



PSO Projekt nr. 339-040

Kvalitetsvurdering af armaturer med LED-lyskilder

September 2009

Astrid Espenhain og Kenneth Munck, Dansk Center for Lys
Carsten Dam-Hansen, DTU Fotonik, Risø Campus
Steen Traberg-Borup, SBI, Aalborg Universitet

Kvalitetsvurdering af armaturer med LED-lyskilder

1. Indledning.....	2
2. Baggrund.....	3
3. Udvikling inden for belysning	4
4. Udvælgelse af lyskilder og armaturer.....	6
5. Beskrivelse af lystekniske målinger	7
6. Udvikling af kriterier til subjektiv vurdering af LED-lyskilder og -armaturer	9
7. OPSLAG	13
8. Gennemgang af lystekniske målinger.....	42
9. Subjektiv vurdering af arbejdslamper, armaturer og erstatningslyskilder.....	46
10. Opsummering af resultater	61
11. Vurdering af udelys med LED-lyskilder.....	65
12. Resultater af udelysvurderinger	67
13. anbefalinger	74
14. Hvor er lysdioder til belysnings på vej hen?	75
15. Konklusion	77
Links.....	79

Bilag I: Skema til subjektiv vurdering af LED-lyskilder og armaturer

Bilag II: Uddybbende beskrivelse af målinger

Bilag III: Skema til vurdering af udelys

Forsidefotos: Steen Traberg-Borup

Projektet er udført i perioden 2007-2009 i et samarbejde mellem følgende:

Dansk Center for Lys:
Kenneth Munck, Astrid Espenhain og Vibeke Clausen

DTU Fotonik, Risø Campus:
Carsten Dam-Hansen

SBi Statens Byggeforskningsinstitut Aalborg Universitet:
Steen Traberg-Borup og Kjeld Johnsen

1. Indledning

Projektets formål er at sikre, at udbredelse af lysdioder til belysning sker i samme takt som LED teknologien udvikles og at der sikres en høj kvalitet af de armaturer med LED-lyskilder, som integreres i danske belysningsløsninger.

Med henblik på at sikre at forbrugerne ikke får dårlige synsmæssige oplevelser ved at anvende LED-løsninger, er målet således at undgå armaturer med LED-lyskilder af dårlig kvalitet og at sikre at valget af LED er optimalt til den givne opgave. Dårlige erfaringer kan blokere kraftigt for udbredelse af armaturer med LED-lyskilder og dermed forhindre at energisparepotentialet udnyttes.

Projektet består af to hovedaktiviteter, som begge sigter mod at fremme anvendelse af god og energirigtig LED-belysning:

- Udvikling af systematik for kvalitetsvurdering af LED-baseret belysning
- Indsamling, test og afprøvning af eksisterende LED-lyskilder og -armaturer

Som en del af projektet er udviklet kriterier til kvalitetsvurdering af tilgængelige LED-armaturer og LED-lyskilder. Kvalitetskriterierne danner grundlag for det vurderingsskema, der efterfølgende er anvendt til vurderinger af bl.a. lys-, syns- og komfortmæssige egenskaber ved de armaturer og lyskilder, der er vurderet af et ekspertpanel.

Vurderinger af kvalitet er fulgt op af laboratoriemålinger af bl.a. farveparametre, lysstrøm, lysfordeling, belysningstyrker og energieffektivitet.

Ud over måling og vurdering af LED-armaturer og LED-lyskilder til indendørs brug er der, som en mindre del af projektet, gennemført en vurdering af et antal udendørs belysningsanlæg med LED.

På baggrund af resultater af målinger og vurderinger af eksisterende LED-armaturer og -lyskilder udarbejdes anbefalinger til vurdering af relevante kvalitetsparametre ved anvendelse af belysningsløsninger med LED. Herved sikres at LED-lyskilder på sigt kan erstatte gløde-, halogen og sparepærer, uden at forbrugerne oplever dårligere lyskvalitet eller ringere belysningsmæssig funktion.

2. Baggrund

En række internationale analyser vedrørende brug af LED til belysning, herunder en undersøgelse gennemført af det Amerikanske Energiministerium (DOE), peger på lysdiodernes enorme energisparepotentiale som følge af at disses effektivitet har udviklet sig voldsomt og stadig vil udvikle sig kraftigt i de kommende år.

I løbet af de seneste år har et varieret udbud af armaturer og lyskilder med LED været tilgængeligt i både byggemarkeder og den øvrige detailhandel samt på internettet. Med henblik på at sikre udbredelsen af belysningsløsninger med LED er det derfor vigtigt at sikre, at lysdiodernes implementering sker der, hvor de er bedst anvendelige og at undgå at lysdioderne anvendes i områder, hvor de endnu ikke giver tilstrækkelig lyskvalitet og energieffektivitet.

Da energiforbruget til belysning andrager omkring 32 % af det samlede el-forbrug i den offentlige sektor og tilsvarende i private kontorbyggerier, er energisparepotentialet ved anvendelse af nye effektive typer lyskilder stort.

Ud over energibesparelser rummer lysdioderne desuden andre fordele, som gør dem interessante til anvendelse i byggeri. De er små, har meget lang levetid og kan let integreres i bygningselementer. Samtidig er lysdioder som udgangspunkt velegnede til at kunne dæmpes, hvilket betyder at de med fordel kan anvendes sammen med dagslysstyring og anden energisparende automatik.

Projektet sigter mod at de store elbesparelser, som aktuelt findes indenfor lysdioder og som i løbet af de kommende 3-5 år vil vokse som følge af lysdiodernes udvikling, udnyttes optimalt. Da lysdioder er en ny teknologi med et stort potentiale, er det nødvendigt i tide at kvalitetsvurdere de produkter, som kommer på markedet for at sikre, at udvikling af teknologien sker til gavn for brugerne samtidig med, at energisparepotentialet udnyttes.

At udvikle LED-armaturer med høj lyskvalitet til brug i bygninger er ikke nogen enkel sag. Mange lysdioder kommer som halvfabrikata i form af rå chip monteret på printkort. Herefter er det op til designere og udviklere at finde løsninger til strømforsyning, optik, reflektorer, afskærmning, indkapsling mv.

Der er således mange faldgruber i udviklingen af belysningsløsninger med LED. Dette projekt bidrager til at synliggøre og afhjælpe de problemer, som belysning med lysdioder kan give for dermed at fremskynde udnyttelsen af det potentiale, som uden tvivl er til stede.

3. Udvikling inden for belysning

Udviklingen inden for LED til belysning og specielt hvidt lys er gået rigtig stærkt i de sidste 3-5 år (2009). LED producenterne har været aggressive i markedsføringen af lysdioder til belysning og information om, hvorledes de forventes at udvikle sig. Indtil nu har LED-producenterne holdt, hvad de lovede med kraftige effektivitetsforbedringer og bedre lyskvalitet. Men LED-belysning er i dag stadig primært til niche- og specialområder. Det vil ændre sig i løbet af de kommende 5-10 år.

I et projekt som dette, hvor der er vurderet, testet og analyseret en række tilgængelige produkter på markedet, risikerer man, at LED-producenterne har overhalet de udvalgte produkter, inden projektet er færdigt. Projektgruppen forventede, at dette ville ske og kan konstatere, at der er sket en kraftig forbedring af lumen/watt i projektperioden.

En række af de væsentlige visuelle parametre, som udgør de primære vurderingskriterier i dette projekt, er der derimod ikke ændret væsentligt på. De visuelle kriterier er derfor særdeles relevante i de kommende år, hvor LED ventes at trænge ind i flere og flere af de eksisterende belysningsområder.

Et af fokusområderne inden for LED er naturligvis elbesparelser. Men før man kan vælge at anvende LED, er der en række væsentlige parametre og valgkriterier der skal være opfyldt. Det gælder krav til lysmængde, farvetemperatur, farvegengivelse og lysfordeling. Hertil kommer levetid, temperaturforhold og en række tekniske forhold, som primært knytter sig til levetid og driftsforhold, der skal være på plads, inden det er relevant at vælge LED. Desuden er prisen på LED stadig så høj, at lysdioderne skal kunne tilføre belysningsløsningen noget ekstra, som traditionelle løsninger ikke kan, før det er relevant at vælge LED. Når disse parametre er på plads, kan man vurdere elbesparelspotentialt.

Der er mange steder, hvor det i dag ikke af energimæssige årsager er fornuftigt at vælge LED, simpelthen fordi effektiviteten af det samlede system er lavere end eksisterende belysningsløsninger. Det gælder specielt lysstofrør, metalhalogen, højtryksnatrium samt løsninger, hvor der kræves så store lysmængder, at lysdiodeløsninger bliver for omkostningstunge.

Der er således behov for forbedringer af lysdiodeteknologien på en række områder.

Sammenlignet med de traditionelle lyskilder og armaturer som har haft en udviklings- og modningsperiode på 50-100 år, er LED-teknologien stadig i sin tidlige udviklingsfase. Lysdiodeteknologien kan benytte sig af en del af de eksisterende erfaringer, men LED er på mange måder en helt ny teknologi, som skaber helt nye problemstillinger, der skal løses. Det gælder problemstillinger omkring blænding, skygger, støj, optik og varmekonforhold, som der skal udvikles nye løsninger for.

Samtidig er der en række problemstillinger inden for erstatningslyskilderne, som stiller teknologien overfor nye udfordringer. Det gælder spørgsmål om, hvordan LED passer sammen med eksisterende halogentransformere og dæmpningssystemer samt spørgsmål omkring varmekonforhold, når LED monteres i eksisterende og lukkede armaturer, som stadig er uafklarede.

4. Udvælgelse af lyskilder og armaturer

I løbet af de seneste 4-6 år er der kommet flere og flere lyskilder og armaturer med LED på markedet. Blandt andet er der på Light & Building messen i Frankfurt blev præsenteret et stort antal nye armaturer og lyskilder med LED, senest på messen i 2008, hvor andelen af LED-løsninger igen var vokset i forhold til tidligere.

I forbindelse med dette projekt er udvalgt et antal LED-armaturer og LED-lyskilder, som alle er tilgængelige på det danske marked. Udvælgelsen af armaturer og lyskilder er sket på baggrund af følgende:

- Armaturer og lyskilder skal være udviklet primært til professionelle formål til indendørs belysning eller kunne erstatte lyskilder til professionelle formål
- De udvalgte armaturer skal være udviklet til anvendelse i kontorer, institutioner, gange o.lign.
- Armaturtyper kan f.eks. være arbejdslamper, spots, nedhængte, på- eller indbyggede loftarmaturer, vægarmaturer, pendler o.lign.
- Lyskildetyper kan være erstatninger for gløde- eller halogenglødelamper med eller uden reflektor

I alt er udvalgt 22 LED-lyskilder og armaturer:

- 9 stk. armaturer (heraf 4 stk. arbejdslamper med lysdioder)
- 13 stk. erstatningslyskilder med LED (heraf 6 stk. med E27 skruesokkel og 7 stk. med enten GU5,3 eller GU10 sokkel)

Samtlige armaturer og lyskilder kvalitetsvurderes og afprøves med hensyn til både komfort, visuelle og lystekniske parametre som blænding, kontrastforhold, synskomfort, energiforbrug, spektralfordeling, farvegengivelse og lysudsendelse.

Derudover er vurderet 5 forskellige udendørs belysningsanlæg med LED-belysning. Kriterier for udvælgelsen af disse anlæg fremgår af afsnit 11.

5. Beskrivelse af lystekniske målinger

Lystekniske målinger på LED-lyskilder og armaturer er udført i LED LYS Laboratoriet hos DTU Fotonik på Risø. I LED LYS Laboratoriet er målt den samlede strålingsstrøm fra lyskilderne og den spektrale effektfordeling. Ud fra disse målinger kan en række fotometriske og kolorimetriske parametre som lysstrøm, farvekoordinater, korreleret farvetemperatur og Ra-indeks beregnes. Derudover kan lyskildens effektivitet beregnes ud fra måling af lyskildens effektforbrug.

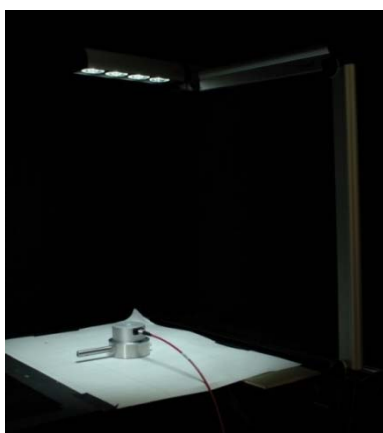
Da LED erstatningslyskilder normalt ikke er rundstrålende som en glødepære, men derimod udstråler i et halvrum, er det muligt at måle den totale lysstrøm i en simpel fremad flux opstilling – se figur 5.1.



Figur 5.1 Måleopstilling med 1 m integrerende kugle. I fremad flux målingen placeres LED erstatningslyskilden således, at den lyser ind i kuglen igennem portåbningen.
Foto: DTU Fotonik

For rundstrålende lyskilder som glødepærer er det nødvendigt at placere lyskilden i centrum af den integrerende kugle.

Der er desuden foretaget målinger på en række LED-armaturer, som det ikke har været muligt at måle den totale udstråling fra. I disse tilfælde er den spektrale effektfordeling målt ved hjælp af en integrerende kugle med en port åbning på 10 mm i diameter, se figur 5.2. Ud fra disse målinger kan irradians og belysningsstyrke samt en række kolorimetriske parametre som farvekoordinater, korreleret farvetemperatur og Ra-indeks beregnes.

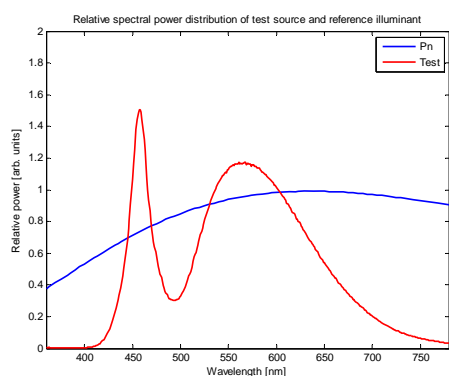


Figur 5.2 Måling af illuminans og spektralfordeling af lyset fra en LED arbejdslampe.
Foto: Carsten Dam-Hansen

For LED arbejdslamper er målingerne foretaget i en afstand af ca. 50 cm fra lampehovedet, svarende til en normal indstilling af lampen på bordet. Der er målt i en række punkter for at undersøge belysningsstyrkefordelingen på bordet.

Da der afsættes en del varme i en LED-lyskilde og lysstrømmen fra lyskilden afhænger af temperaturen, er omgivelsestemperaturen ved målingerne, T_{amb} , angivet. Alle lyskilder har været placeret i fri luft under målingerne og målingerne er foretaget, når lyskilden har opnået sin stationære tilstand. I opslagene er endvidere angivet en temperatur, T_{bulb} , målt på ydre metaldel af LED-lyskilden i stationær tilstand.

I dataopslagene over de målte lyskilder og armaturer (kap. 7) er spektralfordelingen vist som i figuren 5.3, hvor den røde kurve er den målte spektralfordeling. Den blå kurve angiver spektralfordelingen af den lyskilde, som benyttes som referenceberegningen.



Figur 5.3 Målt relativ spektralfordeling for test lyskilden (rød linie) og beregnet relative spektralfordeling for reference lyskilden (blå linie).

I tabel 5.4 herunder er listet de parametre, der er angivet i opslagene for de enkelte LED-lyskilder og -armaturer.

Betegnelse	Beskrivelse	Måleenhed
Φ	Total strålingsstrøm	[W]
Φ_v	Total lysstrøm	[lm]
E	Irradians	[W/m ²]
E_v	Belysningsstyrke	[lux]
Lysudbytte	Effektivitet	[lm/W]
CCT	Korreleret farvetemperatur	[K]
DC	Kromatisk afvigelse	-
R_a_i	Specifikke Ra-indeks	-
R_a	Generelt Ra-indeks	-
Rød linje i graf	Relativ spektralfordeling af lys fra testlyskilden (målt)	-
Blå linje i graf	Relativ spektralfordeling af lys fra referencelyskilden (beregnet)	-
T_{amb}	Rumtemperatur under målinger	[°C]
T_{bulb}	Temperatur af metaldel af LED-lyskilde i stationær tilstand under målinger	[°C]

Tabel 5.4 Kort beskrivelse af de parametre der angives i opslagene for LED-lyskilder og -armaturer

En af LED-teknologiens helt store fordele er stadig den meget lange levetid. Det har selvsagt ikke været muligt at tage denne parameter med i denne undersøgelse.

En mere udførlig beskrivelse af målinger og parametre findes i bilag II.

6. Udvikling af kriterier til subjektiv vurdering af LED-lyskilder og -armaturer

Projektets hovedopgave har været at foretage en kvalitetsvurdering, dels af et antal arbejdslamper, armaturer og erstatningslyskilder alle med LED-lyskilder, dels af en række udendørs armaturer. Vurdering af udendørsarmaturerne er beskrevet i afsnit 11. Ved kvalitetsvurderingen vurderes hele armaturet og alle funktioner inkl. lyskilder, forkobling, evt. dæmper, justering mv. I forbindelse med vurderingen er armaturer og lyskilder placeret så realistisk som muligt i overensstemmelse med den påtænkte anvendelse af armaturet.

Den subjektive vurdering, eller vurdering af såkaldte bløde værdier, omfatter bla.:

- Samlet opfattelse af armaturet
- Armaturafskærmning og fordeling af lys på arbejdsplan
- Blænding fra armatur
- Varmeudvikling i armaturet
- Skyggedannelse, formtegning, blødt/hårdt lys
- Oplevelse af lyset: Behageligt, ubehageligt, lysets farve
- Farvegengivelse
- Flimrer fra LED-lyskilder
- Betjening og indstilling af armatur

6.1 Vurderingsskema

Til brug for den subjektive vurdering er udviklet et spørgeskema. Skemaet er inddelt i følgende fire hovedgrupper:

- Lyset fra lampen
- Lampens indstilling og funktion
- Betjening af lampen
- Æstetik og udseende

Spørgsmålene besvares ved at give en "karakter", der kan ligge mellem -3 og +3. Der er desuden plads til eventuelle kommentarer ud for spørgsmålene. En gennemgang af besvarelserne for de vurderede armaturer findes i kap. 9. En kopi af spørgeskemaet findes i bilag I.

Spørgsmålene i hovedgrupperne gengives i det følgende.

Lyset fra lampen

Her vurderes den umiddelbare oplevelse af lyset fra lampen (i normal position) mhp. følgende kvaliteter:

- Behageligt/ubehageligt
- Interessant/kedeligt
- Ikke-blændende/blændende
- Ikke farvet/farvet
- Varmt/koldt

- Ikke flimrende/flimrende
- God/dårlig farvegengivelse
- God/dårlig formtegning
- God/dårlig kontrastgengivelse ifm. læsning
- God/dårlig kontrastgengivelse ifm. skrivning
- God/dårlig kontrastgengivelse ved tastatur
- God/dårlig lysfordeling
- Ingen/synlig farvevariation over synsfelt
- Ingen/generende reflekser i bord
- Ingen/generende reflekser i edb-skærm

Ved vurdering af arbejdslamper eller lyskilder i samme blev desuden vurderet blænding fra normal siddehøjde med lampen stående på et hævet bord (f.eks. nabobord). Her blev spurgt om lampen virker:

- Ikke blændende/blændende

Lampens indstilling og funktion

I forbindelse med indstilling af lampen og dens funktion, blev vurderet om lampen forekommer:

- Nem/besværlig
- Hensigtsmæssig/uhensigtsmæssig
- Flytning til ønsket position på bord er: Nem/svær

Betjening af lampen

I forbindelse med betjening af lampen, blev vurderet om denne har (er):

- God/dårlig afbryder
- Ikke generende/generende varm
- God/dårlig lysstyrke-dæmper
- God/dårlig farvedæmpning

Æstetik og udseende

Det umiddelbare indtryk af lampen blev vurderet ud fra om lampen er:

- Tiltalende/utiltalende
- Funktionel/ikke funktionel.

Under forløbet med vurdering af lamperne blev det klart, at der også skulle have været et spørgsmål mht. eventuelle støjgener fra lampens ventilatorer. I stedet blev dette fænomen kommenteret hvor det var nødvendigt.

6.2 Vurdering af farveegenskaber

Til vurdering af farvegengivelse blev der dels brugt farvekort bestående af farveprøver svarende til de 14 farver i CIE's retningslinjer for bestemmelse af Ra-indeks¹, dels farvekort fremstillet af GretagMachbeth, de såkaldte ColorChecker-kort med 24 veldefinerede farvefelter – se figur 5.5. Farveegenskaber i øvrigt samt formtegning,

¹ CIE13.3-1995 *Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources*

skygger og kontrastforhold blev vurderet ved hjælp af en opstilling af frugt, grøntsager og andre emner med kendte farver og overfladestrukturer, se figur 5.6 og 5.7.



Figur 5.5 Vurdering af farver blev bla. foretaget ved hjælp af ColorChecker-kort fra GretagMacbeth.
Foto: GretagMacbeth.



Figur 5.6 Frugt, grøntsager og en tennisbold blev bla. brugt ved vurdering af farver, formtegning, skygger og kontraster.
Foto: Steen Traberg-Borup

6.3 Praktiske forhold for den subjektive vurdering

Den subjektive vurdering af armaturer og erstatningslyskilder fandt sted hos SBI, dels i et par kontorlokaler og dels i et gangareal i umiddelbar tilknytning til kontorerne. Vurderingerne blev foretaget af et ekspertpanel bestående af personer fra Dansk Center for Lys, DTU-Fotonik og SBI i tidsrummet maj - september 2008.

Kontorerne var indrettet med hæve/sænke borde med lys finéoverflade, en højdejusterbar kontorstol, et tastatur og en edb-skærm, se foto på næste side. På skrivebordene var markeret et læsefelt på 30 x 42 cm placeret 5 cm fra kant af bordet, se DS 700. Arbejdslamperne blev stillet eller monteret på bordet, så de kunne belyse læsefeltet bedst muligt, dog uden at skygge for edb-skærmen. Vurderingerne blev foretaget med tændt almenbelysning og uden dagslystilskud.

Gangarealet blev brugt til vurdering af spot- og erstatningslyskilder. Lyskilderne blev monteret ved overkant væg og ca. 40 cm ud fra denne. De blev vinklet 45° mod væggen, se figur 5.8.



Figur 5.7 Kontor med forsøgsopstilling. En erstatningslyskilde med LED'er er monteret i en standard arkitektlampe. Foto: Steen Traberg-Borup



Figur 5.8 Spot- og erstatningslyskilder blev monteret ved overkant væg i en hældning på 45°. Foto: Steen Traberg-Borup

7. OPSLAG

På de følgende sider findes dataopslag for de målte og vurderede LED-lyskilder og -armaturer.

Opslagene indeholder bl.a. data for målt effekt og lysudbytte, lysstrøm og spektralfordeling samt måleresultater for farveparametre (korreleret farvetemperatur, kromatisk afvigelse samt indeks for generelle og specifikke farvegengivelse). For arbejdslamper og bordlamper indeholder opslagene desuden resultater af belysningsstyrkemålinger. Beskrivelse af lystekniske målinger findes i kap. 5 og i appendiks II.

Alle opslag indeholder desuden en oversigt over resultatet af den subjektive vurdering af den konkrete lyskilde eller armatur (det spørgeskema, der danner grundlag for den subjektive vurdering findes i appendiks I).

De målte og vurderede LED-lyskilder og -armaturer er:

1. Philips Accent LED WW
2. Philips Accent LED CW
3. BLTC 04-700 E27-T8W
4. BLTC 04-550 GU10-T3W
5. GU10 MIX
6. Lamina, warm white
7. Lamina, cool white
8. XLEDs GA3022 PAR 30 WW
9. XLEDs GA3022 PAR 30 CW
10. XLEDs MR16 CW AC/DC 12 V B Angle 55
11. XLEDs MR16 AC/DC 12 V
12. XLEDs MR16 WW AC/DC 12 V B Angle 50
13. SP70 04-600 PL-5W
14. Waldmann Diva LED lamp
15. Leaf Light
16. LUXO Air
17. Ninety
18. Philips BBG450 Spot LED (round)
19. Philips BBG451 Spot LED (square)
20. Tempura
21. LED Lamp Jane
22. LED Åkande

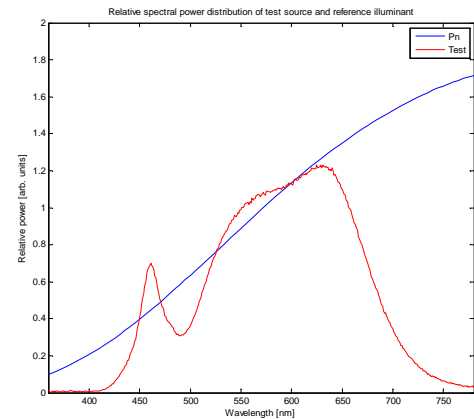
Fotos (alle opslag): Carsten Dam-Hansen

Philips AccentLED WW

Lyskilde: Philips AccentLED WW
Forhandler: Philips
Sokkel: E27
Spænding: 230V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = -$
Effekt = 1,7-1,9 W
Lysudbytte = 5,6 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
Strålingsstrøm, $\Phi = 34,5\text{ mW}$
Lysstrøm, $\Phi_v = 10,6\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 3212 Kelvin

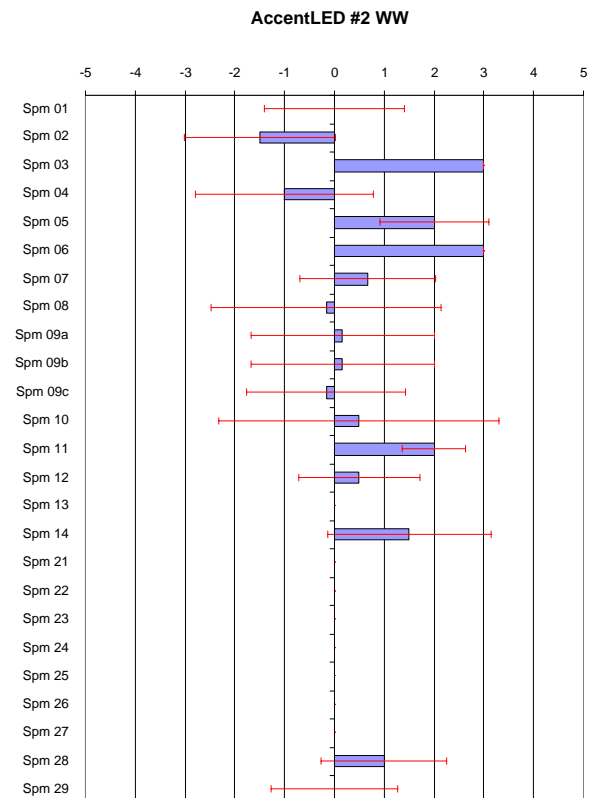
Kromatisk afvigelse (DC): $5,5 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 87,2

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	86,3	
2	Dark greyish yellow	90,4	
3	Strong yellow green	91,9	
4	Moderate yellowish green	84,9	
5	Light bluish green	83,5	
6	Light blue	85,1	
7	Light violet	94,4	
8	Light reddish purple	81,2	
9	Strong red	52,7	
10	Strong yellow	74,7	
11	Strong green	80,7	
12	Strong blue	60,3	
13	Light yellowish pink	86,8	
14	Moderate olive green	94,5	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

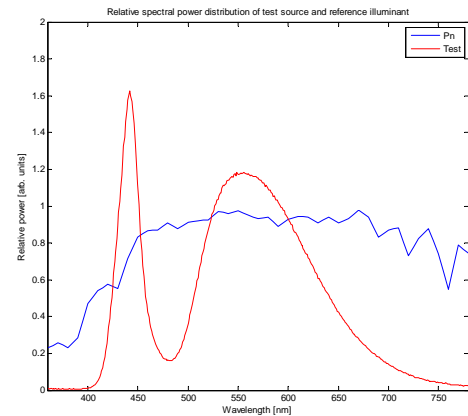


Philips AccentLED CW

Lyskilde: Philips AccentLED CW
Forhandler: Philips
Sokkel: E27
Spænding: 230V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = -$
Effekt = 1,7-1,9 W
Lysudbytte = 9,5 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
Strålingsstrøm, $\Phi = 53,4\text{ mW}$
Lysstrøm, $\Phi_v = 18,0\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 5014 Kelvin

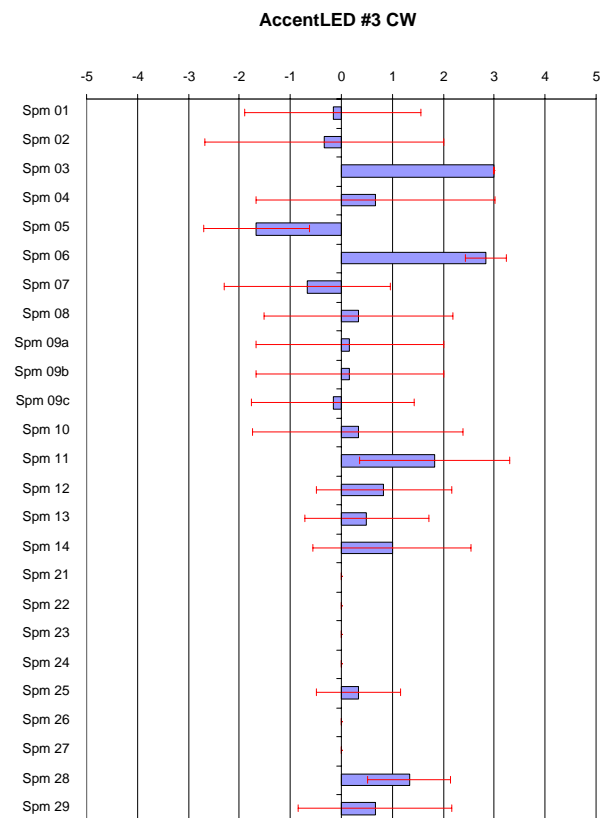
Kromatisk afvigelse (DC): $4,9 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 66,4

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	63,6	
2	Dark greyish yellow	69,9	
3	Strong yellow green	75,1	
4	Moderate yellowish green	68,2	
5	Light bluish green	64,8	
6	Light blue	60,0	
7	Light violet	75,9	
8	Light reddish purple	53,8	
9	Strong red	-41,3	
10	Strong yellow	29,4	
11	Strong green	65,3	
12	Strong blue	37,9	
13	Light yellowish pink	63,3	
14	Moderate olive green	85,8	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

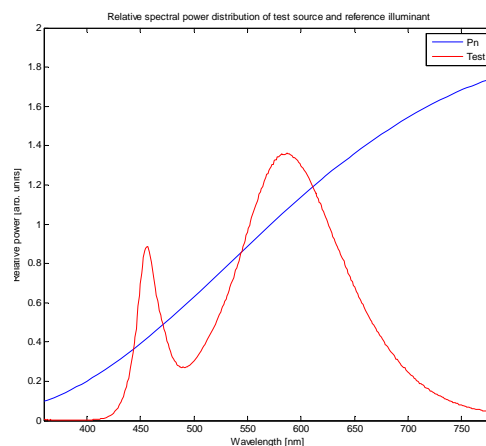


BLTC 04-700 E27-T8W

Lyskilde: BLTC 04-700 E27-T8W
Forhandler: DanLED
Sokkel: E27
Spænding: 230V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = -$
 Effekt = 7,3-7,5 W
 Lysudbytte = 22 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, $\Phi = 483\text{ mW}$
 Lysstrøm, $\Phi_v = 162\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 3188 Kelvin

Kromatisk afvigelse (DC): $5,0 \cdot 10^{-3}$

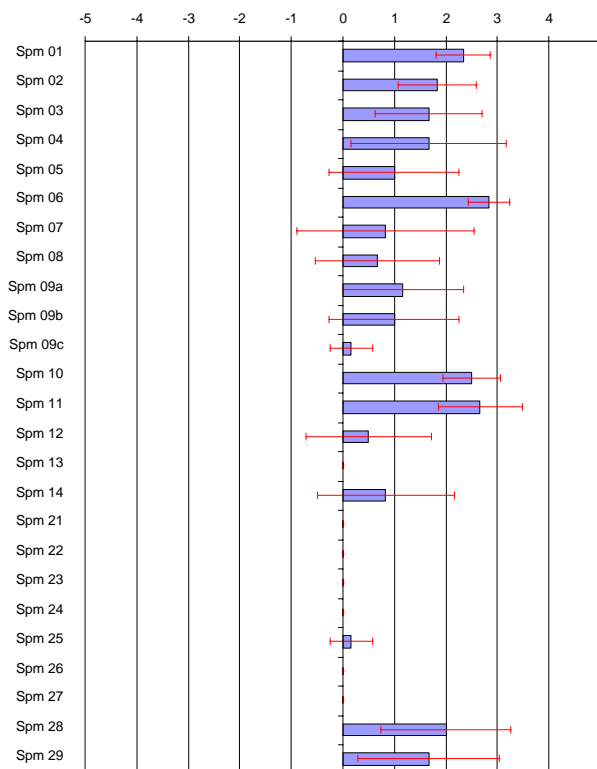
Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 71,2

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	66,7	
2	Dark greyish yellow	83,9	
3	Strong yellow green	93,7	
4	Moderate yellowish green	61,7	
5	Light bluish green	65,5	
6	Light blue	75,5	
7	Light violet	77,5	
8	Light reddish purple	44,8	
9	Strong red	-28,1	
10	Strong yellow	61,8	
11	Strong green	52,4	
12	Strong blue	47,4	
13	Light yellowish pink	70,2	
14	Moderate olive green	96,8	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

BLTC #4 væg

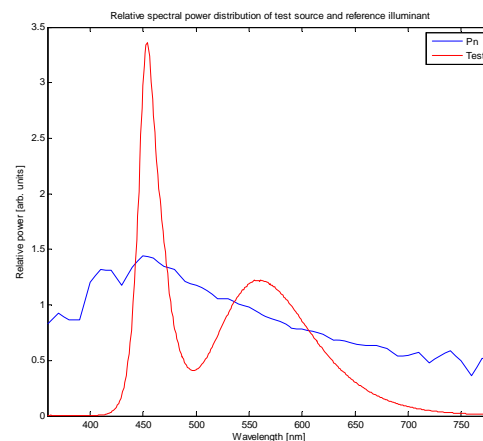


BLTC 04-550 GU10-T3W

Lyskilde: BLTC 04-550 GU10-T3W
Forhandler: DanLED
Sokkel: GU10
Spænding: 230V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = 71\text{ °C}$
 Effekt = 4,3-4,5 W
 Lysudbytte = 16,4 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, $\Phi = 252\text{ mW}$
 Lysstrøm, $\Phi_v = 73,8\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 9329 Kelvin

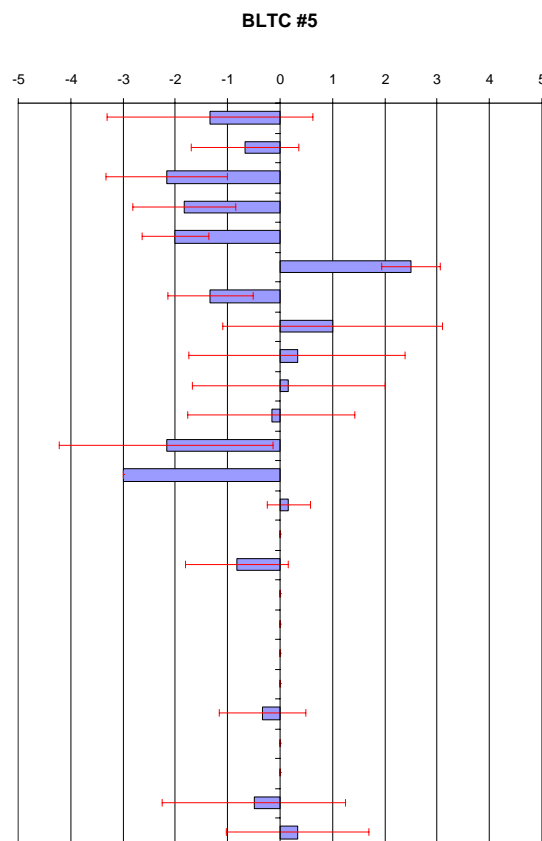
Kromatisk afvigelse (DC): $8,2 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 75,9

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	75,2	
2	Dark greyish yellow	86,1	
3	Strong yellow green	83,5	
4	Moderate yellowish green	68,4	
5	Light bluish green	72,1	
6	Light blue	71,8	
7	Light violet	84,3	
8	Light reddish purple	65,5	
9	Strong red	-9,0	
10	Strong yellow	58,7	
11	Strong green	60,6	
12	Strong blue	38,9	
13	Light yellowish pink	79,6	
14	Moderate olive green	90,8	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

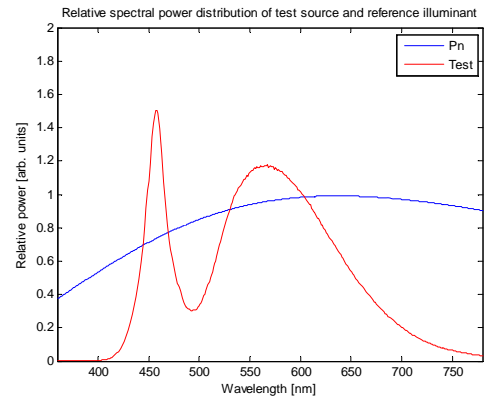


GU10 MIX

Lyskilde: GU10 MIX
Forhandler: DanLED
Sokkel: GU10
Spænding: 230V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = 59\text{ °C}$
Effekt = 3,8 W
Lysudbytte = 27 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
Strålingsstrøm, $\Phi = 313\text{ mW}$
Lysstrøm, $\Phi_v = 103\text{ lm}$

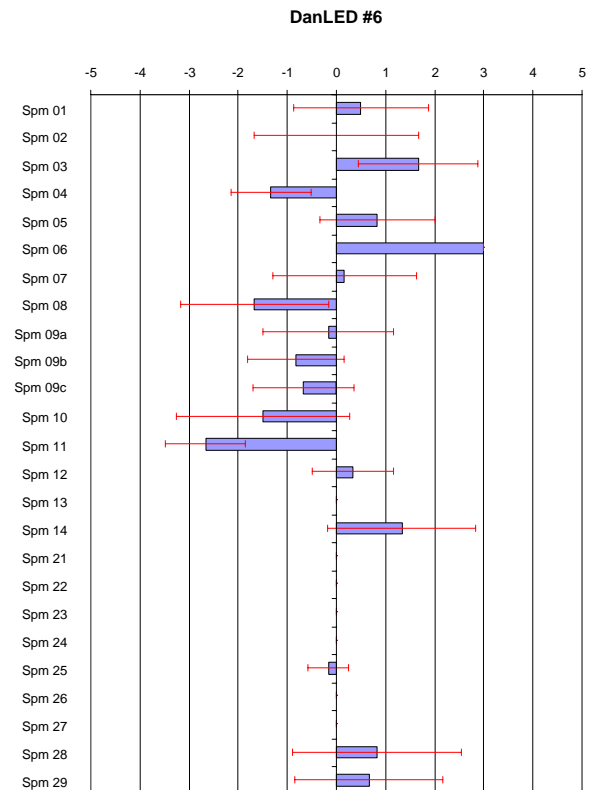


Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 4552 Kelvin
Kromatisk afvigelse (DC): $3,9 \cdot 10^{-3}$
Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 74,7
Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	71,2	
2	Dark greyish yellow	82,6	
3	Strong yellow green	87,8	
4	Moderate yellowish green	68,8	
5	Light bluish green	69,3	
6	Light blue	72,3	
7	Light violet	85,8	
8	Light reddish purple	60,0	
9	Strong red	-11,1	
10	Strong yellow	54,9	
11	Strong green	60,5	
12	Strong blue	38,5	
13	Light yellowish pink	73,8	
14	Moderate olive green	92,8	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

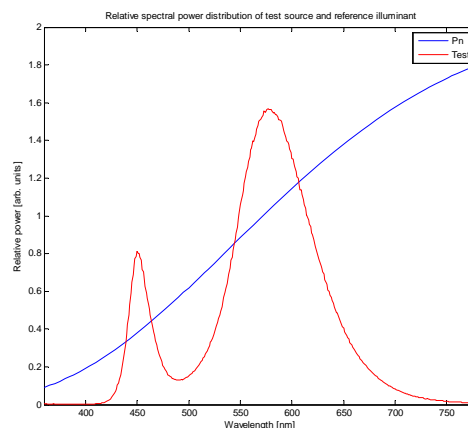


Lamina, warm white

Lyskilde: Lamina, warm white
Forhandler: Professional Lamps Scandinavia
Sokkel: MR16
Spænding: 12 V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = -$
 Effekt = 13,2 W
 Lysudbytte = 19,4 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, $\Phi = 648\text{ mW}$
 Lysstrøm, $\Phi_v = 256\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 3145 Kelvin

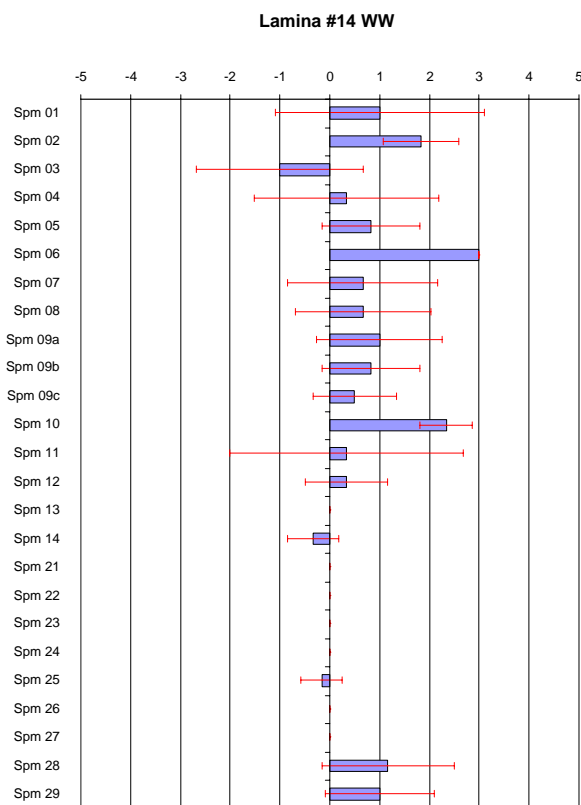
Kromatisk afvigelse (DC): $3,6 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 52,0

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	42,8	
2	Dark greyish yellow	69,6	
3	Strong yellow green	89,7	
4	Moderate yellowish green	37,9	
5	Light bluish green	41,0	
6	Light blue	52,7	
7	Light violet	67,8	
8	Light reddish purple	15,1	
9	Strong red	-108,3	
10	Strong yellow	30,6	
11	Strong green	19,4	
12	Strong blue	13,8	
13	Light yellowish pink	47,2	
14	Moderate olive green	94,1	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

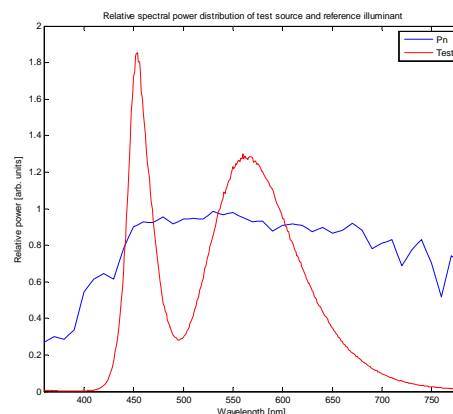


Lamina, cool white

Lyskilde: Lamina, cool white
Forhandler: Professional Lamps Scandinavia
Sokkel: MR16
Spænding: 12 V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = -$
Effekt = 13,3 W
Lysudbytte = 20,9 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
Strålingsstrøm, $\Phi = 818\text{ mW}$
Lysstrøm, $\Phi_v = 278\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 5340 Kelvin

Kromatisk afvigelse (DC): $0,88 \cdot 10^{-3}$

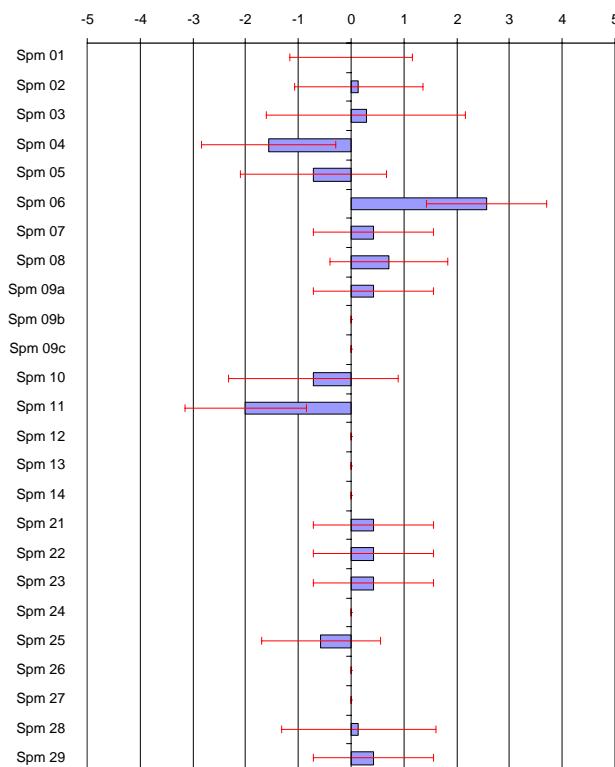
Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 67,5

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	62,2	
2	Dark greyish yellow	78,1	
3	Strong yellow green	84,7	
4	Moderate yellowish green	60,0	
5	Light bluish green	62,2	
6	Light blue	65,5	
7	Light violet	79,6	
8	Light reddish purple	47,5	
9	Strong red	-54,2	
10	Strong yellow	43,9	
11	Strong green	49,3	
12	Strong blue	34,2	
13	Light yellowish pink	66,0	
14	Moderate olive green	91,2	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

Lamina #15

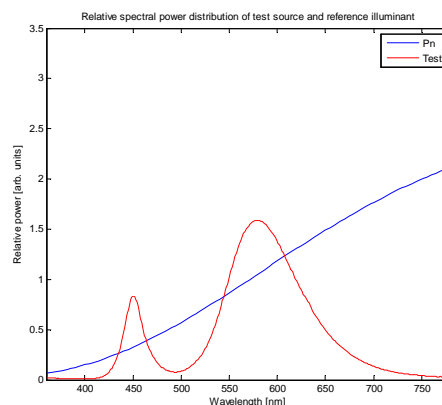


XLEDs GA3022 PAR 30 WW

Lyskilde: GA3022 PAR 30 WW B Angle 60
Forhandler: Ledtech
Sokkel: E27
Spænding: 230 V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = -$
 Effekt = 17 W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Belysningsstyrke, $E_v = 5.022\text{ Lux}$
 Belysningsstyrken er målt på en flade i 0,5 meters afstand fra lyskilden, som var monteret i en arkitektlampe.



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 2926 Kelvin

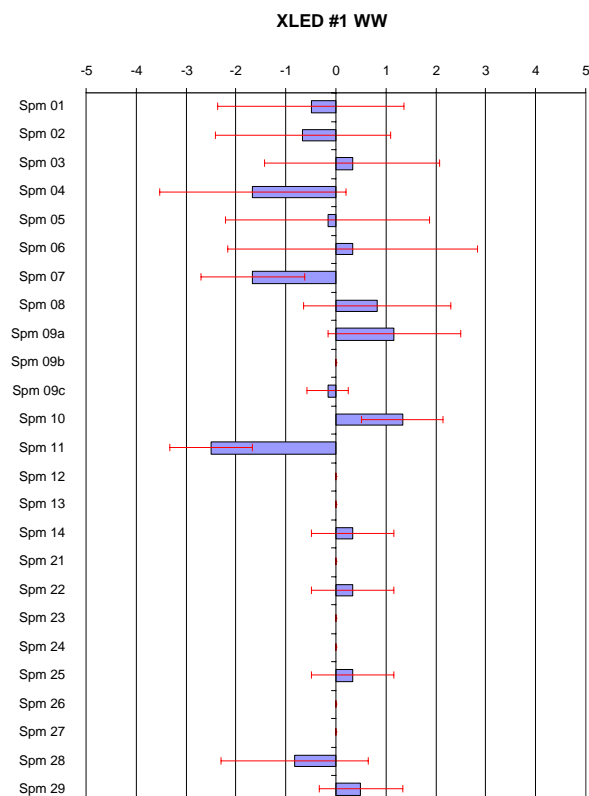
Kromatisk afvigelse (DC): $1,6 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 51,2

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	42.6	
2	Dark greyish yellow	69.6	
3	Strong yellow green	89.5	
4	Moderate yellowish green	35.0	
5	Light bluish green	39.4	
6	Light blue	51.1	
7	Light violet	66.8	
8	Light reddish purple	16.0	
9	Strong red	-97.5	
10	Strong yellow	30.1	
11	Strong green	13.4	
12	Strong blue	12.9	
13	Light yellowish pink	46.6	
14	Moderate olive green	94.0	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

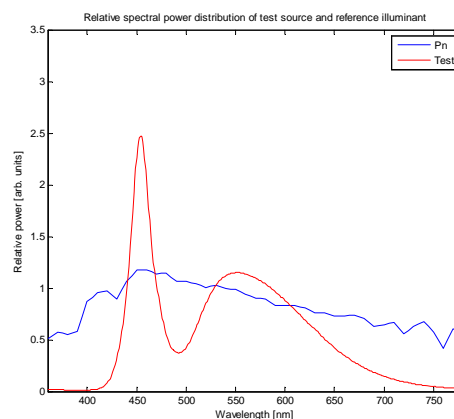


XLEDs GA3022 PAR 30 CW

Lyskilde: GA3022 PAR 30 CW B Angle 60
Forhandler: Ledtech
Sokkel: E27
Spænding: 230 V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = -$
 Effekt = 17 W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Belysningsstyrke, $E_v = 4.216\text{ Lux}$
 Belysningsstyrken er målt på en flade i 0,5 meters afstand fra lyskilden, som var monteret i en arkitektlampe.



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 6968 Kelvin

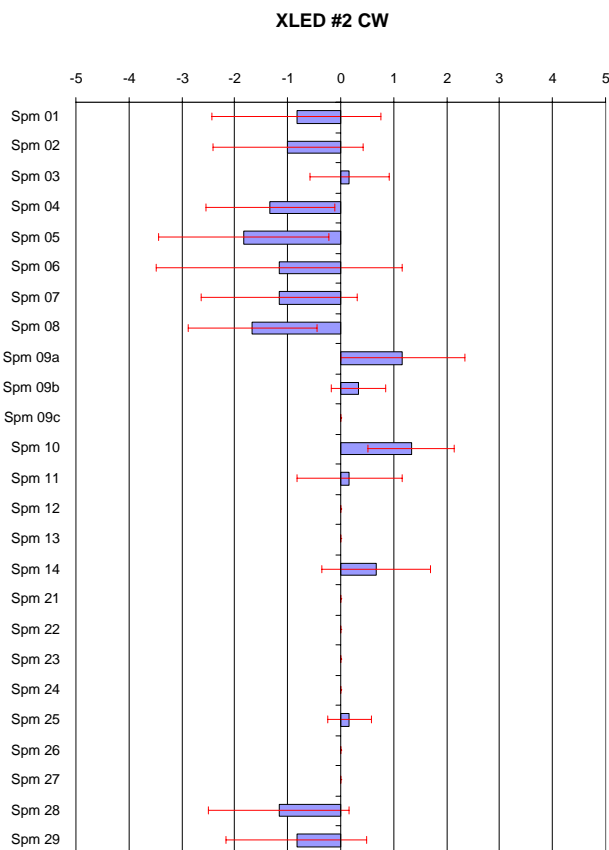
Kromatisk afvigelse (DC): $4,2 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 79,0

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R _{ai}	
1	Light greyish red	78.1	
2	Dark greyish yellow	84.3	
3	Strong yellow green	82.9	
4	Moderate yellowish green	77.1	
5	Light bluish green	76.6	
6	Light blue	74.0	
7	Light violet	87.8	
8	Light reddish purple	71.2	
9	Strong red	8.5	
10	Strong yellow	57.1	
11	Strong green	71.6	
12	Strong blue	44.8	
13	Light yellowish pink	80.0	
14	Moderate olive green	90.1	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

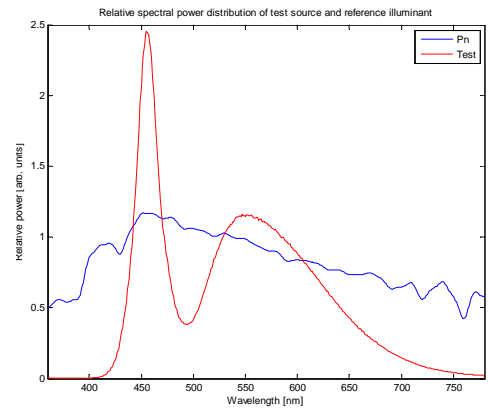


XLEDs MR16 CW AC/DC 12 V B Angle 55

Lyskilde: MR16 CW AC/DC 12 V B Angle 55
Forhandler: Ledtech
Sokkel: MR16
Spænding: 12 V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = 42\text{ °C}$
 Effekt = 10,6 – 10,7 W
 Lysudbytte = 21,7 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, $\Phi = 766\text{ mW}$
 Lysstrøm, $\Phi_v = 232\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 6889 Kelvin

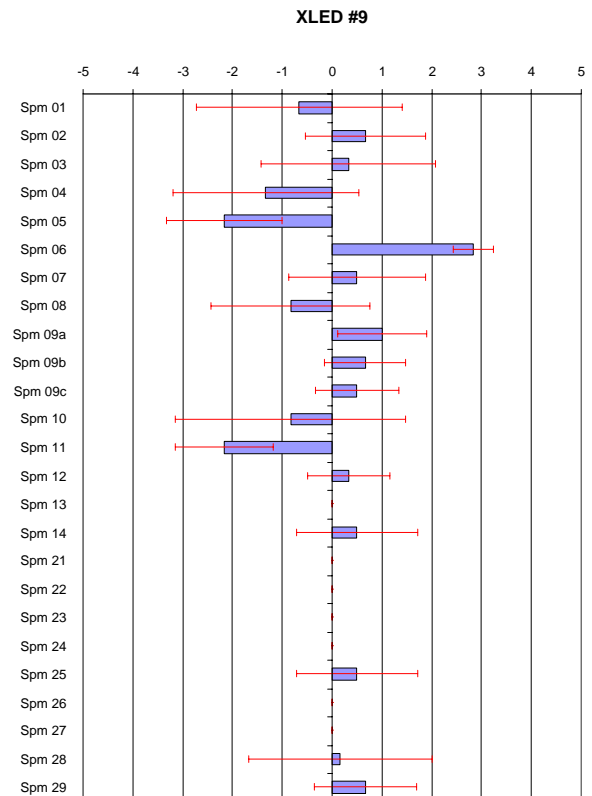
Kromatisk afvigelse (DC): $3,5 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 79,4

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R _{ai}	
1	Light greyish red	78,4	
2	Dark greyish yellow	85,7	
3	Strong yellow green	84,5	
4	Moderate yellowish green	76,0	
5	Light bluish green	76,4	
6	Light blue	75,3	
7	Light violet	88,0	
8	Light reddish purple	70,6	
9	Strong red	8,9	
10	Strong yellow	59,8	
11	Strong green	70,2	
12	Strong blue	44,5	
13	Light yellowish pink	80,9	
14	Moderate olive green	91,0	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

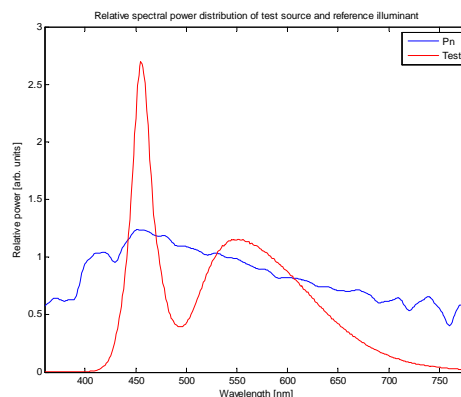


XLEDs MR16 AC/DC 12 V

Lyskilde: XLEDs MR16 AC/DC 12 V
Forhandler: Ledtech
Sokkel: MR16
Spænding: 12V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = 41-45\text{ °C}$
Effekt = 11,0 W
Lysudbytte = 19,2 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
Strålingsstrøm, $\Phi = 711\text{ mW}$
Lysstrøm, $\Phi_v = 211\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 7393 Kelvin

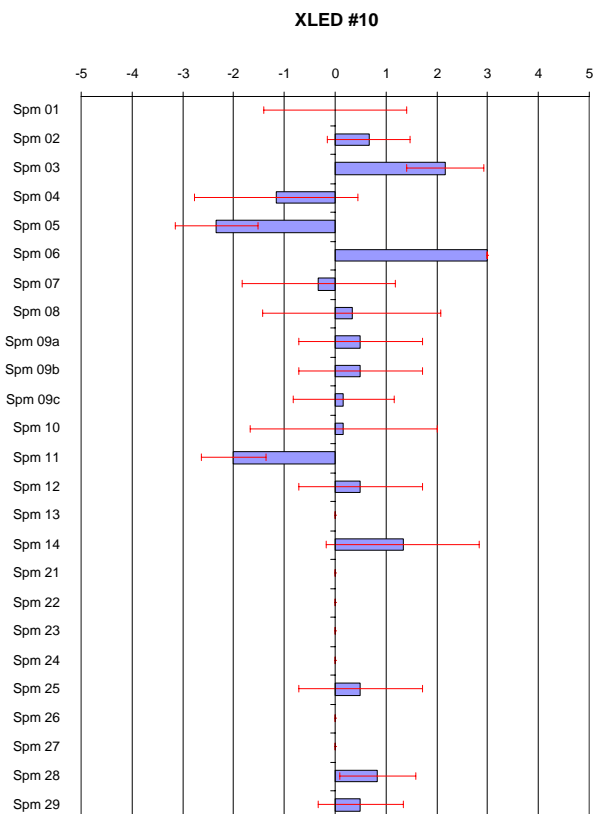
Kromatisk afvigelse (DC): $4,5 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 80,1

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	79,6	
2	Dark greyish yellow	86,4	
3	Strong yellow green	84,1	
4	Moderate yellowish green	76,7	
5	Light bluish green	77,2	
6	Light blue	75,5	
7	Light violet	88,4	
8	Light reddish purple	72,5	
9	Strong red	13,7	
10	Strong yellow	60,9	
11	Strong green	71,2	
12	Strong blue	44,3	
13	Light yellowish pink	82,2	
14	Moderate olive green	90,8	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

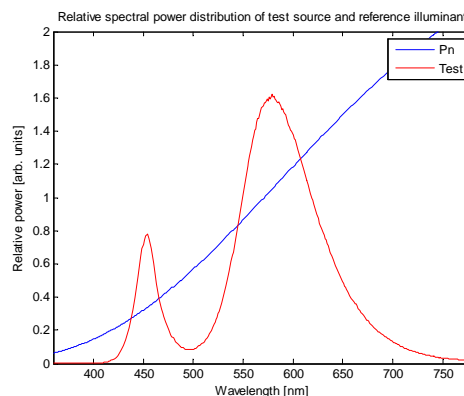


XLEDs MR16 WW AC/DC 12 V B Angle 50

Lyskilde: MR16 WW AC/DC 12 V B Angle 50
Forhandler: Ledtech
Sokkel: MR16
Spænding: 12 V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $T_{bulb} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $P = 10,7 - 11,0\text{ W}$
 $Lysudbytte = 20\text{ lm/W}$



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, $\Phi = 567\text{ mW}$
 Lysstrøm, $\Phi_v = 216\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 2911 Kelvin

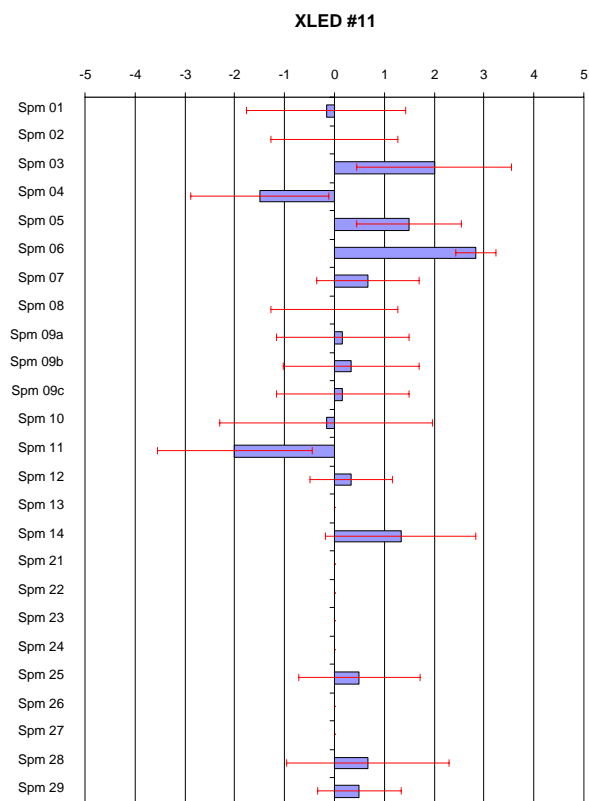
Kromatisk afvigelse (DC): $0,23 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 50,7

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	41,8	
2	Dark greyish yellow	69,6	
3	Strong yellow green	89,9	
4	Moderate yellowish green	33,6	
5	Light bluish green	38,5	
6	Light blue	51,2	
7	Light violet	66,7	
8	Light reddish purple	14,6	
9	Strong red	-100,3	
10	Strong yellow	30,4	
11	Strong green	11,3	
12	Strong blue	11,7	
13	Light yellowish pink	46,0	
14	Moderate olive green	94,2	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

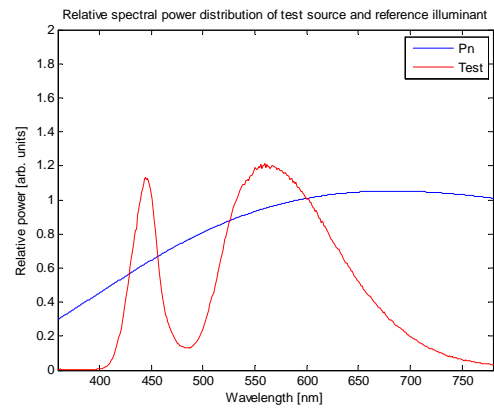


SP70 04-600 PL-5W

Lyskilde: SP70 04-600 PL-5W
Forhandler: DanLED
Sokkel: E27
Spænding: 230V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = 56\text{ °C}$
Effekt = 4,5 W
Lysudbytte = 45,3 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
Strålingsstrøm, $\Phi = 596\text{ mW}$
Lysstrøm, $\Phi_v = 203\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 4245 Kelvin

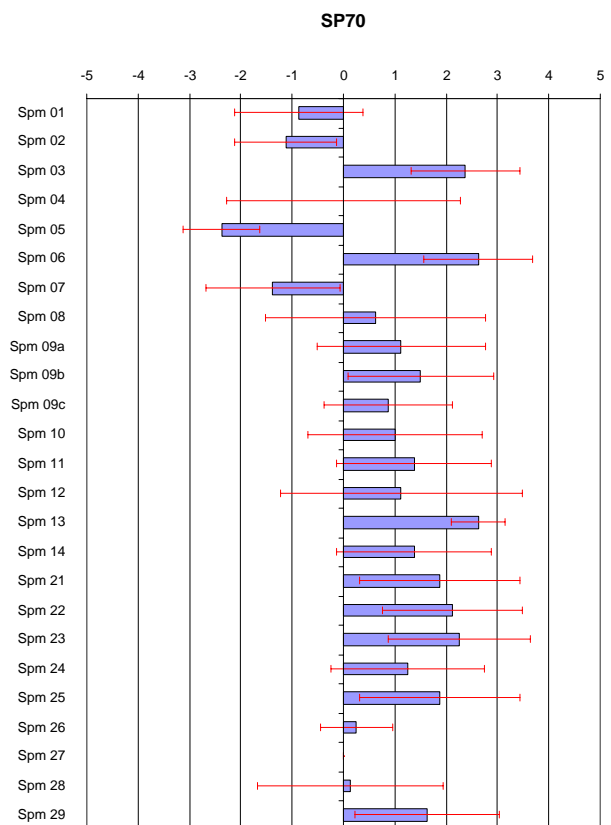
Kromatisk afvigelse (DC): $7,2 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 66,6

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	63,3	
2	Dark greyish yellow	71,3	
3	Strong yellow green	76,5	
4	Moderate yellowish green	67,0	
5	Light bluish green	62,4	
6	Light blue	58,8	
7	Light violet	79,5	
8	Light reddish purple	54,2	
9	Strong red	-33,3	
10	Strong yellow	31,1	
11	Strong green	59,6	
12	Strong blue	29,9	
13	Light yellowish pink	63,5	
14	Moderate olive green	86,3	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

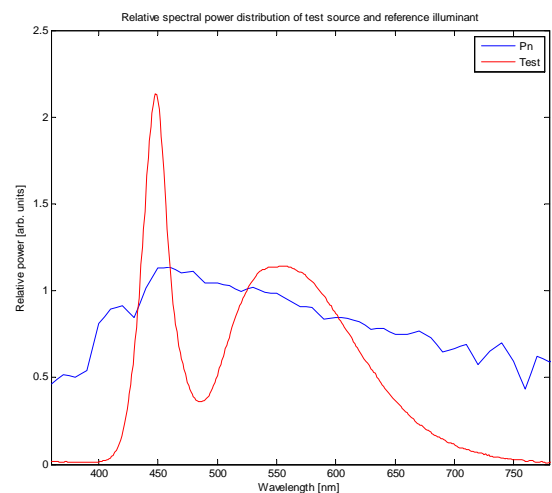


Waldmann Diva LED lamp

Armatør: Waldmann Diva LED lamp
Forhandler: Højager Belysning
Lyskilde: 4 stk. LED á 3W
Samlet effektbehov: 13 W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Irradiance, $E = 0,33 \text{ mW/cm}^2$
 Belysningsstyrke, $E_v = 1034 \text{ lux}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 6650 Kelvin

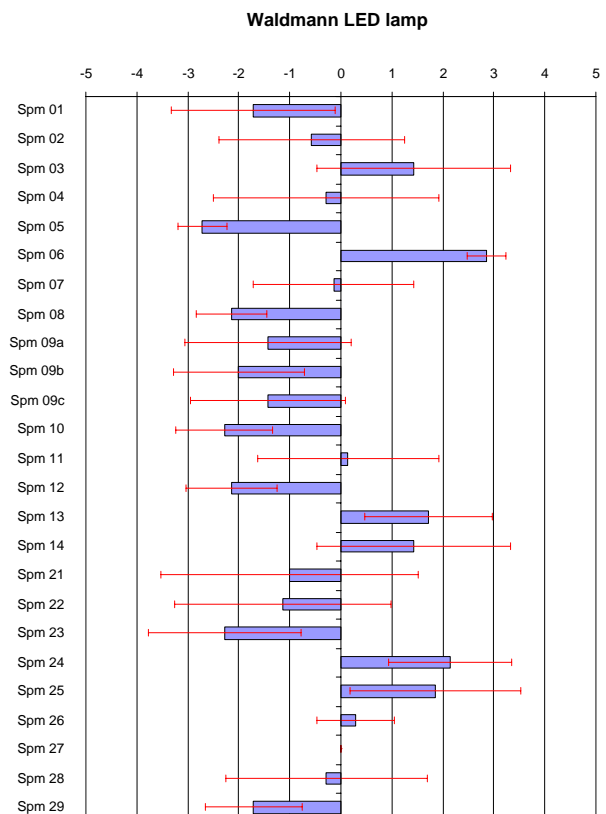
Kromatisk afvigelse (DC): $0,2 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 74,2

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	72,0	
2	Dark greyish yellow	77,5	
3	Strong yellow green	79,6	
4	Moderate yellowish green	75,3	
5	Light bluish green	73,3	
6	Light blue	69,2	
7	Light violet	82,7	
8	Light reddish purple	63,7	
9	Strong red	-19,7	
10	Strong yellow	44,9	
11	Strong green	72,4	
12	Strong blue	46,6	
13	Light yellowish pink	72,6	
14	Moderate olive green	88,5	

Subjektiv vurdering af armaturet:

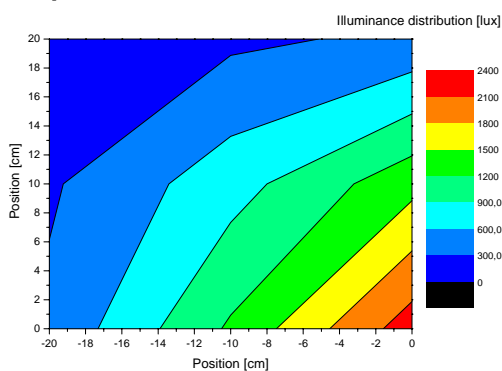


Leaf Light

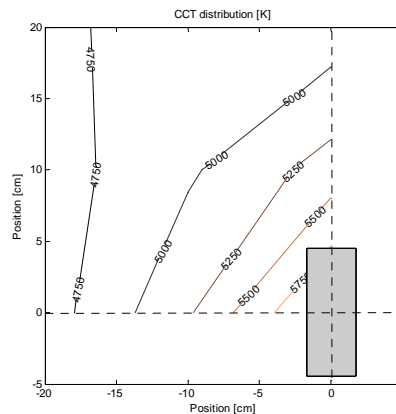
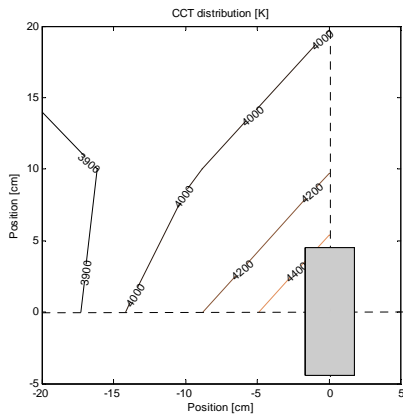
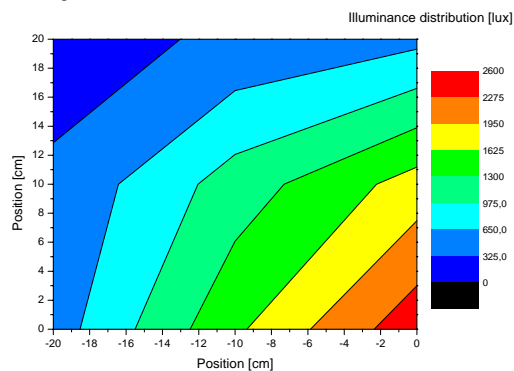
Armatør: Leaf Light
Forhandler: Interstudio
Lyskilde: 20 stk. LED (10 stk. CW og 10 stk. WW)
Samlet effektbehov: 15 W



Full power WW:



Full power CW:

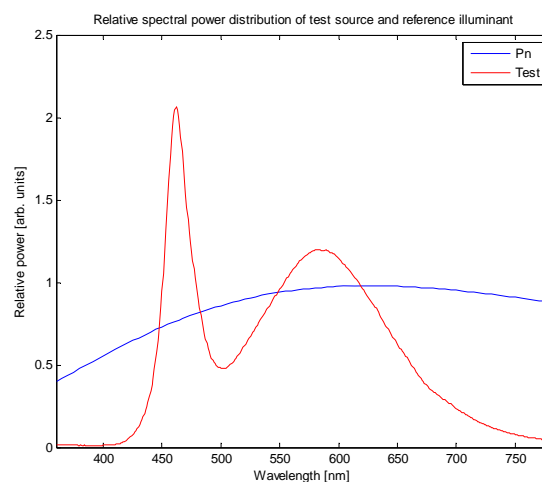


Isokurver herover viser dels (øverst) målt belysningsstyrkefordeling [lux] i et kvadrant af arbejdsfladen belyst af Leaf Light arbejdslampe justeret til hhv. Warm White og Cool White, dels (nederst) kurver for målte værdier af korreleret farvetemperatur (CCT). Det grå rektangel angiver position af lampehoved, som er placeret 50 cm over bordfladen. Data for værdier målt i position (0,0) findes i skemaet herunder.

Justering	Belysningsstyrke [lux]	R _a	CCT [K]
Full power WW	2263	82,7	4635
Full power CW	2294	84,4	6096
Medium power WW	1693	84,6	2883
Medium power CW	1413	83,7	5805



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Irradiance, $E = 0,78 \text{ mW/cm}^2$
 Belysningsstyrke, $E_v = 2263 \text{ lux}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 4635 Kelvin

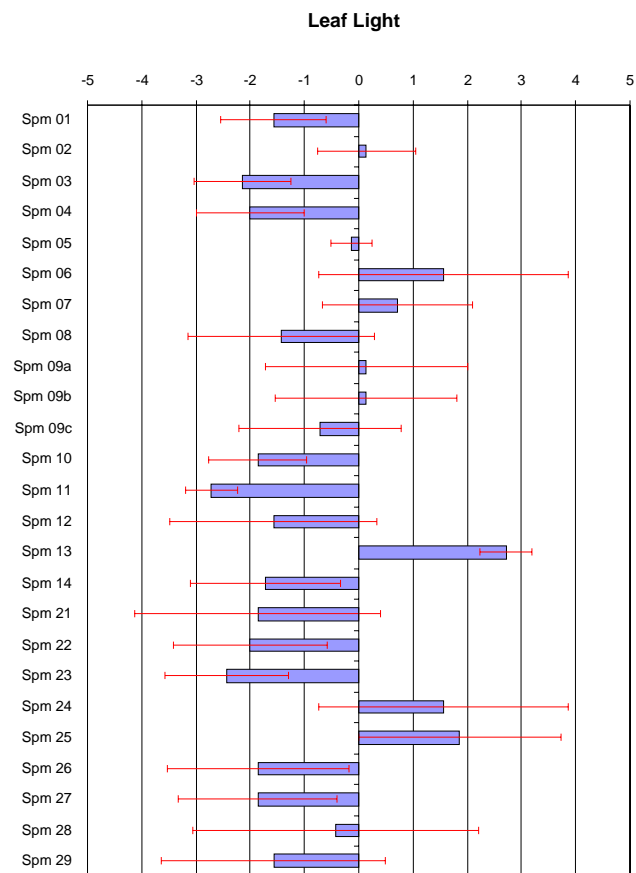
Kromatisk afvigelse (DC): $10,3 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 82,7

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	86,3	
2	Dark greyish yellow	96,9	
3	Strong yellow green	88,6	
4	Moderate yellowish green	71,7	
5	Light bluish green	82,9	
6	Light blue	88,8	
7	Light violet	78,7	
8	Light reddish purple	67,4	
9	Strong red	31,8	
10	Strong yellow	94,4	
11	Strong green	66,9	
12	Strong blue	61,7	
13	Light yellowish pink	91,8	
14	Moderate olive green	95,4	

Subjektiv vurdering af armaturet:

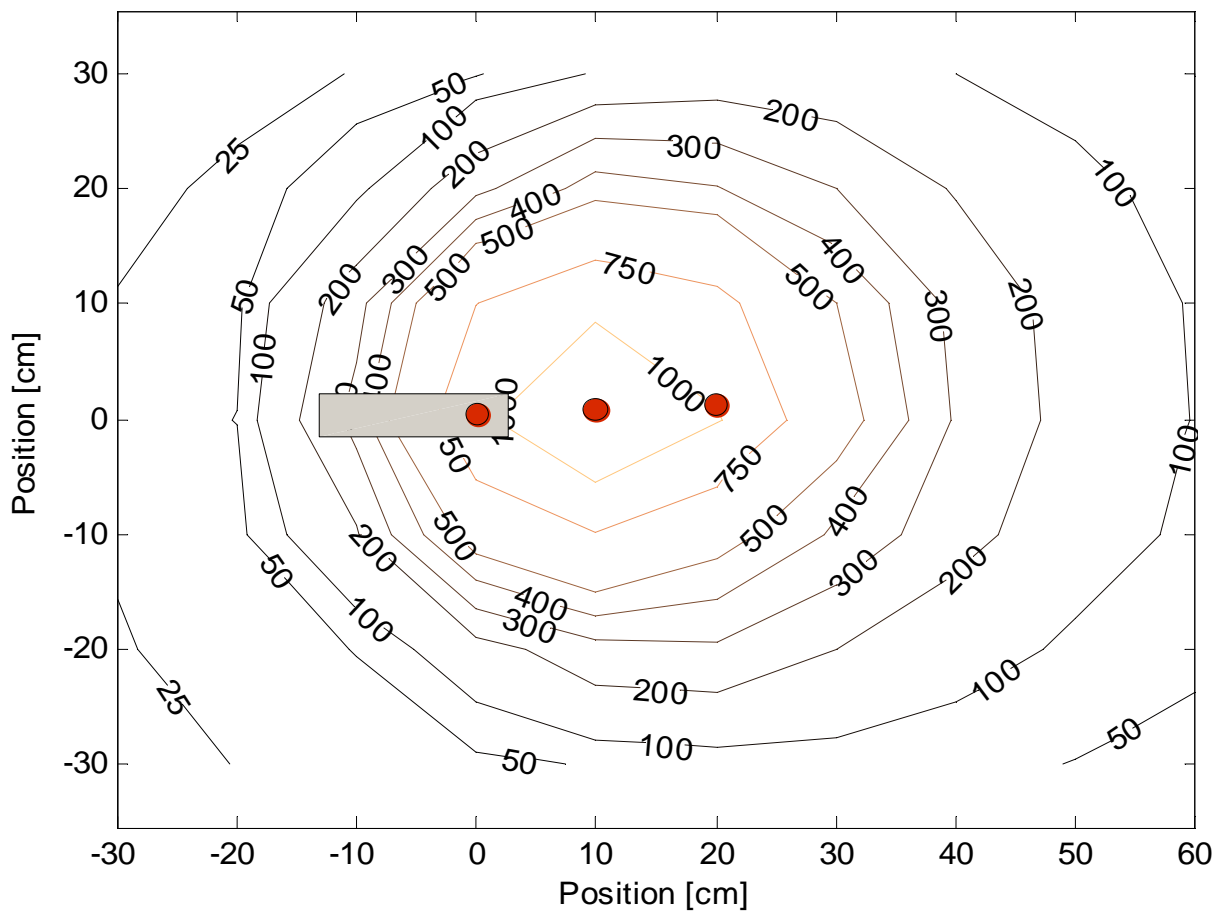


LUXO Air

Armatur: LUXO Air
Forhandler: Luxo
Samlet effektbehov: 13 W



Isoluxkurve:

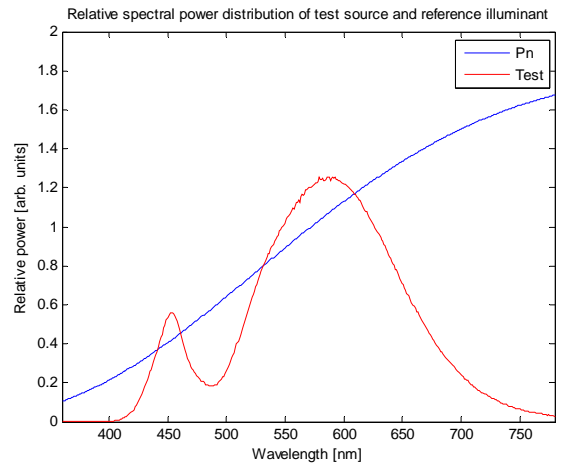


Isoluxkurver herover viser den målte belysningsstyrkefordeling [lux] på arbejdsflade belyst af LUXO Air LED arbejdslampe. Det grå rektangel angiver position af lampehoved, som er placeret 50 cm over bordfladen. Røde punkter angiver spektroradiometriske målepunkter, data for disse findes i skemaet herunder.

Position [cm]	(x,y)	Belysningsstyrke [lux]	Korreleret farvetemperatur [K]
0	(0,430; 0,420)	968	3254
10	(0,423; 0,415)	1423	3339
20	(0,422; 0,415)	1170	3367



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, $\Phi = 377 \text{ mW}$
 Lysstrøm, $\Phi_v = 130 \text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 3249 Kelvin

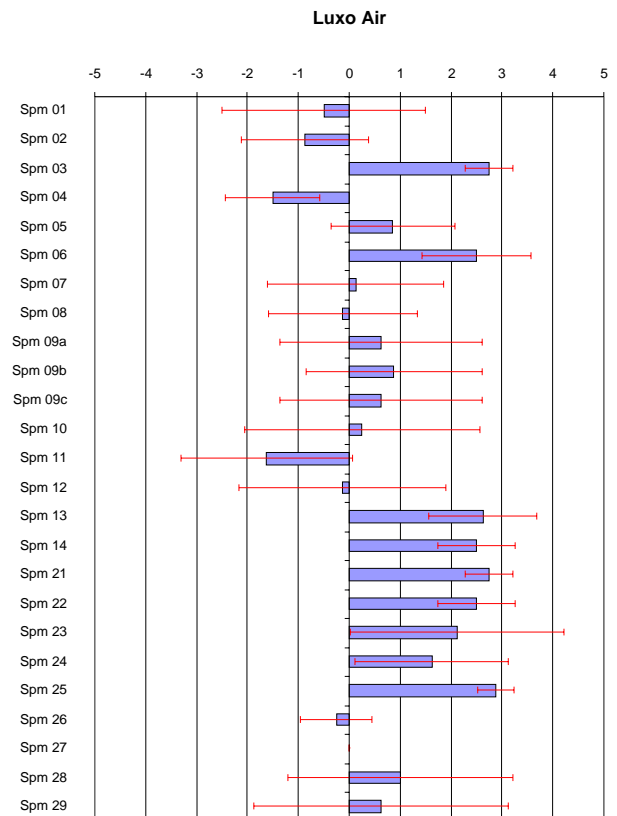
Kromatisk afvigelse (DC): $8,2 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 72,4

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	68,3	
2	Dark greyish yellow	79,3	
3	Strong yellow green	88,7	
4	Moderate yellowish green	69,4	
5	Light bluish green	66,1	
6	Light blue	69,4	
7	Light violet	84,7	
8	Light reddish purple	53,5	
9	Strong red	-18,2	
10	Strong yellow	50,6	
11	Strong green	61,3	
12	Strong blue	38,7	
13	Light yellowish pink	69,7	
14	Moderate olive green	93,1	

Subjektiv vurdering af armaturet:

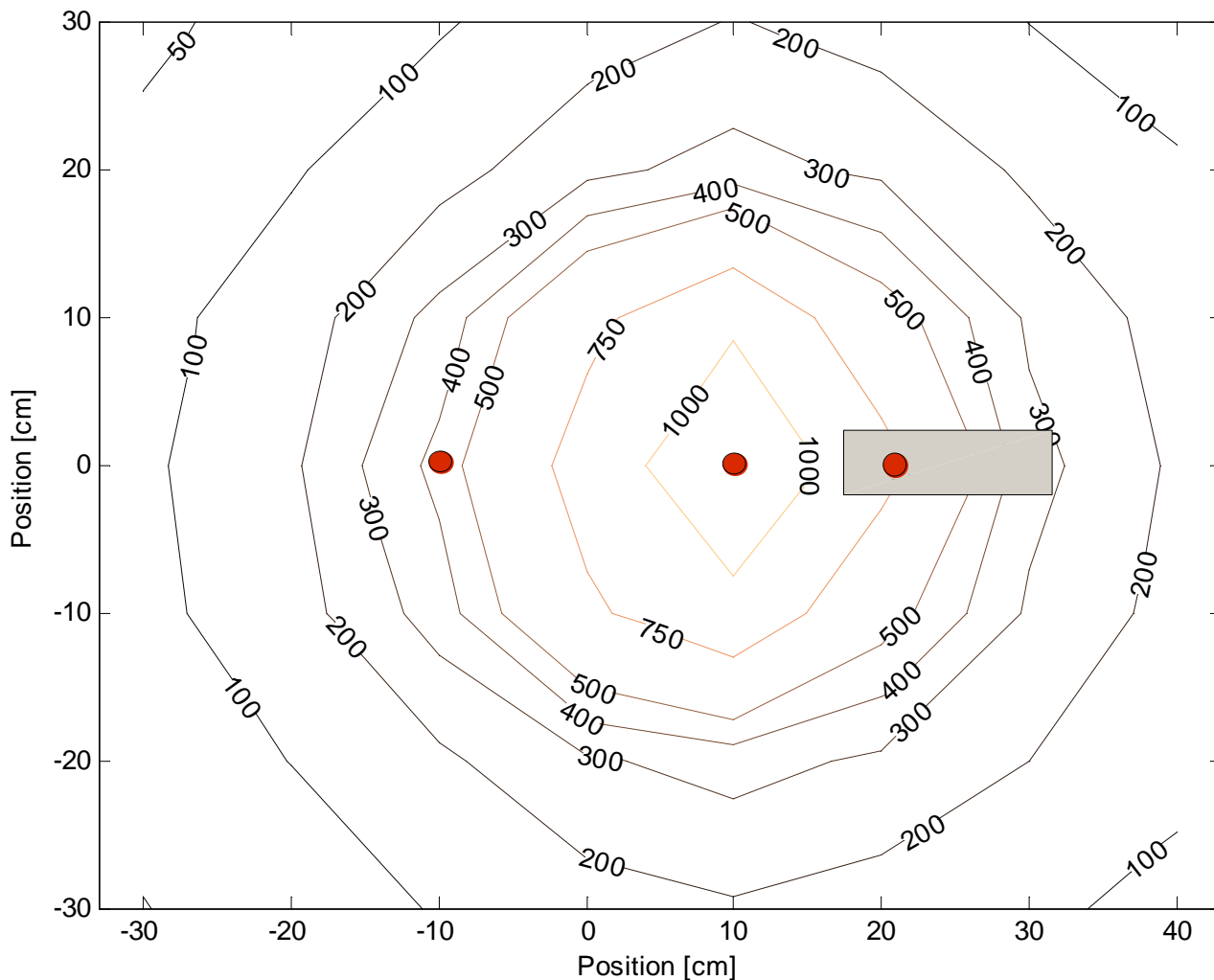


Ninety

Armatur: Ninety
Forhandler: Luxo
Lyskilde: 4 x 1,5 W LED
Samlet effektbehov: 7,8 W

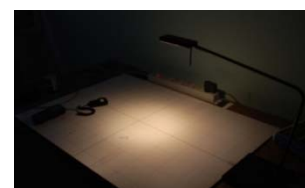


Isoluxkurve:

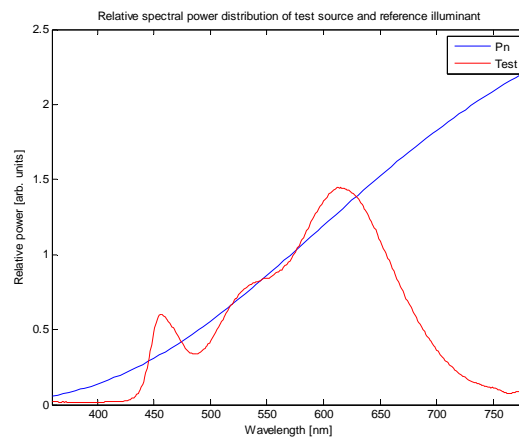


Isoluxkurver herover viser den målte belysningsstyrkefordeling [lux] på arbejdsflade belyst af LUXO Ninety LED arbejdslampe. Det grå rektangel angiver position af lampehoved, som er placeret 50 cm over bordfladen. Røde punkter angiver spektroradiometriske målepunkter, data for disse findes i skemaet herunder.

Postion [cm]	Belysningsstyrke [lux]	Korreleret farvetemperatur [K]
10	1363	2864
-10	486	2910
20	1013	2860
20 (dæmpet)	398	2883



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, Φ = ikke målt
 Lysstrøm, Φ_v = ikke målt



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 2864 Kelvin

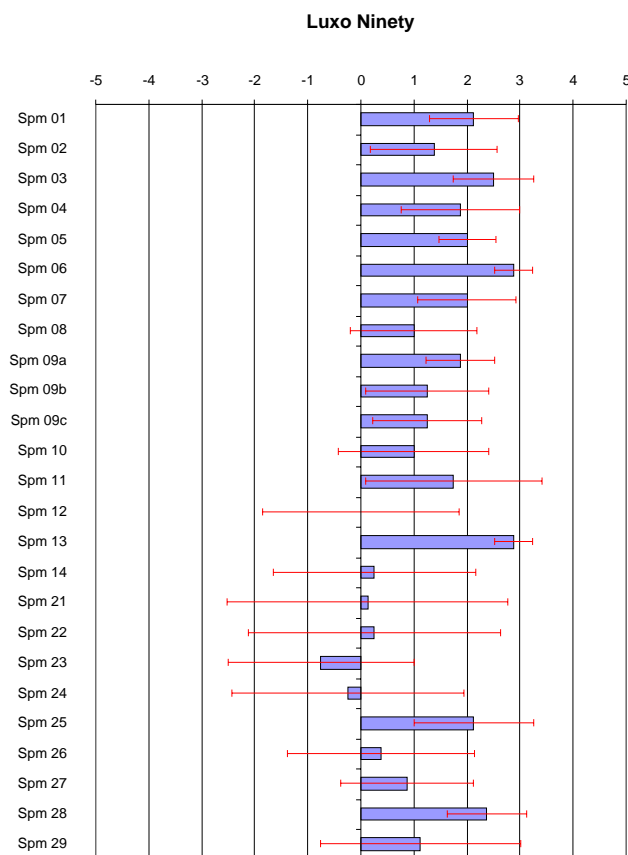
Kromatisk afvigelse (DC): $0,43 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (Ra): 92,0

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R _{ai}	
1	Light greyish red	92,8	
2	Dark greyish yellow	97,5	
3	Strong yellow green	98,7	
4	Moderate yellowish green	91,6	
5	Light bluish green	92,2	
6	Light blue	96,8	
7	Light violet	89,2	
8	Light reddish purple	76,9	
9	Strong red	49,1	
10	Strong yellow	92,3	
11	Strong green	93,1	
12	Strong blue	79,7	
13	Light yellowish pink	94,6	
14	Moderate olive green	99,4	

Subjektiv vurdering af armaturet:

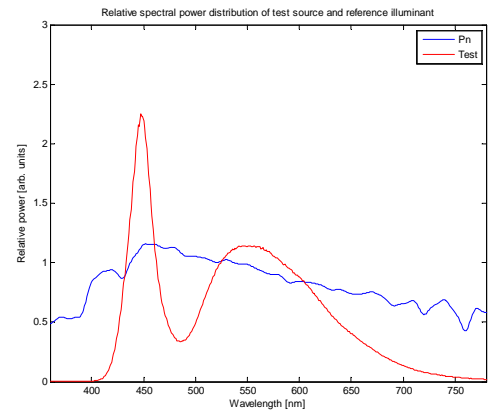


Philips BBG450 Spot LED (round)

Lyskilde: Philips BBG450 Spot LED (round)
Forhandler: Philips
Sokkel: -
Spænding: 230V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = 61\text{ °C}$
Effekt = 10,6 W
Lysudbytte = 14,9 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
Strålingsstrøm, $\Phi = 516\text{ mW}$
Lysstrøm, $\Phi_v = 158\text{ lumen}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 6800 Kelvin

Kromatisk afvigelse (DC): $2,5 \cdot 10^{-3}$

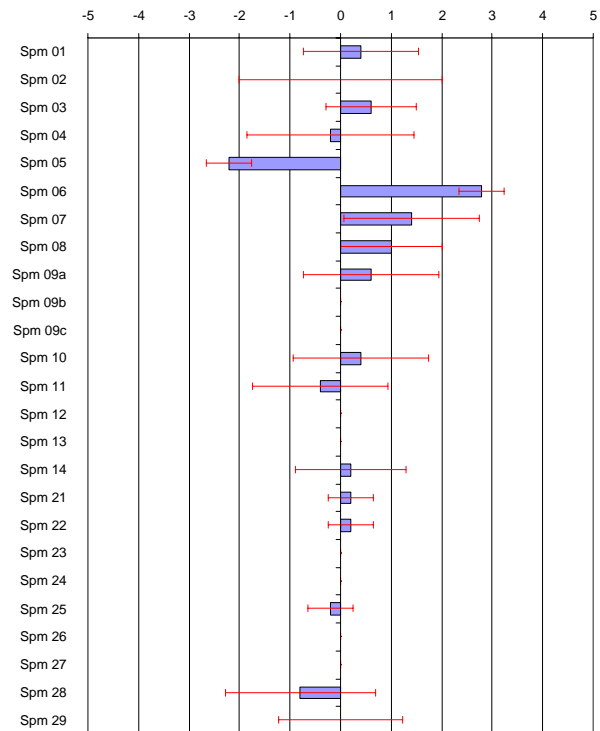
Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 75,6

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	75,3	
2	Dark greyish yellow	78,0	
3	Strong yellow green	77,3	
4	Moderate yellowish green	77,7	
5	Light bluish green	76,0	
6	Light blue	69,6	
7	Light violet	82,9	
8	Light reddish purple	68,4	
9	Strong red	-4,4	
10	Strong yellow	45,3	
11	Strong green	75,5	
12	Strong blue	47,8	
13	Light yellowish pink	75,0	
14	Moderate olive green	87,1	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

Philips SpotLED BBG450

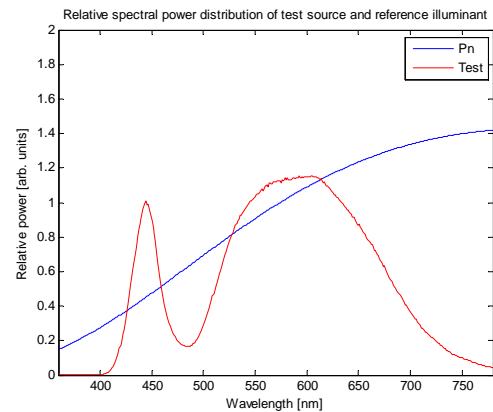


Philips BBG 451 SpotLED (square)

Lyskilde: Philips BBG 451 SpotLED (square)
Forhandler: Philips
Sokkel: -
Spænding: 220-240V
Driftsbetingelser: $T_{amb} = 25\text{ °C}$
 $T_{bulb} = 58\text{ °C}$
 Effekt = 10,5 W
 Lysudbytte = 13,5 lm/W



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, $\Phi = 468\text{ mW}$
 Lysstrøm, $\Phi_v = 142\text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 3521 Kelvin

Kromatisk afvigelse (DC): $3,1 \cdot 10^{-3}$

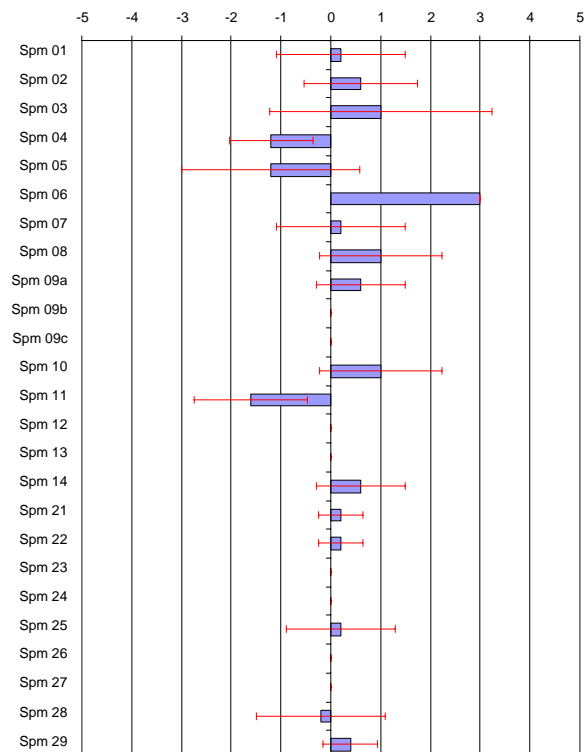
Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 78,8

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	79,3	
2	Dark greyish yellow	82,7	
3	Strong yellow green	82,4	
4	Moderate yellowish green	79,0	
5	Light bluish green	77,0	
6	Light blue	73,6	
7	Light violet	85,2	
8	Light reddish purple	71,6	
9	Strong red	26,8	
10	Strong yellow	56,5	
11	Strong green	74,7	
12	Strong blue	52,2	
13	Light yellowish pink	78,9	
14	Moderate olive green	89,3	

Subjektiv vurdering af lyskilden:

Philips SpotLED BBG451



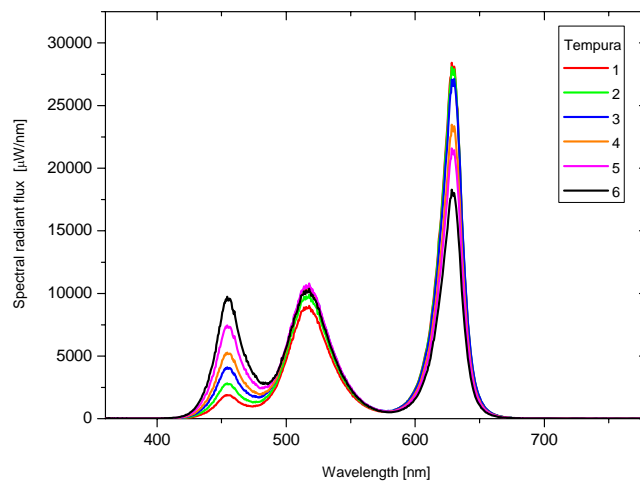
Tempura

Armatur: Tempura
Forhandler: Light Makers / Zumtobel
Samlet effektbehov: 44-60 W

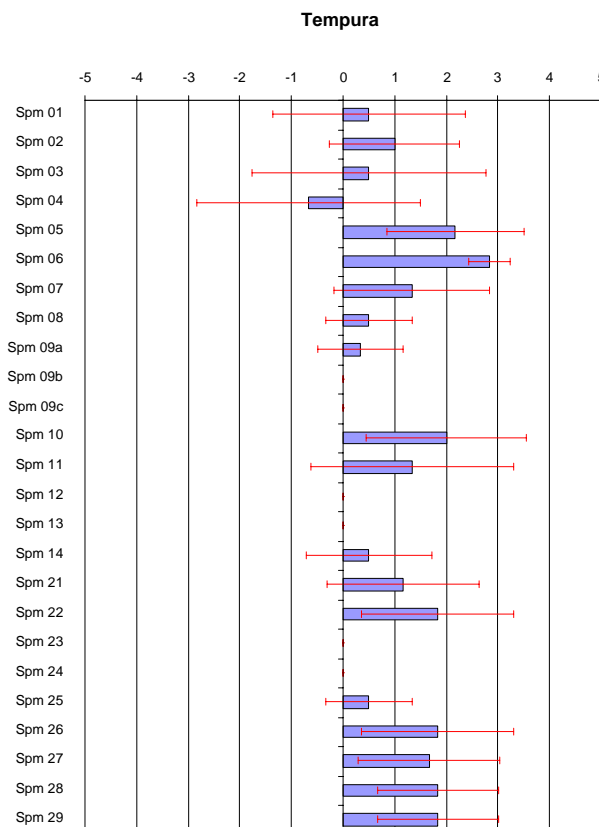


Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm

Tempura kan indstilles til seks (1-6) forskellige korrelerede farvetemperaturer.



Subjektiv vurdering af armatur:



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 2596 Kelvin

Kromatisk afvigelse (DC): $0,73 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 23,5

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	1,3	
2	Dark greyish yellow	51,4	
3	Strong yellow green	84,6	
4	Moderate yellowish green	-18,7	
5	Light bluish green	-4,6	
6	Light blue	9,5	
7	Light violet	63,8	
8	Light reddish purple	0,4	
9	Strong red	-79,2	
10	Strong yellow	-13,7	
11	Strong green	-60,6	
12	Strong blue	-22,5	
13	Light yellowish pink	7,6	
14	Moderate olive green	87,6	

Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 6296 Kelvin

Kromatisk afvigelse (DC): $5,3 \cdot 10^{-3}$

Farvegengivelsesindeks (R_a): 34,4

Specifikke farvegengivelser:

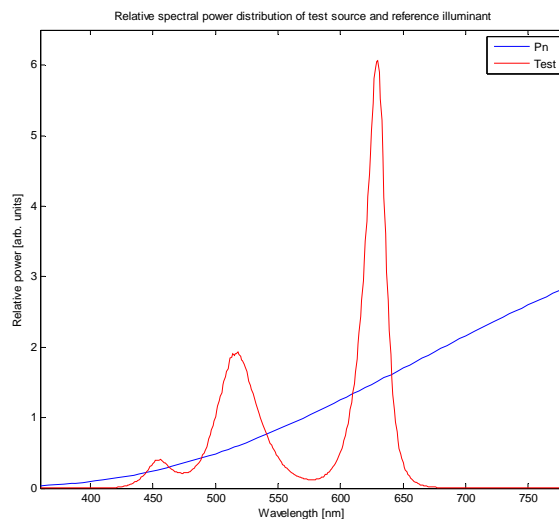
i	Test object color	R_{ai}	
1	Light greyish red	12,7	
2	Dark greyish yellow	62,0	
3	Strong yellow green	74,5	
4	Moderate yellowish green	10,9	
5	Light bluish green	26,4	
6	Light blue	46,9	
7	Light violet	56,6	
8	Light reddish purple	-14,5	
9	Strong red	-175	
10	Strong yellow	9,5	
11	Strong green	-12,1	
12	Strong blue	51,9	
13	Light yellowish pink	23,7	
14	Moderate olive green	80,4	

Målt spektralfordeling WW:

Måleområde: 312-860nm

Strålingsstrøm, $\Phi = 1086 \text{ mW}$

Lysstrøm, $\Phi_v = 316 \text{ lm}$

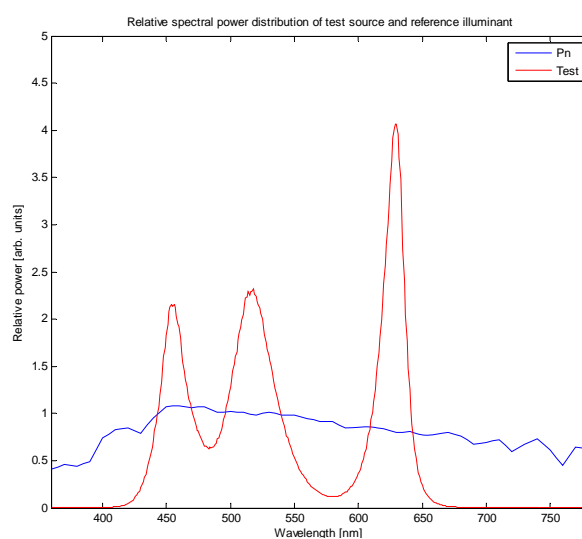


Målt spektralfordeling CW:

Måleområde: 312-860nm

Strålingsstrøm, $\Phi = 1143 \text{ mW}$

Lysstrøm, $\Phi_v = 304 \text{ lm}$

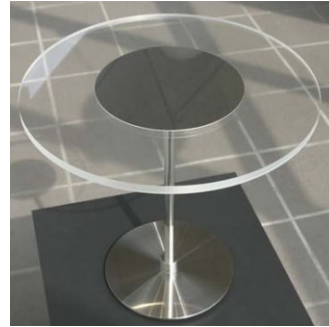


LED Lamp Jane

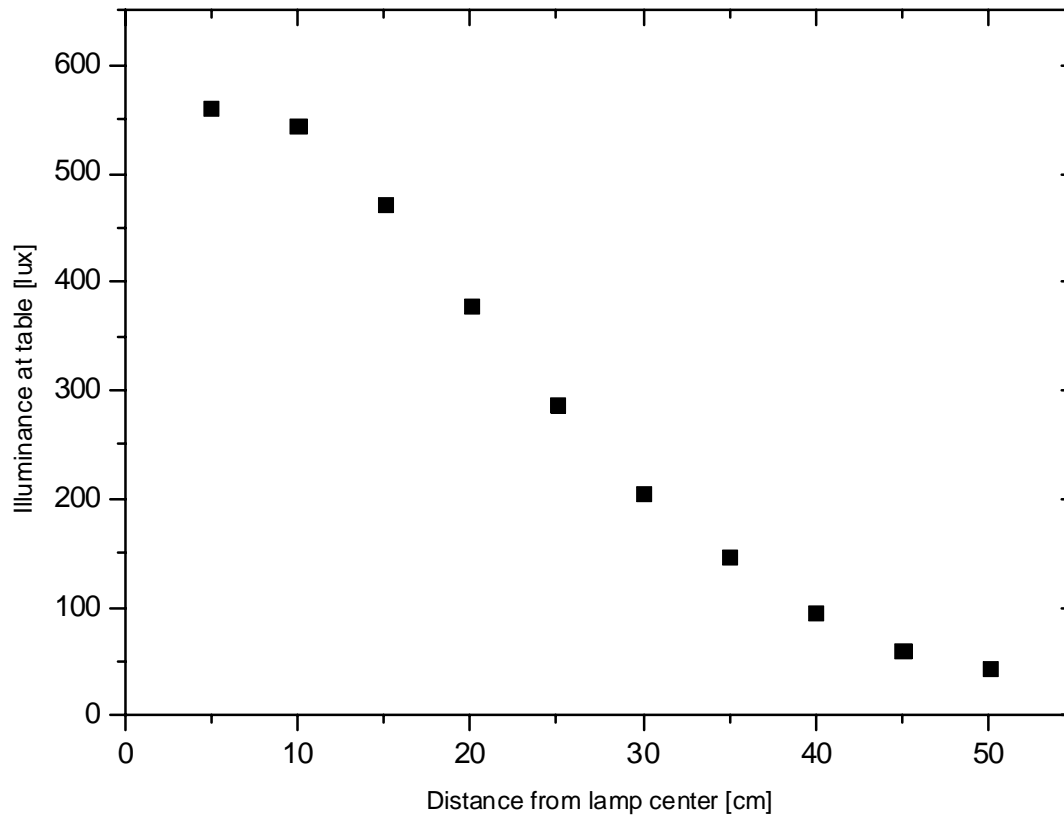
Armatur: LED Lamp Jane

Forhandler: TL Lyngsaa

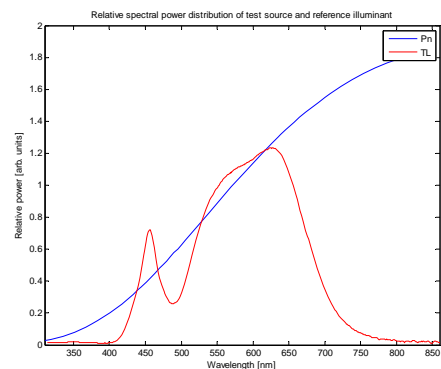
Samlet effektbehov: 11,5 W



Belysningsstyrkefordeling på bordflade [lux]:



Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, Φ = ikke målt
 Lysstrøm, Φ_v = ikke målt



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 3180 Kelvin

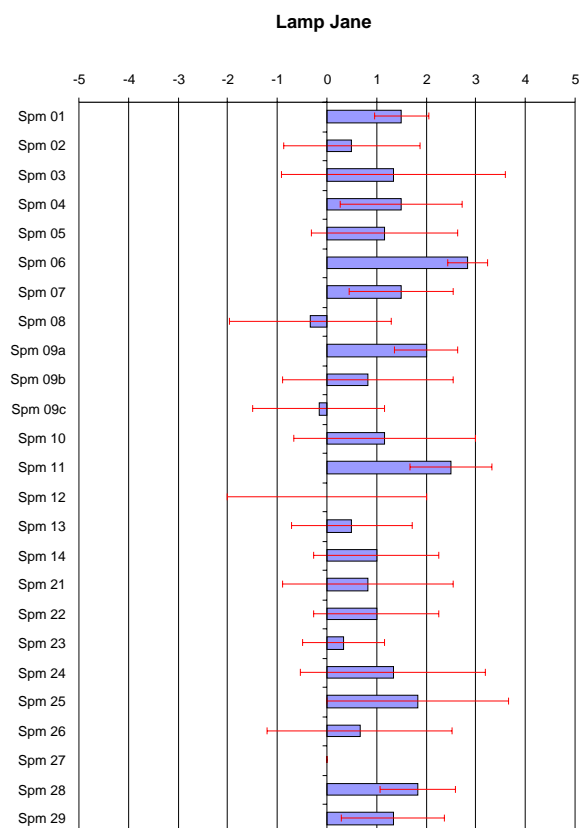
Kromatisk afvigelse (DC): $0,49 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (R_a): 85,8

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R _{ai}	
1	Light greyish red	85,4	
2	Dark greyish yellow	89,6	
3	Strong yellow green	90,2	
4	Moderate yellowish green	84,1	
5	Light bluish green	83,1	
6	Light blue	83,5	
7	Light violet	91,7	
8	Light reddish purple	79,0	
9	Strong red	48,5	
10	Strong yellow	72,6	
11	Strong green	79,5	
12	Strong blue	63,5	
13	Light yellowish pink	85,9	
14	Moderate olive green	93,6	

Subjektiv vurdering af armaturet:

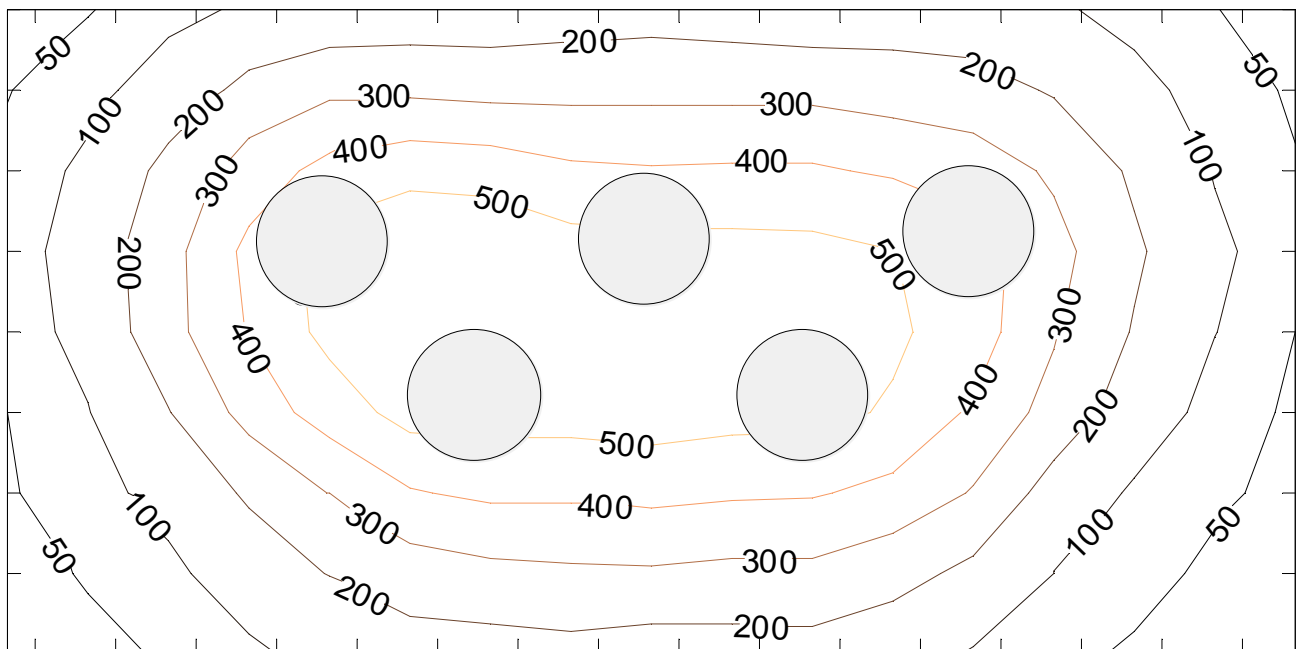


LED Åkande

Armatur:	LED Åkande
Forhandler:	Ikke i produktion ^{*)}
Lyskilde:	4 stk. Cree XLamp LED WW á 1,2 W
Samlet effektbehov:	29 Watt for 5 stk. Åkande
Lysudbytte:	35 lm/W



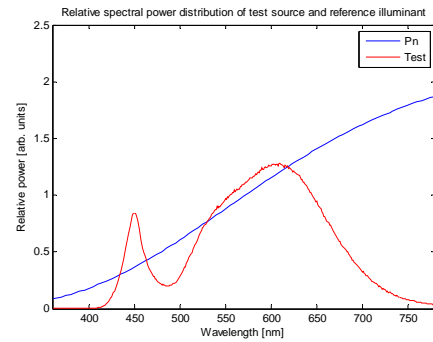
Belysningsstyrkefordeling på bordflade [lux]:



Isoluxkurver i [lux] på bord (120 cm x 240 cm) belyst af Åkandens 5 blade placeret 60 cm over bordfladen, de grå cirkler angiver position af bladene.

^{*)} Armaturet er udviklet af Jesper Olsen og Christian Bjørn i samarbejde med DTU Fotonik (Risø).

Målt spektralfordeling: Måleområde 312-860nm
 Strålingsstrøm, $\Phi = 646 \text{ mW}$
 Lysstrøm, $\Phi_v = 200 \text{ lm}$



Farveegenskaber:

Korreleret farvetemperatur (CCT): 3087 Kelvin

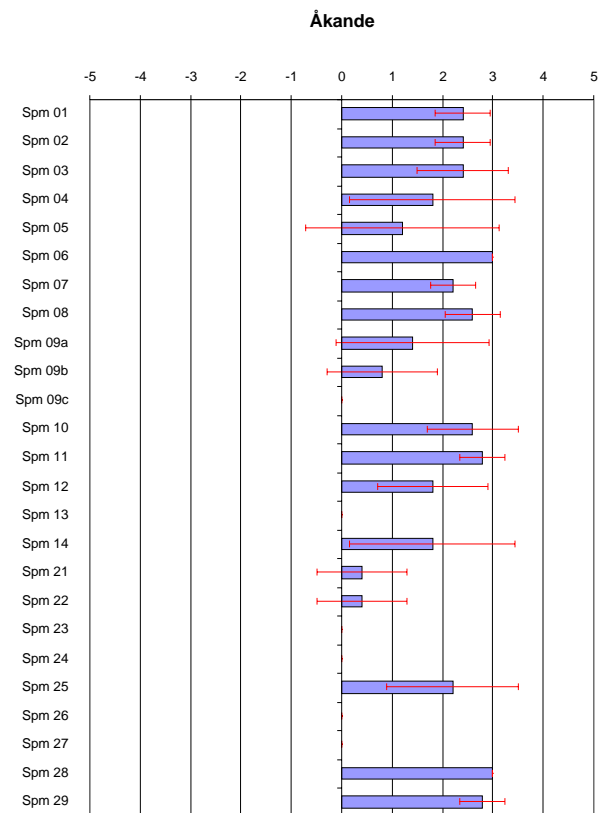
Kromatisk afvigelse (DC): $1,9 \cdot 10^{-3}$

Generelt farvegengivelsesindeks (Ra): 81,2

Specifikke farvegengivelser:

i	Test object color	R _{ai}	
1	Light greyish red	80,4	
2	Dark greyish yellow	87,0	
3	Strong yellow green	90,5	
4	Moderate yellowish green	79,2	
5	Light bluish green	78,3	
6	Light blue	80,5	
7	Light violet	86,4	
8	Light reddish purple	67,4	
9	Strong red	22,7	
10	Strong yellow	67,4	
11	Strong green	74,8	
12	Strong blue	58,6	
13	Light yellowish pink	81,5	
14	Moderate olive green	93,9	

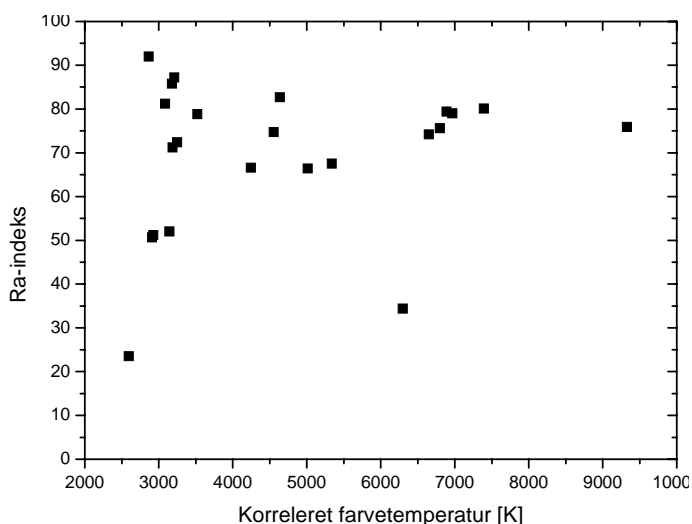
Subjektiv vurdering af armaturet:



8. Gennemgang af lystekniske målinger

I dette afsnit gennemgås de lystekniske målinger (se beskrivelse i kap. 5) af 22 LED-erstatningslyskilder og armaturer. Målinger af den korrelerede farvetemperatur og Ra-indeks giver et objektivt mål for farvetonen af lyset og for, hvorledes farver gengives, når de belyses med den pågældende lyskilde. Farvegengivelsen angives såvel med et generelt tal, der giver den gennemsnitlige farvegengivelse af en række farver og for en række specifikke farver.

I undersøgelsen indgår lyskilder og armaturer med korreleret farvetemperatur fra omkring 2600 K, svarende til varmt hvidt lys som fra en glødepære, op til 9400 K, svarende til meget koldt hvidt lys. Farvegengivelsen rangerer ligeledes over et stort interval fra et meget lille Ra-indeks på 24 til et meget højt Ra-indeks på 92. I figuren herunder er vist sammenhængen mellem korreleret farvetemperatur og Ra-indeks for de undersøgte LED-lyskilder. Grafen viser således spredningen på såvel korreleret farvetemperatur og Ra-indeks.



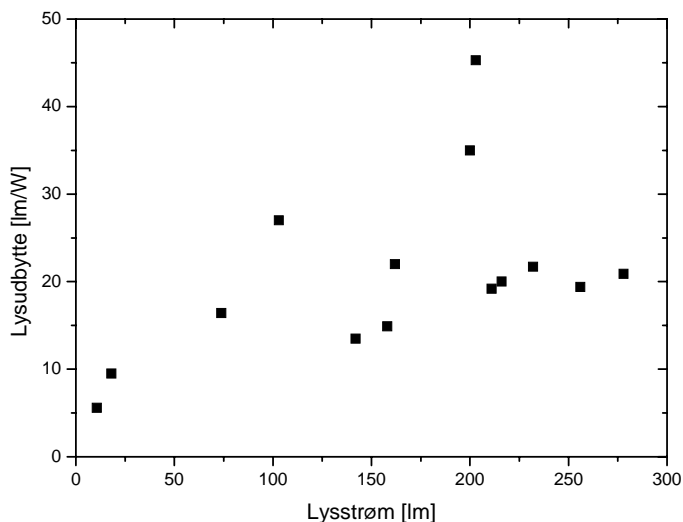
Figur 8.1 Opgørelse over sammenhæng imellem korreleret farvetemperatur og Ra-indeks for de undersøgte LED-lyskilder og -armaturer.

Det fremgår, at der er enkelte LED-lyskilder i undersøgelsen, der har et meget lavt Ra-indeks på omkring 50, som har en korreleret farvetemperatur på omkring 3000 K. En enkelt LED-lyskilde er baseret på RGB-blanding og har et ekstremt lavt Ra-indeks på 24-34 ved hhv. en lav og en høj korreleret farvetemperatur (de to nederste punkter i figur 8.1). Det skal bemærkes, at denne lyskilde er ikke udviklet til generel belysning, men til effektbelysning i butikker og lignende.

For de lyskilder, der har en korreleret farvetemperatur over 4000 K, ligger det generelle Ra-indeks i området fra 65-80. Sluttelig ses det, at der er enkelte varmhvide lyskilder, der har et højt Ra-indeks i området 85-92.

I det følgende afsnit om de subjektive vurderinger er for hver af de undersøgte lyskilder og armaturer givet en kort beskrivelse af disse målte parametre.

For alle erstatningslyskilder er målt den totale lysstrøm og den afsatte effekt ud fra, hvilke lysudbyttet kan beregnes. I figuren herunder er vist den målte totale lysstrøm og det tilhørende lysudbytte for de undersøgte lyskilder.



Figur 8.2 Sammenhæng imellem den totale lysstrøm og lysudbyttet for de undersøgte LED-lyskilder.

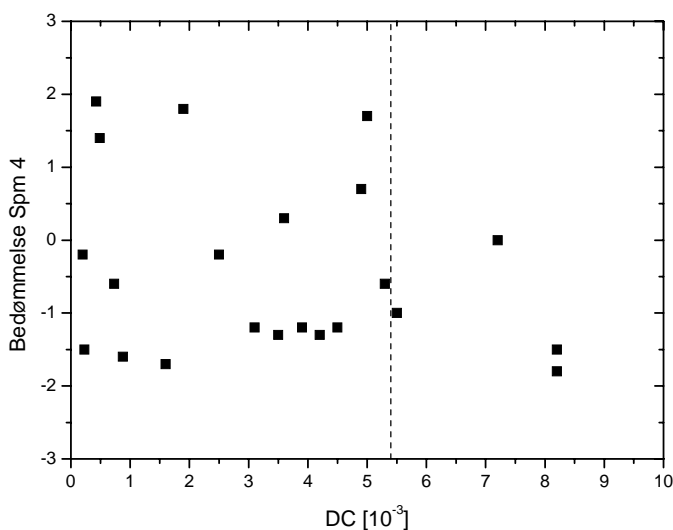
Det fremgår, at to LED-lyskilder har meget lav lysstrøm under 20 lm. Effektiviteten af disse lyskilder er under 10 lm/W. Hovedparten af LED-lyskilderne har et lysudbytte omkring 20 lm/W, med total lysstrøm mellem 75 lm og 275 lm. To LED-lyskilder adskiller sig ved at have et væsentlig højere lysudbytte på hhv. 35 lm/W og 45 lm/W.

Operationstemperaturen af en LED-lyskilde er vigtig og skal være så lav som muligt, da en øget temperatur giver dårligere lysudbytte og kortere levetid. I denne undersøgelse lå operationstemperaturen, som er målt på den del af lyskildens overflade, der bliver varmest (som oftest den forreste del af lyskilden), omkring 42 °C for aktivt kølede LED-lyskilder med intern blæser og omkring 56-60 °C for de passivt kølede LED-lyskilder med aluminiumskøleribber. En enkelt lyskilde var helt oppe på 70 °C.

I den subjektive vurdering af LED-lyskilderne spørges blandt andet om:

- Lyset virker ikke farvet eller farvet (spsm. 4)
- Lyset virker varmt eller koldt (spsm. 5)
- Farvegengivelsen er god eller dårlig (spsm. 7)

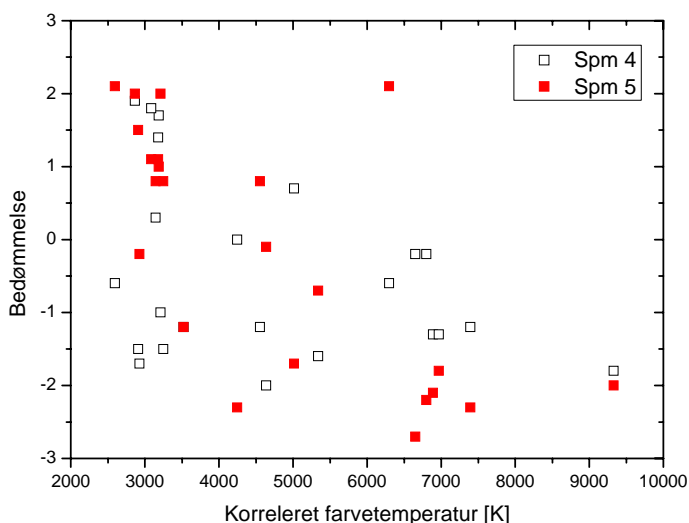
Det er interessant at undersøge om der er en sammenhæng mellem den målte korrelerede farvetemperatur og resultatet af spørgsmål 5. Om lyset er farvet, måles ved den kromatiske afvigelse, som angiver hvor langt lyskildens lys er fra normale hvide lyskilder. I farvekoordinatsystemet er det muligt at se, om lyskilden er for rødlig eller for grønlig. I figur 8.3 er vist bedømmelsen af, hvorvidt lyset virker farvet eller ikke farvet som funktion af den målte kromatiske afvigelse. Den stiplede linje angiver en tolerance (se uddybende beskrivelse af lystekniske målinger i appendiks II), hvor lyset opfattes som hvidt, hvis værdien er under denne størrelse.



Figur 8.3 Bedømmelse af hvorvidt lyset virker farvet eller ikke farvet, som funktion af den målte kromatiske afvigelse (DC).

Det fremgår, at der i undersøgelsen er tre lyskilder med en meget stor kromatisk afvigelse og to lyskilder, der ligger tæt på tolerancegrænsen. Alle disse lyskilder får ikke nogen god bedømmelse i spørgsmål 4, dvs. om lyset virker farvet eller ikke farvet. For de øvrige lyskilder, hvor den kromatiske afvigelse er under tolerancen er der ikke nogen sammenhæng imellem størrelsen af den kromatiske afvigelse, og om lyset virker farvet eller ikke farvet.

I figuren herunder er vist sammenhængen af bedømmelsen af hhv. spørgsmål 4 og 5 som funktion af den målte korrelerede farvetemperatur for de undersøgte LED-lyskilder og -armaturer.

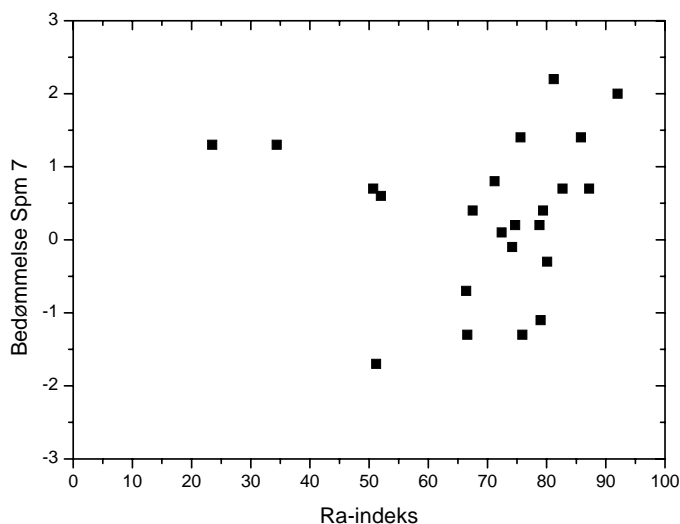


Figur 8.4 Bedømmelsen af hhv. spørgsmål 4 og 5 som funktion af den målte korrelerede farvetemperatur.

Det fremgår, at jo højere den korrelerede farvetemperatur er, jo dårligere bedømmes spørgsmål 4 og 5. Det er kun lyskilder med en lav farvetemperatur omkring 3000 K, der får en god bedømmelse i spørgsmål 4 og 5. I denne sammenhæng skal det dog bemærkes, at lysstyrken ifølge den såkaldte Kruithof kurve (Arie Andries Kruithof), skal være meget

høj for at koldt hvidt lys skal være behageligt, hvilket ikke er tilfældet for nogen af de undersøgte lyskilder.

Mere interessant er det, om der er en sammenhæng mellem det målte generelle Ra-indeks og resultatet af spørgsmål 7. I figuren herunder er således vist middelværdien af bedømmelsen i spørgsmål 7, dvs. om farvegengivelsen er god eller dårlig, som funktion af det målte Ra-indeks.



Figur 8.5 Middelværdien af den subjektive bedømmelse af farvegengivelsen som funktion af det målte Ra-indeks for de undersøgte LED-lyskilder/armaturer.

Som det fremgår, er der en tendens til at jo højere Ra-indeks jo bedre bedømmes farvegengivelsen, dog er der for lyskilder, hvor det målte Ra-indeks er ens, f.eks. 80, meget stor spredning i den subjektive bedømmelsen af farvegengivelsen. Det er også interessant at se, at for lyskilden med meget lavt målt Ra-indeks, bedømmes farvegengivelsen som god i forhold til mange andre lyskilder med højere Ra-indeks.

I det følgende afsnit, hvor den subjektive bedømmelse af de enkelte LED-lyskilder og armaturer beskrives, er givet en kort beskrivelse af den målte korrelerede farvetemperatur og det målte Ra-indeks. I de tilfælde hvor den kromatiske afvigelse er for stor, er dette nævnt.

9. Subjektiv vurdering af arbejdslamper, armaturer og erstatningslyskilder

Som en del af projektet blev en række arbejdslamper, armaturer og erstatningslyskilder med LED vurderet af et ekspertpanel bestående af personer fra Dansk Center for Lys, DTU Fotonik og SBI i tidsrummet maj – september 2008.

Vurderingen er, i modsætning til den belysningstekniske, en subjektiv vurdering, der bl.a. omfatter:

- Samlet opfattelse af armaturet
- Afskærmning og fordeling af lys på arbejdsplan
- Blænding fra armatur
- Varmeudvikling i armaturet
- Skyggedannelse, formtegning, blødt/hårdt lys
- Oplevelse af lyset: Behageligt, ubehageligt, lysets farve
- Farvegengivelse
- Flimmer fra LED-lyskilder
- Betjening og indstilling af armatur.

Til brug for vurderingen blev der udviklet et spørgeskema. Skemaet er inddelt i følgende fire hovedgrupper:

- Lyset fra lampen
- Lampens indstilling og funktion
- Betjening af lampen
- Æstetik og udseende.

Spørgeskemaet er nærmere omtalt i kapitel 6 Udvikling af vurderingskriterier. En kopi af spørgeskemaet findes i bilag I.

Vurderingsresultater

En summering af besvarelserne for de vurderede arbejdslamper, armaturer og erstatningslyskilder præsenteres på de følgende sider. Tal i parenteser henviser til numre i spørgeskemaet. Der henvises også til opslagene, der starter på side 13.

AccentLED #2 WW (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en lav korreleret farvetemperatur på 3212 K, svarende til varm hvidt lys, og et højt Ra-indeks på 87,2.

Generelt vurderes lyskilden og dens lys overvejende positivt. Dog synes lyset at være kedeligt og farvet (2, 4). Lyset blænder ikke og synes at have en varm farve uden farvevariation og uden flimmer (5, 6, 11). Formtegning og kontrastgengivelse er hverken god eller dårlig (8, 9abc). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til AccentLED#2 WW:

- spsm. 4: Lyset har et gul-grønt skær
- spsm. 8: Lyskilden giver meget bløde skygger

- spsm. 10: Meget jævn lysfordeling i et smalt strålefelt
- spsm. 29: Lyskilden giver for lidt lys til praktisk anvendelse

Det vurderes, at lyskilden kan anvendes til museum, kontor, butik, hjemme på væg og i reol som spot. Det bemærkes af flere paneldeltagere, at lyskilden under drift udsender en hylende tone (15kHz) og at den støjer (ventilator) indenfor en afstand af 100 cm.

AccentLED #3 CW (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en korreleret farvetemperatur på 5014 K, svarende til neutralt/koldt hvidt lys, og et lavt Ra-indeks på 66,4.

Generelt vurderes lyskilden og dens lys overvejende positivt. Lyset blænder ikke (3), men vurderes at være en smule ubehageligt, kedeligt og desuden koldt uden variation (1, 2, 5, 11). Farvegengivelse vurderes at være dårlig (7). Det skal bemærkes at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til AccentLED #3:

- spsm. 4: Lyset vurderes at være blåligt-farvet
- spsm. 7: Farvegengivelsen er svag, idet blå farver fremhæves, mens alle andre farver forvrænges
- spsm. 11: Synlig farvevariation i et smalt strålefelt med kraftigt lys i midten og svagt lys i periferien

Det vurderes, at lyskilden kan anvendes til museum, kontor, butik, hjemme på væg og i reol som spot. Lyskilden er meget smalstrålende og giver meget lidt lys.

BLTC 04-700 monteret på væg (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en lav korreleret farvetemperatur på 3188 K, svarende til varm hvidt lys, og et Ra-indeks på 71,2.

Generelt vurderes lyskilden og dens lys meget positivt. Lyset fra lyskilden vurderes at være meget behageligt, interessant og uden flimrer (1, 2, 6). Lysfordelingen vurderes at være meget god og uden farvevariation (10 og 11). Farvegengivelse vurderes positivt og får karakteren 1 på skalaen fra -3 til 3 (5). Lyskilden virker både tiltalende og funktionel. Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til BLTC 04-700:

- spsm. 10: God lysfordeling men for bredstrålet til spotanvendelse

Lyskilden kan anvendes til museum, kontor, butik, hjemme på væg og i reol som spot og i arbejdslampe. Lyskilden er meget anvendelig, hvor der ikke kræves meget god farvegengivelse. Panelet har konstateret en hylende tone fra lyskilden (10 kHz), når man er tæt på den. God lysfordeling med blød fortoning. Lyskilden afgiver en generende støj.

BLTC 04-550 (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en høj korreleret farvetemperatur på 9329 K, svarende til meget koldt hvidt lys, og et Ra-indeks på 75,9. Tolerancen for kromatisk afvigelse er overskredet for denne lyskilde.

Lyskilden og dens lys vurderes generelt negativt. Lyset virker i nogen grad ubehageligt, kedeligt, farvet og koldt og giver i øvrigt anledning til blænding (1-5). Lyset er dog uden flimrer (6). Farvegengivelse vurderes at være relativt dårlig (7). Formteging vurderes at være rimelig (8), mens kontrastgengivelsen hverken er god eller dårlig (9abc). Lysfordeling og farvevariation vurderes at være meget ringe (10, 11). Det skal bemærkes at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til BLTC 04-550:

- spsm. 3: Lyskilden virker blændende når den ses fra siden
- spsm. 4: Lyset er gul- og blåfarvet
- spsm. 8: Meget skarpe skygger
- spsm. 10: God lysfordeling til spotanvendelse
- spsm. 11: Farvevariation over lysfelt med gul-grøn ring i periferien
- spsm. 14: Lyskilden virker blændende fra siden fra normal siddehøjde ved hævet bord

Lyskilden kan anvendes til museum, kontor, butik, hjemme på væg og i reol som spot. Men flere paneldeltagere pointerer, at lyskilden ikke vil være velegnet som erstatning for halogenlyskilder pga. lysfordelingen og den gul-grønne aftegning i kanten. Lyskilden støjer med en hyletone fra ca. 0,5 m afstand.

GU10 Mix/DanLED #6 (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en korreleret farvetemperatur på 4552 K, svarende til neutral hvidt lys, og et Ra-indeks på 74,7.

Lyskilden og dens lys vurderes generelt blandet. Lyset synes at være behageligt og blænder ikke (1, 3). Lyset vurderes til at være farvet - relativt varmt (4, 5). Lyset flimrer ikke (6) og farvegengivelse vurderes at være hverken god eller dårlig (7). Både formtegnings og kontrastgengivelse vurderes at være dårlig (8, 9abc). Lyskildens lysfordeling er ikke god og der er en synlig farvevariation i lyset (10, 11). Lyset giver ikke generende reflekser i bord og blænder ikke fra normal siddehøjde ved hævet bord (12, 14). Lyskilden synes at blive en smule varm ved brug (25) og vurderes at være relativt tiltalende og funktionel (28, 29). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til DanLED 6:

- spsm. 4: Gul-grøn lysfarve
- spsm. 7: God farvegengivelse midt i lyskegle
- spsm. 8: Multiple farvede skygger
- spsm. 11: Synlig farvevariation med koldt lys i midten og gul-grønt lys i kanten af det belyste område

Lyskilden kan anvendes til kontor, butik, hjemme på væg og i reol som spot. Velegnet til effektivt lys hjemme og på arbejdsplads og i nogle typer butikker. Ganske tiltalende lyskilde med god farvegengivelse. Dog er der tydelig farvevariation. Lysets intensitet aftager lidt for hurtigt, hvilket vil sige at lyskilden er uegnet til brug ved arbejdsplads, hvor der kræves Ra på minimum 80.

Lamina 14 WW (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en lav korreleret farvetemperatur på 3145 K, svarende til varmt hvidt lys, og et meget lavt Ra-indeks på 52.

Lyskilden og dens lys vurderes generelt positivt. Især vurderes lyskildens lysfordeling at være god (10), ligesom lyset er uden flimrer (6). Dog giver lyset fra lyskilden anledning til blænding når den ses bagfra (3). Lyskilden synes at blive en smule varm ved brug og vurderes at være relativt tiltalende og funktionel (28, 29). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til Lamina 14 WW:

- spsm. 3: Mærkbar blænding når lyskilden betragtes bagfra
- spsm. 4: Lyset er farvet i gullige-blålige nuancer
- spsm. 5: Lyset virker både koldt og varmt på samme tid
- spsm. 6: Flimrer på kamera
- spsm. 11: Svag farvevariation over lysfelt på væg

Lyskilden kan anvendes til museum, kontor, butik, hjemme på væg og i reol som spot. Flot lysfordeling/lyskegle, men lyset bagud blænder (lidt), derfor uegnet til arbejdslampe uden afskærmning. Kan anvendes i nogle typer butikker og som effektlys på væg, hvis der ikke stilles store krav til farvevariation i lyset. Støjer lidt (< 10 cm afstand).

Lamina 15 CW (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en høj korreleret farvetemperatur på 5340 K, svarende til koldt hvidt lys, og et lavt Ra-indeks på 67,5.

Lyskilden og dens lys vurderes generelt blandet. Lyset synes at være farvet og virker koldt (4, 5), men uden flimrer (6). Både farvegengivelse, formtegnings og kontrastgengivelse er relativt god (7, 8, 9a). Lyskildens lysfordeling vurderes at være dårlig og med tydelig farvevariation over den belyste flade (10, 11). Lyskilden vurderes at være relativt funktionel. Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til Lamina 15:

- spsm. 4: Lyset er gulligt i midten og blåligt i kanten. Lysfeltet er uens belyst, nærmest som i et "Firkløvermønster"
- spsm. 5: Lyset virker både koldt og varmt
- spsm. 11: Synlig farvevariation; gult i midten og blå i periferien
- spsm. 14: Lyset er fint afskærmet

Lyskilden er støjende og ikke velegnet til brug i arbejdslamper. Lyskilden bliver varm, derfor kan den kun bruges i fri luft, dvs. uden skærm.

XLEDs GA3022 WW (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en lav korreleret farvetemperatur på 2926 K, svarende til varmt hvidt lys, og et lavt Ra-indeks på 51,2.

Lyskilden og dens lys vurderes generelt blandet. Lyset virker en smule ubehageligt og kedeligt (1, 2), er farvet og vurderes at have dårlig farvegengivelse (4, 7). Formtegnings og kontrastgengivelse synes at være tilfredsstillende (8, 9), ligesom lyskildens vurderes at

have en god lysfordeling (10). Farvevariation over det belyste område er dog stor (11). Lyskilden vurderes at være relativt funktionel. Lyskilden synes ikke at virke tiltalende, men i nogen grad funktionel (28, 29). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til XLED#1 WW:

- spsm. 3: Blændende indenfor lyskeglen
- spsm. 4: Lyset er blåligt i midten og gult i periferien af det belyste område
- spsm. 6: Lyset virker flimrende under opstart/opvarmning. Der konstateres også en stroboskoeffekt under drift
- spsm. 8: Multiple skygger omkring arbejdsobjekt
- spsm. 9c: Dårlig kontrastgengivelse lige under lyskilden

Støj fra lyskildens ventilator. Stroboskoeffekt, skyldes måske multiple skygger. Flimrer i skærm.

XLEDs GA3022 CW (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en høj korreleret farvetemperatur på 6968 K, svarende til meget koldt hvidt lys, og et Ra-indeks på 79.

Lyskilden og dens lys vurderes overvejende negativt. Lyset synes at virke ubehageligt, kedeligt, farvet, koldt og flimrende, med dårlig farvegengivelse og dårlig formtegning (1, 2, 4, 5, 6, 7, 8). Kontrastgengivelse vurderes at være tilfredsstillende (9), ligesom lyskilden vurderes at have en god lysfordeling (10). Lyskilden synes at virke utiltalende og ikke funktionel (28, 29). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til XLED#2 CW:

- spsm. 3: Blændende indenfor lyskeglen
- spsm. 4: Lyset har en blålig farve
- spsm. 6: Tydelig stroboskoeffekt
- spsm. 8: Multiple skygger i en bestemt afstand under lyskilden
- spsm. 11: Der konstateres en farvevariation over det belyste område, blåligt i midten og gulligt i periferien

Der konstateres støj fra lyskildens ventilator. Afbildning af de mange små lyskilder er generende.

Problemer med "Aura-effekt" eller flertydige skygger.

XLEDs MR16 CW B Angle 55 (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en høj korreleret farvetemperatur på 6889 K, svarende til meget koldt hvidt lys, og et Ra-indeks på 79,4.

Lyskilden og dens lys vurderes generelt blandet. Lyset vurderes at være en smule ubehageligt (1), men dog interessant og ikke blændende (2, 3). Lyset vurderes at være farvet og koldt (4, 5), men flimrer ikke (6). Farvegengivelsen er hverken god eller dårlig (7), mens formtegning vurderes at være dårlig (8). Kontrastgengivelse synes at være god (9abc). Lyskilden vurderes desuden at have dårlig lysfordeling med synlig farvevariation

(10, 11). Der forekommer ikke generende reflekser og lyskilden blænder ikke fra normal siddehøjde ved hævet bord (12, 14). Lyskilden vurderes at være relativt funktionel (29). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til XLED#9:

- spsm. 1: Ved den givne montering fremstår lyskeglen halvmåneformet
- spsm. 3: Lyskilden virker blændende set vinkelret fra siden
- spsm. 4: Lyset virker farvet; koldhvidt i midten og gulgrønt i periferien af det belyste område
- spsm. 8: Der forekommer multiple skygger ved arbejdsobjekt
- spsm. 10: Dårlig lysfordeling med flere ringe i lyskeglen
- spsm. 11: Synlig farvevariation, hvid i midten, gul i kant med skarpe linjer (overgange). Grimme aftegninger i randområde

Lyskilden kan anvendes til væg/reol i butik. Multiple skygger og meget generende ventilator der kan høres, når man befinder sig tæt på lyskilden.

XLEDs MR16 (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en høj korreleret farvetemperatur på 7393 K, svarende til meget koldt hvidt lys, og et højt Ra-indeks på 80,1.

Lyskilden og dens lys vurderes generelt blandet. Lyset vurderes at være relativt interessant uden at blænde eller flimre (2, 3 og 6). Lyset synes farvet i en kold nuance med en tydelig farvevariation (4, 5, 11). Lyskilden vurderes ikke at blænde fra normal siddehøjde ved hævet bord (14).

Lyskilden vurderes at virke relativt tiltalende (28). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til XLED#10:

- spsm. 4: Lyset er blåligt farvet midt i det belyste område
- spsm. 7: Pastelle farver gengives matte
- spsm. 8: Multiple skygger
- spsm. 10: Alt for meget lys i midten af belyst område

Kan anvendes til kontor, butik på væg og i reol som spot. Kølig farvetemperatur. Generende støj fra ventilator når man er tæt på lyskilden. Der synes at være for stor variation i lysfordelingen fra midten og ud, ellers rimelig fortoning.

XLED s MR16 WW B Angle 50 (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en lav korreleret farvetemperatur på 2911 K, svarende til varmt hvidt lys, og et lavt Ra-indeks på 50,7.

Generelt vurderes lyskilden og dens lys overvejende positivt. Lyset vurderes at være hverken kedeligt eller interessant (2). Lyskilden blænder ikke (3), men lyset synes farvet en smule varmt (4, 5) og der forekommer en kraftig farvevariation over det belyste område (11). Lyset flimrer ikke (6) og farvegengivelsen vurderes at være rimelig (spm 7). Formtegning, kontrastgengivelse og lysfordeling synes at være hverken god eller dårlig (8,

9abc, 10). Der er ikke konstateret reflekser i bord (12) og lyskilden synes ikke at være blændende fra normal siddehøjde ved hævet bord (14).

Lyskilden synes relativt tiltalende og funktionel (28, 29). Det skal bemærkes at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til XLED#11:

- spsm. 4: Lyset synes blå i midten og gult i periferien af det belyste område. I det gullige felt konstateres god farvegengivelse på farvekort
- spsm. 7: God farvegengivelse i midten af lyskeglen hvor gule farver fremhæves og røde farver forvrænges
- spsm. 8: Multiple skygger

Kan anvendes til kontor, butik, hjemme på væg og i reol som spot. God farvegengivelse til brug ved rumbelysning. Giver en pæn lysfordeling uden skarp overgang mellem lys/skygge, dog med tydelig farveforskel fra midten og ud. Bør ikke anvendes i arbejdslampe pga støj fra ventilator og lavt Ra-indeks.

SP70 monteret i arkitektlampe (lyskilde)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en korreleret farvetemperatur på 4245 K, svarende til neutral hvidt lys, og et lavt Ra-indeks på 66,6.

Generelt vurderes lyskilden og dens lys blandet, men overvejende positivt. Lyset opleves en smule ubehageligt og lidt kedeligt, men uden blænding (1, 2, 3). Lyset opleves hverken farvet eller ikke farvet, dog forekommer vurderinger af dette i begge ender af skalaen (4). Lysfarven vurderes som kold og uden flimrer (5, 6) og lyset synes at have en lidt dårlig farvegengivelse (7). Generelt giver lyskilden en rimelig formtegning, men der er stor variation i besvarelserne (8). Lyskilden vurderes at have en rimelig kontrastgengivelse, dog med bemærkning om en anelse slør (9abc). Lysfordeling og farvevariation vurderes at være rimelig (10, 11). Generelt observeres kun få reflekser i bord og ingen reflekser i edb-skærm (12, 13). Der forekommer ikke blænding ved normal siddehøjde og hævet bord (14). Da erstatningslyskilden er monteret i en standard arkitektlampe forekommer indstilling og funktion hensigtsmæssig (21, 22, 23) og arkitekten bliver ikke generende varm (25). Lyskilden vurderes at være funktionel. Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til SP70:

- spsm. 4: SP70 giver et lidt blåligt lys
- spsm. 6: Tendens til flimren ved opstart/opvarmning
- spsm. 7: Betragtede farver opleves at få et blåligt/grønlige skær.
- spsm. 8: Lyset virker en smule diffust. Der er en kerneskygge og "diffus" skygge fra hånd
- spsm. 9a: Kontrastgengivelse forekommer lidt svag med udflydende tekst
- spsm. 10: Lysfordeling er ikke asymmetrisk
- spsm. 12: Ingen reflekser i matte overflader, dog afhængig af placering og synsretning

Lysfarven er for kold hvilket giver et lidt kedeligt lys. Har samme indstillingsmæssige fordele som arkitektlampen. Til trods for at lyskilden har et lavt Ra-indeks på 66 og giver for koldt lys et til almindelig brug, er vurderingen af denne lyskilde positiv.

Waldmann LED Lamp (arbejdslampe)

Lysteknisk er arbejdslampen karakteriseret ved en høj korreleret farvetemperatur på 6650 K, svarende til koldt hvidt lys, og et Ra-indeks på 74,2. Arbejdslampen giver en belysningsstyrke på omkring 1000 lux.

Generelt vurderes arbejdslampen og lyset overvejende negativt. Lyset fra arbejdslampen opleves umiddelbart ubehageligt og lidt kedeligt men uden blænding (1, 2, 3). Det kommenteres, at lyset virker blåligt, men generelt er opfattelsen neutral (4). Lyset vurderes at være absolut koldt (5) og der er ingen flimmer i lyset (6). Farvegengivelse vurderes at være hverken god eller dårlig, dog med vurderinger i begge ender af skalaen (7). Formtegning vurderes at være dårlig grundet fire karakteristiske skygger fra de fire diodeklynger (8). Kontrastgengivelse vurderes generelt at være dårlig, igen på grund af multiple skygger (9abc). Lysfordeling vurderes ligeledes at være dårlig (10), dog stort set uden farvevariation henover den belyste flade, men igen er der vurderinger i begge ender af skalaen (11). Der forekommer generende reflekser i bordet men ingen reflekser i edb-skærmen (12, 13). Arbejdslampen vurderes ikke at blænde ved normal siddehøjde og hævet bord (14). Arbejdslampen forekommer besværlig og u hensigtsmæssig i sin funktion (21, 22) og vurderes at være meget besværlig at justere til ønsket position (23). Afbryder fungerer tilfredsstillende og arbejdslampen bliver ikke varm ved brug (24, 25). Arbejdslampen vurderes at være ikke funktionel (29).

Supplerende kommentarer til Waldmann LED Lamp:

- spsm. 4: Lyset fra arbejdslampen er koldt og blåligt
- spsm. 7: Lidt død i de røde farver
- spsm. 8: Generende fire-dobbelte skygger ved arbejdsområde. For distinkt tegning af overflader
- spsm. 9a: Lidt udflydende kontrastgengivelse. Megen blænding ved glittet papir
- spsm. 10: Skyggering fra hver klynge af lysdioder, hvilket virker forstyrrende på bordfladen. Dårlig lysfordeling hvis arbejdslampen placeres til siden
- spsm. 13: Lampehovedet skal enten placeres over eller under edb-skærmen. Hvis det placeres under, opnås en dårlig lysfordeling fra hver enkelt diodeklynge
- spsm. 21: Arbejdslampen er for stor til kontorbrug. Den kan ikke placeres rigtigt og er uhyggelig svær at indstille

Arbejdslampen fylder for meget og dækker for edb-skærmen. Den kan enten stå så man får lyset ind skråt forfra, så man får spejlinger og reflekser i bord samt kontrastreduktion i papir, eller til siden, men så kan lyset ikke nå ind over arbejdsområdet. Ved blanke emner (f.eks. monteringsarbejde) fås kraftige spejlinger i emnerne. Meget generende med uskarpe skygger og variation i lysintensitet midt i lysfeltet.

Arbejdslampens energiforbrug

Lampens energiforbrug målt med Voltech PM100 Power Analyzer

Funktion	Strømforbrug, [mA _{rms}]	Effekt [Watt]	Power Factor PF	Driftspænding [Volt]
Tændt lampe	120	14,1	0,521	230,1
Slukket/Stand by	11,2	0,49	0,19	230,1

Power Factor er et mål for arbejdslampens energieffektivitet. $PF = \text{Watt}/(V_{\text{rms}} \times A_{\text{rms}})$.

Leaf Light (arbejdslampe)

Lysteknisk er arbejdslampen karakteriseret ved en variable korreleret farvetemperatur fra omkring 2900 K til 6100 K, svarende til hhv. varmt og koldt hvidt lys, og et konstant højt Ra-indeks på omkring 84. Tolerancen for kromatisk afvigelse er overskredet for lyskilden i dette armatur.

Den korrelerede farvetemperaturen varierer meget over den belyste flade, i en indstilling hvor den korrelerede farvetemperatur er 4400 K under lampenhovedet, er den 500 K lavere 20 cm derfra. Belysningsstyrken er høj på omkring 2500 lux lige under lampehovedet, men falder til under halvdelen blot 10 cm fra. Derfor er der lavet specielle målinger af disse størrelser.

Generelt vurderes arbejdslampen og lyset overvejende negativt. Lyset opleves umiddelbart ubehageligt og hverken interessant eller uinteressant (1, 2). Lyset vurderes at give anledning til blænding og synes farvet med blåligt/gulligt/hvidt lys i midten af lyskeglen og gulligt lys i periferien (3, 4). Lysfarven kan justeres, hvorfor vurdering af lysfarven er neutral (5). Lyset vurderes at være ikke-flimrende (6) og farvegengivelse vurderes at være rimelig (7). Formtegning vurderes at være dårlig, hvilket skyldes multiple farvede skygger (8). Kontrastgengivelse ved læsning og skrivning vurderes at være hverken god eller dårlig, mens den vurderes at være relativt dårlig ved tastaturarbejde (9abc).

Lysfordelingen vurderes at være dårlig, bl.a. fordi det belyste arbejdsområde er for lille (10). Der forekommer kraftig farvevariation over arbejdsområdet samt meget generende reflekser i bord (11, 12), men ingen reflekser i edb-skærm (13). Arbejdslampen vurderes at blænde kraftigt ved normal siddehøjde og hævet bord (14). Arbejdslampens indstilling og funktion vurderes til at være besværlig og uhensigtsmæssig (21, 22). Flytning af lampen til ønsket position vurderes til at være besværlig (23). Afbryderen vurderes at fungere tilfredsstillende og lampen bliver ikke generende varm under brug (24, 25). Lysstyrke- og lysfarvedæmper vurderes at fungere dårligt, da den er svær at indstille (26, 27).

Arbejdslampen vurderes at være hverken tiltalende eller utiltalende (28), ligesom den heller ikke vurderes at være funktionel (29). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til Leaf Light:

- spsm. 3: For at kunne se edb-skærm er det nødvendigt at arbejdslampen placeres højt
- spsm. 4: Arbejdslampen afgiver både koldt og varmt lys med hvidt/blåligt lys i midten og gulligt lys i periferien af det belyste areal
- Både kold og varm lysfarve

- spsm. 5: Lyset er regulerbart og farven kan varieres, men lampen giver for lidt lys udelukkende med varmt lys
- smp. 6: Lyset flimrer, når styrken og farven varieres
- spsm. 7: God farvegengivelse ved lav farvetemperatur men ellers er farvegengivelsen tvivlsom
- spsm. 8: Arbejdslampen giver mange forskelligfarvede skygger. Lyset er ikke fokuseret ved normal arbejdsafstand
- spsm. 9c: Arbejdslampen giver mange reflekser i tastaturer og for stor variation i kontrastgengivelsen
- spsm. 10: For stor variation i lysmængde over arbejdsfeltet, hvilket giver for lille område med høj lysintensitet
- spsm. 11: Stor farvevariation over arbejdsfeltet med hvidt/blåligt lys i midten og gulligt lys i periferien
- spsm. 14: Lyset virker blændende ved synsretning mod skærm
- spsm. 21: Indstilling af lysstyrke og farve hænger sammen, burde kunne varieres individuelt
- spsm. 23: Arbejdslampens arm kan ikke holde sig selv på plads i indstillet position
- spsm. 24: Dejligt at lyset først dæmpes og så slukkes
- spsm. 26: Det er svært at betjene lampen til ønsket kombination af lysstyrke og farve
- spsm. 27: Spændende muligheder for indstilling af lyset, men svært at indstille
- spsm. 28: Arbejdslampen vurderes at meget pæn at se på

Justering af lysstyrke og farvetemperatur er flimrende og ikke særlig nem at dosere. Dioder blænder ved indkig fra siden ved almindelig arbejdsposition. Lampen er vanskelig at placere til både skrive/læse og pc-arbejde. Kan virke flimrende, når lampen står og vipper. Alt for mange skygger til almindelig kontorbrug. Designmæssigt er arbejdslampen spændende, men igen laves en arbejdslampe til kontorbrug uden at være asymmetrisk eller at kunne vippes således, at den står til siden, men alligevel retter lyset ind mod arbejdsområdet.

Arbejdslampens energiforbrug

Lampens energiforbrug målt med Voltech PM100 Power Analyzer

Funktion	Strømforbrug, [mA _{rms}]	Effekt [Watt]	Power Factor PF	Driftspænding [Volt]
Tændt lampe	164	18	0,48	228,4
Slukket/Stand by	54	2,7	0,221	228,2

Power Factor er et mål for lampens energieffektivitet. $PF = \text{Watt} / (V_{\text{rms}} \times A_{\text{rms}})$.

Luxo Air (arbejdslampe)

Lysteknisk er arbejdslampen karakteriseret ved en lav korreleret farvetemperatur på 3249 K, svarende til varmt hvidt lys, og et Ra-indeks på 72,4. Tolerancen for kromatisk afvigelse er overskredet for denne lyskilde. Arbejdslampen giver en maksimal belysningsstyrke på omkring 1500 lux, som falder til 500 lux over 20 cm.

Generelt vurderes arbejdslampen og lyset overvejende positivt. Lyset fra lampen vurderes dog at være en smule ubehageligt og kedeligt (1, 2), men ellers hverken blændende eller flimrende (3, 6). Lyset synes farvet med et grønt stik i kanten af det belyste område og lidt rødtligt/gulligt i midten af området (spm4), men samlet set vurderes lyset at være varmt (5). Selv om der forekommer tredobbelte skygger ved skrivning på papir og skygger på tastatur, vurderes formtegningen at være hverken god eller dårlig (8). Kontrastgengivelse vurderes at være rimelig, dog bedst i det kraftigt oplyste midterområde (9abc). Det vurderes, at der er stor farvevariation hen over det belyste område; her er både gullig/grønt og rødtligt lys (11). Der er enighed om, at arbejdslampen ikke blænder, når bordet hæves, dog med en bemærkning om, at den selvfølgelig skal indstilles korrekt (14). Der er bred enighed om, at arbejdslampens funktion er tilfredsstillende (21, 22, 23), at afbryderen fungerer tilfredsstillende (24) og at arbejdslampen ikke udvikler generende varme (25). Lampen vurderes at være tiltalende (28) og relativt funktionel (29). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til Luxo Air:

- spsm. 1: Lidt for gulligt lys ved for lav placering af arbejdslampen, bedre ved højere placering
- spsm. 4: Ujævn fordeling af kold og varm lysfarve med rødtligt lys i midten og grønligt lys i periferien af det belyste område
- spsm. 5: Lyset vurderes til at være lidt for varmt med et kedeligt orange skær, der lægger et slør hen over farven på arbejdsobjektet
- spsm. 8: Arbejdslampen genererer tre tydelige skygger fra diodeklyngerne
- spsm. 9a: Kontrastgengivelsen er bedst i området, hvor lyset er "hvidt", ellers ulden i kanten af det kraftigt (blå) lysende område
- spsm. 10: Meget rettet lys. Enten lidt for lille belyst område eller lidt for lidt lys. Belysningsstyrke på arbejdsobjekt er målt til $E_{\text{målt}}$ ca. 1500 lux centralt i læsefeltet
- spsm. 12: Ingen reflekser i bordet ved korrekt placering af lampen
- spsm. 14: Arbejdslampen virker ikke blændende, men kun hvis den er placeret korrekt i forhold til arbejdsobjekt

Samlet set giver arbejdslampen et dårligt indtryk, hvilket mest skyldes lysfordelingen og farvevariationen over det belyste område. Generelt dækker arbejdslampen for lille et område. Der er et eller andet mærkeligt ved lampen. Måske er lyset for koncentreret. Trippel skygger er generende. Den burde ellers virke OK som arkitektlampe.

Arbejdslampens energiforbrug

Lampens energiforbrug målt med Voltech PM100 Power Analyzer

Funktion	Strømforbrug, [mA _{rms}]	Effekt [Watt]	Power Factor PF	Driftspænding [Volt]
Tændt lampe	69,9	12,5	0,788	228,6
Slukket/Standby	26,5	1,7	0,282	228,2

Power Factor er et mål for lampens energieffektivitet. $PF = \text{Watt} / (V_{\text{rms}} \times A_{\text{rms}})$.

Luxo Ninety (arbejdslampe)

Lysteknisk er arbejdslampen karakteriseret ved en lav korreleret farvetemperatur på 2864 K, svarende til varmt hvidt lys, og et meget højt Ra-indeks på 92. Lampen giver en belysningsstyrke på omkring 1400 lux, som falder til 500 lux over 15-20 cm.

Generelt vurderes arbejdslampen og lyset positivt. Lyset fra lampen vurderes at være behageligt og interessant (1, 2). Lyset synes varmt og ikke farvet, giver ikke anledning til blænding, flimrer ikke og har god farvegengivelse (3, 4, 5, 6, 7). Formtegning og kontrastgengivelse vurderes at være rimelig, dog forekommer multiple skygger på papir og tastatur (8, 9abc). Lysfordelingen på arbejdsfelt vurderes at være rimelig (10) og der synes kun at forekomme mindre farvevariationer over det belyste område (11). Reflekser i bordet vurderes at forekomme, der er dog stor spredning i panelets opfattelse på dette punkt, hvilket sandsynligvis kan relateres til kommentarerne vedr. vanskeligheder med at placere lampehoved ideelt i forhold til arbejdsopgaven (12). Der kunne ikke konstateres reflekser i edb-skærm (13). Arbejdslampen bør placeres med vandret lampehoved for at undgå blænding, når bordet er hævet (14). Det vurderes, at lampen er hverken nem eller svær at indstille (21, 22). men at det kan være vanskeligt at placere arbejdslampen til ønsket position (23). Både afbryder og lysstyrkedæmper er hverken god eller dårlig, dog med en kommentar om at både afbryder og dæmper kan være svær at betjene og at dæmperen desuden er for lille (24, 25). Farvedæmpning vurderes at være rimelig (27). Lampen bliver ikke generende varm under brug (25).

Arbejdslampen vurderes at være meget tiltalende og funktionel (28 og 29). Denne vurdering synes imidlertid at være i modstrid med vurderingerne i spørgsmål 21, 22 og 23.

Supplerende kommentarer til Luxo Ninety:

- spsm. 8: Der konstateres fire forstyrrende skygger forårsaget af diodeklyngerne
- spsm. 9a: Gælder for 9a, b og c: Kun OK, hvis tekst/tastatur flyttes hen til lampen
- spsm. 9b: Multiple skygger er forstyrrende. Skyggen er for smal, der mangler en "blidere" overgang
- spsm. 14: Arbejdslampen skal placeres med vandret lampehoved
- spsm. 21: Arbejdslampen vurderes som "ikke-flytbar". Ofte må man flytte både fod og lampehoved for at opnå korrekt belysning. Lampen burde monteres på en helt anden fod og arm
- spsm. 23: Der savnes et drejeled om lodret akse for at lampehoved kan indstilles korrekt
- spsm. 24: Afbryderen er svær at betjene
- spsm. 26: Lysdæmper er svær at betjene da justeringsknappen er for lille
- spsm. 28: Flot design
- spsm. 29: Arbejdslampen er funktionel, bortset fra fod og arm. Ringe mobilitet

Flot design, men drejning i plade på bord er overflødig. Fire skygger – bedre optik og reflektor ønskelig. God funktion med godt lys. Dejligt at lampen er lille i hovedet. Rigtig god kontorlampe.

Arbejdslampens energiforbrug

Lampens energiforbrug målt med Voltech PM100 Power Analyzer

Funktion	Strømforbrug, [mA _{rms}]	Effekt [Watt]	Power Factor PF	Driftspænding [Volt]
Tændt lampe	72,8	8,2	0,493	228,6
Slukket/Stand by	10,8	0,66	0,268	229,0

Power Factor er et mål for lampens energieffektivitet. $PF = \text{Watt} / (V_{\text{rms}} \times A_{\text{rms}})$.

Philips SpotLED BBG450 (downlight)

Lysteknisk er lyskilden i armaturet karakteriseret ved en høj korreleret farvetemperatur på 6800 K, svarende til koldt hvidt lys, og et Ra-indeks på 75,6.

Generelt er vurderingen af armaturet og lyset neutral; lyset virker mere behageligt end ubehageligt og blænder ikke (1, 3). Lyset synes at være en smule farvet, virker koldt og er flimmerfrit (4, 5, 6). Lyset har en rimelig farvegengivelse (7), ligesom formtegning og kontrastgengivelse også er rimelig (8, 9). Øvrige forhold vurderes at være hverken gode eller dårlige og armaturet synes samlet set ikke at være tiltalende. Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til Philips SpotLED BBG450:

- spsm. 4: Violet/lilla lys i periferien af det belyste område
- spsm. 7: Generelt er farvegengivelsen rimelig, men lidt for meget blå lys (negle gives blå)
- spsm. 10: Smalstrålende, meget snævert lysfelt
- spsm. 11: Farvevariation over det belyste område, hvid i midten og med lilla kant

Skævt monterede dioder. Små unøjagtigheder i monteringen giver mindre lys.

Philips SpotLED BBG451 (downlight)

Lysteknisk er lyskilden karakteriseret ved en korreleret farvetemperatur på 3521 K, svarende til neutral hvidt lys, og et Ra-indeks på 78,8.

Generelt er vurderingen af armaturet og lyset blandet; lyset virker i nogen grad interessant uden at blænde (2, 3). Lyset synes at være farvet og virker koldt (4, 5). Lyset er flimmerfrit (6) og farvegengivelsen er hverken god eller dårlig (7). Formtegning og kontrastgengivelse er rimelig (8, 9) og armaturet har en relativt god lysfordeling, dog med tydelig farvevariation over det belyste område (10, 11). Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til Philips SpotLED BBG451:

- spsm. 4: Blå/lilla lys i periferi af belyst område
- spsm. 7: Dårlig farvegengivelse for alle farver
- spsm. 10: Meget snæver lysfordeling
- spsm. 11: Synlig farvevariation, hvid i midten og lilla/blå i kanten
- spsm. 14: Fint afskærmet lyskilde

Armaturet giver et lidt spøgelsesagtigt lys med skarpttegnede skygger.

Tempura (armatur til effektbelysning i butikker og lignende)

Lysteknisk er armaturet karakteriseret ved en variabel korreleret farvetemperatur fra 2600 til 6300 K, svarende til variation fra varmt hvidt til koldt hvidt lys, og et meget lavt Ra-indeks fra 24 til 34.

Generelt vurderes armaturet og lyset positivt. Lyset opleves neutralt, interessant og uden blænding, dog er der store variationer i vurderingerne (1, 2, 3). Lyset (i position middel spredning) vurderes at være farvet og varmt (4, 5). Lyset er uden flimrer (6) og vurderes at have en rimelig farvegengivelse, dog med bemærkninger om forvrængning af røde farver (7). Formtegning vurderes at være acceptabel (8). Armaturet vurderes at have god lysfordeling uden synlig farvevariation (10, 11). Armaturet vurderes til ikke at give anledning til blænding, når bordet er hævet (14). Armaturet er nemt at indstille med en hensigtsmæssig funktion (21, 22) og bliver ikke varm ved brug (25). Armaturet har en god lysstyrke-dæmper og gode muligheder for farvedæmpning (26, 27). Armaturet vurderes generelt til at være både tiltalende og funktionel (28, 29).

Supplerende kommentarer til Tempura:

- spsm. 1: Røde farver synes at blive lidt forvrænget. En paneldeltager kommenterer dette som: "jeg ligner en skoldet gris"
- spsm. 4: Armaturet har mulighed for valg af seks forskellige farvetoner
- spsm. 7: Farvegengivelse varierer med valg af lysfarve. Ved varme lysfarver er gengivelsen dårligere end ved kolde lysfarver
- spsm. 8: Armaturets lys giver "uldne" skygger
- spsm. 10: Lysfordeling kan justeres mellem smalt og bredere felt
- spsm. 28: Tiltalende lampe da lysfarven kan reguleres

God som butiksvindues- eller udstillingsspot hvor farver får brillians. Til almindelig brug er farverne "bare for meget". Lysets farve minder om slagterrørens som gør huden rød - ikke velegnet til hud. Let at indstille.

Lamp Jane (bordlampe)

Lysteknisk er armaturet karakteriseret ved en lav korreleret farvetemperatur på 3180 K, svarende til varm hvidt lys, og et højt Ra-indeks på 85,8.

Generelt vurderes armaturet og lyset positivt. Lyset er behageligt, flimrer ikke og giver ikke anledning til blænding (1, 3, 6). Lyset er varmt (5) og farvegengivelsen vurderes at være relativt god (7). Dog vurderes formtegning og kontrastgengivelse ved tastatur at være en smule dårlig (8, 9c). Armaturet vurderes at være både tiltalende og funktionel. Det skal bemærkes, at der er stor variation i panelets besvarelser.

Supplerende kommentarer til Lamp Jane (Svalen)

- spsm. 1: Lyset er behageligt, men der er for lidt af det
- spsm. 3: Blænding i foden når man kigger ned på armaturet
- spsm. 8: Der forekommer multiple skygger
- spsm. 9a: God kontrastgengivelse ved læsning når armaturet står til siden, men for lidt lys
- spsm. 10: "Stjerneskygger" da lyskilderne (skygger i tre retninger). Ligelysende – burde være skævtlysende, hvis armaturet skal bruges som arbejdslampe

- spsm. 21: Indstilling og funktion er svær, hvis man ønsker maksimalt lys, men nem hvis man kun skal ændre styrke
- spsm. 26: Armaturet kan finde på at justere op og ned uden berøring. Giver multiple skygger, hvilket er generende

Udmærket og designmæssigt godt alternativ til den "prestige"-arbejdslampe mange har placeret på deres skrivebord. Meget lavere energiforbrug end f.eks. en tilsvarende PH-lampe.

Åkande (pendel)

Lysteknisk er armaturet karakteriseret ved en lav korreleret farvetemperatur på 3087 K, svarende til varmt hvidt lys, og et højt Ra-indeks på 81,2.

Generelt vurderes armaturet meget positivt og lyset synes at være både behageligt og interessant uden blænding (1, 2, 3). Lyset opfattes som varmt uden at være farvet, dog med stor variation i opfattelsen hos panelet (4, 5). Både farvegengivelse, formtegning og kontrastgengivelse ved læsning og skrivning vurderes at være god (7, 8, 9ab). Også lysfordelingen vurderes at være rigtig god uden farvevariationer i den belyste flade. Lyset vurderes ikke at give reflekser i bordet (12), ligeom armaturet ikke virker blændende ved normal siddehøjde og hævet bord (14). Armaturet vurderes ikke at blive varm under brug (25). Armaturet vurderes at være både tiltalende og funktionel (28, 29).

Supplerende kommentarer til Åkanden:

- spsm. 4: Lyset vurderes at være en smule gulligt
- spsm. 10: Der kunne ønskes en smule oplys
- spsm. 12: Normale reflekser i bord, men beherskede

Flot design – interessant med ydre farvering.

10. Opsummering af resultater

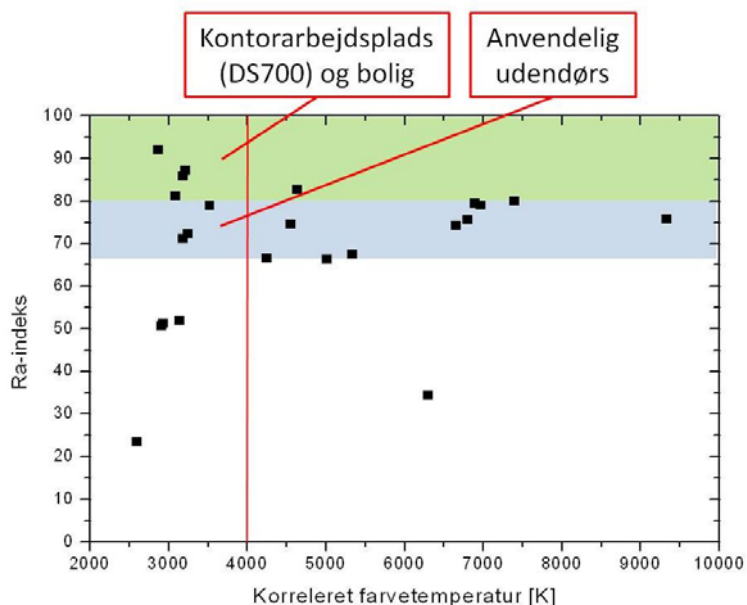
I dette afsnit sammenfattes undersøgelsens resultater, idet de målte og vurderede resultater sammenholdes. Gennemgangen er opdelt på relevante parametre.

Farveegenskaber

Farvegengivelsesindekset for de undersøgte lyskilder og armaturer varierer i et stort interval, der strækker sig fra meget lav (Ra 24) til høj (Ra 92). De subjektive vurderinger stemmer godt overens med de målte Ra-værdier. Jo højere Ra-indeks der er målt, jo bedre er lyskildens eller armaturets farvegengivelse blevet vurderet. Dog er farvegengivelsen for enkelte lyskilder med på Ra-indeks omkring 80 vurderet under middel. For lyskilder og armaturer med Ra-indeks over 75 er farvegengivelsen vurderet positivt. I de to tilfælde, hvor Ra-værdien ligger meget lavt, er der tale om et armatur, hvor lyset er baseret på RGB (blanding af rød, grøn og blå).

Også hvad angår lysets farvetemperatur er spredningen på de undersøgte lyskilder og armaturer stor. Hovedparten af de vurderede dioder har for høj en farvetemperatur (over 4000K) og der er en klar tendens mod at lyskilder og armaturer med en høj farvetemperatur vurderes mere negativt end dem, der har en lav farvetemperatur svarende til varmt lys.

Som det fremgår af figur 10.1, har en stor del af de undersøgte lyskilder og armaturer en Ra-værdi under 80, som er minimumkravet til arbejdsbelysning på indendørs arbejdspladser, og har samtidig en farvetemperatur over 4000 K, som både indendørs og udendørsbelysning bør ligge under, i hvert fald når det gælder professionel belysning.



Figur 10.1 Sammenhæng mellem vurdering af hhv. farvegengivelsesindeks og farvetemperatur

Af figuren fremgår det imidlertid også, at de lyskilder og armaturer, der har den bedste farvegengivelse også har en lav farvetemperatur, hvilket formentlig skyldes, at producenten har ønsket at optimere begge dele for dermed at skabe den bedste LED-lyskilde.

Af målingerne fremgår det i øvrigt, at det specifikke farvegengivelsesindeks for stærkt røde objekter er meget lavt og kun i to tilfælde over 50. Det specifikke Ra-indeks for varm rød er normalt lavt for traditionelle udladningslyskilder, som for eksempel lysstofrør, men det er bemærkelsesværdigt, at den røde farve gengives så dårligt, som tallene viser.

For to af de undersøgte armaturer, en arbejdslampe og en spot, var der mulighed for at variere farvetemperaturen.

For arbejdslampen blev farvereguleringen vurderet til at fungere dårligt. Arbejdslampen havde samtidig et relativt højt Ra-indeks, men desværre også en stor kromatisk afvigelse, hvilket betyder at beregning af Ra-indekset ikke kan anses for at være retvisende. Den subjektive vurdering af farvegengivelsen var dog, at denne er rimelig.

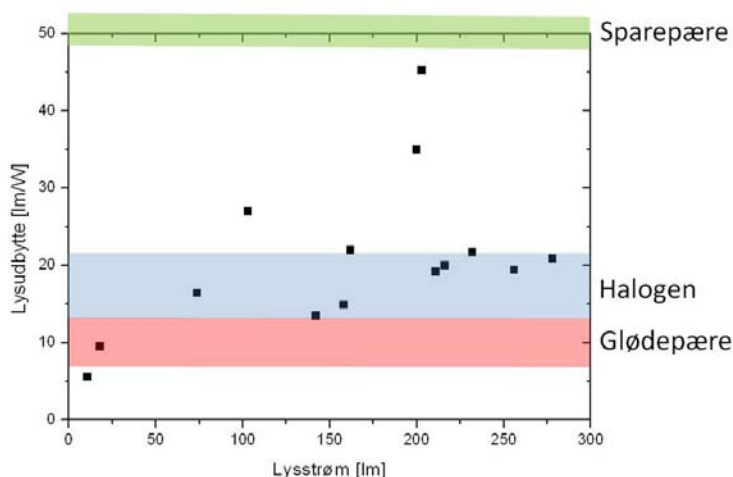
For spotten fungerede farvejusteringen godt. Spotten havde imidlertid et meget lavt Ra-indeks for både varmt og koldt lys. Den kromatiske afvigelse lå indenfor grænsen for, hvornår Ra-indekset kan anses for retvisende, men den subjektive vurdering var også her, at farvegengivelsen faktisk var rimelig.

Det er ikke muligt at slutte noget præcist ud fra de to tilfælde. Dog viser eksemplet med al tydelighed, at den gældende metode til bestemmelse af farvegengivelse ikke er velegnet til LED-belysning.

For ca. halvdelen af de undersøgte LED-lyskilder er der desuden observeret synlige farvetemperaturvariationer henover den lysplet, som lyset fra lyskilden aftegner på en hvid flade.

Lysudbytte

De undersøgte LED-lyskilders lysudbytte varierer lige fra at ligge lavere end glødepæren (5 lm/W) til at nærme sig effektiviteten for en sparepære (45 lm/W). Men som det fremgår af figur 10.2, er effektiviteten for stort set alle de målte og vurderede erstatningslyskilder med LED væsentligt under både lysstofrør og sparepærer og mange på niveau med halogenlyskilder.



Figur 10.2 Sammenhæng mellem lysudbytte og lysstrøm samt markering af typisk lysudbytte for traditionelle lyskilder

Lysmængde

Lysstrømmen fra de undersøgte erstatningslyskilder varierer, men lyskilderne giver generelt for lidt lys, typisk mellem 1/3 og 1/2 af hvad vi er vant til fra en 60 W glødepære.

Af praktiske årsager er der ikke målt lysstrøm for alle undersøgte armaturer. For de armaturer, hvor lysstrømmen er blevet målt, gælder ligeledes, at lysstrømmen ikke er særlig høj sammenlignet med traditionelle lyskilder. For armaturer, hvor lysstrømmen ikke er blevet målt, er målt belysningsstyrker og her er vurderingen, at lysmængden er rimelig i forhold til anvendelsen.

Lysfordeling

For en del af erstatningslyskilderne er der observeret asymmetriske, ikke rotationssymmetriske lysfordelinger, hvilket ikke nødvendigvis er problematisk. Hvis man studerer lysfordelingen for traditionelle lyskilder, som for eksempel reflektorhalogenlamper, er billedet i mange tilfælde det samme.

Bedømmelsen af lysfordelingen for de undersøgte lyskilder og armaturer varierer meget og fordeler sig stort set ligeligt mellem god og dårlig.

Dimensioner og design

LED-lyskilderne til erstatning af reflektorhalogenlamper er i en række tilfælde længere end en standard reflektorhalogen, hvilket betyder at de rager ud af armaturet.

Det er almindeligt, at ny belysningsteknologi anvendes på linje med den traditionelle, fx til erstatningslyskilder, hvilket også var tilfældet med sparepæren. For LED vil det imidlertid være hensigtsmæssigt at tænke i nye armaturudformninger og måder at belyse på.

Flimmer

LED-lyskilder kan give anledning til flimmer, hvilket også har været tilfældet for de undersøgte lyskilder og armaturer, hvoraf flere flimrede under opvarmning.

Skyggetegning

Skyggetegningen af objekter, der belyses, har stor betydning for vores mulighed for at opfatte objektet i forhold til dets omgivelser.

I de tilfælde, hvor lyset udsendes fra to eller flere klynger af lysdioder i lyskilden eller armaturet, resulterer dette ofte i multiple skygger fra de objekter der belyses, hvilket i mange tilfælde virker generende.

Dæmpning

Selvom LED som teknologi er velegnet til dæmpning, gav kun få af de undersøgte armaturer mulighed for dæmpning, ligesom ingen af lyskilderne var beregnet til dæmpning.

For de armaturer, der kunne dæmpes, fungerede dæmpningen rimeligt bortset fra en enkelt arbejdslampe, hvor lysstyrkedæmperen vurderedes at fungere dårligt.

Betjening

Indstilling, funktion og betjening af de undersøgte arbejdslamper med LED vurderes forskelligt. For 3 af de 5 arbejdslamper fungerer både indstilling, afbryder mv. rimeligt eller godt, mens 2 af de 5 vurderes at fungere dårligt på dette punkt.

Varme

Problemer med varme i relation til betjening af armaturer, vurderes enten neutralt eller positivt. Det samme gælder de undersøgte erstatningslyskilder.

Målinger af erstatningslyskildernes temperatur i drift viser imidlertid at lyskilderne bliver temmelig varme, hvilket kan give anledning til problemer i andre henseender som kort levetid, brændte fingre brandfare mv.

Støj

Som det fremgår af kap. 9 giver flere af erstatningslyskilderne anledning til støj eller hyletoner, som vil være generende, når man bliver opmærksom på den. Hyletonen kommer fra den elektronik, der driver lyskilden. Samtidig har en del af erstatningslyskilderne indbygget ventilator, som også giver anledning til støj og kan virke generende.

Der er ikke konstateret generende støj fra de undersøgte armaturer.

11. Vurdering af udelys med LED-lyskilder

Som en del af projektet blev en række udendørs belysningsanlæg med LED besigtiget og vurderet af et ekspertpanel på i alt 12 deltager inkl. projektgruppen. Panelet bestod af eksperter fra udvalgte belysningsleverandører, Eksperimentarium, Kunstakademiets Arkitektskole, Elsparefonden samt SBI, DTU Fotonik og Dansk Center for Lys. Vurderingen fandt sted i marts måned 2008 i tidsrummet kl. 19-21, dvs. efter mørkets frembrud.

Da der ikke findes mange udendørs belysningsanlæg med LED, var kriteriet, at anlægget var tilgængeligt og beliggende i Storkøbenhavn. Derudover skulle de anvendte armaturer gerne komme fra forskellige leverandører. De 5 anlæg var:

1. Tunnelbelysning med 2 forskellige armaturer (Louis Poulsen og Targetti) i Albertslund
2. Prøveopstilling med A-Lygten (Philips) på stiforløb i Albertslund
3. Kastrup Søbad (ERCO)
4. Ny belysning på Højbro Plads (Philips)
5. Lys på Rytterstatuen med Absalon på Højbro Plads (Philips)

Til vurdering af de 5 anlæg blev udviklet et spørgeskema (se bilag III). Spørgsmålene, som var inddelt i 6 kategorier og blev besvaret ved at markere på en linje. Vurderingerne er efterfølgende konverteret til point mellem 1 og 10. De 6 kategorier er:

1) Lysets kvalitet

Hvordan passer armaturets lysfordeling til opgaven?

Giver belysningen anledning til blænding?

Giver belysningen anledning til generende eller på anden måde upassende skyggedannelser på bygninger og belægning?

Er lysfarven passende?

Hvor god er farvegengivelsen?

2) Sikkerhedshensyn - tryghed - tilgængelighed

Bidrager belysningen til, at borgerne trygt og sikkert kan færdes?

3) Arkitektonisk kvalitet i plan- og opgaveløsning

Hvordan fungerer anlæggets samlede arkitektoniske udtryk i byrummet?

Hvordan fungerer lyssætningen og armaturernes placering i forhold til uderummets kvaliteter og karakteristika?

4) Designkvalitet i armaturerne

Hvordan er samspillet mellem armaturernes design og omgivelserne?

5) Vedligeholdelse

Er der forhold ved armaturet eller udførelsen af anlægget, der gør, at anlægget kræver mere eller mindre vedligeholdelse end lignende anlæg med andre/traditionelle lyskilder?

6) Lysudbytte set i forhold til energiforbrug

Er energiforbruget og driftsomkostningerne fornuftige set i forhold til anlæggets funktion og øvrige kvaliteter?

Grundlaget for vurdering af spørgsmålet i sidste kategori *Lysudbytte i forhold til energiforbrug* viste sig at være for spinkelt og vurderingen af dette indgår derfor ikke i resultaterne, som findes i bilag IV.

Beskrivelser af de 5 anlæg samt resultater af vurderinger i kategorierne 1-5 gennemgås på de følgende sider.

12. Resultater af udelysvurderinger

I det følgende findes beskrivelser af de 5 besøgtede udelysanlæg samt resultater af vurderingerne, som tager udgangspunkt i oversigterne i bilag IV.

Tunnelbelysning i Albertslund

Loftarmatur fra Louis Poulsen
Lighting bestykket med 6 stk. LED.
Effektforbrug: 10,5W inkl. driver
Samlet lysstrøm: Ca. 360 Lumen
Lysudbytte: 34 lm/W
Farvetemperatur: 5500K
Farvegengivelse: Ra 70
Forventet LED levetid: min. 40.000 timer.

Vægarmatur med LED fra Targetti



Foto: Steen Traberg-Borup

Denne tunnelbelysning i Albertslund er udført med 2 forskellige armaturer fra hhv. Louis Poulsen og Targetti. Begge de anvendte armaturer er prototyper og de to typer armaturer er placeret med relativt stor afstand på hhv. loft og væg, hvilket gør det muligt at vurdere armaturerne hver for sig som 2 forskellige løsninger.

Figur 12.1 På de to billeder til højre ses hvordan hhv. væg- og loft-belysningen i tunnelen gengiver den samme violette farve

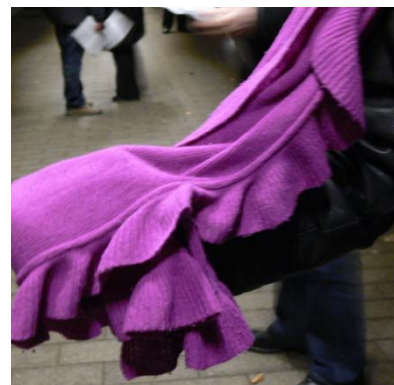


Foto: Steen Traberg-Borup

Belysningsløsning i loft:

Loftarmaturerne er påbygget og placeret i en lang række på tunnelens loft umiddelbart over tunnelens gangareal.

Når der ses bort fra at loftarmaturerne i nogen grad giver anledning til blænding, vurderes lysets kvalitet, (lysfordeling, blænding, skyggedannelse, lysfarve og farvegengivelse) overvejende positivt, specielt vurderes lysfarven at være passende. Én kommenterer desuden, at loftarmaturerne giver et fint strejf på tunnelens væg.

Loftarmaturet tegner en koncentreret lysstribe på tunnelens gangareal, hvilket nogle paneldeltagere mener giver en god virkning, fordi det guider dem der passerer tunnelen, mens andre mener, at der burde være flere rækker armaturer, så lyset blev fordelt bedre i tunnelen.

Hvis man går direkte under armaturerne, giver belysningen anledning til blænding og en trykkende fornemmelse.

Lysniveauet er højt og belysningen vurderes i høj grad at bidrage til at borgerne trygt og sikkert kan færdes i tunnelen. Den koncentrerede lysstribe kan dog opfordre nogle knallertkørere til at køre stærkere.

Belysningsløsningen er passende diskret og den arkitektoniske kvalitet i løsningen vurderes at være god. Dog påpeges det, at armaturet er følsomt overfor selv små vipninger og skævheder.

Samspillet mellem armaturets design og omgivelserne vurderes positivt.

Panelet er ikke helt enige hvad angår forhold omkring vedligeholdelse. Størstedelen mener dog ikke, at armaturet eller anlægget kræver mere vedligeholdelse and lignende anlæg med traditionelle lyskilder. En enkel fremhæver fordelene ved LED'ernes lange levetid.

På en skala fra 1-10 har belysningen som helhed fået karakteren 7,1, hvor 10 er bedst.

Belysningsløsning på væg:

Vægarmaturerne er placeret i en lang række på tunnelens ene sidevæg.

Samlet set vurderes lysets kvalitet at ligge omkring middel. Lysfordeling, blænding, lysfarve og farvegengivelse er hverken god eller dårlig. Armaturet giver dog ikke anledning til generende skyggedannelser, hvilket er et plus. Enkelte bemærker, at lyset fra armaturet er koldt og har et grønligt skær.

Til trods for at placeringen af vægarmaturerne næppe er optimal, vurderes belysningen fint i forhold til at bidrage til, at borgerne trygt og sikkert kan færdes i tunnelen.

Vurderingen af både arkitektonisk og designmæssig kvalitet af belysningsløsningen og armaturet er lidt over middel. Enkelte paneldeltagere bemærker, at armaturet virker billigt, voldsomt og blændende og at der er for meget plastik og for lidt beskyttelse.

Igen er panelet ikke helt enige, hvad angår forhold omkring vedligeholdelse. Størstedelen mener dog ikke, at armaturet eller anlægget kræver mere vedligeholdelse and lignende anlæg med traditionelle lyskilder, ligesom fordelene ved LED'ernes lange levetid fremhæves.

Da panelet ikke var i besiddelse af tekniske data for vægarmaturerne, indgår energiforhold omkring belysningsløsningen ikke i vurderingen.

På en skala fra 1-10 har belysningen som helhed fået karakteren 6,2.

Stibelysning i Albertslund

A-lygten fra Philips bestykket med
18 stk. LED K2
Effektforbrug: 71W
Samlet lysstrøm: 1440lm
Lysudbytte: 20 lm/W
Farvetemperatur: 3000K
Farvegengivelse: Ra 80

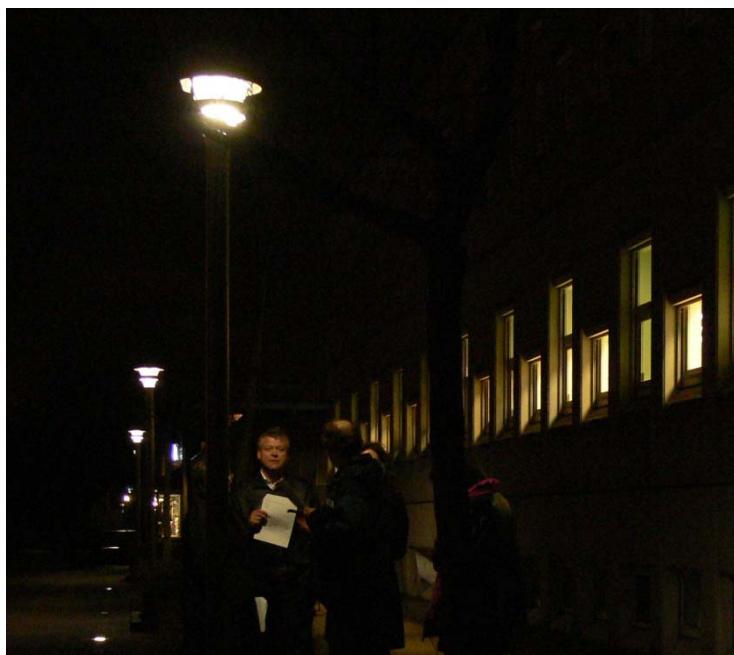


Foto: Steen Traberg-Borup

Stibelysningen i Albertslund er udført med en prototype af en parklygte fra Philips, som der fortsat arbejdes på (udviklet i PSO projektet 339-52: Udvikling af et nyt miljø- og energirigtigt armatur til park-, sti- og torvebelysning i Albertslund Kommune). Parklygterne er placeret med på ca. 3,2 meter høje master. Afstanden mellem masterne er ca. 12 meter.

Armaturet giver anledning til blænding, specielt i 3-4 meters afstand, hvilket mange finder problematisk og mener bør afhjælpes, fx ved at anvende en afskærmning der reducerer de skarpe luminansovergange. Hvis man ser bort fra forhold omkring blænding, vurderes lysets kvalitet at være god og ligge lidt over middel. Enkelte bemærker, at armaturet giver anledning til hårde skygger, mens andre mener, at lysfarven er for kold. Farvegengivelsen vurderes at ligge lavere end for belysningen i tunnelen.

Belysningen vurderes kun i nogen grad at bidrage til at borgerne tryghed og sikkerhed, hvilket primært skyldes blænding. Flere kommenterer i øvrigt belysningens regelmæssighed og bemærker, at lyset ikke er rettet langs gangstien. På langs af gangstien kunne der passende have været mere lys. Her spiller afstanden mellem masterne en vigtig rolle i forhold til at belysningen skal bidrage til at skabe tryghed.

Armaturet er flot og giver et flot lys på afstand. Belysningens arkitektoniske kvalitet vurderes at være god og løsningen ville være optimal uden blænding. Dog bemærkes det, at den oplyste flade i armaturet formentlig give anledning til blændingsproblemer, hvis der var lejligheder i stueplan.

Med en vis spredning vurderes designkvaliteten af armaturet samlet set at være god. Én bemærker at armaturet virker lækkert, mens en anden mener at armaturet virker billigt og for plastikagtigt i forhold til naturomgivelser.

Forhold omkring vedligeholdelse af armaturet vurderes positivt; armaturet kræver ikke mere vedligeholdelse end lignende anlæg med traditionelle lyskilder.

A-lampens effektivitet er pt. ikke i top, men da armaturet ikke er færdigudviklet forventes dette at blive forbedret væsentligt.

På en skala fra 1-10 har belysningen som helhed fået karakteren 6,4.

Belysning af Kastrup Søbad

Armaturer med LED fra ERCO

Effektforbrug: 0,7W inkl. driver

Samlet lysstrøm: 15 lumen

Lysudbytte: 21 lm/W

Farvetemperatur: 5500K

Farvegengivelse: Ra 80



Foto: Steen Traberg-Borup

Belysningen på Kastrup Søbad består dels af lys på søbadets skærmende vægge, dels af ledelys med LED på den bro der leder ud til selve søbadet. Ved denne besigtigelse var kun ledelyset tændt og kunne bedømmes. Broen ud til selve søbadet er i to niveauer og ledelyset er monteret på den laveste og sender strejflys op på den lodrette flade mellem de to niveauer.

Hvis man befinder sig på det øverste af de to broniveauer, giver belysningen anledning til blænding i ekstrem grad, hvilket størstedelen af panelet har bemærket – mange mener at belysning er decideret farlig i de positioner, hvor der forekommer blænding. Af samme grund får belysningsløsningen bundkarakter, når det gælder forhold omkring blænding. Samlet set vurderes lysfarven at være god, dog mener nogle, at lyset er for koldt eller har et grønligt skær. Både lysfordeling, skyggeforhold og farvegengivelse vurderes at være under middel.

Forhold omkring sikkerhed og tryghed vurderes ligeledes at ligge under middel og flere mener at lyset snarere er utrykt end trykt. En enkelte mener dog at sikkerheden er glimrende og giver belysningen topkarakter, en anden bemærker at den generelle belysning er OK, men at blændingen giver farlige situationer.

Belysningsløsningen har et meget flot udtryk og den arkitektoniske kvalitet vurderes at være god.

En mener, at belysningen skal ses i skumring i stedet for i mørke. Armaturerne kunne med fordel være placeret så de lyste nedad og dermed ikke gav anledning til blænding. Også samspillet mellem design vurderes at være godt, når der ses bort fra blænding. Det var svært at vurdere forhold omkring vedligeholdelse i mørket og kun ca. halvdelen af panelet har svaret på dette spørgsmål. Forhold omkring vedligeholdelse vurderes at ligge under middel.

Selvom lysudbyttet for de anvendte armaturer er lavt set i forhold til anvendelse af traditionelle lyskilder, bemærkes det, at man får rigtig meget lys i forhold til det samlede effektbehov. Når der ses bort fra forhold omkring blænding er belysningsløsningen et glimrende eksempel på, hvor LED med fordel kan benyttes frem for traditionelle lyskilder.

På en skala fra 1-10 har belysningen som helhed fået karakteren 5,0.

Rytterstatuen

4 stk. Beamer LED Spot og 60 meter LED String fra Philips
Effektforbrug i spot: 4W inkl. Driver
Effektforbrug i LED String: 220W inkl. driver
Farvetemperatur: 2700-6300K
Forventet LED levetid: min 50.000 timer



Foto: Steen Traberg-Borup

Selve Rytterstatuen med Absalon bliver belyst af i alt 4 LED-spots, som er monteret på de omkringliggende bygninger. Rytterstatuens sokkel bliver belyst af rækker af lysdioder placeret på statuens sokkel, så de belyser soklen oppefra og ned.

Kvaliteten i belysningen får en blandet vurdering af panelet. Lysfordeling og forhold omkring blænding vurderes at være gode, ligesom skyggedannelse også får en overvejende positiv vurdering. Dog mener flere, at der er for meget lys på hestens bug i forhold til hoved på mand og hest, ligesom det bemærkes, at hestens skygge kan ses på de omkringliggende bygninger og at lyset fra de fire spots blænder og kan give anledning til gener for de omkringboende. Både lysfarve og farvegengivelse vurderes at være

middel. Statuens irgrønne farve gengives flot, lysfarven på rytteren er fin, mens lysfarven på soklen med fordel kunne være lidt varmere.

Ikke alle har vurderet forhold omkring sikkerhed og tryghed, formentlig fordi det ikke er særlig relevant for denne belysning. Samlet set vurderes belysningen bidrag til sikkerhed og tryghed at ligge under middel. En bemærker dog, at den belyste Rytterstatue er et pejlemærke på lidt længere afstand af Højbro Plads.

Den arkitektoniske kvalitet i belysningen får en overvejende positiv vurdering; den passer godt ind i omgivelserne uden at være markant og belysningen er fint afdæmpet. Dog bemærker én at man skal beslutte sig for om det er statuen eller soklen der skal belyses – alternativt må man få belysningen til at hænge bedre sammen.

Vurderingen af designkvaliteten ligger kun en smule over middel, hvilket primært skyldes direkte indkig til de hvide og orange dioder, der belyser soklen (disse er efterfølgende blevet afskærmet).

Selvom disse lysdioder er nemme at komme til og har lang levetid, vurderes forhold omkring vedligeholdelse af belysningen at ligge omkring middel.

I forhold til energieffektiviteten mener flere at det er imponerende at de 4 spots kan lyse så meget op - traditionelle lyskilder ville slet ikke kunne have løftet denne opgave. Her får man meget lys med lavt energiforbrug.

På en skala fra 1-10 har belysningen som helhed fået karakteren 6,2.

Højbro Plads

Uplights fra Philips bestykket med 6 stk. K2 LED
Effekttag pr. armatur: 20W inkl. driver



Foto: Steen Traberg-Borup

Belysningen på Højbro Plads består dels af gammeldags parklygter med ny indmad, dels af uplights med LED, som belyser pladsens rækker af træer. I denne sammenhæng vurderes alene de 44 uplights.

I forhold til lysets kvalitet får forhold omkring lysfordeling og skyggedannelse en positiv vurdering, mens lysfarve og farvetemperatur ligger under middel. Én bemærker, at der er forvirring på pladsen mht. lysfarven, en anden at lysets farve støder sammen med resten af belysningen. Lysfarven er relativt kold og svær at vurdere uden blade på træerne. Forhold omkring blænding ligger langt under middel, hvilket ligeledes kan skyldes fravær af blade på træerne. Flere bemærker, at belysningen bør vurderes på en årstid, hvor der er blade på træerne og foreslår at lyset dæmpes om vinteren. Hvor meget belysningen blænder, afhænger af positionen, og én bemærker, at der ikke forekommer blænding, når man går på pladsen, men kun når man går henover dem.

Vurderingen af belysningens bidrag til sikkerheden ligger lige under middel. Én mener at belysningen giver et godt tilskud til eksisterende belysning, specielt om sommeren, hvor der er udeservering på pladsen.

Vurderingen af den arkitektoniske kvalitet er overvejende positiv og ligger over middel. Som for belysningen på Rytterstatuen bliver det bemærket, at naboerne må være generet af belysningen.

Kold hvide LED kolliderer desuden med det varme lys i de gamle lamper.

Designkvalitet af armaturerne. Også designkvaliteten vurderes at ligge over middel og én bemærker at armaturerne passer godt til pladsen.

Vurderingen af forhold omkring vedligeholdelse er meget spredt. Samlet set vurderes den at ligge omkring middel. En enkelt har bemærket, at armaturerne er meget udsatte på grund af den store mængde trafik i området.

På en skala fra 1-10 har belysningen som helhed fået karakteren 5,3.

13. anbefalinger

De undersøgte lyskilder og armaturer er for størstedelens vedkommende 1. generationsprodukter. 2. generation er enten på vej eller allerede på markedet, hvilket allerede har givet visse forbedringer. Der er imidlertid ingen tvivl om, at lyskvaliteten stadig er meget svingende. Teknologien er stadig i sin barndom og data for de mange forskellige produkter på markedet er generelt forskelligartede og ofte upålidelige.

Samtidig kommer der hele tiden nye leverandører til, hvilket ikke øger ensretningen i forhold til for eksempel dokumentation.

En af de væsentlige grunde til at vælge LED til belysning er den meget lange levetid. Levetid opgives imidlertid meget forskelligt eller under ukendte betingelser, hvilket bør afhjælpes.

Før man vælger LED til belysning, er det er uhyre vigtigt at specificere krav til lysets egenskaber og kvalitet, herunder krav til farvetemperatur, farvegengivelse, levetid, lysmængde, energiforbrug. Derfor er det helt afgørende at der etableres standarder for, hvordan disse parametre skal opgives og dokumenteres.

Derudover bør problemer med for små lysmængder, multiple skygger og støj afhjælpes, ligesom LED belysning skal være mere effektiv, før den for alvor kan konkurrere med de traditionelle belysningsformer, vi anvender i dag.

14. Hvor er lysdioder til belysnings på vej hen?

Lysdioder til belysning er på mange måder fremtidens lyskilde. Belysning med lysdioder har allerede vist sine kvaliteter på en række områder og fortsætter udviklingen som hidtil, vil lysdioderne utvivlsomt blive et reelt alternativ til de fleste af de eksisterende lyskilder som findes i dag. Men at tro, at lysdioderne vil udkonkurrere alle de eksisterende lyskildetyper, er utopi. Lysdioderne vil i de næste 10 år blive et mere og mere seriøst alternativ, som skal overvejes til de fleste løsninger, men det bliver lyskvalitet, pris, levetid og elforbrug der, afgør hvilken løsning der er den optimale og dermed bør anvendes.

Lysdioderne vil i løbet af de næste 5-10 år kunne konkurrere med en stor del af de generelle belysningsløsninger, men der vil gå mange år, før lysdioder bliver et simpelt og billigt standardprodukt, som vi kender det fra lysstofrør, sparepærer, halogenlyskilder mm.

LED har størst potentiale til hurtig indtrængning i følgende områder:

Farvet lys

- Trafiksignaler
- Exit skilte
- Reklameskilte
- Facade-effektbelysning

Indendørs anvendelser (hvidt lys)

- Downlights og indbygningsspot
- Kølemontre
- Butiksmontre
- Arbejdslamper
- Køkkenskabe
- Effektbelysning

Udendørs anvendelser (hvidt lys)

- Park- og stibelysning
- Trin og markeringsbelysning
- Effektbelysning
- Vejbelysning

Et af de store spørgsmål, når man taler om lysdioder, er, hvor effektive kan de blive?

I 2009 var det muligt at købe rådioder, som under ideelle forhold giver 80-100 lumen/watt. I virkelige omgivelser i et armatur bliver den samlede effektivitet omkring 30-40 % lavere, hvilket vil sige, at det er muligt at skabe lysdiodeløsninger med op til ca. 60 lumen/W. Disse data er typisk for kolde hvide dioder med et favegengivelses-indeks omkring 75.

Ønsker man farvetemperatur på 2700 K og en farvegengivelse over 80, er situationen en anden. Her er den samlede effektivitet ofte under det halve, svarende til 30 lumen/W.

Den aktuelle energibesparelse afhænger således af kravene til farvegengivelse, farvetemperatur og den ønskede lysmængde.

I dette projekt er set erstatningslyskilder med E27 fatning med 5 lumen/watt, hvilket giver meget få anvendelsesmuligheder når fokus er på elbesparelser - her kan selv en glødepære være med.

Fremtiden for LED deler sig i to. Erstatningslyskilder med standardsokler til erstatning af glødepærer, halogenlyskilder og sparepærer. Her findes i dag mange produkter, hvor de fleste LED-produkter har en spotlignende lysfordeling og derfor egner sig bedst til udskiftning af halogenspot. De fleste af de typer, som dette projekt har set på, kan ikke matche halogenspots hvad angår lysmængde og farvekvalitet, men det vil ændre sig i løbet af en årrække.

Erstatningslyskilder til erstatning af glødepærer med E27 og E14 gevind vil også udvikle sig kraftigt. Her er der problemstillinger med at få de retningsbestemte lysdioder placeret og afskærmet, så de bliver rundstrålende som glødepæren.

Den anden retning er dedikerede belysningsløsninger som fra grunden er udviklet med LED. Dette område vil udvikle sig voldsomt og her er det største potentiale på lang sigt. Både med hensyn til lyskvalitet og elbesparelser.

15. Konklusion

I dette projekt er udviklet kriterier til visuel vurdering af LED-lyskilder og -armaturer til indendørs brug samt kriterier til vurdering af udendørs belysningsanlæg med LED. Projektets resultater viser med al tydelighed, at netop den visuelle vurdering er et vigtigt element i en samlet vurdering af lyskilder, armaturer og anlæg med LED.

Projektet viser også, at spredningen i den subjektive vurdering af LED-lyskilder og armaturer er stor, hvilket er normalt, når der er tale om belysning. Tidligere erfaringer viser, at der generelt er store forskelle på folks præferencer, når det gælder belysning.

De udviklede vurderingskriterier er gode og kan fremover benyttes til vurdering af LED-belysning, ligesom en stor del af kriterierne er brugbare til vurdering af belysning med andre typer lyskilder.

I projektet er resultatet af de subjektive vurderinger holdt op mod resultater af lystekniske målinger. Det har vist sig, at der ikke i alle tilfælde er en klar sammenhæng mellem det målte og det vurderede, specielt når det kommer til måling og vurdering af lysets farveegenskaber. Man kan derfor håbe på, at LED teknologiens indtog på belysningsmarkedet vil sætte skub i udviklingen af en ny og bedre metode til bestemmelse af lyskilders evne til at gengive farver.

Selvom markedet for LED-belysning er broget, er der ingen tvivl om at LED-teknologien er meget velegnet til mange belysningsformål.

Denne undersøgelse viser, at der findes erstatningslyskilder med LED på markedet, som egner sig til erstatning af både glødepærer og halogenspots. Det kan imidlertid være svært for den enkelte forbruger at finde frem til netop disse lyskilder.

Undersøgelsen viser også, at der findes gode armaturer, selv om det også her kan være svært at skille godt fra skidt, hvilket til dels skyldes manglende standarder for, hvordan farveegenskaber, levetid mv. skal opgives og dokumenteres.

Endvidere viser resultaterne af vurdering af udelys med LED, at belysning med LED er velegnet til mange typer udendørs belysning, både når det gælder effektbelysning og egentlig orienteringslys og belysning af for eksempel stier.

I løbet af den periode, hvor dette projekt er gennemført, er udviklingen af LED til belysning gået meget stærkt og kvaliteten af både lyskilder og armaturer med LED har flyttet sig væsentligt.

LED er ikke plug and play teknologi og endnu ikke svaret på alle lysbehov. Udbredelse af LED kræver viden og information til brugerne.

Der er ingen tvivl om at alle, der beskæftiger sig med udvikling af LED til belysning har fokus rettet mod forbedring af en eller flere af de parametre, der er væsentlige for at LED til belysning bliver en succes.

Links

Philips Lys	www.philips.dk
Professional Lamps Scandinavia	www.professional-lamps.dk
Danled	www.danled.dk
LedTech	www.ledtech.dk
Højager Belysning	www.hojagerbelysning.dk
Interstudio	www.interstudio.dk
Luxo	www.luxo.dk
Light Makers	www.lightmakers.dk
TL Lyngsaa	www.tllyngsaa.dk
Osram	www.osram-os.com www.led.dk
Philips Lumileds	www.philipslumileds.com
Elsparefonden	www.elsparefonden.dk/LED
DTU Fotonik	www.risoe.dk
SBi, Aalborg Universitet	www.sbi.dk
Dansk Center for Lys	www.centerforlys.dk

Armaturl / lampe type:

Dato / kl.:

Lyset fra lampen

Umiddelbart opleves lyset fra lampen (i normal position) som:

Ikke relevant / ved ikke

X

Kommentar

		-3	-2	-1	0	1	2	3			
1	Ubehageligt								Behageligt	<input type="checkbox"/>	
2	Kedeligt								Interessant	<input type="checkbox"/>	
3	Blændende								Ikke-blændende	<input type="checkbox"/>	
4	Farvet								Ikke-farvet	<input type="checkbox"/>	Hvis farvet, angiv farve: _____
5	Koldt								Varmt	<input type="checkbox"/>	
6	Flimrende								Ikke-flimrende	<input type="checkbox"/>	
7	Dårlig farvegengivelse								God farvegengivelse	<input type="checkbox"/>	
8	Dårlig formtegning læsning								God formtegning	<input type="checkbox"/>	
9a	Dårlig kontrastgengivelse skrivning								God kontrastgengivelse	<input type="checkbox"/>	Hvis dårlig, angiv hvorfor/hvordan: _____
9b	Dårlig kontrastgengivelse tastatur								God kontrastgengivelse	<input type="checkbox"/>	
9c	Dårlig kontrastgengivelse								God kontrastgengivelse	<input type="checkbox"/>	Hvis dårlig, angiv hvorfor/hvordan: _____
10	Dårlig lysfordeling								God lysfordeling	<input type="checkbox"/>	
11	Synlig farvevariation								Ingen farvevariation	<input type="checkbox"/>	Hvis synlig, angiv hvorfor/hvordan: _____
12	Generende reflekser i bordet								Ingen reflekser i bordet	<input type="checkbox"/>	
13	Generende reflekser i edb- skærm								Ingen reflekser i edb- skærm	<input type="checkbox"/>	

Lampen vurderes fra normal siddehøjde ved hævet bord

14	Blændende								Ikke blændende		
----	-----------	--	--	--	--	--	--	--	----------------	--	--

Armatur / lampe type:

Lampens indstilling og funktion

Indstilling og funktion af lampen forekommer:

		-3	-2	-1	0	1	2	3		
21	Besværlig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nem	<input type="checkbox"/>
22	Uhensigtsmæssig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hensigtsmæssig	<input type="checkbox"/>
23	Flytning til ønsket position på bord er svært	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Flytning til ønsket position på bord er nemt	<input type="checkbox"/>

Betjening af lampen

Ved betjening af lampen, er det min indtryk, at den

		-3	-2	-1	0	1	2	3		
24	Dårlig afbryder	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	God afbryder	<input type="checkbox"/>
25	Generende varm	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ikke generende varm	<input type="checkbox"/>
26	Dårlig lysstyrke-dæmper	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	God lysstyrke-dæmper	<input type="checkbox"/>
27	Dårlig farvedæmpning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	God farvedæmpning	<input type="checkbox"/>

Æstetik og udseende

Mit umiddelbare indtryk af lampen er, at den er:

		-3	-2	-1	0	1	2	3		
28	Uttalende	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tiltalende	<input type="checkbox"/>
29	Ikke funktionel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Funktionel	<input type="checkbox"/>
30		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

Andre kommentarer

Bilag II: Uddybende beskrivelse af lystekniske målinger

I dette afsnit beskrives de lystekniske målinger, som er foretaget for en række LED-lyskilder og -armaturer i projektet. Målingerne er udført i LED LYS Laboratoriet hos DTU Fotonik på Risø. LED LYS Laboratoriet er opbygget omkring spektroradiometriske målinger af lyskilder, hvor der benyttes fiberkoblede integrerende kugler til opsamling af lyset fra lyskilden. Det gør det muligt at måle den samlede strålingsstrøm fra en lyskilde, og samtidig måle dens spektrale fordeling. Ud fra den absolutte spektrale effektfordeling kan en række fotometriske og kolorimetriske parametre som lysstrøm, farvekoordinater, korreleret farvetemperatur og Ra-indeks beregnes. Endvidere kan lyskildens effektivitet beregnes ud fra en måling af lyskildens effektforbrug.

Da LED-erstatningslyskilderne normalt ikke er rundstrålende som en glødepære, men derimod kun udstråler i et halvrum, er det muligt at måle den totale lysstrøm i en simpel fremad-flux-opstilling. Her placeres LED-lyskilden i en portåbning med en diameter på 76 mm i væggen på kuglen, som har en diameter på 1 m, se figur 1. For rundstrålende lyskilder som glødepærer er det nødvendigt at placere lyskilden i centrum af den integrerende kugle.

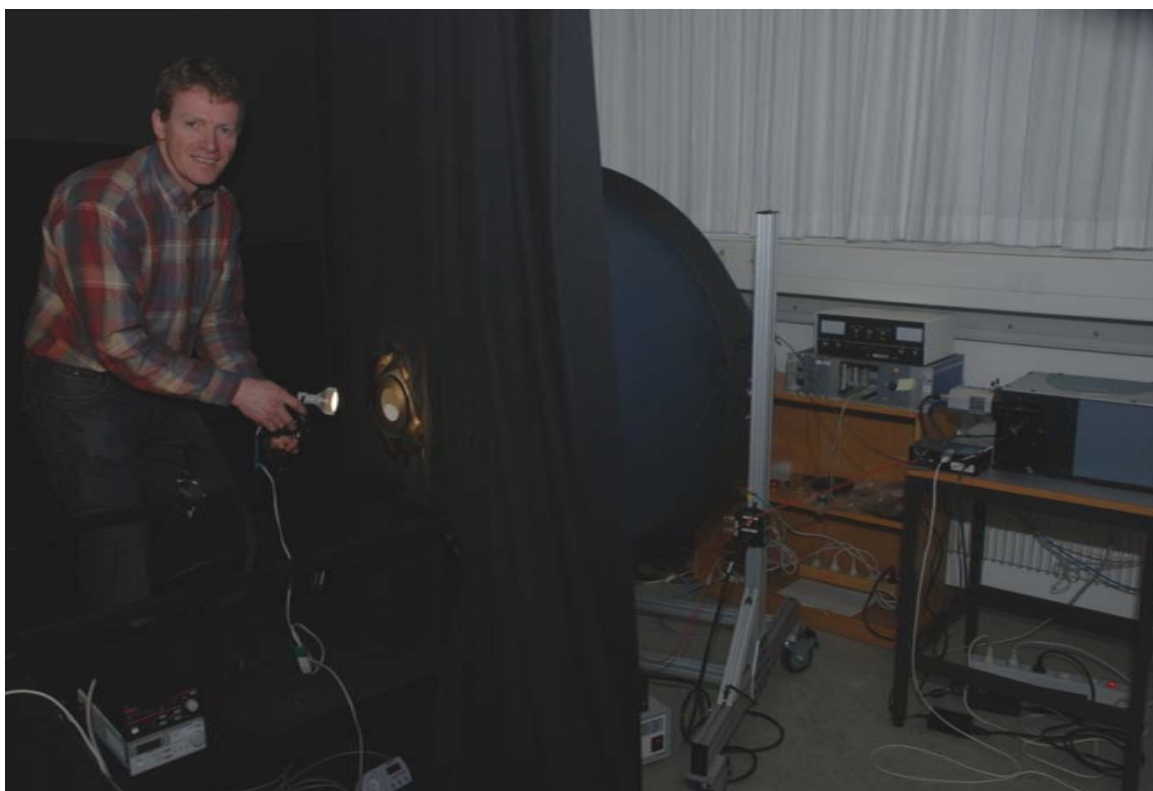


Fig. 1 Foto af måleopstilling med 1 m integrerende kugle. I fremad flux målingen placeres LED erstatningslyskilden således at den lyser ind i kuglen igennem portåbningen.

Der er desuden foretaget målinger på en række LED-armaturer, som det ikke har været muligt at måle den totale udstråling fra. I disse tilfælde er den spektrale effekt fordeling målt i en given afstand fra LED armaturet med en lille integrerende kugle med en port-

åbning på 10 mm i diameter, se figur 2. Herudfra kan irradians og belysningsstyrke (illuminans) beregnes. Endvidere kan en række parametre som farvekoordinater, korreleret farvetemperatur og Ra-indeks beregnes.

For LED-arbejdslamper er der målt i en afstand på ca. 50 cm fra lampehovedet svarende til en normal indstilling af armaturet på bordet. På figur 2 er vist en sådan opstilling, hvor der måles i en række punkter for at undersøge belysningsstyrke-fordelingen på bordet.

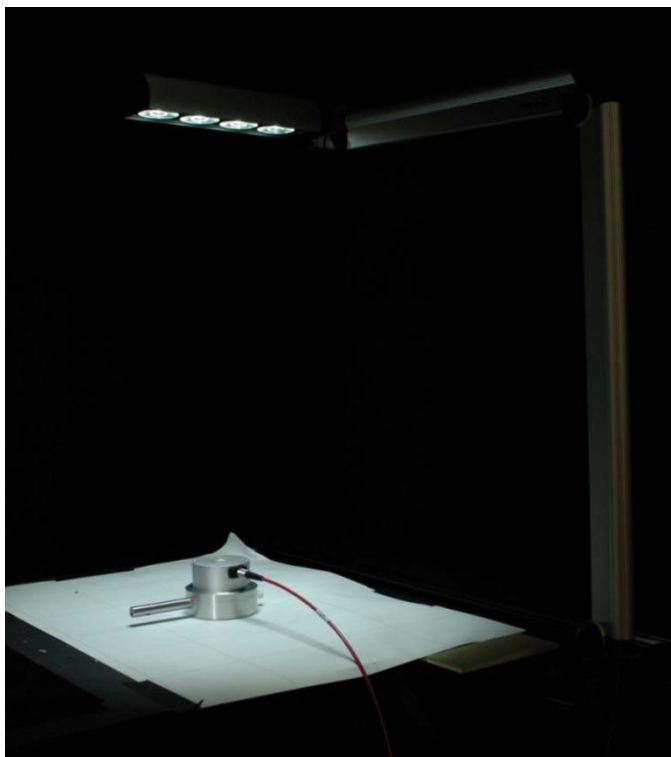


Fig. 2 Måling af belysningsstyrke og spektralfordeling af lyset fra en LED arbejdslampe.

For enkelte armaturer er også målt fordelingen af den korrelerede farvetemperatur over den belyste flade, da den har varieret så meget at det var synligt.

Da der afsættes en del varme i LED'er når de er tændt, og da varme har en negativ påvirkning af lysdiodens egenskaber, er det vigtigt at denne varme transporteres bort fra LED lyskilden. Derfor er LED-lyskilder og -armaturer normalt udformet med køleflader/ribber til at sikre en god varmetransport til omgivelserne. Lige når en LED-lyskilde tændes, vil temperaturen være lig omgivelsestemperaturen, men herefter stiger temperaturen og efter et stykke tid (ca. 30 minutter for LED-erstatningslyskilder) vil temperaturen i LED-lyskilden opnå en stationær værdi.

Da lysstrømmen fra LED lyskilden afhænger af temperaturen, er det vigtigt for målingerne at angive omgivelsestemperaturen, T_{amb} , ved målingerne. Endvidere har alle lyskilder været placeret i fri luft under målingerne og målingerne er foretaget når lyskilden har opnået sin stationære tilstand. I opslagene er endvidere angivet en temperatur, T_{bulb} , målt på ydre metaldel af LED-lyskilden i stationær tilstand.

I tabel 1 herunder gives en kort beskrivelse af de parametre der er målt og de af parametrene, der er angivet i opslagene for de enkelte LED-lyskilder og -armaturer.

Betegnelse	Beskrivelse	Måleenhed
Φ	Total strålingsstrøm	[W]
Φ_v	Total lysstrøm	[lm]
E	Irradians	[W/m ²]
E_v	Belysningsstyrke (Illuminans)	[lux] = [lm/m ²]
Lysudbytte	Effektivitet	[lm/W]
CCT	Korreleret farvetemperatur	[K]
DC	Kromatisk afvigelse	-
Ra_i	Specifikke Ra-indeks	-
Ra	Generelt Ra-indeks	-
Rød linje i graf	Relativ spektralfordeling af lys fra testlyskilden (målt)	-
Blå linje i graf	Relativ spektralfordeling af lys fra referencelyskilden (beregnet)	-
T_{amb}	Rumtemperatur under målinger	[°C]
T_{bulb}	Temperatur af metaldel af LED-lyskilde i stationær tilstand under målinger	[°C]

Tab. 1 Kort beskrivelse af de parametre der angives i opslagene for de enkelte LED lyskilder og armaturer.

I det følgende gives en mere udførlig beskrivelse af målinger og parametre.

I figur 3 er vist en skitse af den måleopstilling der er vist i figur 1. Den består af hhv. en integrerende kugle med en portåbning til lyskilden, en optisk fiber, der kobler lys fra den integrerende kugle til spektrometeret og en computer til behandling af måledata.

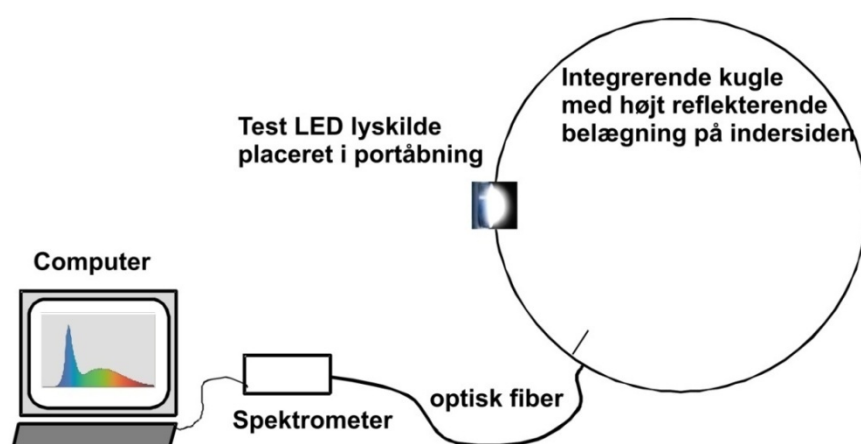


Fig. 3 Skitse af måleopstilling til måling af lysstrømmen fra en LED lyskilde, som kun lyser fremad i et halvrum og dermed kan alt lys opsamles ved placering af lyskilden i en portåbning af kuglen. Den lille del af lyset der måles igennem fiberen med spektrometeret kan relateres til den totale lysmængde i kuglen.

For at kunne måle den spektrale effektfordeling absolut, er det nødvendigt at kalibrere målesystemet. Det gøres med en referencelyskilde hvorfra effektfordelingen er kendt¹. Med det kalibrerede system er det således muligt at måle den totale udsendte spektrale effektfordeling (eng. SPD spectral power distribution) som måles i [W/nm]. Et eksempel på en målt SPD er vist på fig 4, hvor den målte effekt er vist som funktion af bølglængden over området 300-850 nm. Lyset fra LED-lyskilden ses at have en kraftig peak i den blå del af spektret (ved 460 nm), og en mindre men bredere peak i den grønne spektralområde (ved 565 nm). Dette er karakteristisk for hvide LED'er, som består af en blå LED med en fosforescerende belægning som efter absorption af blåt lys udsender lys i det grønne og røde spektral område.

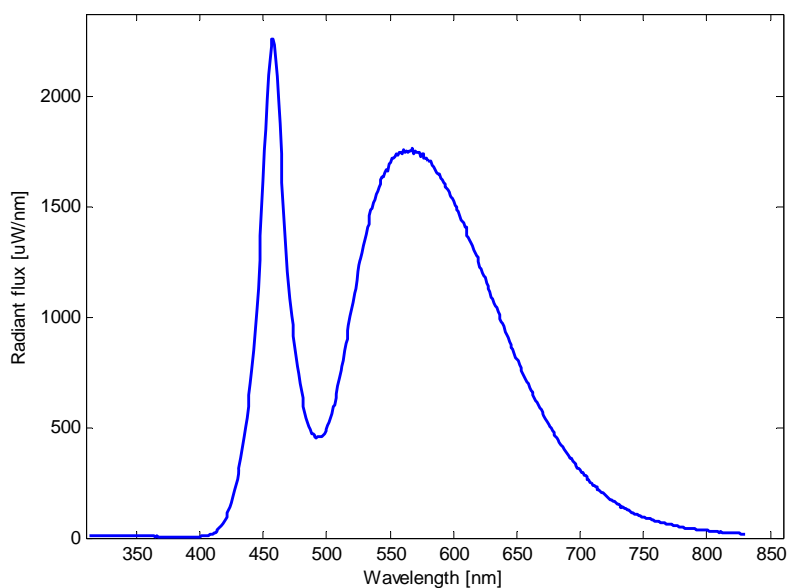


Fig. 4 Målt total spektral effektfordeling (SPD) for en hvid LED lyskilde.

Ved integration over hele bølglængdeområdet, kan den totale strålingsstrøm eller flux, Φ , beregnes, den måles i Watt [W].

I fotometrien benyttes en model for det menneskelige øjes lysfølsomhed og farvesyn. Ved multiplikation af den spektrale effektfordeling med øjets følsomhedskurve og integration over det synlige bølglængdeområde kan tristimulusværdierne, X, Y og Z beregnes. Y angiver i denne beskrivelse lysstrømmen og betegnes Φ_v , hvor v refererer til det synlige område, (eng. visible). Lysstrømmen måles i lumen, [lm].

For eksemplet i figur 4 har vi, at den totale strålingsstrøm er:

$$\Phi = 313 \text{ mW},$$

og den totale lysstrøm er:

$$\Phi_v = 103 \text{ lm}$$

¹ OL FEL-C, standard of spectral irradiance, S/N F-911, Optronic Laboratories.

Ud fra den totale lysstrøm og en måling af lyskildens energiforbrug er det muligt at beregne lysudbyttet, som for eksemplet er

$$\eta = \Phi_v/P = 103 \text{ lm} / 3,8 \text{ W} = 27 \text{ lm/W}$$

Ud fra tristimulus værdierne beregnes farvekoordinaterne, (x,y), som angiver farven og plottes i CIEs kromaticitetsdiagram fra 1931, som vist i figur 5. For eksemplet i figur 4 har vi, at farvekoordinaterne er:

$$x = 0,361$$

$$y = 0,371$$

I figur 5 er vist placeringen af farvekoordinaterne for lyset fra LED-lyskilden med et grønt +.

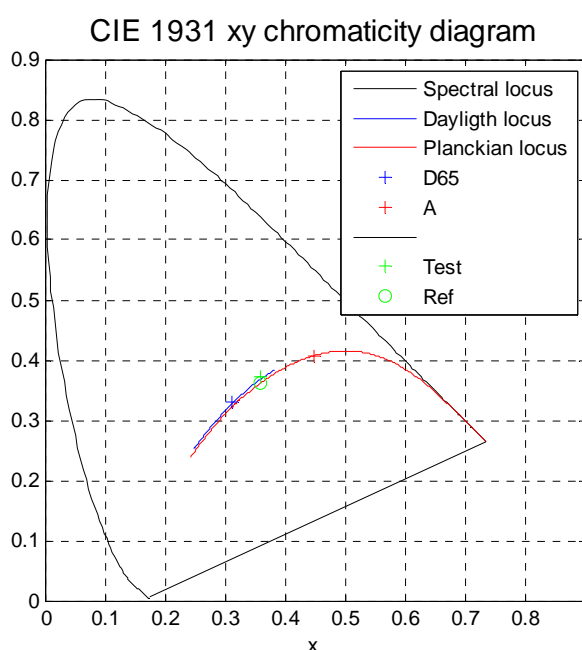


Fig. 5 Kromaticitetsdiagram med markering af koordinaterne for test lyskilden (grønt plus)

I opslagene er farvekoordinaterne ikke angivet men derimod lyskildens korrelerede farvetemperatur (CCT, eng. correlated color temperature). Den er defineret som den temperatur som en ideel temperaturstråler skal have, for at lyset fra denne skal opfattes som havende samme farve som lyskilden. I kromaticitetsdiagrammet i figur 5 vil farvekoordinaterne for en ideel temperaturstråler følge den røde linje (kaldet hulrumsstråler-kurven eller eng. Planckian locus).

Positionen på linjen afhænger af farvetemperaturen. Det røde + i figur 5 angiver positionen af en standard lyskilde² med en farvetemperatur på 2856 K og det blå + angiver positionen

² CIE Standard Illuminant A, CCT = 2855.54 K.

af en standard lyskilde³ med en farvetemperatur på ca. 6500 K. Den korrelerede farvetemperatur angives i Kelvin-grader [K].

For eksemplet i figur 4 har vi, at den korrelerede farvetemperatur er:

$$\text{CCT} = 4552 \text{ K}$$

Da man ikke kan være sikker på, at en hvid lyskildes farvekoordinater ligger på hulrumsstråler-kurven, er det nødvendigt at angive afstanden til denne. Dette gøres med parameteren kaldet den kromatiske afvigelse, som betegnes DC og er dimensionsløs. Hvis DC er for stor vil lyset fra lyskilden have enten et grønligt eller rødtligt skær eller stik. Ifølge CIE's anbefaling skal DC være mindre end $5,4 \cdot 10^{-3}$, hvilket benyttes som en praktisk tolerance for, hvornår beregninger af farvegengivelse kan anses som retvisende. Den kromatiske afvigelse, DC, angives derfor i forbindelse med angivelse af CCT og Ra-indeks for farvegengivelse, se beskrivelse i det følgende.

For eksemplet i figur 4 har vi, at den kromatiske afvigelse er:

$$\text{CD} = 3,9 \cdot 10^{-3},$$

som er mindre end den anbefalede værdi på $5,4 \cdot 10^{-3}$.

LED-lyskildernes farvegengivelse beskrives her ved det generelle Ra-indeks og de specifikke Ra-indeks (eng. CRI for Color Rendering Index), som den internationale belysningskommission (CIE) har anbefalet og beskrevet en metode til måling og angivelse af⁴. Farvegengivelsen af en hvid lyskilde er den effekt lyskilden har på farvefremtoningen af objekter sammenlignet med deres fremtoning under en referencelyskilde. Som reference lyskilde benyttes en matematisk beskrivelse af en hulrumsstråler eller en fase af dagslys med en farvetemperatur, der svarer til test-lyskildens korrelerede farvetemperatur.

I opslagene er spektralfordelingen ikke vist som i figur 4, men derimod som vist på figur 6, hvor den røde kurve er den målte spektralfordeling. Den blå kurve angiver spektralfordelingen af lyskilden som benyttes som reference ved farvegengivelses beregningerne. I dette tilfælde er det en hulrumsstråler med en farvetemperatur på 4552 K, svarende til den korrelerede farvetemperatur af eksemplets LED lyskilde. De to kurver er normerede, og angiver derfor kun den relative spektralfordeling.

³ CIE Standard Illuminant D65, CCT = 6503.6 K

⁴ CIE 13.3.-1995, "Method for measuring and specifying colour rendering properties of light sources"

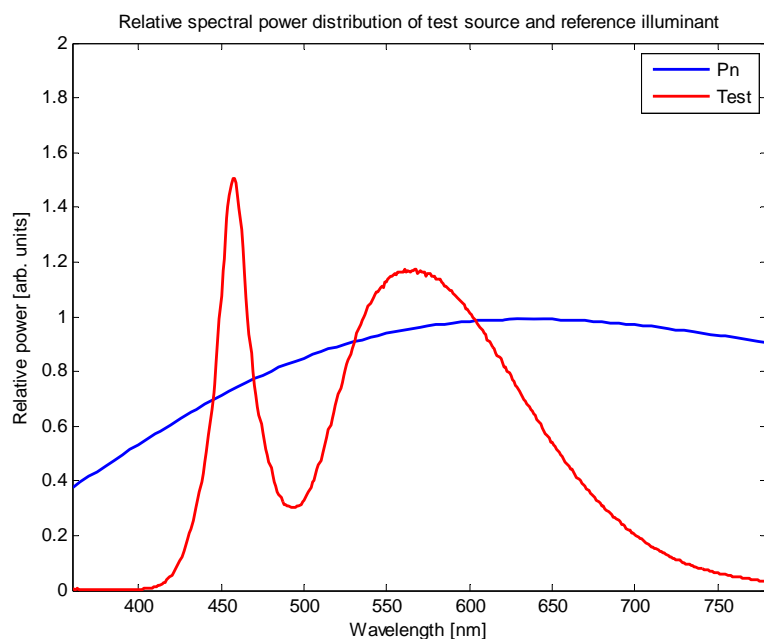


Fig. 6 Målt relativ spektralfordeling for testlyskilden (rød linje) og beregnet relative spektralfordeling for reference lyskilden (blå linje).

Til beregning af Ra-indeks benyttes et sæt af 14 test farveobjekter, der er specificeret af CIE med hensyn til spektral reflektans. I tabel 2 er farverne for test objekt 1-14 forsøgt gengivet sammen med en beskrivelse af deres fremtoning i dagslys. For et givet testobjekt i defineres det specifikke Ra-indeks som:

$$Ra_i = 100 - 4,6 \cdot \Delta E_i$$

hvor ΔE_i angiver forskellen i farveindtrykket (som angives i farvekoordinater), af lyset der reflekteres fra test objekt i under belysning med hhv. testlyskilden og referencelyskilden. Her tages hensyn til øjets farvetilpasning ved skift af belysningskilde. Hvis ΔE_i er nul, er $Ra_i = 100$, og ellers vil det være mindre end 100.















Det generelle Ra-indeks er defineret som middelværdien af de specifikke Ra-indeks for de første 8 test objekter, $i = 1, \dots, 8$.

Hvis spektralfordelingen af testlyskilden og referencelyskilden er identiske, vil ΔE_i være 0 for alle testobjekter og derfor vil alle de specifikke og det generelle Ra-indeks være lig 100, svarende til en ideel farvegengivelse i forhold til referencekilden. Lyset fra en glødepære er et godt eksempel herpå, idet glødetråden med god tilnærmelse er en hulrumsstråler og spektralfordelingen af hhv. test og reference lyskilde derfor vil være næsten ens. Glødepærer har derfor et Ra-indeks på 99-100.

Man kan sige at Ra-indekset angiver, hvor naturligt farvede objekter fremstår i belysning under testlyskilden i forhold til reference lyskilden. Men Ra-indekset siger ikke noget om, hvor nemt det er at skelne forskellige nuancer af farver under testlyskilden.

I opslagene for LED-lyskilderne findes skemaer som vist i tabel 2 vist med angivelse af de specifikke Ra-indeks for de 14 testobjekter. De her angivne specifikke Ra-indeks er for eksemplet i figur 4. Derudover angives det generelle Ra-indeks med en beskrivelse af den benyttede reference lyskilde. For eksemplet i figur 4 har vi, at

Ra = 74.7 [Plankian 4552 K].

i	Test object color	R _{ai}	
1	Light greyish red	71,2	
2	Dark greyish yellow	82,6	
3	Strong yellow green	87,8	
4	Moderate yellowish green	68,8	
5	Light bluish green	69,3	
6	Light blue	72,3	
7	Light violet	85,8	
8	Light reddish purple	60,0	
9	Strong red	-11,1	
10	Strong yellow	54,9	
11	Strong green	60,5	
12	Strong blue	38,5	
13	Light yellowish pink	73,8	
14	Moderate olive green	92,8	

Tab. 2 Målte specifikke Ra-indeks for de 8+6 test farve objekter.

Vurdering af LED-belysning Tunnel under Nordmarks Allé

Skemaet er udfyldt af: _____

Lysets kvalitet

Hvordan passer armaturets lysfordeling til opgaven?

Meget dårlig |-----|-----| Særdeles god

Giver belysningen anledning til blænding?

Ja, i høj grad |-----|-----| Nej

Giver belysningen anledning til generende eller på anden måde upassende skyggedannelser på bygninger og belægning?

Ja, i høj grad |-----|-----| Nej

Er lysfarven passende?

Ja, i høj grad |-----|-----| Nej

Hvor god er farvegengivelsen?

Meget dårlig |-----|-----| Særdeles god

Kommentarer til lysets kvalitet

Sikkerhedshensyn - tryghed - tilgængelighed

Bidrager belysningen til at borgerne trygt og sikkert kan færdes?

Ja, i høj grad |-----|-----| Nej

Kommentarer

Arkitektonisk kvalitet i plan- og opgaveløsning

Hvordan fungerer anlæggets samlede arkitektoniske udtryk i byrummet?

Meget dårligt |-----|-----| Særdeles godt

Hvordan fungerer lyssætningen og armaturernes placering i forhold til uderummets kvaliteter og karakteristika

Meget dårligt |-----|-----| Særdeles godt

Kommentarer

Designkvalitet i armaturerne

Hvordan er samspillet mellem armaturernes design og omgivelserne?

Meget dårlig |-----|-----| Særdeles god

Kommentarer

Vedligeholdelse

Er der forhold ved armaturet eller udførelsen af anlægget der gør, at anlægget kræver mere eller mindre vedligeholdelse end lignende anlæg med andre/traditionelle lyskilder?

Ja, i høj grad |-----|-----| Nej

Kommentarer

Lysudbytte set i forhold til energiforbrug

Er energiforbruget og driftsomkostningerne fornuftige set i forhold til anlæggets funktion og øvrige kvaliteter?

Ja Nej

Kommentarer