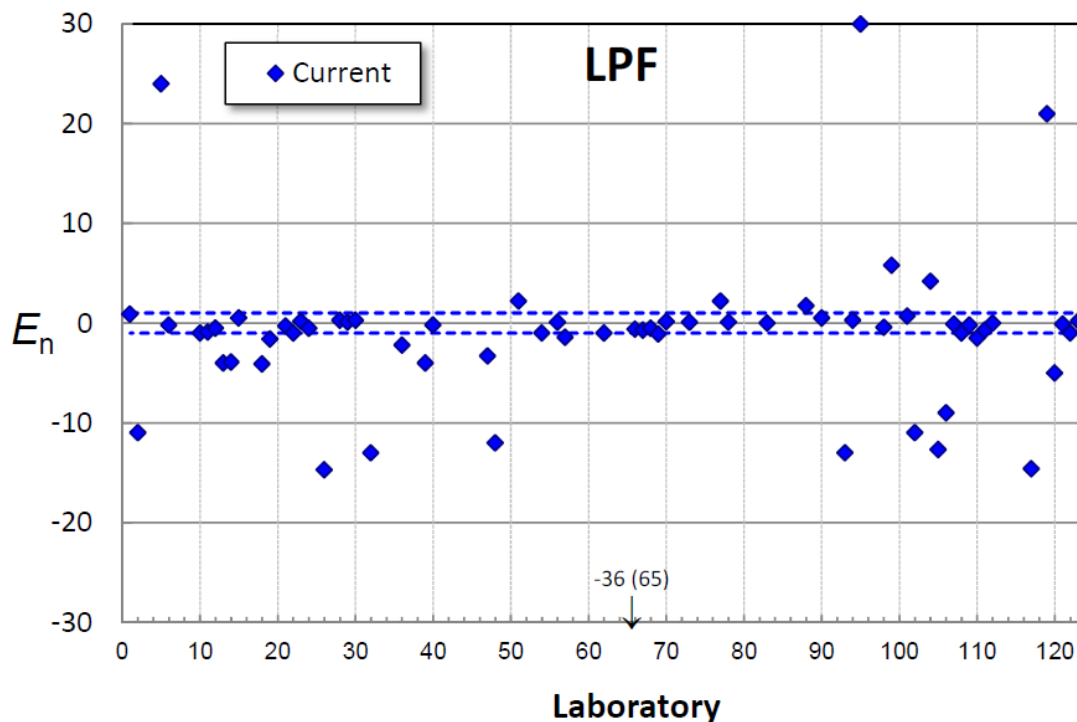
Figur 11 Laboratoriernes z' scorer for RMS strøm og effektforbrug for LED pære med lav power faktor (LPF). Figuren er taget fra rapporten [2].

I Figur 12 er vist E_n tal for total lysstrøm og effektivitet for LED pære med lav power faktor (LPF). De stiplede linier angiver $E_n = \pm 1$, udenfor hvilken resultaterne generelt anses som værende utilfredsstillende. Det ses at langt de fleste laboratoriers resultater er tilfredsstillende ved at deres E_n tal er indenfor ± 1 .



Figur 12 Laboratoriernes E_n tal for total lysstrøm og effektivitet for LED pære med lav power faktor (LPF). Figuren er taget fra rapporten [2].

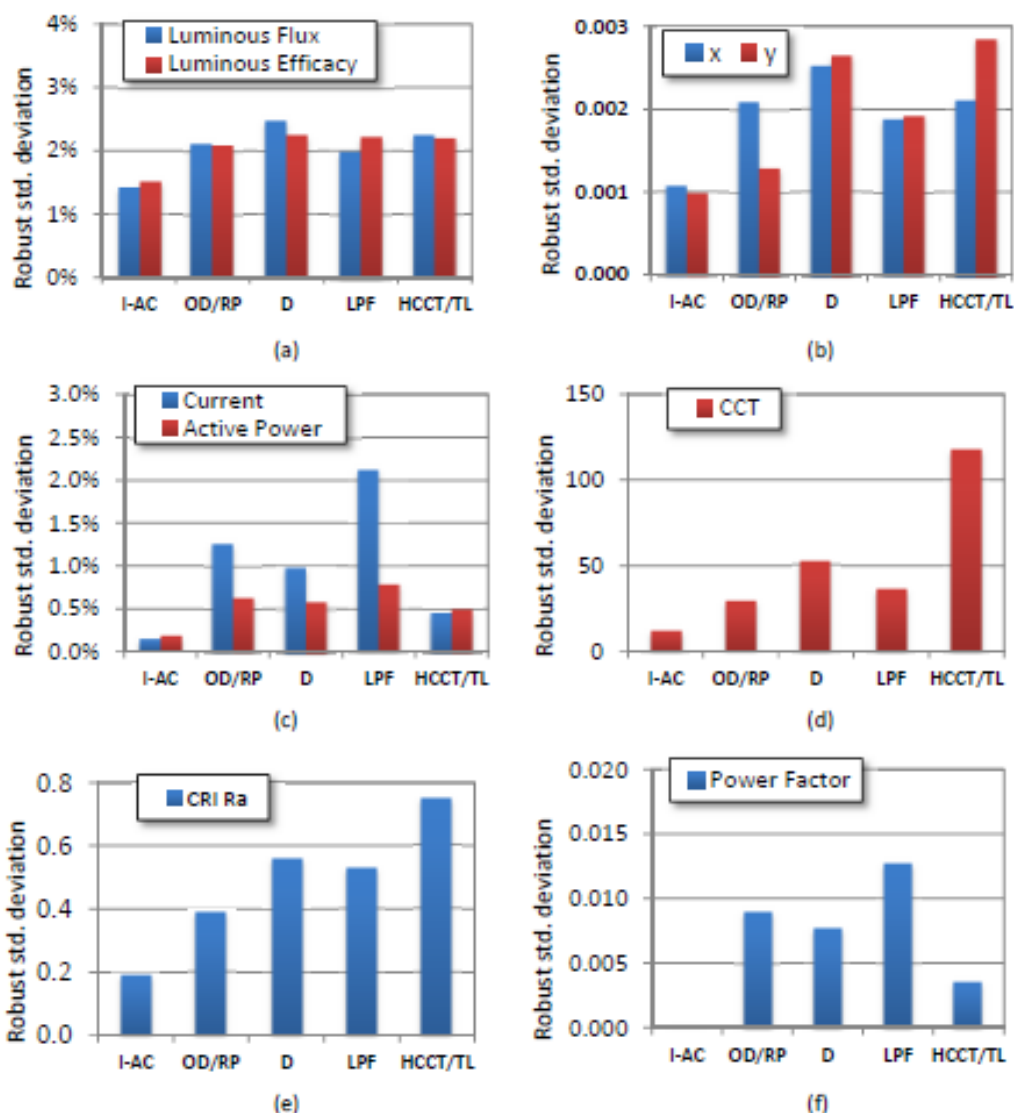
Men det er ikke tilfældet for E_n tallene for RMS strøm målingerne som vist på Figur 13. Her ses meget høje E_n tal.



Figur 13 Laboratoriernes E_n tal for RMS strøm for LED pære med lav power faktor (LPF). Figuren er taget fra rapporten [2].

En oversigt over resultaterne for alle de forskellige parametre såvel fotometriske, elektriske og kolorimetriske er vist på Figur 14 (a)-(f). Det viser generelt at der er lidt større afvigelser for målingerne på alle SSL produkter i forhold til glødepæren. Det var forventet da glødepæ-

ren skal være let at måle. Derudover ses problemet med at måle strøm for lav power faktor pæren (LPF) i (c) og problem med at måle korreleret farvetemperatur af SSL produkter med høj farve temperatur (HCCT) i (d). Det sidste er forventet da det højere indhold af blått lys i lys med høj farvetemperatur giver øget usikkerhed i spektromettermålingen.



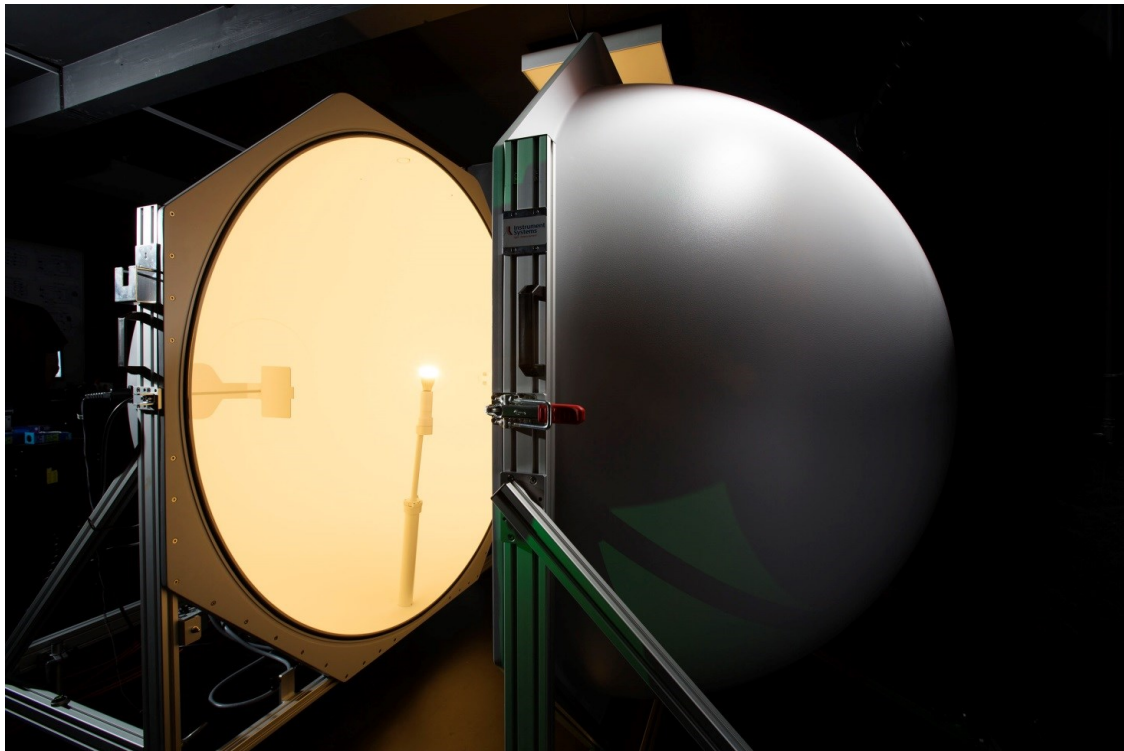
Figur 14 Sammenfatning af alle afvigelser for alle LED pærer i IC2013. Figuren er taget fra rapporten [2].

IC2013 har vist at når 123 laboratorier følger den midlertidige test standard er det muligt at opnå overensstemmende resultater og laboratoriernes udvidede usikkerhed på total lysstrøm er indenfor $\pm 5\%$, og på farvekoordinater indenfor 0,005, hvilket var forventet og rigtigt godt.

1.5.2 DTU Fotoniks laboratorium

I løbet af projektperioden har DTU Fotonik opbygget et helt nyt fotometrisk laboratorium med såvel integrerende kugler som et stort goniofotometer. Laboratoriet er bygget til at kunne klare målinger på små enheder som enkelt LEDer eller chip til store lamper eller armaturer med største dimensioner på op til 2 m. De integrerende kugler er til måling af total lysstrøm og middelværdier af kolorimetriske parametre og den store kugle med en diameter på 2 m er vist på Figur 15. På billedet er en LED pære monteret i centrum af kuglen. Alle målinger til IC2013 blev udført i en 1 m integrerende kugle med et array spektrometer. Kalibrering af målesystemet bestående af kugle, optisk fiberbundet og array spektrometer blev udført med en standard total spektral flux lampe. Denne er målt på et national metrologi institut forud for kalibreringen. Array spektrometeret er optimeret til at måle i det synlige

område fra 360 nm til 830 nm og gør det muligt at måle alle fotometriske og kolorimetriske parametre.



Figur 15 viser måling af en LED pære i den integrerende kugle (2 meter i diameter) i det fotometriske laboratorium hos DTU Fotonik.

De to rum som det fotometriske laboratorium består af har fået installeret et aktivt temperatur stabiliserings system som holder omgivelses temperaturen på 25°C med afvigelse på maksimalt ± 1 °C. Samtidig holdes den relative luftfugtighed på under 65 % og det sikres at lufthastigheden i rummene er under 0.2 m/s, således at luftstrømmene ikke har nogen direkte effekt på testlyskilder. Således lever laboratoriet op til de krav der stilles i den nye internationale teststandard [3]. Derudover er opbygget en elektrisk målefacilitet med såvel AC og DC strømforsyninger der lever op til stabilitetskrav og AC power analysatorer til at måle strøm, spænding og effekt.

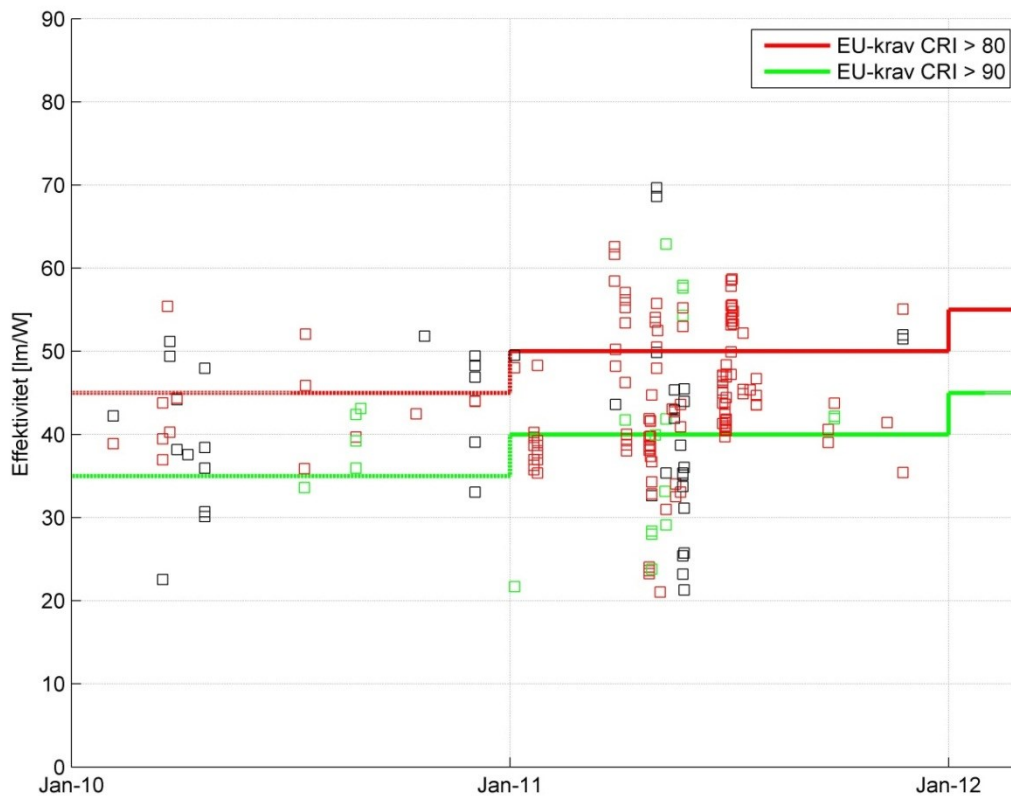
I Figur 16 er vist foto af det nye nær felts goniofotometer i laboratoriet. Goniofotometeret har en radius på 1,45 m hvilket gør at det kan lave fjernfelts målinger for lyskilder med dimensioner på op til ca. 10 cm i dimension af det lysende areal. Goniofotometeret er foruden et præcist fotometer udstyret med et spektrometer og et kamera kalibreret til farvemålinger. Med kameraet er det muligt at måle intensitets og farvefordelingen af lamper og armaturer på op til 2 m i største dimension. Det er muligt at lave de samme fotometriske målinger af total lysstrøm i de to forskellige målefaciliteter, og det er muligt at beregne de kolorimetriske parametre ud fra goniospektrometer målinger. Laboratoriet er således klar til at deltage i den kommende goniofotometer sammenligning der gennemføres i forlængelsen af IEAs SSL Annex og der skal laves tilsvarende goniometersammenligninger i innovations konsortiet "LEDMET, Center for LED Metrologi".



Figur 16 viser måling af et LED armatur i nær felts goniofotometer i det fotometriske laboratorium hos DTU Fotonik.

1.5.3 Målinger på LED lamper

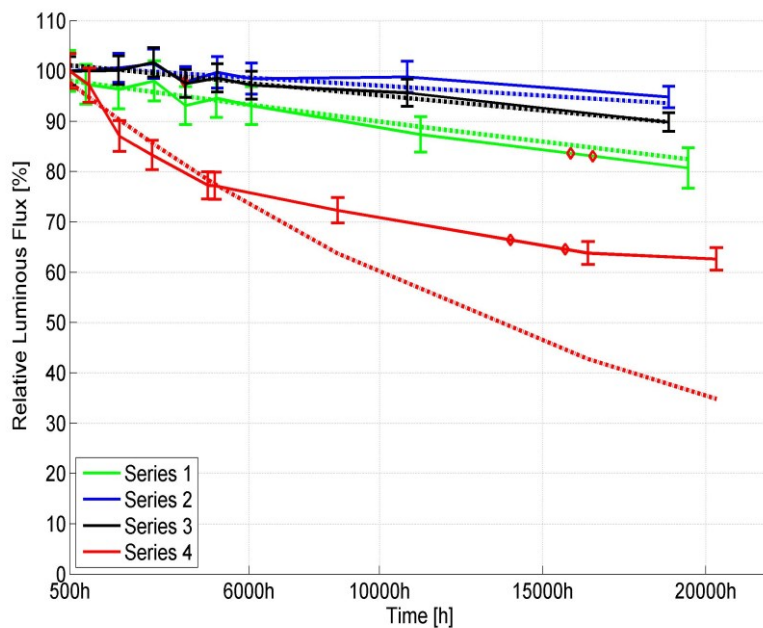
Projektet har deltaget i udviklingen af de såkaldte "Product Performance Tiers", som IEA 4E SSL Annex har udarbejdet som kvalitetskrav der skal stilles til forskellige typer af SSL produkter. De kan findes på <http://ssl.iea-4e.org/product-performance>. For at få et billede af hvor SSL produkterne på markedet er henhørende kvalitetsmæssigt er det vigtigt at udføre benchmarking test af disse. I 2010-2011 er lavet en række målinger på ca. 100 forskellige typer af SSL produkter med hovedvægt på retningsbestemte lyskilder. Resultaterne fra disse blev benyttet til at vurdere niveauerne for de forskellige kvalitetskrav. I Figur 17 er vist den målte effektivitet af en række forskellige retningsbestemte LED-lyskilder sat i relation til EU's quality charter-krav. Linierne for 2010 er tilbageskrevne værdier, som ikke indgår i kravene.



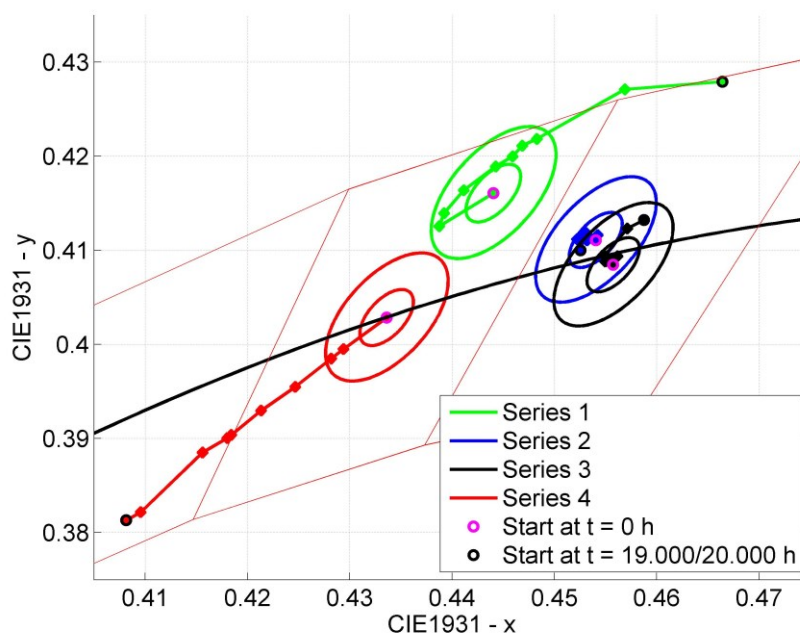
Figur 17 Målt effektivitet for retningsbestemte LED-lyskilder sat i relation til EU's quality charter-krav. Punkterne er indsat for måletidspunktet som svarer til indkøbstidspunkt. Linierne for 2010 er tilbageskrevne værdier, som ikke indgår i kravene. Sorte firkanter er for lyskilder med $R_a < 80$, røde for $80 < R_a < 90$ og grønne for $R_a > 90$.

Projektet har fulgt disse målinger op med yderligere test og der er på tidspunktet for denne rapport data for ca. 28.000 timer. Disse målinger viser SSL produkternes aftagen i lysstrøm over tid og deres variation i farve over tid. I Figur 18 er vist den relative lysstrøm som funktion af operations tid for 4 forskellige serier af SSL produkter. De stiplede linier viser extrapolation efter data for 6000 timer. Det ses at extrapolationen ikke giver nogen god forudsigelse for serie 4, men for de andre.

På Figur 19 er vist den målte kromaticitet (x,y) eller farve for de 4 serier af SSL produkter som funktion af operationstid. Det ses at to af serie 1 og 4 flytter sig meget i farve, serie 4 imod højere farvetemperatur og serie 1 imod lavere farvetemperatur. Forskellene vil være synlige da de inderste cirkler omkring startpunkterne angiver den synlige forskel. Disse målinger ventes at blive vigtige for det fortsatte samarbejde i SSL Annexet, hvor SSL produkters levetid er et fokusområde.



Figur 18 Relativ lysstrøm som funktion af operations tid for 4 forskellige serier af SSL produkter. De stiplede linier viser extrapolation efter data for 6000 timer.



Figur 19 viser den målte kromaticitet (x,y) for de 4 serier af SSL produkter som funktion af operationstid.

1.5.4 Bærbær målefacilitet

Under projektet er der udført en sammenligning af måleresultater på en række LED pærer i hhv. en LightSpion målekuffert fra Viso Systems og laboratiormålinger udført med DTU Fotoniks nærfelt goniofotometer. Det er ønsket at kunne benytte målekufferten i markeds monitorerings arbejdet, og igennem målinger med dette opnå information om mange flere SSL produkter ved hurtige målinger. Disse målinger vil kunne benyttes til udvælgelse af hhv. gode og dårlige produkter til egentlig verifikations test. Det vil skabe et langt bedre grundlag for verifikationsarbejdet. Spørgsmålet er hvor stor måleusikkerheden er ved målinger med systemet udenfor et fotometrisk laboratorium.

LED pærene er udvalgt og målt i en LightSpion af Sekretariat for ecodesign og energimærkning (SEE). Efterfølgende er LED pærene målt i DTU Fotoniks lystekniske laboratorium.



Figur 20 Light Spion målekuffert fra Viso systems i operation.

Der er udvalgt en række LED pærer som beskrevet i Tabel 1 herunder, med identifikations numre i hhv. SEE og DTU system.

Tabel 1 Liste over LED pærer som er testet med identifikations numre i hhv. SEE og DTU system.

Description	Identification		
	SEE #	DTU # ID	Socket
Bright WarmWhite, E27, 7W. 470 lm. 270 gr: 1079 - 24 - a	1079-24-a	L30604	E27
Bright WarmWhite, E27, 7W. 470 lm. 270 gr: 1079 - 24 - b	1079-24-b	L30605	E27
Bright WarmWhite, E27, 7W. 470 lm. 270 gr: 1079 - 24 - c	1079-24-c	L30606	E27
Pro Light, GU10, 3.3W, 160 lm, 3000K, 100 gr: 1079 - 02 - a	1079-02-a	L30607	GU10
Pro Light, GU10, 3.3W, 160 lm, 3000K, 100 gr: 1079 - 02 - b	1079-02-b	L30608	GU10
Pro Light, GU10, 3.3W, 160 lm, 3000K, 100 gr: 1079 - 02 - c	1079-02-c	L30609	GU10
LED Star, Warm White E27, 10W, 810lm: 1079 25 - a	1079-25-a	L30610	E27
LED Star, Warm White E27, 10W, 810lm: 1079 25 - b	1079-25-b	L30611	E27
LED Star, Warm White E27, 10W, 810lm: 1079 25 - c	1079-25-c	L30612	E27
LED Spot, Warm White, E27, 1.6W: 1079 - 19 - a	1079-19-a	L30613	E27
LED Spot, Warm White, E27, 1.6W: 1079 - 19 - b	1079-19-b	L30615	E27
LED Spot, Warm White, E27, 1.6W: 1079 - 19 - c	1079-19-c	L30614	E27
LEDARE LED, 2700K, GU10, 7W, 400 lm, 36 gr: 1079 - 10 - a	1079-10-a	L30616	GU10
LEDARE LED, 2700K, GU10, 7W, 400 lm, 36 gr: 1079 - 10 - b	1079-10-b	L30617	GU10
LEDARE LED, 2700K, GU10, 7W, 400 lm, 36 gr: 1079 - 10 - c	1079-10-c	L30618	GU10
LED Lighting, 3000K, GU10, 3W, 200 lm: 107- - 05 - A	1079-05-a	L30619	GU10
LED Lighting, 3000K, GU10, 3W, 200 lm: 107- - 05 - B	1079-05-b	L30620	GU10
LED Lighting, 3000K, GU10, 3W, 200 lm: 107- - 05 - C	1079-05-c	L30621	GU10

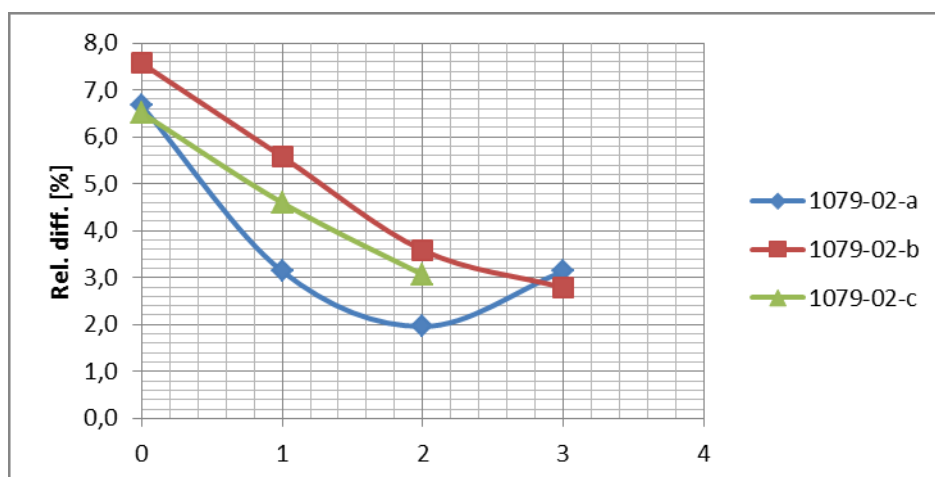
Hos SEE er LED pærene målt med LightSpion målekufferten. Pærene er sat op i systemet og målt umiddelbart efter at de er tændt. Der er foretaget 3 eller 4 målinger afhængig af hvor store afvigelser der var på den målte lysstrøm. Målingerne er foretaget i et normalt kontor med omgivelseslys tændt. Desværre er LightSpion målefilerne ikke gemt for målingerne, hvilket gør at vi ikke har de primære måledata som indeholder intensiteten som funktion af udstrålingsvinkel. Der er kun gemt pdf-dokumenter for hver måling med angivelse af parametre som angivet i Tabel 2. I Tabel 2 er også angivet hvilke parametre som er målt i NF goniofotometeret. De sammenlignende målinger i NF goniofotometeret omfatter ikke de kolorimetriskke parametre, som farvetemperatur, Ra-indeks og kromaticitet.

Tabel 2 Parametre der måles og sammenlignes imellem LightSpion og NF goniofotometer målinger.

Parameter	Enhed	LightSpion	NF Goniofotometer
Intensitets fordelings fil		(x)	x
Total lysstrøm	[lm]	X	X
Peak intensitet	[cd]	x	x
Nyttelystrøm	[lm]	(x)	x
Effekt	[W]	x	x
Effektivitet	[lm/W]	x	x
Farvegevegivesindeks (Ra)		x	
Korreleret farvetemperatur	[K]	x	
Udstrålings vinkel	[°]	x	x
Kromaticitet (x,y)		x	
Power faktor		x	x
Spænding	[V]	x	x
Strøm	[A]	x	x

Et af problemerne med målinger på LED pærer er at man skal sikre at de er stabile i lysstrøm og effektforbrug før man udfører målingen. Det er gjort i NF goniofotometer målingerne hvor variationen i lysstrøm og effekt var mindre end 0,5 % over 30 minutter før målingen blev udført. Den måde som målingen blev udført med LightSpion betyder at de sidste målinger af de tre eller fire målinger må formodes at give et bedre estimat af lysstrømmen.

Figur 21 viser den relative afvigelse imellem den med målekufferten målte lysstrøm og reference værdien. For 1079-02-b (L30608) ses i at den første måling er 7,6 % over den stabiliserede værdi målt i NF goniofotometeret og at den falder til 2,8 % ved den fjerde måling. Dette viser det forventede forløb hvor LED pæren som resultat af opvarming og stabilisering aftager i lysstrøm og stabiliserer sig efter et stykke tid.



Figur 21 Graf der viser den relative afvigelsen imellem målt total lysstrøm som funktion af målingsnummer i LightSpion målingen.

Det er ikke alle målinger der viser sammenhængen så klart som denne. Flere resultater af denne sammenligning vil blive publiceret i en artikel og poster præsentation ved konferencen "CIE 2015" der afholdes i juni 2105 i Manchester England.

1.5.5 Formidling

Projektets resultater er blevet formidlet igennem foredrag ved danske og internationale konferencer, gå-hjem-møder hos industrien og i samarbejde med Dansk Center for Lys (DCL) og

Dansk Optisk Selskab (DOPS). Ligeledes igennem artikler i fagpressen og videnskabelige tidskrifter. Formidling foregår også igennem diskussioner i andre og nye projekter som Greenlab DOLL og innovationskonsortiet "LEDMET – Center for LED metrologi", som har den danske lys og belysnings tekniske industri som målgruppe. Herunder gives en liste over de foredrag og artikler der er skrevet og afholdt igennem projektet:

- Carsten Dam-Hansen, "Light quality and efficiency of solid state lighting products" foredrag ved DTU International Energy Conference, 12. September 2013.
- Carsten Dam-Hansen, "Test og karakterisering af LED lys, - hvilke nye standarder er på vej?", foredrag ved DOPS LED Fokusdag, 23. september 2014.
- Casper Kofod "IEA fremmer global LED hamonisering", artikel i LYS nr. 1, 2014.
- Anders Thorseth og Carsten Dam-Hansen, "Giver LED pærer det samme lys i Kina, Danmark og USA?", artikel i LYS nr. 3 2014.
- Anders Thorseth, "LED – kan man stole på tallene?", artikel i LYS nr 4 2014.
- Casper Kofod "EU Ecodesign and Energy Label & Promoting Policy on LED Lighting" ved "International Conference on LED Lighting Promoting Policy" den 3. september 2013 i Seoul Korea.
- Dennis Corell, Anders Thorseth og Carsten Dam-Hansen, "Luminous Flux and Colour Maintenance Investigation of Integrated LED Lamps", Foredrag ved CIE konference I Kuala Lumpur, April 2014.
- Carsten Dam-Hansen, "[Status for standardiseringsarbejdet](#)", foredrag ved gå-hjem-møde arrangeret af DCL hos Philips, 11. september 2014.
- Carsten Dam-Hansen, Mekbib Amdemeskel, Anders Thorseth, Dennis Corell, Johannes Lindén, Thorkild Markussen, and Christian Krause, "Analysis of Compact and Portable Goniospectrometer System for Test of LED Lamps", CIE conference, Manchester juni 2015.

Herudover har deltagelsen i IEA's SSL annex resulteret i en række artikler og dokumenter som er tilgængelige på SSL Annexets hjemmeside; <http://ssl.iea-4e.org/>. Projektets deltagere har arbejdet med input, gennemlæsning og kommentering af disse dokumenter.

Casper Kofod og Carsten Dam-Hansen har ved de halvårslige SSL Annex møder givet en status for udviklingen i Danmark på SSL området, forsknings og udviklingsmæssigt og omkring tiltag for regulering og adoptering af SSL teknologien. Dette har været som input til de andre deltager lande og vi har på tilsvarende vis fået meget værdifuld information fra disse.

1.6 Anvendelse af projekt resultater

Projektets hovedresultat er at de to danske fotometriske laboratorier med succes har gennemført IC2013, og således har vist deres færdighed i måling af SSL produkter i henhold til den nye internationale test standard [3]. Det sikrer at de danske laboratorier er på forkant med udviklingen på testområdet og vil kunne servicere den danske belysnings industri og energistyrelsen i deres monitorerings og verifikations arbejde.

Ønsket om at koordinere danske tiltag indenfor lysteknisk kalibrering og måling har båret frugt idet gruppen bestående af Delta og DTU Fotonik er blevet udvidet med DFM, Dansk Fundamental Metrologi. Gruppen har søgt og fået bevilliget innovationskonsortiet "LEDMET Center for LED Metrologi", som startede i 2014. Projektet samler 14 danske virksomheder og skal arbejde med spektroradiometri og goniofotometri i forhold til LED produkter i de næste 4 år. Projektet ligger udenfor SSL annex arbejdet, men vil kunne give værdifuldt input til det fortsatte arbejde i IEA SSL Annex omkring goniofotometri af SSL produkter. Ligeledes er etableret samarbejde med to svenske laboratorier, Energimyndigheten i Stockholm og SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

DTU Fotonik arbejder til stadighed med udvikling af nye målefaciliteter og vil udbyde nye typer af lystekniske målinger, rettet imod dansk industri's behov for målinger. Goniofotometri og goniospektrometri til karakterisering af LED lyskilder og lampers vinkelmæssige lysfordeling er en vigtig del af dette. Målefaciliteter til karakterisering af fotobiologiske sikkerhed fra ultraviolet over synligt til infrarødt lys er et andet fokusområde.

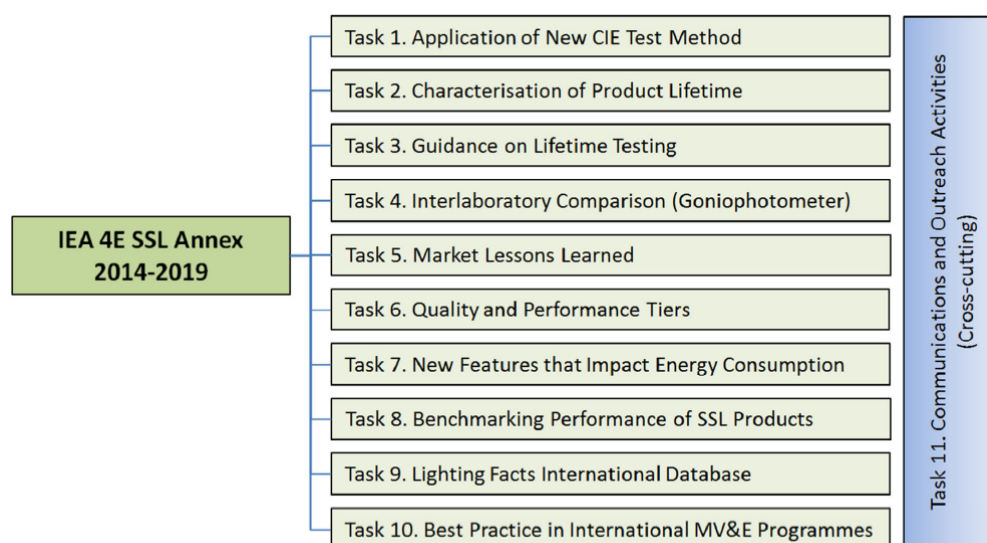
Der arbejdes videre med uddannelsen af SEE's personale således at de målinger der foretages med målekufferten, Light Spion, giver bedst mulige resultater og udbytte i marked monitoreringsarbejdet.

1.7 Projekt konklusion og perspektiver

Projektet har bidraget til en væsentlig opdatering af de danske lystekniske laboratorier ved at de to danske fotometriske laboratorier med succes har gennemført IC2013. De har således vist deres færdighed i måling af SSL produkter i henhold til den nye internationale test standard [3]. Det er således lykkedes at sikre at de danske laboratorier er på forkant med udviklingen på testområdet og vil kunne servicere den danske belysnings industri og energistyrelsen i deres monitorerings og verifikations arbejde med SSL produkter. IC2013 har vist at når 123 laboratorier følger den midlertidige test standard er det muligt at opnå overensstemmende resultater og laboratoriernes udvidede usikkerhed på total lysstrøm er indenfor $\pm 5\%$, og på farvekoordinater indenfor 0,005, hvilket var forventet og rigtigt godt.

Det er projektdeltagernes klare holdning at Danmark bør fortsætte samarbejdet i IEA's SSL Annex og det er ved afslutningen af dette projekt besluttet at lave en fortsættelse af Annexet frem til 2019. Det sker med en række nye arbejdsopgaver som vist på Figur 22. Et af områderne er en ny laboratorie sammenligning hvor der fokuseres på goniofotometer målinger (Task 4) DTU Fotonik arbejder til stadighed med udvikling af nye målefaciliteter og i den 2. del af SSL Annex skal der arbejdes med goniofotometriske målinger i international sammenligning, et arbejde som DTU Fotonik har startet i Danmark i samarbejde med en række målelaboratorier hos dansk industri, det foregår i innovationskonsortiet "LEDMET – Center for LED Metrologi".

Projektet har resulteret i en lang række benchmarking data for SSL produkter som er blevet benyttet i SSL Annexets arbejde med kvalitetskrav og de tilhørende langtidstest for en del af disse er værdifulde resultater der skal benyttes i Task 2 og 3 i fortsættelsen af SSL Annexet. Dette arbejde vil blive udført i det EUDP støttede projekt "Global Test af SSL Produkter - IEA-4E-SSL" som er bevilliget efter afslutningen af dette projekt.



Figur 22 Arbejdsopgaverne i SSL Annexet's fortsættelse der løber fra 2014 til 2019.

Referencer

- [1] Y. Ohno, *IEA 4E SSL Annex Interlaboratory Comparison Test Method version 1.0*, 2012.
- [2] Y. Ohno, K. N. Revtova, W. Zhang, T. Zama og C. Miller, solid state lighting annex: [2013 interlaboratory comparison, final report](#), Energy Efficient End-Use Equipment (4E) International Energy Agency, 2014.
- [3] *CIE International standard S 025/E:2015 Test method for LED Lamps, LED luminaires and LED modules*, 2015.