



JÖNKÖPING UNIVERSITY
School of Engineering

Redovisning av CRI hos Tunable White-armaturer

En undersökning av armaturtillverkares tekniska specifikation av
Tunable white-armaturer

Accounting of CRI regarding Tunable White luminaires

A study of luminaire manufacturers' technical specification regarding
Tunable White luminaires

Joakim Hällvall & Sebastian Gill

HUVUDOMRÅDE: *Produktutveckling med inriktning ljusdesign*
FÖRFATTARE: *Joakim Hällvall & Sebastian Gill*
HANDLEDARE: *Johanna Glans*
EXAMINATOR: *Anahita Davoodi*
JÖNKÖPING 2018 Maj

Detta examensarbete är utfört vid Tekniska Högskolan i Jönköping inom huvudområdet
Produktutveckling med inriktning Ljusdesign. Författarna svarar själva för framförda åsikter, slutsatser
och resultat.

Examinator: Anahita Davoodi
Handledare: Johanna Glans
Omfattning: 15 hp
Datum: 2018-05-23

Abstract

Tunable white luminaires today form a large part of the market and are expected to increase further in the upcoming years. As many manufacturers today produce and market their own solutions to create a dynamic light, it can be hard to know what quality these solutions have and how well the technical specification is. The purpose of this study were to investigate whether the information to the user is sufficient and whether the presented data of tunable white luminaires is correct.

This study is based on two parts. An experimental study where five tunable white luminaires CRI (color rendering) were measured between different CCT levels (color temperature) and then compared these to what providers have specified on their websites. The second part was a survey was conducted to 144 lighting designers based in Sweden, 52 of whom chose to answer the questionnaire. The questions concerned the presented information of tunable white luminaires as well as the importance of a good light quality focusing on CRI.

The results from the authors experimental survey showed that all tunable white luminaires that where tested are changing in CRI under different color temperature intervals. The biggest difference that was measured was on manufacturer 3 where 9 CRI shifted between 2700K-6000K. A comparison could be made and showed that two of five of the suppliers specifications did not match with the authors measurements.

By analyzing the answers from the survey, some conclusions could be drawn. There were very different opinions regarding the technical specifications of tunable white luminaires. Some felt that it is enough as it is today, while others felt that more information was needed. The majority considered it very important to have a good CRI when selecting tunable white luminaires in their projects. One could also see that many lighting designers wanted to present color reproduction in TM-30-15 instead of the CRI method or to present CRI at given color temperatures.

What can be determined by this study is that there is a tendency for some luminaire suppliers to have worse CRI than presented. This study only measured tunable white fixtures from five companies operating in Sweden and only at 100% luminosity. However, the authors consider that this study could lead to a discussion about better specifications for tunable white luminaires, as well as giving the reader an increased understanding of the complexity of the subject.

Keywords: tunable-white, dynamic light, color rendering index (CRI/Ra), color temperature (CCT/K) and Human Centric Lighting.

Sammanfattning

Tunable white-armaturer utgör idag en stor del av marknaden och förväntas öka ytterligare under de kommande åren. Då många leverantörer idag producerar och marknadsför sina egna lösningar för att skapa ett dynamiskt ljus kan det vara svårt att veta vilken standard dessa lösningar håller och hur väl den tekniska specifikationen stämmer överens med verkligheten. Syftet med denna studie har varit att undersöka om informationen mot beställare är tillräcklig samt om den redovisade data av Tunable White-armaturer är korrekt.

Studien bygger på två delar. En experimentell undersökning genomfördes där fem tunable white-armaturers CRI (färgåtergivning) mättes mellan olika CCT-nivåer (färgtemperatur) och sedan jämfördes det med vad leverantörer har specificerat på deras hemsidor. En enkätundersökning genomfördes sedan som riktades mot 144 ljusdesigners i Sverige, varav 52 valde att besvara enkäten. Frågorna berörde redovisning av Tunable white-armaturer samt vikten av en god ljuskvalitet med inriktning på CRI.

Resultaten från författarnas experimentella undersökning visar att alla tunable white-armaturer som testades skiftar i CRI under olika färgtemperaturintervaller. Den största skillnaden som mättes var på fabrikat 3 där det skiftade 9 CRI mellan 2700K-6000K. En jämförelse kunde sedan göras och visade att två av fem leverantörers specifikationer inte stämmer överens med vad som redovisats i respektive produktdatablad.

Av att tyda svaren från enkätundersökningen kunde slutsatsen dras att det finns mycket skilda åsikter angående de tekniska specifikationerna gällande tunable white-armaturer. En del ansåg att det redovisas tillräckligt väl idag medan andra ansåg att det inte redovisas tillräckligt väl. Majoriteten ansåg att det är mycket viktigt med en god CRI när man föreskriver tunable white-armaturer i sina projekt. Man kunde också se att många ljusdesigners önskade att man redovisade färgåtergivning i TM-30-15 istället för CRI-metoden eller att man bör redovisa i givna färgtemperaturer.

Det som kan fastställas av denna studie är att det finns en tendens till att vissa armaturleverantörer har sämre CRI än vad företaget i fråga redovisat. Denna studie enbart mätt TW-armaturer från fem företag verksamma i Sverige samt endast vid 100% ljusflöde. Författarna anser dock att denna studie kan leda till en diskussion om bättre redovisning av tunable white-armaturer behövs, samt ge läsaren en ökad förståelse för komplexiteten inom området.

Nyckelord: tunable-white, dynamiskt ljus, färgåtergivning (CRI/Ra), färgtemperatur (CCT/K) och Human Centric Lighting.

Innehållsförteckning

Innehåll

Abstract	i
Sammanfattning	ii
Innehållsförteckning	iii
Begreppsförklaring	iiii
1. Introduktion	1
1.1 Bakgrund - Hur redovisas CRI hos Tunable White produkter?	1-2
1.1.1 Problembeskrivning	3
1.2 Syfte, mål och frågeställning	4
1.2.1 Syfte	4
1.2.2 Mål	4
1.2.3 Frågeställning	4
1.3 Avgränsning och omfattning	4
2. Teoretisk bakgrund	5
2.1 Dynamiskt ljus	5
2.2 Teknologin bakom Tunable White	5-6
2.3 Olika sorters Tunable White	6
2.4 Human Centric Lightings marknad idag och i framtiden	7
2.5 Specificera Tunable White produkter	8
2.6 Teorier om den kognitiva förmågan	9
2.7 Färgåtergivning och dess påverkan på människor	9
2.8 Planck's kurva	10
3. Metod	11
3.1 Experimentell studie	11
3.2 Kriterier för valda Tunable White-armaturer	12
3.3 Enkätundersökning	12
3.4 Utformning av enkätundersökning	12-13
4. Genomförande	14
4.1 Genomförande av experimentell studie	14
4.2 Experimentell situation	14
4.3 Dataanalys av experimentell studie	14-15
4.4 Genomförande av enkätundersökning	15
4.5 Dataanalys av enkätundersökning	15
4.6 Deltagare i enkätundersökningen	15

5. Resultat och analys	16
5.1 Experimentell studie	16
5.1.1 Fabrikat 1	17
5.1.2 Fabrikat 2	18
5.1.3 Fabrikat 3	19
5.1.4 Fabrikat 4	20
5.1.5 Fabrikat 5	21
5.2 Enkätundersökning	22
5.2.1 Svar gällande projektering av tunable-white	22-23
5.2.2 Svar gällande tekniska specifikationer tillhörande TW-armaturer	24
5.2.3 Svar gällande krav på CRI vid inomhusprojekt	25
5.2.4 Svar gällande vikten av CRI hos konventionella ljuskällor/armaturer	26
5.2.5 Svar gällande vikten av CRI hos TW-armaturer	27
5.2.6 Svar gällande hur man bör redovisa CRI för TW-armaturer	28
6. Diskussion och slutsatser	29
6.1 Resultatdiskussion	29-31
6.2 Metoddiskussion	31-33
6.3 Slutsats och rekommendationer för vidare forskning	33
Referenser	34-36
Bilagor	37
Bilaga 1 - Undersökningsformulär	38-40
Bilaga 2 - Enkätstatistik	41
Bilaga 3 - Resultat från enkätundersökningen	42-52
Bilaga 4 - Översiktstabell av mätningar	53
Bilaga 5 - Mätningar fabrikat 1-5	54-55
Bilaga 6 - Specifikation, Lighting Passport AsenseTEK	56-57
Bilaga 7 - Intervju med Naomi Miller	58

Begreppsförklaring

Färgtemperatur (CCT/K): Färgtemperaturen definierar ljusets färg som kan beskrivas som varmvit, neutralvit eller kallvit. Färgtemperaturen mäts i Kelvin (K) (Ljus & Rum, 2013).

Tunable-white (TW): Även kallad "White-tunable", innebär att man kan justera färgtemperaturen på en armatur från ett varmt ljus (ofta runt 2500K-2700K) upp till ett kallare ljus (ofta runt 5000K-6500K) (Bálský, et al. 2017).

Ljusstyrka (cd/m²): Anger ljusflödet i en riktning från en ljuskälla där enheten anges i candela (cd) (Liljefors & Ejhed, 1990; Starby, 2006).

Ljusflöde (lm): Anger den mängden ljus som en ljuskälla skickar i alla riktningar, där enheten anges i lumen (lm) (Liljefors & Ejhed, 1990).

Belysningsstyrka (lm/m²): Måttet på mängden ljusflöde som infaller på varje kvadratmeter på en belyst yta. Anges i lux och mäts i lm/m² (Starby, 2006; Liljefors & Ejhed, 1990).

Färgåtergivning (CRI/Ra): Anger hur bra en ljuskälla återger färger jämfört med en referensljuskälla, utgår från 8 fastställda färgprover (Starby, 2006).

TM-30-15: En ny standard framtagen av (IES) som utgår från 99 färgprover för att utvärdera och mäta en ljuskällas färgåtergivningsegenskaper (David, Fini, Houser, Ohno, Royer, Smet, Wei & Whitehead, 2015; U.S Department of Energy, 2015).

Spektralfördelning: Ljuskällans sammansättning av det som kallas det synliga ljusets våglängder (Starby, 2006).

Dynamiskt ljus: Det artificiella ljusets ljusfärg och ljusflöde förändras anpassat till den aktivitet och plats som belysningen är till för genom programmering (Anell + Form, 2012).

Lighting Emitting Diode (LED): (Lysdiod). Lysdioden är en halvledare som utstrålar ljus när den utsätts för elektrisk påverkan (Fagerhult, u.å.).

Human Centric Lighting: (Människoorienterad belysning) En belysningsteknik som anses stödja människors hälsa, välmående och prestationsförmåga (LightingEurope, u.å; Human Centric Lighting Society, u.å.).

Validitet: Den utsträckning i vilken ett mätinstrument mäter det som man avser att mäta (Nationalencyklopedin, u.å.).

Reliabilitet: Mått på hur starkt eller hur pålitligt uppmätta värden är (Nationalencyklopedin, u.å.).

Bekvämlighetsurval: Ett urval som endast riktas mot en lämplig population (Trost, 2012)

1. Introduktion

I dagens belysningsbransch talas det ofta om dynamiskt ljus, eller "Human Centric Lighting (HCL)" och hur det kan påverka människor positivt i form av ökad effektivitet, koncentrationsförmåga, prestationsförmåga och stabiliserad dygnsrytm. Detta kan uppnås med hjälp av Tunable White-armaturer (vidare i rapporten kommer Tunable White förkortas TW) som ger skiftningar i färgtemperatur som behövs för att ge en HCL-anläggning (Ye, Zheng & Ronnier Lou, 2016; Plischke, 2016). År 2017 tilldelades Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash och Michael W. Young Nobelpriset i fysiologi eller medicin för deras upptäckter av molekylära mekanismer som styr den cirkadiska rytmen. En självgående inre klocka som styr funktioner som kroppstemperatur, metabolism, sömn och hormonnivåer behövs för att vi människor ska kunna anpassa och förbereda vår fysiologi till dygnets olika faser (Hall, Rosbash & Young, 2017). Studier har tidigare visat att ljus kan påverka denna biologiska klocka och stödja den cirkadiska rytmen (Rajaratnam & Arendt, 2001; Boyce, 2010).

Denna studie tar upp hur armaturtillverkare tillhandahåller information om TW-armaturer idag samt hur informationen skulle kunna redovisas ut mot beställare med fokus på färgåtergivning. Detta för att i slutändan kunna uppnå en tydligare marknad vad gäller den tekniska redovisningen av TW-armaturer.

1.1 Bakgrund - Hur redovisas CRI för Tunable White produkter?

Enligt Naomi Miller, Designer/Senior Scientist på Pacific Northwest National Laboratory (2018) tillhandahåller inte armaturtillverkare den information som slutkunden behöver gällande TW-armaturer. Det finns idag ingen standard på hur man bör redovisa TW-armaturer, vilket kan leda till en förvirring bland ljusdesigners som ska projektera med dessa produkter (Miller, personlig kommunikation, 31 januari, 2018). Figuren (1-5) nedan visar exempel från fem företags specifikationer om deras TW-armaturer.

Material: Aluminium, PMMA
Effekt: 31W 600mA
Armaturer per säkring (10amp): 10st
Ljusflöde: 3132lm / 3380lm
Spridningsvinkel: 120°
Färgtemp: 3000K / 4000K / 2700-6500K
Färgtolerans: SDCM >4
Färgåtergivning: RA>82
Bländskydd: Prismatiskt / Opalt
UGR: 19 / 22
Styrning: On/off / DALI
Skyddsklass: IP44, IK06
Livslängd: 50 000h (L80B10)
Färg: Vit
Montage: Infällt / Dikt tak / Pendel

Fig. 1. Företaget som vi väljer att kalla fabrikat 1, har redovisat färgtemparturintervallet mellan 2700-6500K, men inte hur färgåtergivningen förändras mellan de olika intervallerna. De har redovisat att armaturen har över 82 RA.

Ljuskälla: Inkl. LED-ljuskälla, ljusfärg 4000K.
Tunable White: Inkl. ställbar LED-ljuskälla med ljusfärg från 2700K – 5700K.
Färgåtergivning CRI 80. Ljuskällstolerans 3 SDCM.
Livslängd: L95B10 50 000h, L90B10 100 000h.

Fig. 2. Fabrikat 3. Här har de valt att specificera en färgtemparturintervall mellan 2700-6500K samt ett fast Ra (CRI) på 80.

ELEKTRISK DATA	
W 51	
LJUSDATA	
Ljusflöde, lm 4550	SDCM 3
lm/W 89	Ra (CRI) 80
Bibehållning ljusflöde L70 B50, h 70 000	CCT, K 2700–6500
Livslängd driver, h/max utfall 100 000/10 %	Ljuskälla LED

Fig. 3. Fabrikat 2 har redovisat ett fast Ra (CRI) på 80 och att de har en färgtemperaturintervall mellan 2700-6500K.

Teknisk information	
CRI:	Min 80
McAdam:	max 3
Brinntid:	L80=50.000h
Driver:	switchDIM dragsnöre
Output:	3000K: 82 lm/W, 4000K: 85 lm/W
UGR:	20,1

Fig. 4. Fabrikat 4, har här valt att redovisa ett Ra (CRI) på min 80 samt lm/W i 3000K och 4000K.

Belysningsteknik
Direkt
LED
230V
36W
2700-6500K
Ra>80
SDCM:3

Fig. 5. Fabrikat 5, har här valt att redovisa en färgtemperaturintervall mellan 2700-6500K samt ett Ra (CRI) på över 80.

Bristen med att det inte finns någon standard gällande redovisningen av TW-armaturer är att det lätt blir förvirrande då företag redovisar information på olika sätt. Redovisning av TW-produkter är mer komplicerad jämfört med andra armaturer eftersom att utbudet av möjligheter med dessa produkter gör det svårare att mäta. Vilket även kan bero på att det inte finns standardiserade testprocedurer för dessa produkter (U.S. Department of Energy, 2016).

1.1.1 Problembeskrivning

Dynamiskt ljus innebär att färgtemperatur och ljusflöde anpassas till den aktivitet som ska genomföras. I många fall programmeras scener som efterliknar solens varierande dagsljus (Anell + Form, 2012). Studier har visat att ett belysningsystem med TW-armaturer med skiftningar i färgtemperatur har positiva effekter på elevers koncentrationsförmåga (Sleegers, Molenaar, Galetzka, Pruyn, Sarr'oukh & van der Zande, 2012; Choi & Suk, 2016). En studie som också genomfördes på ett äldreboende i USA visade hälsorelaterade fördelar sett till en ny belysningsinstallation med TW-armaturer. Personalen på äldreboendet noterade att de äldre kände sig lugnare samt att de sov bättre med den nya belysningsinstallationen (Davis, Wilkerson, Samla & Bisbee, 2016). Det dynamiska ljuset börjar idag bli allt mer vanligt inom belysningsbranschen och utvecklingen inom marknaden går fort. HCL har fått stort fokus och därmed förväntas TW-armaturer bli en viktig och stor marknad i Europa inom olika användningsområden (Kearney, 2013).

Då många leverantörer idag producerar och marknadsför sina egna lösningar för att skapa ett dynamiskt ljus kan det vara svårt att veta vilken standard dessa lösningar håller och hur väl den tekniska specifikationen stämmer överens med verkligheten. Att jämföra TW-produkter kan vara utmanande för användaren eftersom armaturl tillverkare använder olika metoder för att redovisa sina TW-produkter (U.S. Department of Energy, 2016).

Ljusdata som ljusflöde (lumen) och färgåtergivning (CRI eller Ra) justeras under intervallet då man går från exempelvis 2700K-6500K (Pacific Northwest National Laboratory, 2015). I många fall visas enbart ljusdatan för ett specifikt CCT-värde (färgtemperatur) på leverantörernas hemsidor eller i deras produktblad. Detta kan resultera i att de tekniska specifikationer som dagens leverantörer tillhandahåller blir otydlig för beställaren (Miller, personlig kommunikation, 31 januari, 2018).

Då CRI ändras under olika CCT-värden hos TW-armaturer kan det vara svårt för beställaren att veta om armaturen uppfyller de krav på ljuskvalitet i form av CRI som ställs. Enligt rekommendationer i svensk standard angående CRI anses ett minimumvärde på 80 vara tillräckligt för inomhusbelysning (Pimputkar, Speck, DenBaars & Nakamura, 2009; SS-EN 12464-1:2011). Studien är aktuell för att den beställare som gör en stor investering ska ha rätt till den tekniska data som anses vara nödvändig. Detta eftersom tekniken ständigt utvecklas och ljusdatan som redovisas bör ifrågasättas (U.S. Department of Energy, 2016).

1.2 Syfte, mål och frågeställning

I detta kapitel redovisas syfte, mål, frågeställning och avgränsningar, där författarna förklarar upplägget på studien samt vad författarna vill åstadkomma. Studien är uppdelad i två moment, varav en experimentell undersökning samt en enkätundersökning.

1.2.1 Syfte

Syftet med den experimentella studien är att testa dagens leverantörer gällande TW-armaturer med fokus på CRI. Detta för att undersöka om informationen mot beställare är tillräcklig samt om den redovisade data av TW-armaturer är korrekt. Syftet med enkätundersökningen är att se vad ljusdesigners baserade i Sverige vill ha specificerat gällande TW-armaturer. Detta kan bidra till ökad förståelse av TW-armaturers olika specifikationer vad gäller CRI samt ge en inblick i hur leverantörer av TW-armaturer idag redovisar CRI.

1.2.2 Mål

Förhoppningen är att utifrån dessa tester och med svar från ett kompletterande enkätundersökning få fram underlag för hur en TW-armaturer bör redovisas av leverantörerna. Detta med hänsyn till hur CRI ändras vid olika färgtemperaturer i en armatur. Det ska fungera som ett underlag för armaturtillverkare så att de kan ge beställaren en rättvis bild av vad de köper. Resultatet av denna studie ska kunna verka som ett underlag för hur man bör redovisa CRI gällande TW-armaturer.

1.2.3 Frågeställning

- Hur väl stämmer armaturtillverkarens specificerade CRI överens med det faktiskt uppmätta?
- Hur väl redovisas Tunable White-armaturers färgåtergivning av armaturtillverkarna?
- Hur bör CRI hos en Tunable White-armatur redovisas enligt yrkesverksamma ljusdesigners i Sverige?

1.3 Avgränsning och omfattning

Studien omfattar en experimentell undersökning som följs upp av en enkätundersökning. Författarna kommer att identifiera och granska armaturtillverkarens hemsidor med inriktning på redovisning av färgåtergivning av TW-armaturer. Fem olika TW-armaturer från fem olika leverantörer kommer att väljas ut. De fem armaturer författarna väljer ut ska alla vara från erkända belysningsföretag med verksamhet i Sverige. Författarna kommer att utgå från fyra olika armaturtyper; spotlight, plafond, pendelarmatur och downlight. Dessa fem armaturer kommer sedan att testas med en spektrometer, av fabrikatet AsenseTEK i laboratoriemiljö för att jämföra CRI (färgåtergivning) vid olika CCT-nivåer (färgtemperatur) mot det angivna ljusdata från armaturleverantörens specifikationer. Mätningarna i studien kommer endast att genomföras på respektive armaturs maximala ljusstyrka vid varje CCT-intervall. Efter mätning kommer en enkätundersökning som riktas mot ljusdesigners i Sverige att genomföras med frågor som berör redovisning av TW-armaturer samt vikten av en god ljuskvalitet vad gäller CRI. Enkätundersökningen kommer att avgränsa sig till ljusdesigners verksamma i Sverige där ingen hänsyn tas till ålder, kön eller hur länge de har varit verksamma.

2. Teoretisk bakgrund

I nedanstående kapitel redovisas den teoretiska bakgrund för ämnesområden som har haft betydelse för studien.

2.1 Dynamiskt ljus

Dynamiskt ljus är allt ljus som kan förändras till exempel att variera både intensitet och färgtemperatur med programmering. Detta används idag för att påverka vår dygnsrytm då forskning har visat att det inte bara är intensiteten av ljus som påverkar vår dygnsrytm utan även vilket spektra ljuset har. Flertal studier har genomförts för att utvärdera effekterna av kvaliteten på ljuset som har visat på att ljus med högre färgtemperatur tenderar att förhindra utsöndrandet av melatonin och sänker kroppstemperaturen (Katsuura, 2014). Med rätt tekniska förutsättningar och rätt användande av den nya möjligheten att styra ljusets intensitet och färgtemperatur, finns det möjlighet att öka människans prestationsförmåga, effektivitet samt koncentrationsförmågan (CIE, 2003).

Dynamiskt ljus kan idag uppnås med TW-armaturer vilka kan ge en smidig övergång mellan olika färgtemperaturer. Det är idag möjligt med TW-armaturer (Se kapitel 2.2) att på ett relativt enkelt sätt använda belysning för att stödja människans dygnsrytm vilket kan leda till positiva effekter på människors välbefinnande (Boyce, 2010). En studie som genomfördes på ett äldreboende i USA visade hälsorelaterade fördelar sett till en ny belysningsinstallation med TW-armaturer. Personalen på äldreboendet noterade att de äldre kände sig lugnare samt att de sov bättre med den nya belysningsinstallationen (Davis, et al. 2016).

2.2 Teknologin bakom Tunable White

Utvecklingen av tekniken i LED-armaturer går snabbt framåt och TW-lösningar har blivit en stor trend inom dagens belysning. Mycket tack vare drivkraft som klarar av att reglera både intensitet och färgtemperatur. TW lösningar börjar bli erkänd på marknaden och det är i huvudsak baserat på två olika system. TW-tekniken bygger på en liknande funktion av RGB (röd, grön och blå), som är en färgblandning med tre färgkanaler för att tillhandahålla hela färgspektrat. Till skillnad från ett RGB-system så tillhandahåller kanalerna i ett TW-system ett vitt ljus men med skiftningar i färgtemperatur från ett varmt ljus till ett kallt ljus. De simplaste systemen består utav två kombinerade lysdioder där en lysdiod avger ett kallt ljus med en färgtemperatur runt 6000K och den andra avger ett varmt ljus med en färgtemperatur runt 3000K. Oftast appliceras detta system i en aluminiumprofil (Fig. 7) med en opal diffusor som blandar de två olika lysdioderna när ljuset tränger igenom (Bullock, 2017).

De enklare system anses inte vara kostnadseffektiva i och med att endast hälften av LED-dioderna att vara tända i genomsnitt, vilket halverar armaturljusflödet eller fördubblar kostnaden för LED-dioderna då hälften ofta inte är tända (Trivellin, Meneghini, Feretti, Barbisan, Dal Lago, Meneghesso & Zanoni, 2015).



Fig. 7. TW-system med kombinerade LED-strips. Den opala diffusorn gör att ljuset som de olika lysdioderna avger blandas när ljuset tränger igenom.

Den mer komplexa eller avancerade tekniken av TW-produkter är att använda sig utav multi-chipteknologi, eller flerchipteknologi, vilket innebär att lysdioder med olika färgtemperaturer (exempelvis 3000K och 6000K) appliceras i ett LED-kort (Fig. 8). Det mer komplexa systemet har dock en mycket högre produktionskostnad (Trivellin, et al., 2015). Multi-chiparmaturer avger överlag en högre ljuskvalitet och en bättre färgåtergivning jämfört med dubbla kretssystem med lysdiodrader. När ljuset avges från LED-kortet med dessa olika färgade lysdioder blandas ljuset till önskad färgtemperatur. (Fagerhult, u.å; Bullock, 2017).

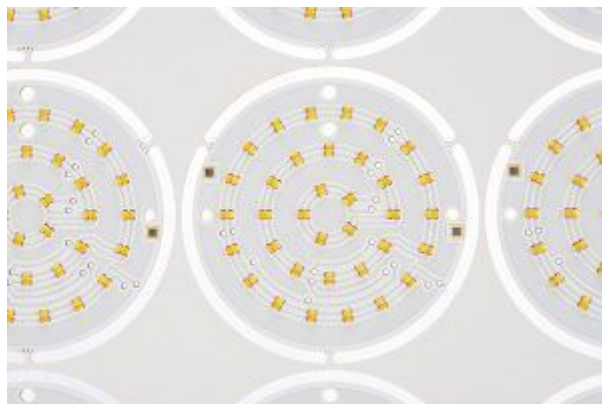


Fig. 8. På multichipet blandas de kalla och varma dioderna vilket gör att färgtemperaturer mellan till exempel 3000K till 6000K kan tillhandahållas.

2.3 Olika sorters Tunable-White

Marknaden med LED-produkter med egenskap att variera i färgtemperatur växer och det finns egentligen tre stycken grundläggande kategorier av dessa. Nedan följer en kort beskrivning av dessa produktklasser:

- Dim-to-warm

Dim-to-warm armaturer minskar i färgtemperatur när de dimras ned. Dim-to-warm produkter liknar glöd- och halogenlampor i sin funktion. Vanligtvis brukar dim-to-warm armaturer ha en färgtemperatur på 2700-3000K vid full effekt, men när man dimrar ned armaturen förändras färgtemperaturen till runt 1800K, likt glödlampor (Pacific Northwest National Laboratory, 2015).

Vanliga applikationsområden för dim-to-warm produkter kan vara rum där man vill ha ett kallare ljus under dagen för att sedan på kvällen dimra ned och få ett varmare ljus, som i till exempel restauranger och hotel-lobbyer (U.S. Department of Energy, 2016).

- White-tunable

“White-tunable”, även kallade “Tunable White”, innebär att man kan justera färgtemperaturen från ett varmt ljus (runt 2500K-2700K) upp till ett kallare ljus (5000K-6500K). Forskare menar att man med hjälp av TW system kan påverka den mänskliga dygnsrytmen och stödja den biologiska klockan. Man kan med ett dynamiskt ljus försöka simulera den naturliga klockan (Bálský, Bayer, Zálesák & Panská, 2017).

- Full-color-tunable

“Full-color-tunable”, dessa produkter går under kategorin RGB (röd, grön, blå) eller RGBW (röd, grön, blå, vit). RGB innebär att man med tre olika färgkanaler kan tillhandahålla hela färgspektrat, med ett oräkneligt antal färgtoner, färgkulörer och nyanser. Detta är en teknik som ofta används inom belysning för färgväxling mellan ljuskällor (U.S. Department of Energy, 2016; Anell + Form, u.å.).

2.4 Human Centric Lightings marknad idag och i framtiden

Human Centric Lighting, eller personorienterad belysning, förväntas att bli en viktig marknad i Europa i framtiden, enligt en marknadsstudie av A.T. Kearney för "LightingEurope" och "German Electrical and Electronic Manufacturers' Association (ZVEI)" som genomfördes 2013. De menar att personorienterad belysning har sin största marknad inom kontor, hälso- och utbildningssegmentet. Marknaden i Europa (Fig. 9) visar tre olika scenarier för marknaden av personorienterad belysning vilket förväntas bli cirka en miljard 2020.

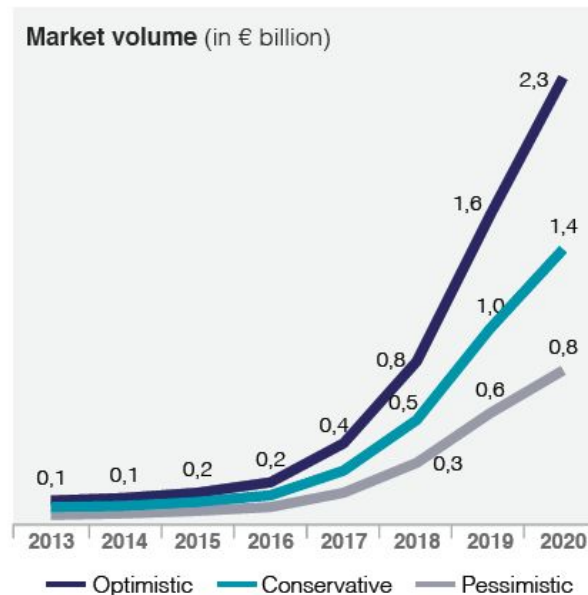


Fig. 9. Författarna har delat upp marknadsvolymen (euro) i tre olika scenarier; där den ljusblåa, det konservativa tillväxtscenariot, förväntas vara den mest troliga. Den personorienterade belysningsmarknaden förväntas bli en miljardmarknad i Europa med motsvarande 1.4 miljarder euro år 2020 (A.T. Kearney Human Centric Lighting market model).

Detta skulle betyda att personorienterad belysning kommer att täcka cirka 7% av den europeiska belysningsmarknaden år 2020 sett till det konservativa tillväxtscenariot. Figur 10 visar att nästan 4% av nya installationer och renoveringar år 2020 kommer att vara belysningslösningar med personorienterad belysning (Kearney, 2013).

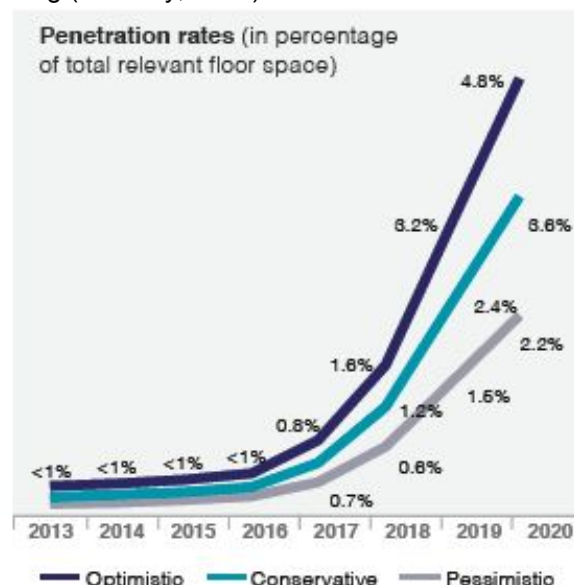


Fig. 10. Inom relevanta områden, som kontor, skolor och hälso- och sjukvård förväntas var 25:e nyinstallerad belysningslösning med personorienterad belysning (A.T. Kearney Human Centric Lighting market model).

2.5 Specificera Tunable White produkter

Att veta vad man kan förvänta sig av en TW produkt kan vara utmanande för användare eftersom att armaturtillverkarna använder olika metoder för att redovisa sina TW-produkter (U.S. Department of Energy, 2016). Armaturtillverkare idag tillhandahåller inte den information som användarna behöver, särskilt om de kommer att utvärdera spektrumet för ljus- och hälsofrågor, menar Naomi J. Miller, ljusdesigner och forskare på Pacific Northwest National Laboratory. Exempel på det som armaturtillverkare bör redovisa är:

- Vilken typ av TW produkten innefattar (RBG, RBGA, RBGW, dim-to-warm, white-tuning etc).
- Ljusflöde vid högsta CCT, lägsta CCT och däremellan.
- Spektralfördelning vid högsta CCT, lägsta CCT och däremellan.
- Högsta och minsta effekt beroende på CCT-förändring och dimning.
- Vilket typ av protokoll man använder för att styra armaturen (0-10V, DMX, DALI, Zigbee, etc).
- Typ av drivdon, logaritmisk eller linjär dimningskurva.
- Kabeltyp och kontakter mellan enheter, gränssnitt och armatur.
- Flimmerfrekvens vid max ljusstyrka, min ljusstyrka och mellannivå.
- Högsta och minsta antal armaturer på styrenheten.
- Hur man beställer ett komplett system med TW.
- CRI på ljuset vid olika CCT-värden och ljusnivåer.

(Miller, personlig kommunikation, 31 januari, 2018; U.S. Department of Energy, 2016).

U.S. Department of Energy har tagit fram ett exempel på hur armaturtillverkare skulle kunna redovisa sin ljusdata för TW-produkter (Fig. 11). Man har tagit hänsyn till hur ljusdata som spektralfördelning, färgkvalitet, effekt, ljusflöde och flimmer justeras vid olika CCT-värden och ljusintensiteter.

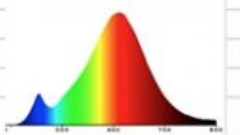
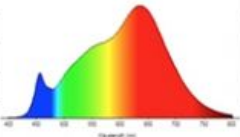
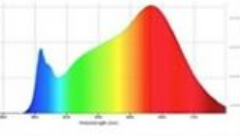
CCT Setting (K)	SPD icon	Color quality			Elec. Power	Photopic		Melanopic		Flicker Characteristics	
		R _a	R _f	R _g	W	lumens	lm/W	lumens	lm/W	% Flicker	Frequency
1800K											
at 100% output		84	82	92	18	2000	111	1800	100	100	2000
at 50% output		84	82	92	9	1000	111	700	77.8	100	1250
at 5% output		83	78	88	3	100	33	70	23.3	100	1250
2500K											
at 100% output		89	87	90	20	3000	150	2000	13.3	100	2000
at 50% output		87	85	90	10	1500	150	1000	6.7	100	1250
at 5% output		83	80	87	4	150	38	100	2.7	100	1250
3000K											
at 100% output		95	92	98	22	4000	182	3000	16.5	100	2000
at 50% output		95	92	98	11	2000	182	1500	8.3	100	1250
at 5% output		84	80	85	5	200	40	150	3.8	100	1250

Fig. 11. En provtabell som redovisar ljusdata för hur armaturtillverkare skulle kunna redovisa sina Tunable White produkter för att förtydliga för beställaren. Värdena representerar inte en produkt, de är framtagna för att illustrera ett exempel, i detta fall en "dim-to-warm"-armatur (U.S. Department of Energy). <https://energy.gov/eere/ssl/specifying-led-color-tunable-products>

2.6 Teorier om den kognitiva förmågan

Människans kognitiva förmåga har spelat en viktig roll i vår evolution. Då människan i årtusenden sökt, organiserat samt samlat information för att överleva. Detta beteende har lett till att människan idag har ett behov av att söka information likväl att se mönster i den information vi samlar. Problemet som uppstår med detta informationssökande är dock att alla inte tänker likadant vad gäller att hitta information.

I en studie som genomfördes om informationssökning 1983 där försökspersoner skulle hitta en specifik bok i ett bibliotek. Detta bibliotek hade inte något utskrivet system för hur böckerna var organiserade. Då försökspersonerna fann boken skulle de läsa ett kapitel för att sedan placera boken på ett ställe där försökspersonen tyckte boken skulle stå, detta för att göra det lättare för nästkommande försöksperson att hitta boken. Denna studie resulterade i att ingen av försökspersonerna som genomförde testet ställde boken på samma ställe som någon annan (Spink & Cole, 2006). Slutsatsen från denna studie tyder på att vi behöver redovisa information utifrån en mall/en standard för att alla enkelt ska kunna hitta det man söker.

2.7 Färgåtergivning och dess påverkan på människor

Färgåtergivning, eller CRI, är ett mått på en ljuskällas förmåga att återge färger realistiskt eller naturligt. Den referenskälla man jämför med när man mäter CRI är antingen glödlampa eller dagsljus. Ett CRI på 100 representerar maxvärdet, vilket motsvarar solljuset. Ett lägre CRI indikerar att vissa färger kan upplevas onaturliga (National Lighting Product Information Program, 2004). Generellt sett över världen anses ett minimumvärde på CRI 80 vara tillräckligt för inomhusbelysning, medans lägre värden är acceptabla utomhus (Pimputkar, et al. 2009; SS-EN 12464-1:2011). Ett högt CRI som efterliknar dagsljus kan minska stressen hos människor (Newman & Rebman, 2016).

Enligt en studie på färgåtergivning som gjordes i USA 2014, testades den föredragna färgåtergivningen mellan två olika CRI. De använde sig av två armaturer, en med CRI 85 samt den andra med CRI 97, armaturerna hade samma färgtemperatur 2900K. Försökspersonerna fick två vita tröjor presenterad framför sig, den ena tröjan belystes med CRI 85 och den andra med CRI 97. Försökspersonerna skulle sedan välja vilken tröja de föredrog samt vilken av tröjorna som upplevdes mest vit. Resultatet av denna studie (Fig. 12) visade att det var en stor skillnad på vad människorna i studien föredrog samt vilken av tröjorna som upplevdes vitast, vilket kan kopplas till vikten av en hög CRI vid projektering (Wei, Houser, David & Krames, 2015).

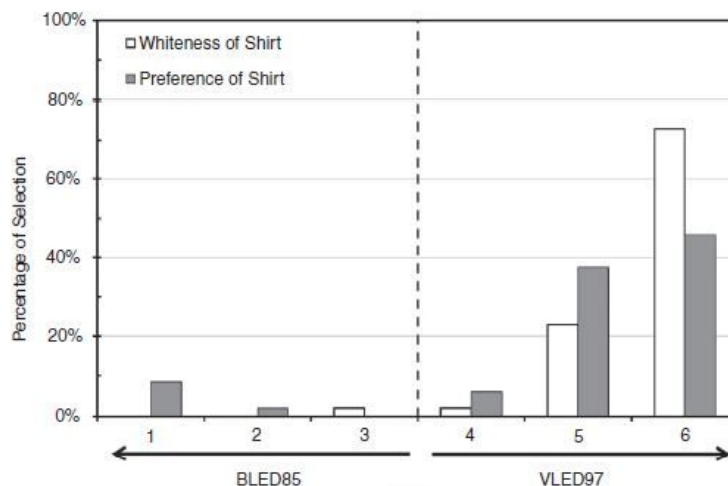


Fig. 12. Tabellen visar resultatet av vitheten samt föredragen tröja på en 6 gradig skala. Då 1 innebär att testpersonerna starkt föredrar ljuskällan med 85Ra och 6 innebär att testpersonerna starkt föredrar 97Ra (Wei, M., Houser, K.W., David, A. and Krames, M.R. (2015). *Perceptual responses to LED illumination with colour rendering indices of 85 and 97. Lighting Research & Technology.*).

2.8 Planck's kurva

Planck's kurva beskriver den spektrala densiteten hos elektromagnetisk strålning av en svart kropp i en given temperatur. Den spektrala strålning som utges av kroppen beskriver mängden energi som utges vid olika frekvenser vars spektrala sammansättning bestäms av dess temperatur i kelvin (Fig. 13), (National Lighting Product Information Program, 2004).

Färgen på ljuset från en ljuskälla beskrivs ofta med användning av kromaticitetskoordinater, vilket utgör ett grundläggande system för att mäta färger. Detta gör att man med hjälp av kromaticitetskoordinater kan beräkna en ljuskällas egenskaper och ge den en numerisk representation på Planck's kurva (Royer, Tuttle, Rosenfeld & Miller, 2013). Planck's kurva används idag inom ljus för att ange hur väl en ljuskälla återger färger på ett rättvisande och naturligt sätt genom att kolla hur väl kromaticitetskoordinater överensstämmer med Planck's kurva. Korrelerad färgtemperatur betyder att ljuskällans spektrala sammansättning grafiskt beräknar färgtemperaturen för att få en uppfattning om hur ljuset upplevs (Anell + Form, u.å.).

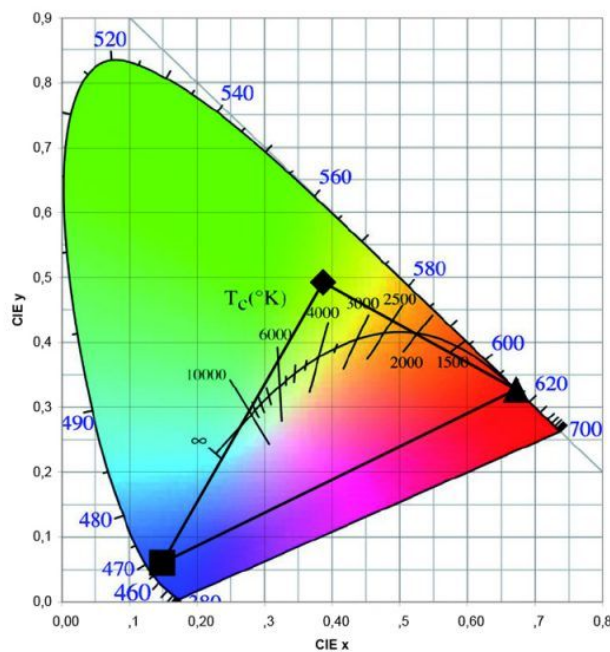


Fig. 13. Bilden visar den konstanta linjen av CCT utifrån Planck's kurva.
(<http://www.annell.se/wp-content/uploads/diagram-rgb-1280-720-1024x576.jpg>).

3. Metod

I nedanstående kapitel redovisas val av metod, där studien är uppdelad i två olika moment, en experimentell studie samt en enkätundersökning. Studien bygger på en experimentell studie med mätningar av CRI hos fem stycken TW-armaturer från fem olika leverantörer (Se kapitel 3.1). Den experimentella studien följs sedan upp av en enkätundersökning (Se kapitel 3.3) som riktades till 144 ljusdesigners baserade i Sverige. Enkätundersökningen berörde frågor gällande CRI hos konventionella ljuskällor/armaturer och TW-armaturer, samt hur den tekniska datan bör redovisas mot kund.

3.1 Experimentell studie

Författarna utförde egna mätningar med hjälp av en spektrometer (Fig. 14), av fabrikatet AsenseTEK (Bilaga 6) (ett instrument som mäter en ljuskällas egenskaper) för att visa exakt ljusdata. Fördelen med denna typ av studie är att armaturerna testades med ett erkänt instrument som visar exakt ljusdata utan några utomstående faktorer som påverkar. Armaturerna testades på CRI mellan olika CCT-nivåer vilka sedan dokumenterades och jämfördes med den information som idag fanns tillgänglig om CRI hos respektive armaturtillverkare.



Fig. 14. Lighting Passport av fabrikatet AsenseTEK.

Efter dessa jämförelser kunde författarna uttyda om de ljusdata som armaturtillverkarna har angivit på deras hemsidor faktiskt stämmer överens med den ljusdata som författarna fått fram i testerna. När ovanstående tester var genomförda kunde frågeställning 1 besvaras.

3.2 Kriterier för valda Tunable White-armaturer

Författarna utgick från fem olika TW-armaturer med färgtemperatur-intervallet 2700K-6000K samt ett angivet CRI på minimum 80, då detta är rekommendationer i de flesta inomhusmiljöer idag (Pimputkar, et al. 2009; SS-EN 12464-1:2011). Anledningen till att författarna har utgått från ett minimum på CRI 80 är att det finns en risk att CRI förändras mellan dessa olika färgtemperaturer, vilket i sin tur kan påverka upplevelsen av rummet samt att ett högt CRI som efterliknar solljuset kan minska stressen hos människor (Newman & Rebman, 2016). Det finns en risk att en viss färgtemperatur inte uppfyller de krav på CRI i rummet som armaturen placeras i. Företagen vars TW-armaturer författarna har testat är lokaliserade eller har en marknad i Sverige.

Mätningarna genomfördes på fem stycken TW-armaturer, varav en infälld downlight, en 600x600mm armatur, en plafond, en spotlight och en pendelarmatur. Valet föll på dessa fem armaturer för att författarna ansåg att det var en lämplig mängd för denna typ av studie. Urvalet av företag har skett genom granskning av respektive företags hemsida och hur dem specificerar sin CRI på deras armaturer.

3.3 Enkätundersökning

Efter att testerna ovan var genomförda skickades en enkätundersökning ut till 144 ljusdesigners verksamma i Sverige, där frågor gällande redovisning av ljusdata hos TW-armaturer samt hur man bör redovisa TW-armaturer berördes. Anledningen till att enkätundersökningen riktades mot ljusdesigner verksamma i Sverige var för att få en uppfattning av hur branschen ser på ämnet, då det projekteras allt mer TW-nuförtiden. Denna blankett (Bilaga 1) tog upp frågor angående vikten av att ta hänsyn till CRI vid val av TW-armaturer samt brister i redovisad ljusdata hos armaturtillverkare idag. Svaren från enkätundersökningen kunde sedan sammanställas och detta ledde till en slutsats samt diskussion om hur verksamma ljusdesigners i Sverige vill se CRI-redovisning av TW-armaturer. Då den experimentella studien och enkätundersökningen var genomförda kunde frågeställning 2 och 3 besvaras. Därefter kunde reflektioner göras om armaturtillverkare bör redovisa färgåtergivning tydligare eller på ett annat sätt, enligt författarnas tycke och i samband med enkätundersökningen.

3.4 Utformning av enkätundersökning

Enkätundersökningen genomfördes med ett bekvämlighetsurval riktat mot 144 verksamma ljusdesigners i Sverige med frågor som berör redovisning av ljusdata hos TW-armaturer samt hur man bör redovisa TW-armaturer. Detta urval anses vara representativt för populationen av ljusdesigners i Sverige. Fördelen med bekvämlighetsurval är att den riktas endast mot en lämplig population (Trost, 2012) i detta fall ljusdesigners som har projekterat, eller möjligen kommer att projektera med TW-armaturer i framtiden. Enkäten (Bilaga 1) bestod av totalt 7 huvudfrågor med kryssalternativ och 4 underfrågor, där deltagarna har fått svara i fri text. Se exempel i (Fig. 15).

2. Anser du generellt att den tekniska specifikationen tillhörande tunable-white produkter redovisas tillräckligt väl? (CCT, CRI, lm, lm/W osv)

- ☐ Mycket dåligt
- ☐ Dåligt
- ☐ Bra
- ☐ Mycket bra
- ☐ Vet ej

3. Om mycket dåligt/dåligt, vad isåfall saknar du?

Fig. 15. Figuren visar ett utdrag ur enkätundersökningen som mailades ut till 144 ljusdesigners i Sverige. Exemplet visar två frågor, den första med kryssfrågor som sedan följs upp med en underfråga där svararen får svara i fri text.

Frågorna i enkäten är enkelt formulerade med bundna svarsalternativ. Bundna svarsalternativ har visat sig vara det mest effektiva tillvägagångssättet vid utformandet av en frågeenkät. Detta för att respektive person som ska svara på enkäten inte ska tycka det är jobbigt utan enkelt och snabbt kunna svara på alla frågor utan att tappa intresse (Trost, 2012). För att ytterligare undvika bortfall har antalet frågor på enkäten anpassats för att inte ta upp mer tid än max 10 minuter av respektive person som ska svara på enkäten (Ejlertsson, 2005). Med hjälp av den experimentella studien som lade grund till problemet gällande redovisning av CRI, där författarna såg brister i redovisningen av TW-armaturer, kunde frågorna utformas. En mail intervju genomfördes också med Naomi J. Miller, Designer/Senior Scientist, Pacific Northwest National Laboratory, (Bilaga 7) för att få en bredare uppfattning angående problematiken med redovisning av TW-produkter. Efter intervjun med Naomi J. Miller samt efter diskussion med handledare utifrån vad författarna ville ha svar på, strukturerades frågorna i enkätundersökningen, som sedan skickades ut till 144 ljusdesigner baserade i Sverige.

4. Genomförande

I nedanstående kapitel presenteras hur genomförandet av den experimentella studien samt enkätundersökningen har sett ut. Författarna redogör för hur processen har sett ut gällande dataanalyser, experimentell situation samt tillvägagångssätt vid respektive moment.

4.1 Genomförande av experimentell studie

Totalt fem armaturer från fem olika leverantörer mättes i denna experimentella studie. Fyra av armaturer mättes från 2700K till 6000K, varav en armatur mättes från 2100K till 4300K. Anledningen till att en armatur med 2100K-4300K togs med i den experimentella undersökningen var för att författarna var intresserade om man kunde tyda någon skillnad mellan en TW-armatur med ett kortare färgtemperaturintervall jämfört med armaturer med ett bredare färgtemperaturintervall. Då författarna mätte armaturerna utifrån egen reglering av färgtemperatur avrundades färgtemperaturen till närmsta 500-tal. Exakta mätpunkter redovisas i Bilaga 4. Syftet med denna experimentella studie var att se om informationen mot beställare är tillräcklig samt om den redovisade data av TW-armaturer är korrekt.

Verktyget som användes för att mäta armaturerna var en spektrometer av fabrikatet AsenseTEK (Bilaga 6). För att fastställa att spektrometer visade rättvisa värden genomfördes ett test i samarbete med Fagerhult belysning. Spektrometern Lighting Passport från AsenseTEK jämfördes med Fagerhults photogoniometer vilket visade samma värden när mätningarna gjordes på ett avstånd på 300mm från ljuskällan.

4.2 Experimentell situation

Mätningarna gjordes i laboriemiljö på Tekniska Högskolan i Jönköping, vilket är en kontrollerad miljö där alla mätningar fått samma förutsättningar i form av reflektionsfaktorer och avvikande dagsljus. Här kunde påverkan av utomstående faktorer tas bort för att enbart få ljus från respektive armatur som testades. I laboriemiljön är det vita väggar och vitt tak och mätningarna gjordes cirka 300mm från ljuskällan/armaturen. Testarna av respektive TW-armatur genomfördes med en spektrometer vid namn "Lighting Passport" (Bilaga 6) som tar fram ljusdata som till exempel CRI (Ra) (R1-R8), CIE 1931/1976, våglängder, SDCM, CCT. Armaturerna testades på 100% ljusstyrka i nio olika färgtemperaturpunkter för att mäta skillnaden hur CRI varierar vid förändring av färgtemperatur. Mätpunkterna som testades var 6000K, 5500K, 5000K, 4500K, 4000K, 3500K, 3000K och 2700K. Dessa mätpunkter är framtagna efter rekommendationer av Pacific Northwest National Laboratory, vilka själva använde dessa mätpunkter i deras tester av TW-armaturer. De föreslår ett minimum på fem till sju olika mätpunkter vid test av TW-armaturer (Pacific Northwest National Laboratory, 2015).

4.3 Dataanalys av experimentell studie

Då alla mätningar genomförts startade en sammanställning av all data som samlats in. Samtlig data från mätningarna sammanställdes i ett excel-dokument där exakta värden från alla armaturer visas (Bilaga 4). Utifrån denna data avrundades alla färgtemperaturer till närmsta 500-tal (Fig. 16) för att kunna skapa ett stapeldiagram och på ett enkelt sätt kunna jämföra resultatet från de olika armaturerna mot varandra (Kapitel 5.1).

Armatur X	
CCT-värde	Färgåtergivning
(K)	(CRI/Ra)
2700K*	xx
3000K*	xx
3500K*	xx
4000K*	xx
4500K*	xx
5000K*	xx
5500K*	xx
6000K*	xx
*Vid 100% ljusstyrka.	

Fig. 16. Figuren visar hur datainsamlingen har genomförts i excel för respektive armatur som författarna har mätt på.

Då författarna ville ta reda på hur väl armaturl tillverkarens specificerade CRI stämmer överens med det faktiskt uppmätta, har armaturl tillverkarnas specifikationer letats upp och ligger som figurer under respektive uppmätt armatur. Med dessa resultat gjordes en jämförelse mellan redovisad CRI och uppmätt CRI, (kap. 5.1).

4.4 Genomförande av enkätundersökning

För att besvara frågeställning 3 "Hur bör CRI hos en TW-armatur redovisas enligt yrkesverksamma ljusdesigners i Sverige?" genomfördes en enkätundersökning med syftet att se om redovisad data är tillräcklig gentemot beställaren. I enkätundersökningen som genomfördes v. 13, 2018, mailades en länk till ett frågeformulär ut till 144 ljusdesigners i Sverige, av dessa 144 ljusdesigners så har 52st valt att besvara enkäten.

4.5 Dataanalys av enkätundersökning

Syftet med enkätundersökningen är att se vad ljusdesigners baserade i Sverige vill ha specificerat gällande TW-armaturer. Frågorna (Bilaga 1) besvarades via en plattform som heter Survio (<https://www.survio.com/sv/>). Denna plattform är ett enkelt enkätverktyg för att skapa webbenkäter och sammanställa dess data. Frågorna ställdes som kryssfrågor med uppföljningsfrågor där deltagarna fick chans att uttrycka sina åsikter i fri text.

4.6 Deltagare i enkätundersökningen

Deltagarna som enkäten har mailats ut till har varit verksamma ljusdesigners från hela Sverige från företag som; Sweco, WSP, Tyréns, Black Ljusdesign, ÅF, White arkitekter, Rejlers, Kontrast Group, Exengo, Bjerking, Felio Sylvania, Cardi, Taras Ljusdesign, Auralight, Tengbom, Hidealite, Ateljé Lyktan, Fagerhult belysning, Ramböll, ERCO, Zumtobel, Anell, ECO konsult Stockholm, ELK och Ljusrum. Sammanlagt valde 52 av 144 ljusdesigners att svara på enkäten. Urvalet skedde via en lista som tillhandagavs av avdelningen för byggnadsteknik och belysningsvetenskap på Jönköping University med gamla ljusdesignstudenter. Denna lista kompletterades med att gå igenom belysningsföretag (<http://belysningsbranschen.se/leverantorer-konsulter/belysningsforetag/>) och belysningskonsulter (<http://belysningsbranschen.se/leverantorer-konsulter/belysningskonsulter/>) i belysningsbranschen, där enkäten mailades ut till ljusdesigners respektive företag som hade kontaktuppgifter att tillgå.

5. Resultat och analys

I detta kapitel (5.1) redogörs resultat från samtliga mätningar i form av fem stycken stapeldiagram (5 st TW-armaturer) dessa ställs mot vad respektive armaturtillverkare har specificerat i deras produktdatablad. I kapitel 5.2 redovisas och analyseras resultat från enkätundersökningen som ställdes till 144 ljusdesigners i Sverige, som 52 stycken valde att besvara.

5.1 Experimentell studie

Översiktstabellen (Fig. 17 & Bilaga 4) visade en skillnad i CRI på samtliga fabrikat vid olika CCT-nivåer, där vissa skiljde stort medans andra hade en mer jämn reglering av CRI. Författarna väljer att kalla de fem testarmaturerna för "Fabrikat 1-5". Vid granskning av översiktstabellen visade det sig att två stycken armaturer, (fabrikat 3 och fabrikat 4) inte uppfyller de specifikationer armaturtillverkarna har specificerat i produktdatabladen.

Fabrikat 1		Fabrikat 2	
CCT	CRI	CCT	CRI
2744	81	2803	83
2960	83	2947	83
3510	85	3574	85
3943	86	4127	86
4450	87	4547	86
4982	86	5145	85
5469	86	5552	85
6135	85	6130	86
Fabrikat 3		Fabrikat 4	
CCT	CRI	CCT	CRI
2762	94	2657	82
2946	93	2988	84
3494	89	3401	85
4179	88	3993	86
4666	89	4604	85
5059	87	5150	84
5422	87	5493	84
5941	85	6071	83
Fabrikat 5			
CCT	CRI		
2166	88		
2750	90		
3035	91		
3506	90		
3981	89		
4278	90		

Fig. 17. Figuren ovan är en översiktstabell som presenterar samtliga uppmätta värden i CCT och CRI för armatur 1-5.

5.1.1 Fabrikat 1

Stapeldiagrammet (Fig. 18) visar skillnad i CRI mellan 2700K-6000K för vad författarna väljer att kalla "Fabrikat 1". Som man kan uttyda i stapeldiagrammet ligger CRI över 80 genom hela färgtemperaturintervallet, men det skiljer sig i CRI mellan 2700K (CRI 81) till 4500K (CRI 87). Företag X har angett Ra (CRI) 80 för "fabrikat 1" (Fig. 19) samt att "armaturer med Tunable-white redovisas med värden för 4000K".

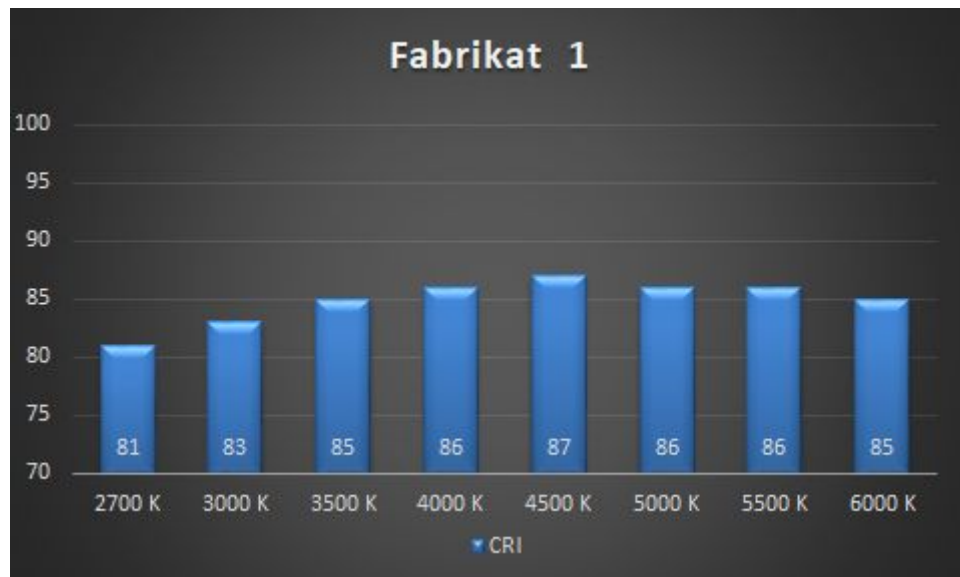


Fig. 18. Y-axeln visar de olika mätpunkterna i kelvin, medan X-axeln visar skillnaden i CRI. Figuren visar värdet av CRI under olika färgtemperaturer mätta från fabrikat 1. En skillnad kan ses mellan 2700K då lägsta CRI värde mättes och 4500K då högsta CRI värde mättes.



Fig. 19. Figuren visar ljusdata från företag X som författarna väljer att kalla "Fabrikat 1". Man har angett i sitt produktdatablad att "Armaturer med Tunable-white redovisas med värden för 4000K".

5.1.2 Fabrikat 2

Fabrikat 2 som redovisas i stapeldiagrammet (Fig. 20) nedan visar ett jämnt CRI genom färgtemperaturintervallet. Det skiljer 3 i CRI mellan 2700K-6000K enligt författarnas mätningar. Företag X har redovisat färgåtergivning min 80, vilket TW-armaturen klarar enligt mätningarna i detta fallet (Fig. 21).



Fig. 20. Stapeldiagrammet redovisar förändring av CRI under olika färgtemperaturer från fabrikat 2. Resultatet av denna mätning visar att CRI värdena förändras med 3 enheter..

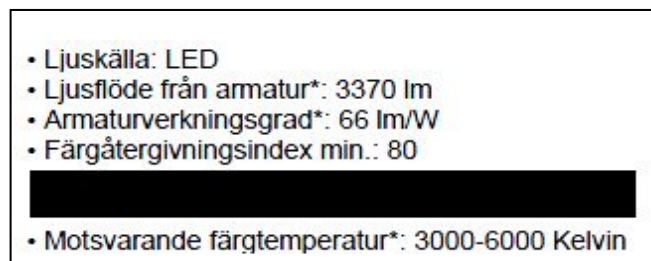


Fig. 21. Figuren visar ljusdata från företag X armatur som författarna väljer att kalla "Fabrikat 2". Man presenterar CRI/Ra med ett minimum på 80 samt ett färgtemperaturintervall mellan 3000K-6000K. I företag X produktblad har de även beskrivit att alla värden som är markerade med en "*" är beräknade värden samt färgtemperaturtolerensen som +/-150K.

5.1.3 Fabrikat 3

Fabrikat 3 som redovisas i stapeldiagrammet (Fig. 22) nedan visar den största skiftning i CRI genom färgtemperaturintervallet. Här skiljer 9 CRI enheter mellan intervallet 2700K-6000K. Enligt produktspecifikationen (Fig. 23) har företaget angett ett CRI på minimum 90 vilket enligt mätningarna i detta fall inte stämmer överens, då armaturen på 6000K resulterade i CRI 85. I företag X produktblad har de även beskrivit att alla värden som är markerade med en "*" är beräknade värden samt färgtemperaturlöslansen som +/-150K.



Fig. 22. Stapeldiagrammet redovisar förändring av CRI under olika färgtemperaturer från fabrikat 3. Här visar resultatet av mätningarna en skillnad på 9 CRI mellan 2700K och 6000K. Detta var de fabrikat med största skillnad i CRI av de fabrikat författarna testade.

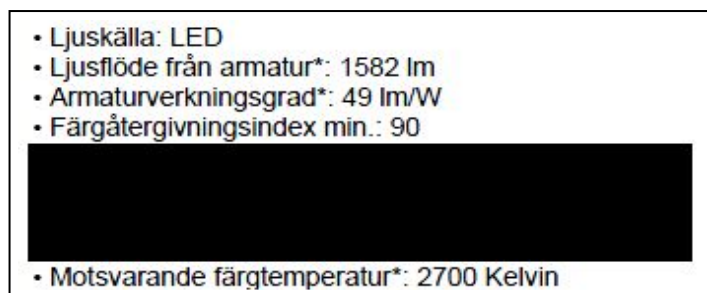


Fig. 23. Figuren visar produktspecifikationen av fabrikat 3 där företaget har angett en färgåtergivning/CRI på minimum 90. Enligt författarnas mätningar stämmer inte denna produktspecifikation då minimumvärdet visar CRI 85. Noterbart är att företag X endast har beskrivit färgtemperaturen som 2700K för denna TW-armatur.

5.1.4 Fabrikat 4

Fabrikat 4 vilket redovisas i stapeldiagrammet (Fig. 24) nedan visar skiftning på 4 CRI genom färgtemperaturintervallet 2700K-6000K. Vad gäller produktspecifikationen (Fig. 25) är den otydlig enligt författarnas mening, då det är svårt att utläsa om värdena på specifikationen gäller TW-armaturen eller om det är 3 olika typer av armaturer som redovisas.

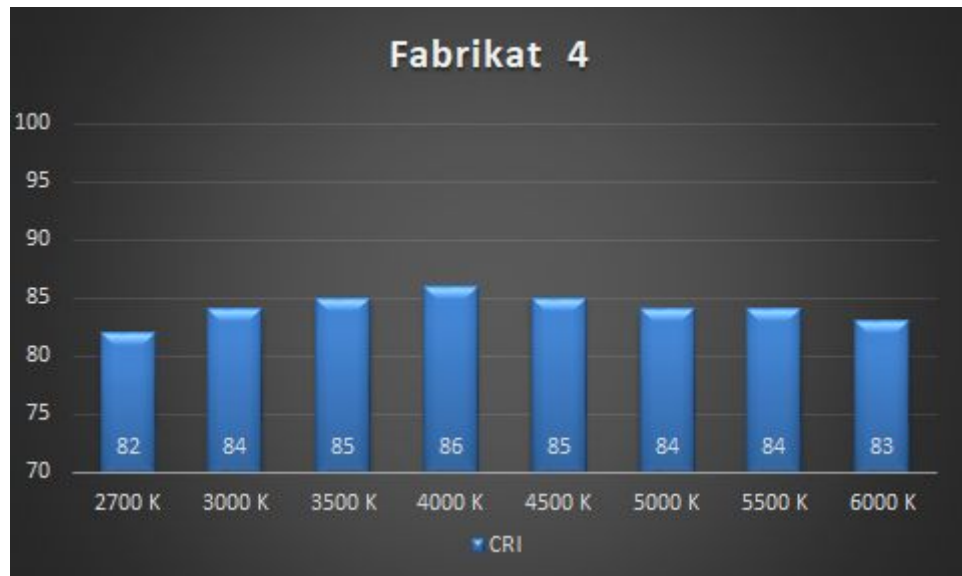


Fig. 24. Figuren redovisar förändring av CRI under olika färgtemperaturer från fabrikat 4. Resultatet visar här en förändring av 4 CRI enheter.

Ljuskälla	LED 2000 - 12 000 lumen ut Färgtemperatur 3000/4000 K, CRI Ra 80 och 90, MacAdams 3 Tuneable white (CCT)
-----------	---

Fig. 25. Figuren visar produktspecifikationen av fabrikat 4. Här redovisas vad författarna förstår 3 olika armaturtyper. 3000K med 80 CRI/Ra, 4000K med 90 CRI/Ra samt Tuneable White utan några specifikationer.

5.1.5 Fabrikat 5

Stapeldiagrammet (Fig. 26) nedan visar en armatur som har färgtemperatur mellan 2100K-4300K, vilket skiljer sig från de andra fabrikaten som har en färgtemperatur mellan ~2700K-6000K. Anledningen till att en armatur med 2100K-4300K togs med i den experimentella undersökningen var för att författarna var intresserade om man kunde tyda någon skillnad mellan en TW-armatur med ett kortare färgtemperaturintervall jämfört med armaturer med ett bredare färgtemperaturintervall. Jämfört med resterande fabrikat uppnådde Fabrikat 5 ett högt CRI som förändrades med 3 CRI enheter mellan färgtemperaturintervallet. Gentemot vad företaget har specificerat (Fig. 27) så ligger CRI:n näst intill mot vad de har redovisat i sin specification.

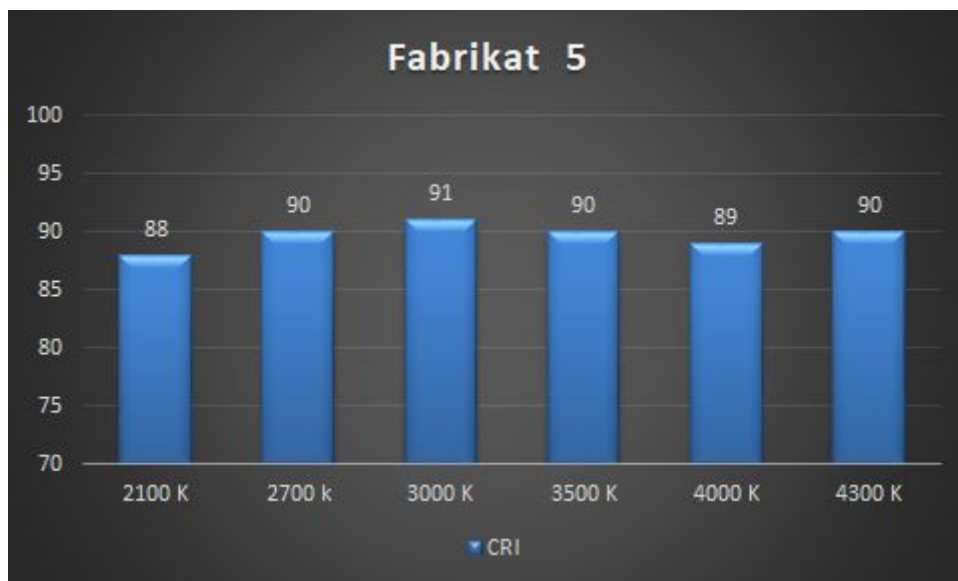


Fig. 26. Stapeldiagrammet redovisar förändring av CRI under olika färgtemperaturer från fabrikat 5. Resultatet visar här en förändring av 3 CRI enheter.

Correlated colour temperature range (K)	2100-4300
Light colour	Tuneable White
CRI (Ra)	90
Colour Consistency (SDCM)	3

Fig. 27. Figuren visar produktspecifikationen av fabrikat 5. Här redovisas CRI/Ra 90 vilket fabrikat 5 uppnår i 4 av 6 mätpunkter med ett lägsta värde på CRI 88.

5.2 Enkätundersökning

5.2.1 Svar gällande projektering av tunable-white

När mätningarna av TW-armaturerna var färdiga genomfördes en enkätundersökning med frågor ställda till ljusdesigners i Sverige gällande CRI/Ra och projektering av tunable-white i inomhusmiljöer. Av de 144 ljusdesigners som författarna bjöd in till att svara så valde 52st (N=52) att svara på enkäten. Av dessa 52 ljusdesigners som valde att delta i enkätundersökningen svarade 71,2% (37st) att de hade projekterat med tunable-white armaturer (Fig. 28).

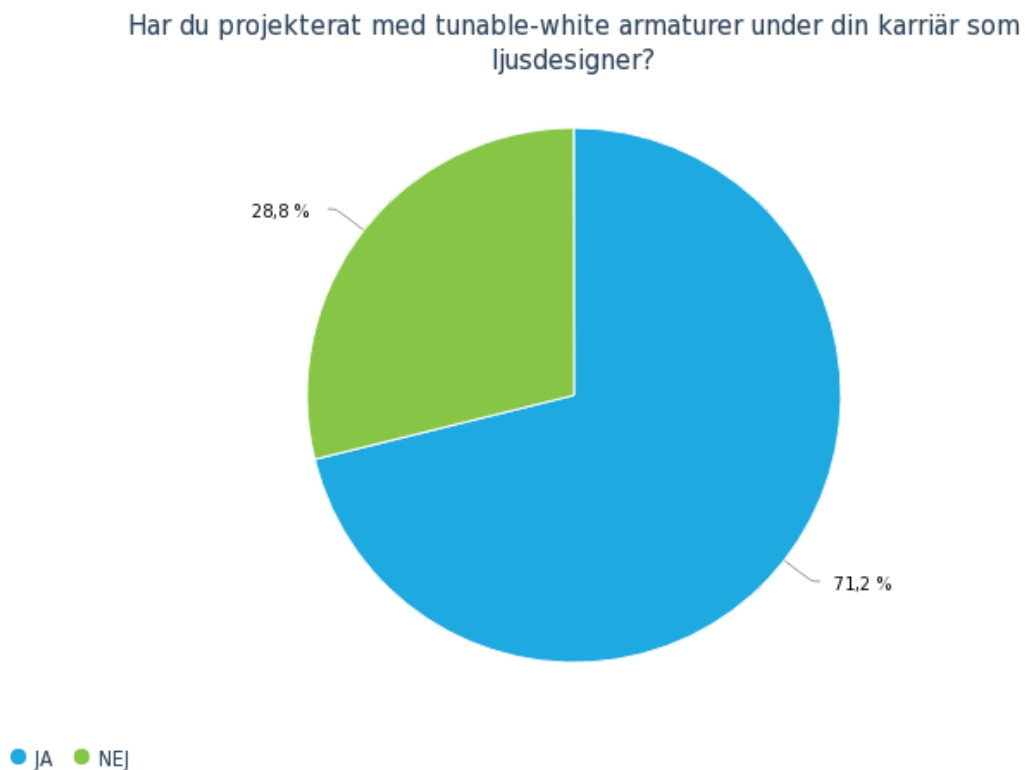


Fig. 28. Av de 52 ljusdesigners som deltog i enkätundersökningen så svarade 28,8% (15st) att de inte hade projekterat med tunable-white, medans 71,2% (37st) uppgav att de hade gjort det.

Av de 37 som uppgav att de hade projekterat med tunable-white armaturer så svarade 26,9% (14st) att beställare/brukare var mycket nöjda, att 30,8% (16st) var nöjda samt 42,3 % (22st) svarade vet ej. Av att tyda cirkeldiagrammet (Fig. 29) nedan så har det inte funnits några negativa responser från beställare/brukare gällande projekteringen av tunable-white.

Om "JA" på fråga 1, hur har responsen varit från beställare/brukare?

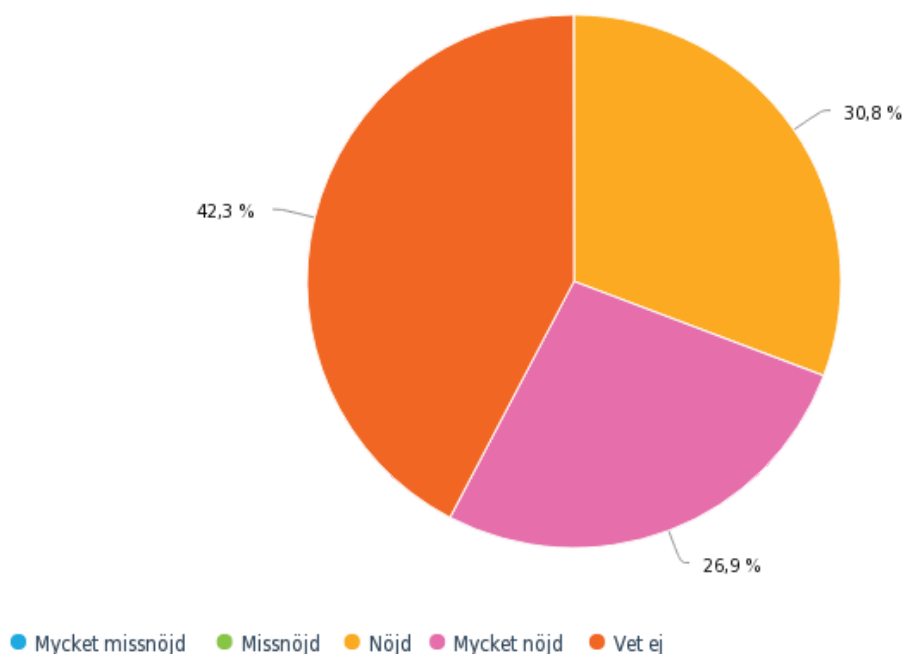


Fig. 29. Figuren visar om responsen från beställare har varit positiv/negativ gällande projekteringen av tunable-white. 26,9% (14st) fått mycket positiva responser från beställare/brukare och 30,8% (16st) har fått positiva responser. 42,3% (22st) av respondenterna svarade "Vet ej".

På den öppna följdfrågan som löd "Vad var brukare/beställare nöjd/missnöjd med vid projekteringen av tunable-white armaturer?" svarade några av de medverkande ljusdesigners följande:

"Brukaren upplevde en stor förbättring - kanske mer än vad som egentligen är motiverat (Hawthorne-effekten?)" (Hawthorne-effekten innebär att testpersoner omedvetet ändrar sitt beteende eftersom de blir observerade, och därför agerar annorlunda än vad de skulle gjort om de inte blivit observerade) (Berthelot, Le Goff & Maugars, 2011).

"På grund av okunskaper från beställare så uppskattas funktionen av varierande färgtemperatur och att det "KAN" exempelvis, påverka människors välmående och förhöja prestandan på arbetsplatsen".

"Tanken i mitt projekt var att de inte skulle märkas av utav användarna. Brist på att folk pekade ut hur bra (eller dåligt) det var ser jag som en vinst. Kunden gillade det".

På denna fråga svarade (Fig. 29) 42,3% (22st) vet ej, vilket kan kopplas till att det aldrig blev någon uppföljning eller att pågående projekt ej är slutfört. Då resterande svar 30,8% (16st) var nöjda eller 26,9% (14st) mycket nöjda, kan detta betyda att de uppföljningar som gjorts varit positiva. Alla respondenternas svar hittas i Bilaga 3.

5.2.2 Svar gällande tekniska specifikationer tillhörande tunable-white armaturer

Cirkeldiagrammet nedan (Fig. 30) visar i procent antalet svar på frågan "Anser du generellt att den tekniska specifikationen tillhörande tunable-white produkter redovisas tillräckligt väl? (CCT, CRI, Im, lm/W osv). I diagrammet kan man tyda att 30,8% (16st) ansåg redovisningen av TW-armaturer vara dålig, samt att 46,2% (24st) ansåg redovisningen vara bra. Dessa två svarsalternativ utgjorde största delen av svaren vilket tyder på att åsikterna skiljer sig mycket om TW-armaturer idag redovisas tillräckligt väl. 11,5% (6st) uppgav att de inte hade någon åsikt i frågan.

Anser du generellt att den tekniska specifikationen tillhörande tunable-white produkter redovisas tillräckligt väl? (CCT, CRI, Im, lm/W osv)

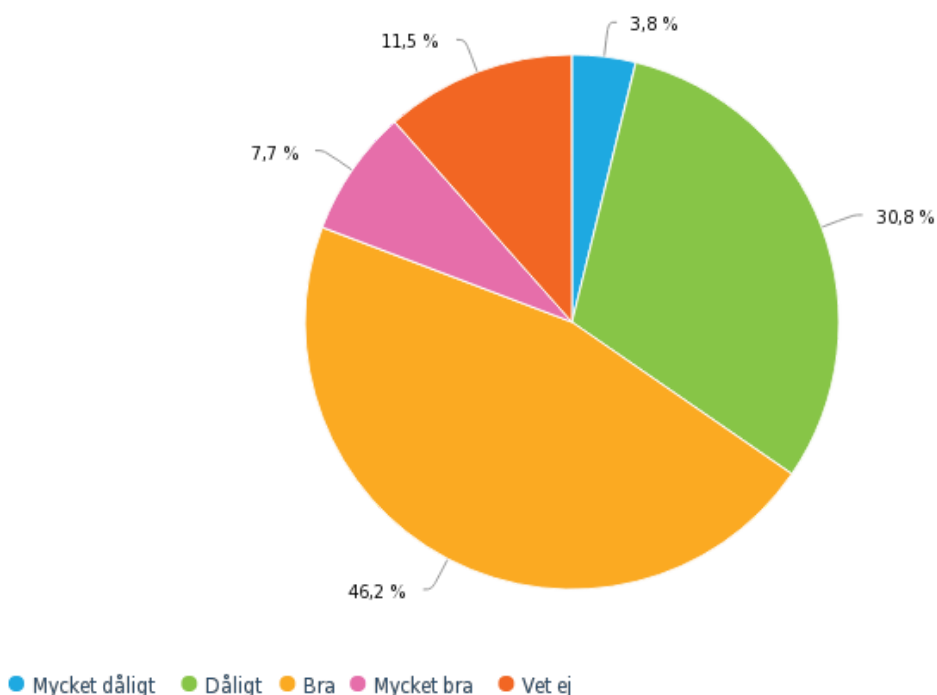


Fig. 30. Tårtdiagrammet visar antalet svar i procent på ovanstående fråga. Av de 30 deltagare som svarat svarade 30,8% (16st) att de var dåligt, 46,2% (24st) bra, 7,7% (4st) mycket bra, 11,5% (6st) vet ej och 3,8% (2st) mycket dåligt.

På följdfrågan "Om mycket dåligt/dåligt, vad isåfall saknar du?" fick deltagarna i enkäten svara fritt angående vad som var dåligt/mycket dåligt. Några av de medverkande svarade följande:

"Vill gärna veta var i kurvan sämsta färgåtergivning uppstår"

"Typvärden vid olika färgtemperaturer t.ex lm/w, ljusflöde, CRI och liknande"

"Jag tror inte så många har koll på CRI värdet vid tunable-white"

"Redovisar sällan för hela kelvinspannet, i synnerhet inte lägsta/högsta K"

Svar från alla respondenternas hittas i Bilaga 3.

5.2.3 Svar gällande krav på CRI vid inomhusprojekt

Cirkeldiagrammet nedan (Fig. 31) visar vad deltagarna i enkätundersökningen svarade i procent angående vilket krav på CRI de brukar ha gällande inomhusprojekt. 44,2% (23st) svarade att hade krav på CRI över 80 och 19,2% (10st) svarade varierar stort och 32,7% (17st) menar att de brukar ha minst CRI 90. Man kan tyda av cirkeldiagrammet att det var mycket skilda åsikter gällande denna fråga.

Vilket krav på CRI brukar du ha gällande produktval till ett inomhusprojekt?

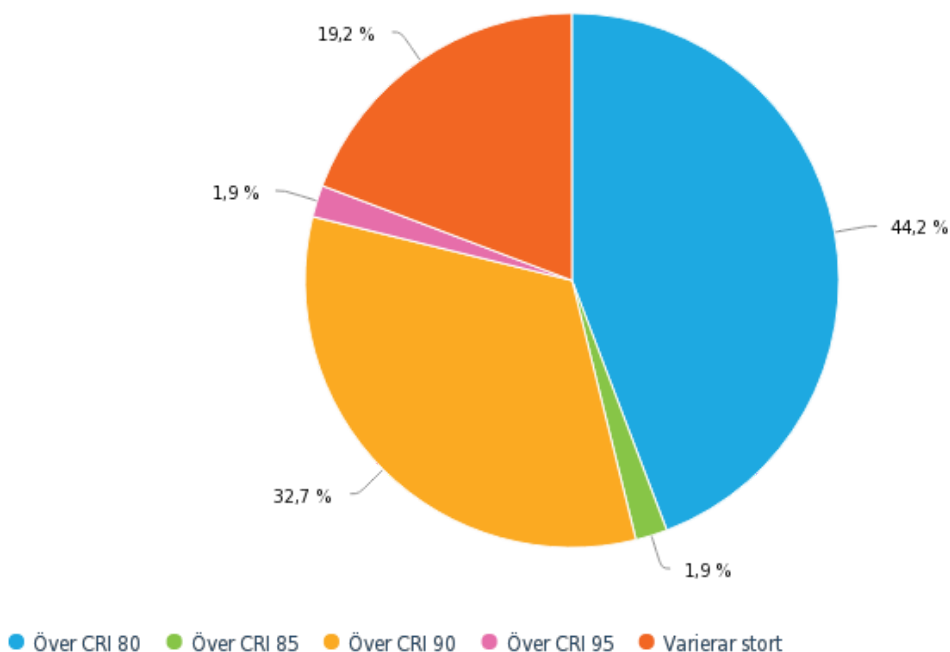


Fig. 31. Cirkeldiagrammet visar antalet svar i procent gällande vilka krav på CRI respondenterna har i sina projekt. Av de 52 respondenter som medverkat i enkätundersökningen svarade 44,2% av respondenterna (23st) att de har krav på över CRI 80. 1,9% (1st) brukar ha över CRI 85, 32,7% (17st) över CRI 90, 1,9% (1st) över CRI 95 och 19,2% (10st) menar att det varierar stort.

5.2.4 Svar gällande vikten av CRI hos konventionella ljuskällor/armaturer

De ljusdesigners som medverkade i enkätundersökningen fick chans att svara på hur viktigt de tycker det är med en hög CRI när de föreskriver konventionella ljuskällor/armaturer i sina projekt.

Cirkeldiagrammet nedan (Fig. 32) visar att 46,2% (24st) tycker att det är mycket viktigt och 42,3% (22st) anser att det är viktigt. Noterbart är att 5,8% (3st) ansåg att det är mycket oviktigt med hög CRI vid projektering av konventionella ljuskällor.

Hur viktigt tycker du det är med en hög CRI när du föreskriver konventionella ljuskällor/armaturer i ditt projekt?

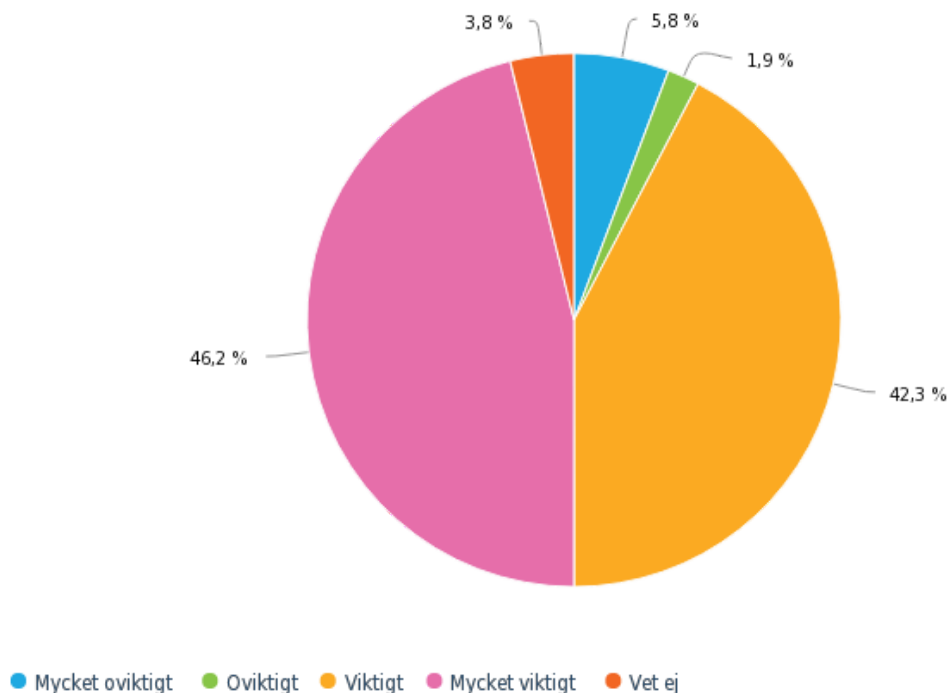


Fig. 32. 46,2% (24st) anser att det är mycket viktigt med en hög CRI vid projektering av konventionella ljuskällor/armaturer medans 42,3% (22st) ansåg att det var viktigt. 5,8% av respondenterna (3st) har svarat att det är mycket oviktigt, 1,9% (1st) menar att det är oviktigt och 3,8% (2st) har ingen åsikt i frågan.

Följdfrågan löd "Varför tycker du det är viktigt/oviktigt?", där respektive ljusdesigner fick uttrycka sina åsikter fritt. Då valde en del av respondenterna att svara följande:

"Färg och ljus hör ihop. Att återge färg på bästa möjliga sätt ger en mer levande upplevelse som bidrar till mer spännande och omfattande miljöer".

"För att säkerställa att jag lämnar ifrån mig ett projekt jag anser uppfyller mina krav på ljusmiljö. I detta ingår ett bra CRI-värde som återger färger så naturligt som möjligt".

"Som en del i att hålla en hög ljus kvalitet anser jag det viktigt. Mer intressant att försöka se TM 30-15."

"Jag anser att det är viktigt med högt CRI för att det gör så mycket för upplevelsen av ett rum. Särskilt viktigt är det i miljöer som exempelvis restauranger, retail och gallerier då kundens tjänster/produkter uppvisas mer säljande/inbjudande".

Då 46,2% (24st) svarade att det är mycket viktigt med hög CRI av konventionella ljuskällor (Fig. 32) kan dessa kommentarer tyda olika aspekter på varför det är viktigt. Alla respondenternas svar hittas i Bilaga 3.

5.2.5 Svar gällande vikten av CRI hos tunable-white armaturer

Cirkeldiagrammet nedan (Fig. 33) visar svaren i procent vid frågan "Hur viktigt tycker du det är med en hög CRI när du föreskriver tunable-white armaturer i ditt projekt?". Av de 52 respondenter som deltog i enkätundersökningen svarade 48,1% (25st) att det var mycket viktigt med hög CRI vad gäller TW-armaturer samt 30,8% (16st) svarade viktigt. Av dessa svaren kan man tyda att de flesta av deltagarna i enkätundersökningen anser det viktigt eller mycket viktigt vad gäller CRI hos TW-armaturer.

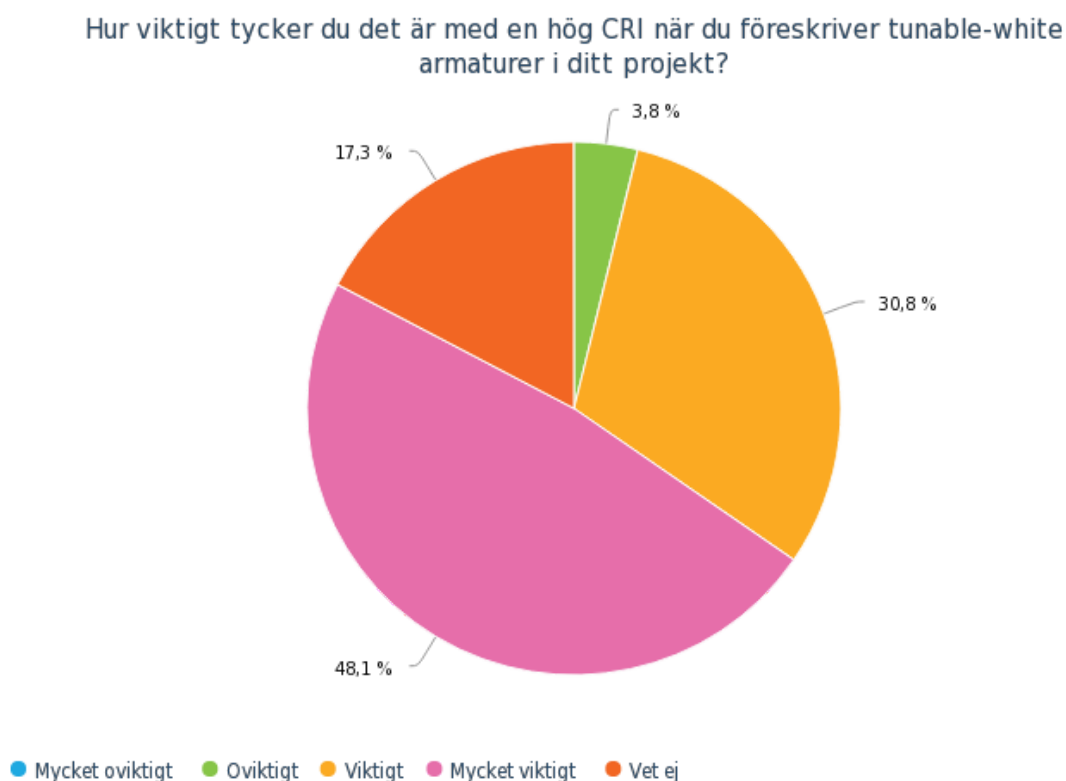


Fig. 33. Cirkeldiagrammet visar antalet svar i procent på ovanstående fråga. Av de 52 deltagare som svarat svarade 0% (0st) att det var mycket oviktigt, 3,8% (2st) anser att det är oviktigt, 30,8% (16st) viktigt, 48,1% (25st) mycket viktigt och 17,3% (9st) vet ej.

Följdfrågan löd "Varför tycker du att det är viktigt/oviktigt?", där respektive ljusdesigner fick uttrycka sina åsikter fritt, några svarade följande:

"Viktigt att kulörer i rummet inte byter skepnad pga en annan färgtemperatur".

"Det är viktigt för att jag vill skapa trivsamma, funktionella, säkra och vackra platser. Specifikt för Tunable-white så kan det ju skilja beroende på färgtemperaturen, så det vill jag ha koll på. Även att om det finns specifika krav i en viss miljö att samtliga färgtemperaturer uppfyller de CRI-krav som finns".

"Om tekniken med tunable white ska vara trovärdig måste ljuskvaliten leva upp till det på alla sätt"

"Viktigt att alltid sträva efter teknik som förbättrar människors komfort och förutsättningar".

Av dessa svar att tyda tycker de flesta respondenterna att CRI är en viktig/mycket viktig del av en TW-armatur för att säkerställa en bra ljuskvalitet. Svar från alla respondenternas hittas i Bilaga 3.

5.2.6 Svar gällande hur man bör redovisa CRI för tunable-white armaturer

Den sista frågan i enkätundersökningen löd *“Hur anser du att man bör redovisa CRI för tunable-white armaturer”*. De ljusdesigners som deltog i enkätundersökningen fick svara fritt på denna fråga, där man kunde se många intressanta tankar och mycket delade åsikter:

“Kanske i givna färgtemperaturer. 2200K, 2700K, 3000K, 4000K, 5000K osv”.

“Redovisa CRI för varje enskild LED typ i armaturen”.

“Skiftningar ska representeras vid per 100:e steg i färgtemperatur, liksom lumenflöde”

“Jag tror TM-30-15 har en del goda idéer”.

“Föreskriver sällan TW och är därmed dåligt insatt i hur dess dokumentation skiljer sig från statiska produkter - men jag vill kunna utläsa färgåtergivning vid det sämsta läget i kurvan. Egentligen skulle det vara intressant att veta färgåtergivningen vid jämna mellanrum, utifall det skiljer sig mycket vissa steg av någon anledning (ex CRI90 vid 3000K och CRI96 vid 3100K).”

“Färgåtergivning för de olika färgtemperaturerna, gärna med TM30-diagram som visar förändringar i spektralfördelningen”.

“Jag tror det räcker med ett sammanlagt värde för armaturens CRI-värde för att inte röra till det för beställare. Jag tror de har fullt upp med alla andra värden som vi anger. Vet de tex skillnad på CRI8 och CRI14 eller 15? Börjar vi sedan prata om SCDM-värden så tror jag många åker upp på läktarn”.

Svar från alla respondenternas hittas i Bilaga 3.

6. Diskussion och slutsatser

Kapitel 6. Diskussion och slutsatser inleds med resultatdiskussion som sedan följs upp av metoddiskussion. Kapitlet avslutas med slutsatser och rekommendationer, samt vidare forskning inom ämnet.

6.1 Resultatdiskussion

För att svara på frågeställning 1 och 2, "*Hur väl stämmer armaturlöslösningens specificerade CRI överens med det faktiskt uppmätta?*" samt "*Hur väl redovisas Tunable White-armaturens färgåtergivning av armaturlöslösningarna?*" gjordes en jämförelse mellan författarnas resultat mot vad armaturlöslösningarna specificerat. Resultat visar att 2 av 5 specifikationer inte stämmer överens med vad armaturlöslösningarna i fråga redovisat.

Ovanstående kan bero på att de nyare versionerna av TW-armaturer med mer avancerad teknik som multi-chipteknologi eller flerchipsteknologi är relativt nytt på marknaden. I och med detta kan resultatet bli att man värdesätter mer att följa "HCL-fenomenet" som säljargument, än att uppfylla en god ljuskvalité på sina produkter. Human Centric Lighting har blivit ett starkt säljargument med fler och fler forskningar som påvisar dess fördelar. En annan aspekt skulle kunna vara att man ej redovisar TW-produkter lika noggrant av ren lathet från armaturlöslösningarnas sida. Man väljer att inte skilja på standardarmaturer kontra TW-armaturer i uppläggen av sina produktdatablad, vilket medför risker då ett system med TW är en mer komplex teknik som anses kan förbättra människans prestationsförmåga, effektivitet, koncentrationsförmåga samt stabilisera dygnsrytm (Ye, Zheng & Ronnier Lou, 2016; Plischke, 2016). Risken finns att beställare/kunder köper TW-systemet med hopp om att det ska påverka oss människor positivt, medan vissa TW-armaturer i själva inte uppfyller de krav som ställs på ljuskvalité vad gäller CRI. Detta då exempelvis, man kan se i (5.1 Experimentell studie) färgåtergivningen skiftar mellan olika färgtemperaturintervaller (Pacific Northwest National Laboratory, 2015).

Resultaten från författarnas mätning visar att alla TW-armaturer som testades mer eller mindre skiftar i CRI under olika färgtemperaturintervaller (Bilaga 5). Enligt Wei, Houser, David & Krames (2015) anses en skillnad på 12 CRI utgöra en stor förändring mellan upplevda föremål, vilket ingen av de armaturer författarna testade gjorde. Närmast var Fabrikat 3, som utgjorde en förändring på 9 CRI, vilket i jämförelse med Wei's studie kan utgöra en skillnad rent visuellt.

En kommentar från en respondent i enkätundersökningen (Bilaga 1) gällande hur responsen var från beställare/kund efter genomfört projekt med ett TW-system berörde "Hawthorne-effekten" (Hawthorne-effekten innebär att testpersoner omedvetet ändrar sitt beteende eftersom de blir observerade, och därför agerar annorlunda än vad de skulle gjort om de inte blivit observerade) (Berthelot, et al. 2011). Detta kan tyda på en slags omedveten överreaktion av de nyinstallerade TW-system som finns idag, alltså att beställare/kund har fått höra att den nya belysningen ska påverka dem positivt innan själva systemet är installerat. En annan aspekt skulle kunna vara att beställare av TW-system är nöjda med sina nya armaturer jämfört med deras gamla installation. Det vill säga att kunden numera är nöjd med sitt nya TW-system för att man ansåg att den gamla belysningenslösningen helt enkelt var föråldrad, vilket mynnar ut i en positiv reaktion gentemot den nya installationen.

Fabrikat 3 specificerade i sitt produktblad (Fig. 23) ett CRI på minimum 90. Efter att författarnas mätningar var gjorda kunde man se att armaturen klarar vad företaget har specificerat på 2700K och 3000K men från 3500K-6000K låg armaturen under 90 CRI. Ett lägsta värde mättes på 6000K med CRI 85, vilket är 5 CRI lägre än vad företaget specificerat som minimum. Vad gäller fabrikat 5 specificerade de ett minimum på 90 CRI i sitt produktblad (Fig. 27). Enligt författarnas mätningar klarade företaget sin

specifikation på 4 av 6 mätpunkter, men låg under specifikationen på 2100K och 4000K (Fig. 26.). Lägsta uppmätta värdet på fabrikat 5 var CRI 88 på 2100K, vilket är 2 CRI sämre än vad företaget specificerat. Att fabrikat inte klarar den CRI som står specificerad kan leda till problem för beställaren. Studier har visat att CRI har en stor inverkan på hur människor upplever färger samt vilket objekt som föredras över ett annat (Wei, et al. 2015) samt att ett högt CRI som efterliknar solljuset kan minska stressen hos människor (Newman & Rebman, 2016).

Att leta information om en TW produkt kan idag vara utmanande för användare eftersom armaturtillverkare använder olika metoder för att redovisa sina TW-produkter (U.S. Department of Energy, 2016). Detta kan kopplas till denna studie då jämförelse av olika företags specifikationer visar en tydlig skillnad i hur armaturtillverkare redovisar sina TW-produkter, vilket kan leda till viss otydlighet. Vad gäller produktspecifikationen i (Fig. 25) Fabrikat 4 är den väldigt otydlig enligt författarnas mening, vilket inte bara behöver gälla TW-armaturer, utan produktspecifikationer för armatur i allmänhet. Här kan inte författarna urskilja om det är olika armaturer som redovisas eller om det är specifikationen för TW-armaturen. Även fast nu (Fig. 25) Fabrikat 4 är ett extremfall så kan man se tendenser till otydlig redovisning på resterande produktspecifikationer, där flertalet specifikationer enbart redovisar en fast ljusflöde och CRI. Då det varken finns några mallar eller riktlinjer för hur man ska redovisa TW-armaturer finns det en risk att företag redovisar specifikationerna olika, vilket kan leda till förvirring (Spink & Cole, 2006).

Av de 37 som uppgav att de hade projekterat med tunable-white armaturer så svarade 26,9% (14st) att beställare/brukare var mycket nöjda samt att 30,8% (16st) var nöjda. Av att tyda cirkeldiagrammet (Kapitel 5.2.1, Fig. 29) så har det inte funnits några negativa responser från beställare/brukare gällande projekteringen av tunable-white. Alternativt att ljusdesignern i fråga inte har haft möjlighet att följa upp hur responsen från beställare/brukare har varit då 42,3% (22st) har svarat "Vet ej".

I enkätundersökningen (Bilaga 1) ställdes frågan "*Anser du generellt att den tekniska specifikationen tillhörande tunable-white produkter redovisas tillräckligt väl? (CCT, CRI, Im, lm/W osv.)*" (Fig. 30) svaren på denna fråga visade sig väldigt splittrade. På frågan svarade 46,2% (24st) bra, 30,8% (16st) dåligt. Detta kan tyda på att ljusdesigners har olika krav vad gäller specifikationerna av TW-armaturer, där vissa vill ha mer information och andra tycker det är tillräckligt som det är idag. Då 30,8% (16st) svarade dåligt samt 3,8% (2st) mycket dåligt, är detta enligt författarnas tolkning ett stort antal som tycker att redovisningen bör förbättras. Detta stödjer Naomi J. Miller's och U.S. Department of Energy's teori om att TW-armaturer inte redovisas tillräckligt väl (Miller, personlig kommunikation, 31 januari, 2018; U.S. Department of Energy, 2016).

I enkätundersökningen där 52 ljusdesigners valde att delta fick de svara på hur man bör redovisa CRI för tunable-white armaturer (Bilaga 3, fråga 11). Av att tyda svaren ansåg en stor del av respondenterna att man bör redovisa CRI för olika typintervaller, till exempel vid 2700K, 3000K, 3500K alternativt att armaturleverantörerna redovisar lägsta respektive högsta CRI-värdet, då ljusdata som ljusflöde (lumen) och färgåtergivning (CRI eller Ra) justeras under intervallet då man går från exempelvis 2700K-6500K (Pacific Northwest National Laboratory, 2015). Detta mynnar ut till att man bör ifrågasätta om man inte ska ha en standard för hur man redovisar och testar TW-armaturer idag. Då det idag inte finns standardiserade testprocedurer för dessa produkter (U.S. Department of Energy, 2016) samt att "Human Centric Lighting", eller personorienterad belysning förväntas bli en stor och viktig marknad i Europa i framtiden (Kearney, 2013). Det är då viktigt att man kan säkerställa en bra ljus kvalitet och att man kan läsa ut all teknisk data.

I enkätundersökningen (Bilaga 3) har även metoden TM-30-15 tagits upp som syftar till att ersätta CRI som branschstandard för mätning av färgåtergivning hos armaturer. En del anser att TM-30-15 är en bredare och ärligare plattform, då den behandlar brister och begränsningar av den mycket använda

CRI-metoden, samtidigt som den tillhandahåller kompletterande och mer detaljerad information. Detta kan bero på att den nya metoden som är framtagen av (IES) utgår från 99 färgprover för att utvärdera och mäta en ljuskällas färgåtergivningsegenskaper, medans metoden CRI (CIE.13.3-1995) endast utgår från 8 färgprover (David, et al. 2015; U.S Department of Energy, 2015). Den ökade tillgängligheten av data för att utvärdera och karaktärisera färgåtergivning kan gynna både ljusdesigners, tillverkade och forskare, även om övergången från CRI-metodens enkelhet kommer att kräva en stor insats. Efter att CRI-metoden en gång i tiden uppnådde stor användning, skrevs CRI in i standarder från ANSI (American National Standards Institute) och ISO (International Standards Organization). TM-30-15 anses ha potential att uppnå samma status, men då krävs en större användning inom belysningsindustrin (U.S. Department of Energy, 2016).

TW-armaturer finns idag på marknaden på grund av ett mänskligt behov av naturligt ljus i inomhusmiljöer där dagsljus är limiterat (CIE, 2003). Detta används idag för att påverka vår dygnsrytm där rätt förutsättningar kan förbättra människans prestationsförmåga, effektivitet, koncentrationsförmåga samt stabilisera dygnsrytm (Ye, Zheng & Ronnier Lou, 2016; Plischke, 2016). Då studier har visat att man kan uppnå positiva effekter med dagens dynamiska ljus (Boyce, 2010), anser författarna att man bör se över hur man idag tillhandahåller information gällande TW-armaturer. Detta för att man vill ge en positiv hälsopåverkan kombinerat med en god ljus kvalitet som inte försämrar den visuella miljön. Detta stödjer Naomi J. Millers (ljusdesigner och forskare på Pacific Northwest National Laboratory) åsikt om att armaturl tillverkare idag inte tillhandahåller den information som användarna behöver, särskilt om de kommer att utvärdera spektrumet för ljus- och hälsofrågor.

6.2 Metoddiskussion

Mätningarna genomfördes på fem stycken TW-armaturer, varav en infälld downlight, en 600x600mm armatur, en plafond, en spotlight och en pendelarmatur. Armaturerna testades på 100% ljusstyrka i nio olika färgtemperaturpunkter för att mäta skillnaden hur CRI varierar vid förändring av färgtemperatur. Mät punkterna som testades var, 6000K, 5500K, 5000K, 4500K, 4000K, 3500K, 3000K och 2700K. Dessa mät punkter är framtagna efter rekommendationer av Pacific Northwest National Laboratory, vilket själva använde dessa mät punkter i deras tester av TW-armaturer. De föreslår ett minimum på fem till sju olika mät punkter vid test av TW-armaturer (Pacific Northwest National Laboratory, 2015).

Studien var avgränsad till att endast fokusera på skiftningen av färgåtergivning hos de uppmätta TW-armaturerna. För att få fram mer data och underlag för hur man bör redovisa TW-armaturer skulle mätningar även kunnat göras på ljusflöde, flimmer och spektralfördelning vid olika färgtemperaturintervaller. För en mer validerad mätning med möjligtvis starkare resultat hade dessa mätningar gällande färgåtergivning, flimmer, ljusflöde och spektralfördelning kunnat göras på olika ljusflöden, exempelvis 100%, 50%, och 5% (Se Fig. 11, kapitel 2.5 Specificera TW-produkter).

Författarna har kunnat presenterat att det skiljer sig i CRI mellan 2700K-6000K rent tekniskt med hjälp av ett mätinstrument, men inte hur det upplevs i ett rum. För en mer styrkande studie hade det varit intressant att se hur dessa uppmätta armaturer upplevs rent visuellt i ett rum, mellan de olika CRI-nivåerna. Då hade man möjligen kunnat utgöra mellan hur många steg i CRI man upplever skillnad visuellt.

Då författarna granskat utbudet av TW-armaturer uppskattar författarna att det finns cirka 30-50 leverantörer av TW-armaturer verksamma i Sverige. Detta innebär att det finns ett stort antal armaturer att testa för vidare forskning. För att styrka rapporten mer hade mätningar kunnat göras på fler TW-armaturer då man hade kunnat öka mätningarnas validitet och legat till grund för ett starkare resultat, där resultaten även kunnat se annorlunda ut.

Samtliga mätningar av TW-armaturerna har genomförts cirka 300mm ifrån armaturen i likformiga miljöer med vita väggar och vitt tak för att på så sätt få en mer validerad mätning och för att säkerställa likvärdiga reflektionsfaktorer i omgivningen. För att säkerställa att spektrometern från AsenseTEK (Bilaga 6) gav rättvisa resultat och för styrka reliabiliteten jämfördes denna med spektrometern som sitter i Fagerhult Belysnings photogoniometer (AvaSpec-2048) av fabrikatet Avantes. Resultaten som togs ut av spektrometern från AsenseTEK gav näst intill exakt samma ljusdata som spektrometern från Avantes.

Frågorna i enkätundersökningen (Bilaga 1) utformades av författarna själva efter en kritisk granskning av 11st produktdatablad från företag baserade i Sverige och efter intervju med Naomi J. Miller (Bilaga 7) (ljusdesigner och forskare på Pacific Northwest National Laboratory i Richland, Washington, U.S. Department of Energy (DOE)) angående redovisning TW-armaturer och brister i dess specifikationer. Frågeformuläret var utformat för att vara så enkelt som möjligt att svara på, vilket är viktigt för att så många respondenter som möjligt skulle genomföra enkäten. För att undvika bortfall anpassades frågorna i enkäten för att inte ta upp mer tid än max 10 minuter av respektive person som skulle svara på enkäten (Ejlertsson, 2005). I enkätstatistiken (Bilaga 2) kan man se att den största andelen respondenter (42%) hade en genomsnittlig avslutningstid på mellan 5-10 minuter. 19% av respondenterna genomförde enkäten på 2-5 minuter och 21% genomförde enkäten på 10-30 minuter.

Frågorna (Bilaga 1) besvarades via en plattform som heter Survio (<https://www.survio.com/sv/>). Denna plattform är ett enkelt enkätverktyg för att skapa webbenkäter och sammanställa dess data. Frågorna ställdes som kryssfrågor med uppföljningsfrågor där deltagarna fick chans att uttrycka sina åsikter i fri text. Då respondenterna kan ha en förutfattad mening om vad enkätundersökningen handlade om kan det ha påverkat att dem har svarat på ett visst sätt, då det möjligtvis har förväntats av dem.

Av de 144 ljusdesigners som författarna mailade ut enkätundersökningen till var det 52st som valde att genomföra den. De 5 svar som är kasserade (Bilaga 2) är testsvar som genomfördes av bland annat författarna och närstående för att få feedback på frågorna och upplägget. Totalt antal besök på enkäten var 99st, varav de 5 kasserade svaren samt 42st oavslutade besök. Detta tyder på att 42st har öppnat enkätundersökningen men inte slutfört den. Detta kan bero på olika anledningar som till exempel att de ej har projekterat med TW så de har ansett att dem inte är rätt person att svara på enkäten, att de endast jobbar med exteriöra projekt, att de inte har funderat angående CRI gällande TW-produkter eller att de inte brukar titta på CRI vid projektering.

Av de 52 ljusdesigners som valde att delta i enkätundersökningen svarade 71,2% (37st) att de hade projekterat med TW-armaturer (Kapitel 5.2, Fig. 28) och 28,8% (15st) att de inte hade projekterat med TW-armaturer förut. Dessa 15st kunde ha kasserats bort från resultatdelen men beslutet togs att ta med samtliga respondenter för att på så sätt bidra till mer intressanta diskussioner och resultat då fler respondenter styrker studien. Även om dessa respondenter inte har projekterat med TW anser författarna att de ändå kan ha en viktig åsikt i frågan.

Författarna valde att mäta CRI på armaturerna för att sedan jämföra det mot vad respektive företag hade specificerat på deras produktdatablad. Hade författarna använt IES metod TM-30-15 istället för CIE's metod CRI på respektive TW-armatures färgåtergivningsegenskaper hade resultaten kunnat sett annorlunda ut, och resultaten hade kanske till och med varit mer kritiska mot armaturernas färgåtergivning. Detta eftersom metoden CRI endast utgår från 8 färgprover, medans den nyare metoden TM-30-15 som är tänkt att ersätta CRI, utgår från 99 färgprover för att mäta en ljuskällas färgåtergivning (David, et al. 2015; U.S Department of Energy, 2015).

CRI-metoden gör sig inte riktigt rättvis då till exempel ett armaturföretag kan utmana CRI-systemet genom att säkerställa att deras armaturs spektralfördelning matchar några av de åtta färgprover som används för att beräkna CRI, vilket resulterar i ett högt CRI-värde. Detta CRI-värde hade förmodligen

resulterat i ett lägre TM-30-15-värde eftersom denna metod som sagt utgår från 99 färgprover och det är betydligt svårare att matcha dessa "spektrumtoppar" till 99 olika färgprover. Därmed kan slutsatsen dras att ett högt CRI inte helt säkerställer en god färgåtergivning, vilket tyder på att metoden för mätning av CRI är bristfällig. Det är inte bara armaturtillverkare som måste adaptera till TM-30-15, utan det är hela branschen som behöver göra sig bekant med nya mätmetoder. Det bör ligga i branschens intresse att förstå dess relevans för fatta bättre beslut gällande produkter som ger en föredragen färgåtergivning för ändamålet (Royer, 2015). CIE's metod CRI kan ha påverkat utveckling av ljuskällor och dess förmåga att återge färger, då man enkelt kan missförstå metoden och den uppfattas i vissa fall otidlig.

6.3 Slutsats och rekommendationer för vidare forskning

Resultaten från författarnas mätningar av TW-armaturer visar en tendens till att vissa armaturleverantörer har sämre CRI än vad företaget i fråga redovisat. Detta kan ses på 2 av 5 företag som deltog i denna studie (Fabrikat 3 och 5). I och med detta finns en risk att projektering av TW-armaturer kan ge en sämre ljuskvalitet vad gäller CRI kontra standard-LED armaturer där man kan anta att tillverkarnas specifikationer är korrekta. Dock kan inga slutsatser dras med säkerhet då författarna anser att en större studie bör genomföras för en högre validitet. Detta då denna studie enbart mätt TW-armaturer från 5 företag verksamma i Sverige samt endast vid 100% ljusflöde.

Vad gäller redovisningen av TW-armaturer kan man fastställa att det finns många skilda åsikter angående hur TW-armaturer bör redovisas ut mot kund. Då resultatet från enkätundersökningen visar att 46,2% (24st) tycker att det idag redovisas bra samt att 30,8% (16st) tycker att det redovisas dåligt. Detta är intressant då författarna själva granskat armaturtillverkarens produktdatablad och hittat många bristfälliga punkter. Framför allt då all ljusdata redovisas vid 100% ljusflöde samt att ljusflöde och CRI ändras under intervaller till exempel mellan 2700K-6000K, men vilket inte redovisas av de företag författarna granskat.

Av frågan "*Hur anser du att man bör redovisa CRI för tunable-white armaturer*" skrevs många intressanta svar. Här svarade en stor del av respondenterna att de ville se en redovisning av CRI vid olika typintervaller till exempel vid 2700K, 3000K, 3500K, alternativt att armaturleverantörerna redovisar lägsta respektive högsta CRI-värdet. I och med svaren på denna fråga kan man dra slutsatsen om att det bör finnas en mall för hur man ska redovisa TW-armaturer. Författarna anser att detta skulle kunna leda till en bättre redovisning av TW-armaturer samt ge en ökad förståelse för komplexiteten inom området.

Det är intressant att se att många TW-armaturer projekteras in på marknaden idag då hela 71,2% (37st) av 52 respondenter svarade att de någon gång projekterat TW. Att denna teknik kommer utvecklas mer och mer är ytterst troligt och att det tillslut kommer till den punkt då det blir en standardlösning i många skolor, kontor och sjukhus är inte omöjligt. Denna rapport bidrar till ökad förståelse om hur TW-armaturer fungerar och redovisas vilket kan ligga till grund för mer fortsatt forskning inom området. Förslag på framtida forskning som skulle kunna genomföras är att kolla hur många steg i CRI som utgör en märkbar skillnad för brukaren. Detta vore synnerligen intressant att undersöka då författarna i den experimentella undersökningen visar att alla TW-armaturer som testades skiftade i CRI. En till vidare studie som skulle kunna genomföras är att jämföra skiftningar i CRI mellan billiga och dyra TW-armaturer för att se om någon märkbar skillnad kan tydas. För vidare forskning hade det varit intressant att se hur mycket det skiljer sig rent visuellt i ett rum mellan olika CRI-nivåer. Författarna har kunnat svara på att det skiljer sig i CRI mellan 2700K-6000K rent tekniskt med hjälp av ett mätinstrument, men inte hur det upplevs i ett rum. Resultatet av denna studie är ett första steg till ett mer omfattande forskningsområde kring tekniken angående TW-armaturer och dess specifikationer. Där större studier kan utföras i framtiden med fler antal företag och armaturer som testas.

Referenser

Annell + Form. (2012). Liten ordbok - dynamiskt ljus (Online), Hämtad 21 januari, 2018, från <http://www.annell.se/ord/dynamiskt-ljus>

Annell + Form. (2012). Liten ordbok - Plancks kurva (Online), Hämtad 31 januari, 2018, från <http://www.annell.se/ord/plancks-kurva/>

Annell + Form. (2012). Liten ordbok - R-G-B (Online), Hämtad 21 januari, 2018, från <http://www.annell.se/ord/r-g-b/>

Bálský, M., Bayer, R., Zálesák, J., Panská, Z. (2017). Use of tunable white luminaires for biodynamic lighting. *18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*.

Berthelot, J. M., Le Goff, B., Maugars, Y. (2011). The Hawthorne effect: Stronger than the placebo effect? *Joint Bone Spine*, 78(4): 335-336. (Online) Hämtad 18 april, 2018, från <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1297319X11001515>

Boyce, P.R. (2010). *The Impact of Light in buildings on Human Health. Indoor and Built Environment*, 19(1):8–20.

Bullock, J. (2017). Two-minute explainer: Tunable white LEDs. Hämtad 22 januari, 2018, från <http://luxreview.com/article/2017/05/two-minute-explainer-tunable-white-leds>

Choi, K., Suk, H. J. (2016). *Dynamic lighting system for the learning environment: performance of elementary students*.

CIE. International Commission on Illumination. (2003). *Ocular Lighting Effects On Human Physiology, Mood And Behaviour*. (Online). Hämtad 29 januari, 2018, från https://www.researchgate.net/publication/44050461_Ocular_Lighting_Effects_on_Human_Physiology_and_Behaviour

David, A., Fini, P. T., Houser, K., Ohno, Y., Royer, M. P., Smet, K. A. G., Wei, M., Whitehead, L. (2015). *Development of the IES method for evaluating the color rendition of light sources. Optics Express*. 23. 15888-15906. 10.1364/OE.23.015888.

Davis, G. R., Wilkerson, M. A., Samla, C., Bisbee, D. (2016). *Tuning the light in senior care: Evaluating a trial LED lighting system at the ACC Care Center in Sacramento, California*.

Ejhed, Jan & Liljefors, Anders (1990). *Bättre belysning - om metoder för belysningsplanering*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning,

Ejlertsson, G. (2005) *Enkäten i praktiken. En handbok i enkätmetodik*. 2:a upplagan. Studentlitteratur Lund.

Fagerhults Belysning. (u.å.). Hur fungerar det tekniskt? Hämtad 22 januari, 2018, från <https://www.fagerhult.com/sv/Tuneable-white/Personligt-ljus/Hur-fungerar-det-rent-tekniskt/>

Fagerhults Belysning. (u.å.). Vad är LED? Hämtad 6 mars, 2018, från <https://www.fagerhult.com/sv/kunskapscenter/LED/>

- Human Centric Lighting Society. (u.å.). *Human Centric Lighting*. Hämtad 6 mars, 2018, från <http://humancentriclighting.org/hlc-mission/>
- Hall, J. C., Rosbash, M., & Young, M. W. (2017). *Discoveries of Molecular Mechanisms Controlling the Circadian Rhythm. Nobelförsamlingen - The Nobel Assembly at Karolinska Institutet*.
- Katsuura, T. (2014). *Physiological Anthropology: Effects of artificial light environment on humans*.
- Kearney, A. T. (2013). *Market Study - Human Centric Lighting: Going Beyond Energy Efficiency*. LightingEurope, German Electrical and Electronic Manufacturers' Association (ZVEI).
- LightingEurope. (u.å.). *Human Centric Lighting - Supporting health, wellbeing and performance on humans*. Hämtad 6 mars, 2018, från <https://www.lightingeurope.org/human-centric-lighting>
- Ljus & Rum, (2013). *Planeringsguide för belysning inomhus*. Stockholm: Magnus Franzell.
- Miller, N. J. Designer/Senior Scientist, Pacific Northwest National Laboratory. Personlig kommunikation, 31 januari, 2018
- Nationalencyklopedin. (u.å.). *Reliabilitet*. Hämtad 6 mars, 2018 från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/reliabilitet>
- Nationalencyklopedin. (u.å.). *Validitet*. Hämtad 6 mars, 2018, från <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/validitet>
- National Lighting Product Information Program, [NLPIP]. (2004). *How does the lighting industry measure color appearance? Lighting Answers*. October 2004.
- National Lighting Product Information Program, [NLPIP]. 2004. *What is color rendering index? Lighting Answers*. October 2004.
<http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightsources/whatisColorRenderingIndex.asp>
- Newman, P., Rebman, J. (2016). The effects of increased color rendering index on stress and depression. *2016 International Conference on Electrical, Electronics and Optimizing Techniques (ICEEOT)*. Chennai, India.
- Pacific Northwest National Laboratory. (2015). *Photometric Testing of White-Tunable LED Luminaires*.
- Pimputkar, S., Speck, J., DenBaars, S., Nakamura, S. (2009). *Prospects for LED lighting*.
- Plischke, H. (2016, Oktober). *Human Centric Lighting (HCL) - long english version from Licht.de*. [Video].
Hämtad från <http://en.licht.de/en/service/aktuelles/lichtde-videos/>
- Rajaratnam, SMW., Arendt, J. (2001). J. Health in a 24-h society. *The Lancet* , 358(9286): 999-1005.
- Royer, P. M. (2016). *IES TM-30-15 Is Approved - Now What?* LEUKOS, 12:1-2, 3-5, DOI: 10.1080/15502724.2015.1092752

Royer, P. M., Tuttle, R., Rosenfeld, S., Miller, N. (2013). *Color Maintenance of LEDs in Laboratory and Field Applications*.

Sleegers, P., Moolenaar, N., Galetzka, M., Pruyn, A., Sarr 'oukh, B., van der Zande, B. (2012). *Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies*.

SS-EN 12464-1:2011. (2011). *Ljus och belysning - Belysning av arbetsplatser - Del 1: Arbetsplatser inomhus*.

Starby, L. (2006). En bok om belysning. Södertälje: Ljuskultur.

Spink, A., Cole, C. (2006). *New Directions In Human Information Behavior*. Springer. (Online). Hämtad 29 januari, 2018, från <https://link.springer.com/book/10.1007%2F1-4020-3670-1>

Trivellini, T., Meneghini, M., Feretti, M., Barbisan, D., Dal Lago, M., Meneghesso, G., Zanoni, E. (2015). *Effects and exploitation of tunable white light for circadian rhythm and human centric lighting*.

Trost, J. (2012). *Enkätboken*. Uppsala: Studentlitteratur.

U.S. Department of Energy. (2016). *Controlling LED Color-Tunable Products*. Hämtad 1 februari, från <https://energy.gov/eere/ssl/controlling-led-color-tunable-products-0>

U.S. Department of Energy. (2016, 23 juni). *Controlling LED Color-Tunable Products [Video]*. Hämtad 1 februari, 2018, från <https://energy.gov/eere/ssl/controlling-led-color-tunable-products-0>

U.S. Department of Energy. (2015). *Evaluating Color Rendition Using IES TM-30-15*.

U.S. Department of Energy. (2016). *TM-30 Development and Logistics*. Hämtad 18 april, från <https://www.energy.gov/eere/ssl/tm-30-development-and-logistics-faqs>

U.S. Department of Energy. (2016). *Specifying LED Color-Tunable Products*. Hämtad 1 februari, från <https://energy.gov/eere/ssl/specifying-led-color-tunable-products>

U.S. Department of Energy. (2016, 23 juni). *Specifying LED Color-Tunable Products [Video]*. Hämtad 29 januari, 2018, från <https://energy.gov/eere/ssl/specifying-led-color-tunable-products>

U.S. Department of Energy. (2016, 23 juni). *Understanding LED color-Tunable Products [Video]*. Hämtad 29 januari, 2018, från <https://energy.gov/eere/ssl/understanding-led-color-tunable-products>.

Wei, M., Houser, K.W., David, A. and Krames, M.R. (2015). *Perceptual responses to LED illumination with colour rendering indices of 85 and 97. Lighting Research & Technology*.

Ye, M., Zheng, S. Q., Ronnier Luo, M. (2016). *The impact of dynamic light with different CCT ranges and frequencies on human alertness*.

Bilagor

Sid. nr

Bilaga 1 - Undersökningsformulär	38-40
Bilaga 2 - Enkätstatistik	41
Bilaga 3 - Resultat från enkätundersökningen	42-52
Bilaga 4 - Översiktstabell av mätningar	53
Bilaga 5 - Mätningar fabrikat 1-5	54-55
Bilaga 6 - Specifikation, Lighting Passport AsenseTEK	56-57
Bilaga 7 - Intervju med Naomi Miller	58

Redovisning av CRI/Ra hos tunable-white armaturer

Hej!

Vi genomför en kandidatuppsats på ljusdesignprogrammet, Tekniska Högskolan i Jönköping. Arbetet handlar om ljuskällors/armaturs färgåtergivning (CRI/Ra) vid inomhusprojektering, främst gällande tunable-white armaturer. Vi är intresserade av hur branschen redovisar färgåtergivning samt hur högt det prioriteras vid inomhusprojektering. Enkäten vänder sig mot ljusdesigners i Sverige och ditt svar kommer att vara anonymt.

Genom att fylla i denna enkät som tar drygt 5 minuter hjälper du oss nå bästa möjliga resultat. Stort tack för att du tar dig tid att genomföra denna enkät.

Vänliga hälsningar,

Joakim Hällvall & Sebastian Gill

Kandidatprogrammet i ljusdesign, Tekniska Högskolan i Jönköping.

1. Har du projekterat med tunable-white armaturer under din karriär som ljusdesigner?

- ☐ JA
- ☐ NEJ

2. Anser du generellt att den tekniska specifikationen tillhörande tunable-white produkter redovisas tillräckligt väl? (CCT, CRI, lm, lm/W osv)

- ☐ Mycket dåligt
- ☐ Dåligt
- ☐ Bra
- ☐ Mycket bra
- ☐ Vet ej

3. Om mycket dåligt/dåligt, vad isåfall saknar du?

4. Om "JA" på fråga 1, hur har responsen varit från beställare/brukare?

- ☐ Mycket missnöjd
- ☐ Missnöjd
- ☐ Nöjd
- ☐ Mycket nöjd
- ☐ Vet ej

5. Vad var brukare/beställare nöjd/missnöjd med vid projekteringen av tunable-white armaturer?

6. Vilket krav på CRI brukar du ha gällande produktval till ett inomhusprojekt?

- ☐ Över CRI 80
- ☐ Över CRI 85
- ☐ Över CRI 90
- ☐ Över CRI 95
- ☐ Varierar stort

7. Hur viktigt tycker du det är med en hög CRI när du föreskriver konventionella ljuskällor/armaturer i ditt projekt?

- ☐ Mycket oviktigt
- ☐ Oviktigt
- ☐ Viktigt
- ☐ Mycket viktigt
- ☐ Vet ej

8. Varför tycker du att det är viktigt/oviktigt?

9. Hur viktigt tycker du det är med en hög CRI när du föreskriver tunable-white armaturer i ditt projekt?

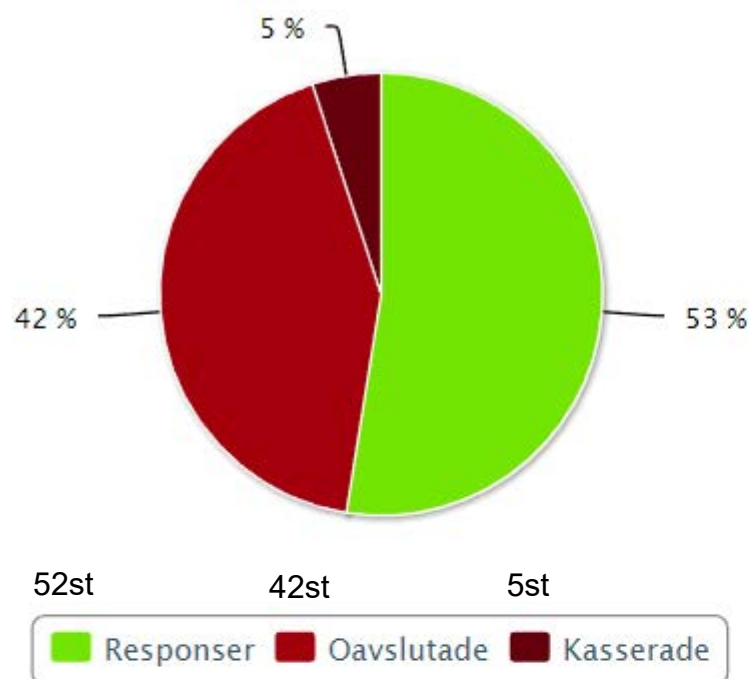
- ☐ Mycket oviktigt
- ☐ Oviktigt
- ☐ Viktigt
- ☐ Mycket viktigt
- ☐ Vet ej

10. Varför tycker du att det är viktigt/oviktigt?

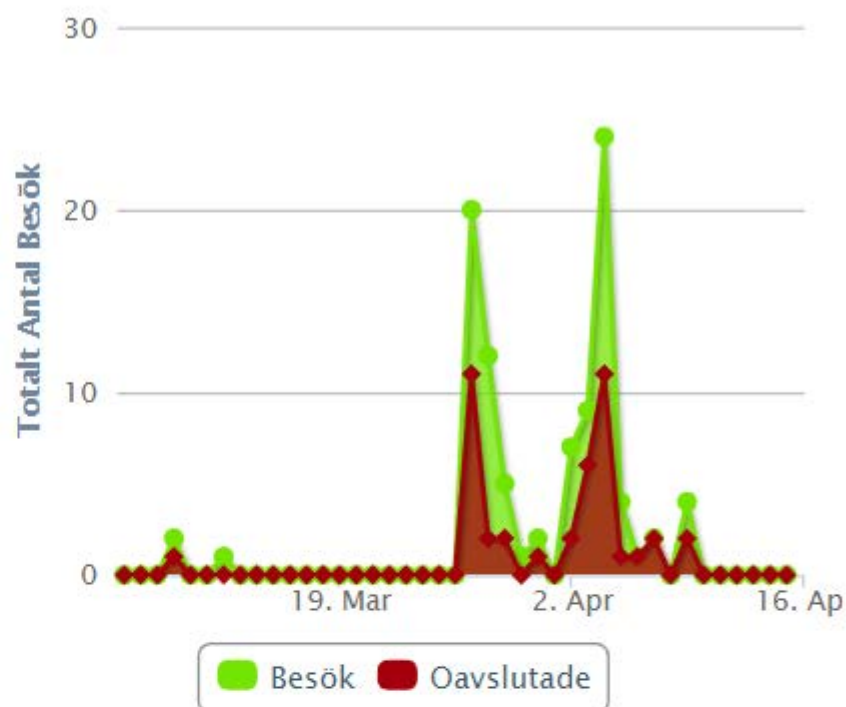
11. Hur anser du att man bör redovisa CRI för tunable-white armaturer?

Bilaga 2 - Enkätstatistik

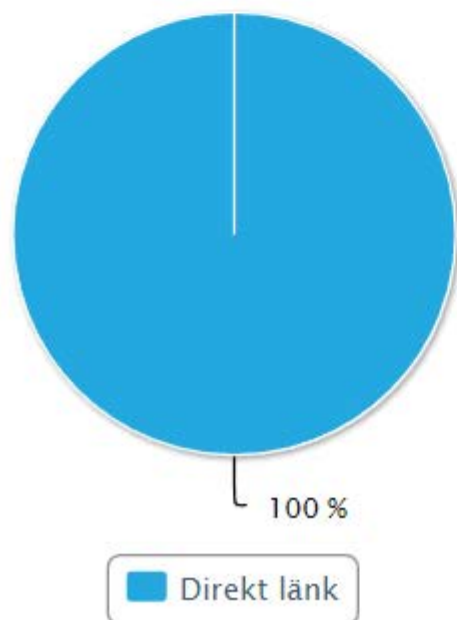
Totalt Antal Besök



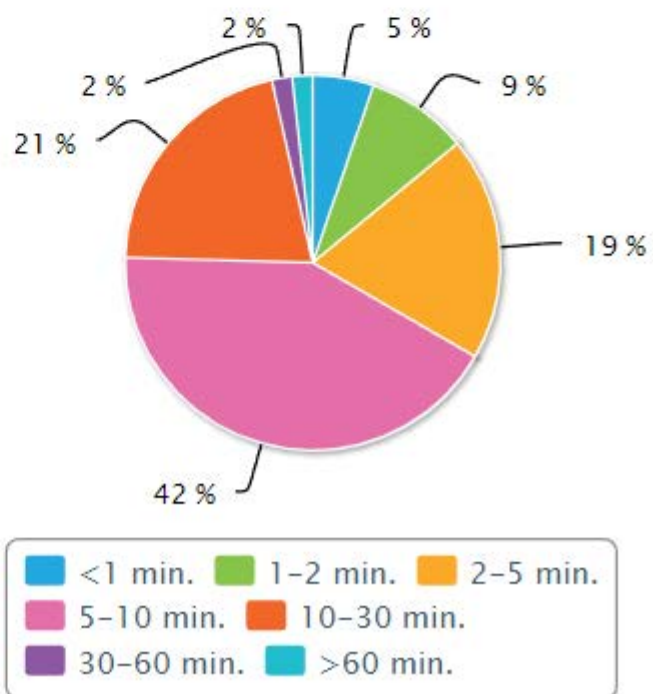
Besökshistoria



Besökskällor



Genomsnittlig Avslutningstid



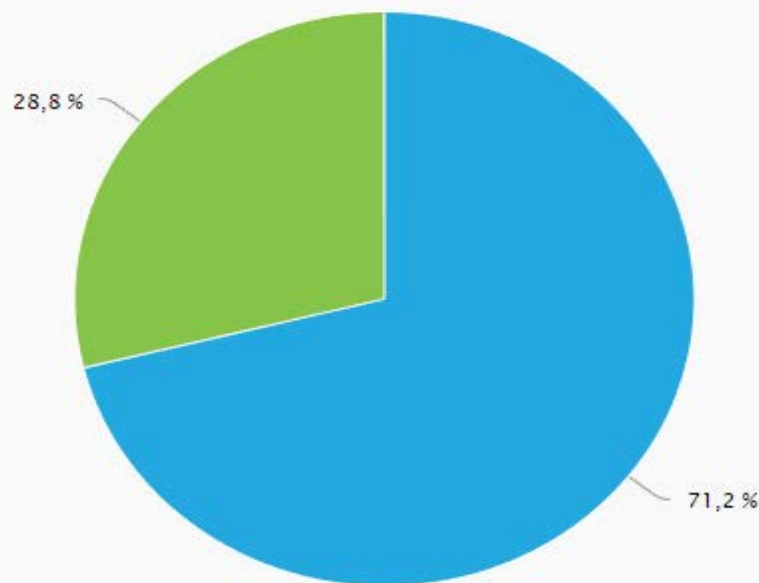
Bilaga 3 - Resultat från enkätundersökningen

Antal Svar Totalt **55**

Filter matchar **52**

Kasserat **1**

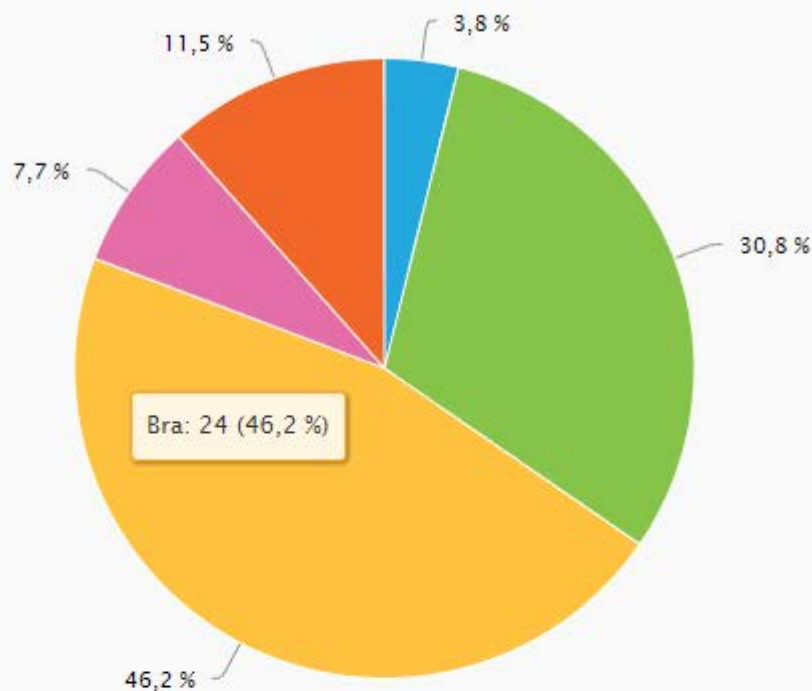
1 Har du projekterat med tunable-white armaturer under din karriär som ljusdesigner?



#	▲	Svar	Responser	Andel
1	●	JA	37	71,2 %
2	●	NEJ	15	28,8 %

[Skriv fotnoter till detta resultat](#)

2 Anser du generellt att den tekniska specifikationen tillhörande tunable-white produkter redovisas tillräckligt väl? (CCT, CRI, Im, Im/W osv)



#▲	Svar	Responser	Andel
1	Mycket dåligt	2	3,8 %
2	Dåligt	16	30,8 %
3	Bra	24	46,2 %
4	Mycket bra	4	7,7 %
5	Vet ej	6	11,5 %

3 Om mycket dåligt/dåligt, vad isåfall saknar du?

Allt

Vill gärna veta var i kurvan sämsta färgåtergivning uppstår.

Spektralfördelning vid de olika Kelvintalen

Förändringar i ljusflöde och färgåtergivning.

Typvärden vid olika färgtemperaturer t.ex lm/w, ljusflöde, CRI och liknande

Vid vilken nivå/färg som redovisade värden avser bl a

CRI och lumenvärde för hela dimningskurvan

Utgår från företagets produkter som jag jobbar för.

Spektralsammansättning saknas och kunskapen om skillnad på spektralsammansättning och ljusfärg varierar stort.

Jag tror inte att så många har koll på CRI värden vid Tunable white

Är inte ljusdesigner. Men har varit med i en hel del TW-projekt. Generellt är det så klart så och så med tekniska specar. Men det är också ganska fattiga kravspecar vi generellt ser så vi kan anta att tekniska specar över TW förbättras i takt med att ljusdesignern kräver så.

L90b10 redovisas sällan.

Det är rörigt och inte alltid konsistent. en oavsett läsare av ljusfakta kan ha svårt att se hur exempelvis RA ändras med förändrad ljusfärg och läsa ut bin tal m.m. för två olika dioder eller fler kan vara klurigt.

Redovisas sällan för hela kelvinspannet, i synnerhet inte lägsta/högsta K

Saknar CRI, lm vid olika intervaller

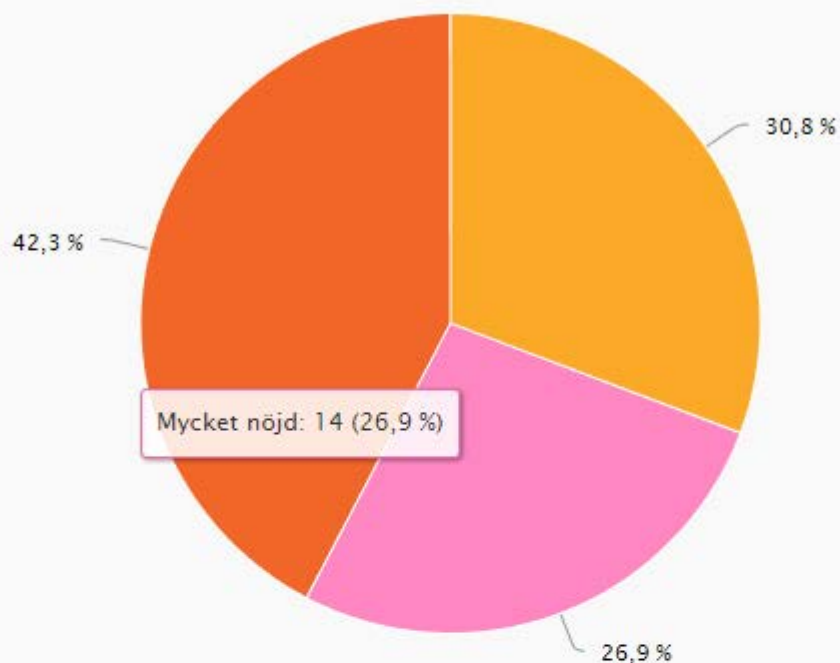
Det varierar mellan vad leverantörerna specificerar. En gemensam trend är att specifikationen inte är fullständig och man får själv maila och fråga om det som inte redovisas på leverantörernas hemsida.

Jag anser det viktigt att veta hur dioderna arbetar med varandra. Vilken typ av metod används vid dimning. Hur mycket ljus tappas kontra en "vanlig" armatur.

När en armatur byter ljusfärg så ändras alla parametrar. För en exakt kunskap om armaturen så krävdes en ljusmätare som mätte Ra/CRI och TM30 samt ljusflöde och färgtemperatur. En sådan mätare stöter man inte ofta på, och det blev en stor skillnad på de armaturer vi testade. I vissa fall demonstrerade inte leverantören det som vi uppfattade som "medelvärde" (dom hittade på lite siffror och nummer som såg bra ut, eller som va baserade på 4000K inställningen".

CRI och lumen borde specas för respektive färgtemperatur, dvs. det borde inte finnas bara ett värde per armatur

4 Om "JA" på fråga 1, hur har responsen varit från beställare/brukare?



#▲	Svar	Responser	Andel
●	Mycket missnöjd	0	0 %
●	Missnöjd	0	0 %
●	Nöjd	16	30,8 %
●	Mycket nöjd	14	26,9 %
●	Vet ej	22	42,3 %

5 Vad var brukare/beställare nöjd/missnöjd med vid projekteringen av tunable-white armaturer?

Jag vet inte sa jag ju

Vi använde tekniken för att belysa olika färgade väggar i ett kontorslandskap, inte som allmänljus. De var nöjda med hela kontorslösningen och förstod den skillanden i upplevelse av ytfärgen som vi skapade genom olika ljusfärger. De uppskattade den viktiga detaljen i kontorsmiljön.

Inte projekterat

På grund av okunskaper från beställare så uppskattas funktionen av varierade färgtemperaturer och att det "KAN" exempelvis, påverka människors välmående och förhöjda prestanda på arbetsplatsen.

De är oftast inte med vid projektering.

nöjd- Miljön blir bättre för brukaren dåligt- att produkterna är för dyra.

Projektet ej klart.

Källarlokalen utan fönster fick ett ljus som följde dagsljusets skiftningar

Man får ett behagligt och justerbart ljus

Bara projat än så länge. Generellt är priskillnaden mellan TW och tex 3K något vi måste bli bra på att motivera.

Blev aldrig någon uppföljning.

Detta var i ett sjukhus och kunden mätte välmåendet hos långtids inlagda patioenter vars reum utrustats med tunable white för att se hur det kunde påverka deras återhämtning. Då det gav positiva resultat var kunden mycket nöjd.

Programmering

Vet ej då jag inte haft kontakt med beställaren utan bara kort med säljaren

Brukare upplever en stor förbättring - kanske mer än vad som egentligen är motiverat (Hawthorne-effekt?)

Möjligheten att ändra atmosfär

Kan vara problem med tekniskt utförande (styrning) och glåmighet vid för låga luxtal vid kallare K men nöjda med hippfaktor (aktualitet) och att de anses skall må och fungera bättre

Programmeringsbehov, saknar egen kontroll över färger/ nivåer vid scenarier eller sekvenser

Brukare har varit nöjda för möjligheterna till att anpassa ljuset efter olika aktiviteter och stämningar.

påminner om halogen

Priset

Tanken i mitt projekt var att de inte skulle märkas av utav användarna. Brist på att folk pekade ut hur bra (eller dåligt) det var ser jag som en vinst. Kunden gillade det.

I regel är det redan beslutat att man ska ha utförande tunable-white innan genomförande av projektering.

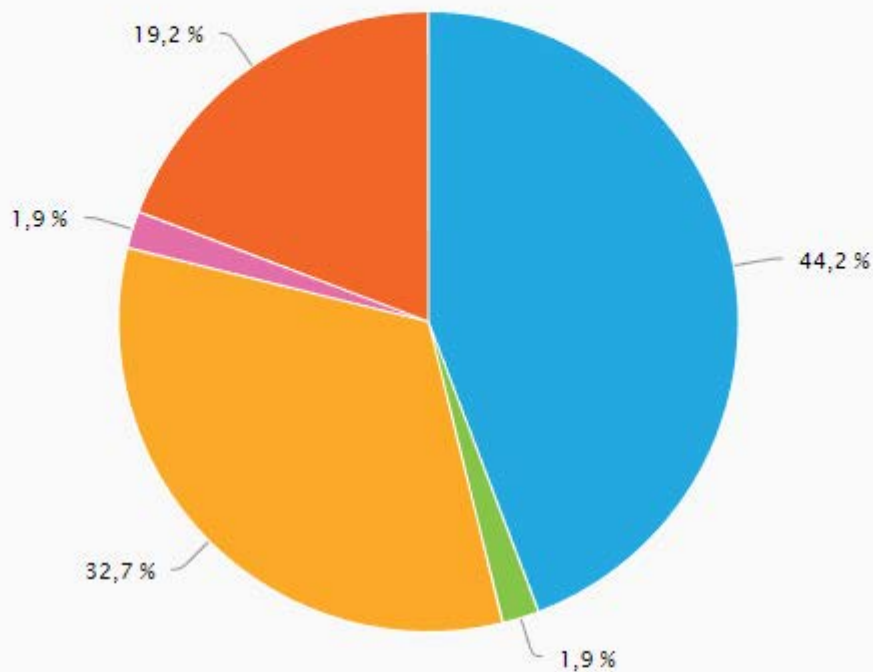
Kostnad kontra funktion, dålig integration, dåliga interface, oklart syfte, stökiga dimmers mm.

mest faschinerade över att det gick att efterlikna halogen så pass bra

Helheten. Att ljuset bidrar mycket till att skapa en trevlig stämning i en fönsterlös miljö.

Att brukaren själv kan anpassa färgtemperaturen för att efterlikna dagsljuset, i kombination med att armaturerna är dimbara.

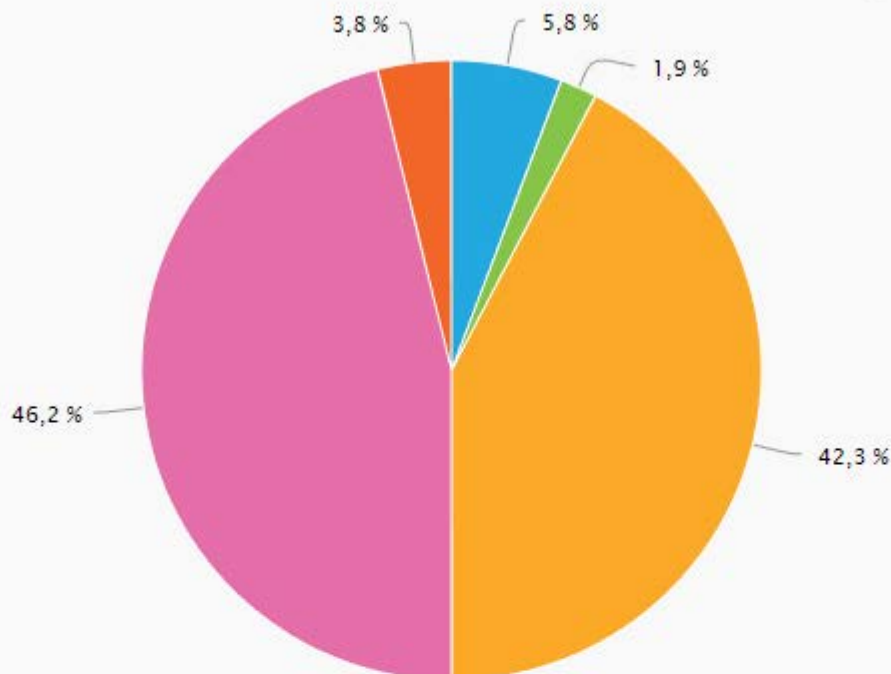
6 Vilket krav på CRI brukar du ha gällande produktval till ett inomhusprojekt?



#▲	Svar	Responser	Andel
●	Över CRI 80	23	44,2 %
●	Över CRI 85	1	1,9 %
●	Över CRI 90	17	32,7 %
●	Över CRI 95	1	1,9 %
●	Varierar stort	10	19,2 %

[Skriv fotnoter till detta resultat](#)

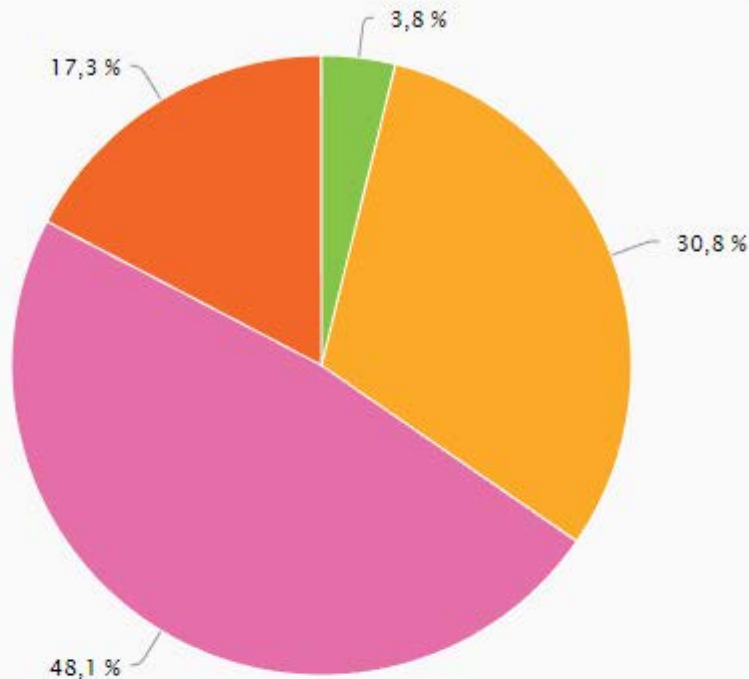
7 Hur viktigt tycker du det är med en hög CRI när du föreskriver konventionella ljuskällor/armaturer i ditt projekt?



# ▲	Svar	Responser	Andel
1	Mycket oviktigt	3	5,8 %
2	Oviktigt	1	1,9 %
3	Viktigt	22	42,3 %
4	Mycket viktigt	24	46,2 %
5	Vet ej	2	3,8 %

Äh	Föreskriver nästan aldrig konventionella ljuskällor/ armaturer men om det händer vill jag alltid kolla upp CRI eftersom det finns de som inte är så bra. En självklar punkt på checklistan i alla projekt. Det är viktigt för att jag vill skapa trivsamma, funktionella, säkra och vackra platser.	upplevelsen av ljuskvalitet påverkas mycket av CRI, och påverkar i sin tur upplevelsen av miljön och interaktionen med andra människor.	Det blir lättare att göra rätt och bra. Lättare att förutse resultat, mindre testande
För att färger ska återges på bästa sätt			Konventionella ljuskällor?
Får man lov att testa en armaturs olika Ra värden så kommer man att se skillnad. Stor skillnad finner man även mellan armaturer med högt RA. Detta beror på TM30 som jag föredrar att kolla på.		Som en del i att hålla en hög ljuskvalitet anser jag att det är viktigt, mer intressant att försöka se mer till TM 30-15 så småningom.	För att veta att produkten är en bra och professionell produkt
det krävs olika färgseparationskrav beroende på verksamhet	Hur viktigt eller oviktigt det är beror förstås på platsens brukare. I regel vistas folk mycket på de platser vi projekterar belysning till.	Vi måste kunna leverera ett rimligt bra ljus.	Vad är det för aktivitet i rummet du ska belysa? Det är styrande. På vissa platser handlar det inte om vad jag känner eller tycker. Sjukgymnastik ska ha högt Ra för att kunna de skiftningar i huden på patienterna. I kontorslandskap ska man "endast" kunna läsa lite papper... Är det ett arkitektkontor kan man ha ett visst rum men 95 för att man ska kunna se färgprover ordentligt, men inte överallt. Så ja, det är viktigt på rätt ställe. Men samtidigt oviktigt i andra miljöer. Vad är behoven?
Bästa möjliga visuella upplevelse av den aktuella vistelsemiljön är primär	Färg och ljus hör ihop. Att återge färg på bästa möjliga sätt ger en mer levande upplevelse som bidrar till mer trivsamma och spännande miljöer.	För att brukaren/användaren ska få en så bra anpassad miljö som möjligt.	Färgåtergivning är nästan lika viktig för oss för att förstå vår omvärld som kontrastverkan. Så för att understödja och inte stjälpa vårt seende måste CRI vara så perfekt som möjligt. Sen är det inte alltid ekonomiskt försvarbart att ha CRI 95 när CRI90 oftast räcker.
CRI är generellt bristfälligt för att beskriva ljuskällornas egenskap att återge färg. Men absolut en indikation på om det är seriösa produkter eller inte.	För att säkerställa att jag lämnar ifrån mig ett projekt med belysning som jag själv anser uppfyller mina krav på en ljusmiljö. I det ingår ett bra CRI-värde som återger färger så naturligt som möjligt.	Av respekt för människans naturliga väsen. Och för att allt blir snyggare.	
För att färger ska återges så naturligt som möjligt		det är viktigt för att inte förvanska en upplevelse av ett objekt eller andra föremål. Rörliga som statiska.	
folk förtjänar ett bra ljus på alla plan. Dumt att tumma på kvalitet där folk skall bo eller arbeta.	Den upplevda ljusmiljön blir trevligare med högre CRI. Både materialen och ytfärgernas återgivning men även känslan som rummet får. Ett rum ljussatt med lägre CRI kan upplevas som "livlöst".	Stor vikt för upplevelsen av en färg eller textur	
Jag anser det vara viktigt med högt CRI för att det gör så mycket för upplevelsen av ett rum. Särskilt viktigt är det i miljöer som exempelvis restauranger, retail och gallerier då kundens tjänster/produkter uppvisas mer säljande/inbjudande.	För att få rätt föråtergivning till olika typer av aktiviteter i rummet.	Det är viktigt att ha i bakhuvudet, men det blir mer eller mindre viktigt beroende på vilken typ av projekt det är.	För att miljön ska upplevas så naturlig som möjligt. När man inte tänker på ljuset så har man ett bra ljus.
Helhetsupplevelsen, att människor ser naturliga ut, varför nöja sig med mindre?	Hög CRI behöver inte automatiskt betyda att det är en bra ljuskälla. Man borde inte utgå ifrån "ju högre ju bättre". Ljuskällor med CRI 80 gör ofta att kulörer upplevs "naturligare" medans vissa kulörer kan upplevas som för mättade när man använder CRI90+. Viktigt att tänka på material/kulörer i projektet.	Jag jobbar inte med andra ljuskällor än LED. Vad som menas med en konventionell armatur hade varit intressant att få veta.	För att det är stor skillnad på den belysta ytans uppfattning om man använder RA70 eller RA95. I vissa projekt är det mer viktigt än andra hur ljusfärgen förvanskar/inte förvanskar färger.
Det är huvudsyftet, bra eller dålig belysning. Hur det upplevs.		Jag anser att en seriös ljuskäletillverkare har höga CRI	Ljuskvaliteten och miljön
Det är viktigt om det kan påverka resultatet annars brukar det prioriteras bort i projekten pga budget.		För att färgerna ska bli bra återgivna, ofta vet vi inte när vi prövar vilka färgsättningar som kommer	
		Det beror helt på projekt och kund. Även hur underlag och handling är utförd	

9 Hur viktigt tycker du det är med en hög CRI när du föreskriver tunable-white armaturer i ditt projekt?



# ▲	Svar	Responser	Andel
1	Mycket oviktigt	0	0 %
2	Oviktigt	2	3,8 %
3	Viktigt	16	30,8 %
4	Mycket viktigt	25	48,1 %
5	Vet ej	9	17,3 %

 [Skriv fotnoter till detta resultat](#)

10 Varför tycker du att det är viktigt/oviktigt?

FÖR ATT JAG ALDRIG
PROJEKTERAT NÅGON
TUNABLE-WHITE
ARMATUR SA JAG JU

Viktigt att alltid sträva
efter teknik som
förbättrar människans
komfort och
förutsättningar.

Viktigt att kulörer i
rummet inte byter
skepnad pga en annan
färgtemperatur

En faktor som avgör
eller indikerar ljuskvalitet

Av samma orsak som
vid fråga 8

Av samma skäl som
ovan och även då i
kelvinväxlingens yttre
områden

Om man tex ska ha en
lysande linje, eller
släpljus på en vägg, så
kommer armaturer med
ett för lågt CRI återge
ett dåligt resultat i form
av synliga
färgskiftningar.

Se svar fråga 8

För att miljön ska
upplevas så naturlig
som möjligt. När man
inte tänker på ljuset så
har man ett bra ljus.

Samma svar som för
konventionella ljuskällor

samma som tidigare
svar.

Det är viktigt för att jag
vill skapa trivsamma,
funktionella, säkra och
vackra platser. Specifikt
för Tunable-white så
kan det ju skilja
beroende på
färgtemperaturen så det
vill jag ha koll på. Även
att om det finns
specifika krav i en viss
miljö att samtliga
färgtemperaturer
uppfyller de CRI-krav
som finns.

Det artificiella ljuset ska
efterlikna ett dagsljus så
mycket som möjligt

Det behövs ett brett
färgspektrum vid
anläggningar som
skiftar Kelvin för att
täcka kelvinvariationen

Om tekniken med
tunable white skall vara
 trovärdig måste
ljuskvaliteten leva upp till
det på alla sätt.

Av samma anledning
som för konventionella
ljuskällor. Förstår inte
varför det skulle vara
nån skillnad

Jag tycker att det är
viktigt med ett medvetet
val av CRI, sen om den
är hög eller låg - det
avgör ju syftet med
ljussättningen.

Har ännu inte sett
någon tunable white
med CRI större än >80

Det är viktigt att de är
de som användaren
behöver

Om man använder
Tunable white så finns
det en anledning till det,
kunden betalar för att få
ett bra ljus och då är
CRI en viktig parameter.

Jag tänker mig att det
är lika viktigt oavsett om
det rör statiskt eller
dynamiskt ljus,
framförallt för att de
verkar hamna i den
typen av miljö som
kräver det (kontor etc.).
Om man vill använda
tunable white som ett
accentuerande släpljus
blir naturligtvis kraven
på färgåtergivning inte
fullt lika höga.

Viktigt eftersom
TWfunktionen väljs av
en anledning och då ska
alla ytfärger kunna
återges väl.

Se 8.

Vet ej

Av samma skäl som
angivet för CRI
generellt.

Känns menlöst om ena
ändan av ljuskvaliteten är
bra och dimrar man så
blir det skit.

Beror på
användningsområdet i
projektet.

Just tunable White
varierar cri beroende på
färgtemperatur och hög
cri i hela spektrat är
nästan omöjlig att få.

För annars blir det inte
alltid bra. lättare att
förtuse resultat, mindre
testande

Det spelar sällan roll
från de flesta
leverantörer (detta
svaret kommer från ett
år tillbaks, har inte
sysslat med tunable på
ett tag pga detta.)

Det beror på vad du ska
ha den till... Allmänljus i
ett sjukhus, otroligt
viktigt!!! Allmänljus i
kontor, inte lika viktigt.
Men aldrig under 80.
hehe tråkiga svar jag
ger, men så enkelt att
generalisera är det inte
tyvärr.

För att kunden ska få
vad hen betalar för.
Uppnå förväntningar
och att mitt förtroende
ska få fortgå.

Här är det extra viktigt
med tanke på att
glödljuskällan redan
idag ses som en
referens. Leverantörer
och tillverkare baserar
fortfarande nya
energieffektiva ljuskällor
med konventionella
(som glödlampan).

Vissa tunable white
armaturer upplevs som
att det skiftar mer i färg
än i färgtemperatur. Man
vill inte att 2700K
upplevs som gult.

Håller fast vid
ljuskvaliteten och miljön

11 Hur anser du att man bör redovisa CRI för tunable-white armaturer?

Bättre än dåligt eller inte alls

Som ett medel på de idag mest förekommande färgtemperaturerna.

föreskriva själva produkten i armaturförteckninge med all dess info för att kunna köpa in och montera. Sedan skapar man en styrbilaga dr man förklarar hur den skall styras och användas.

Multispektralfördelning

med 16 färgers spectrum

I produktblad.

Färgåtergivning för de olika färgtemperaturerna, gärna med TM30-diagram som visar förändringarna i spektralfördelningen.

Flera CRI-värden som är uppmätta vid olika typintervaller, t.ex vid 2200K, 2700K, 3000K, 3500K osv. De vanligaste värdena vid icke-tunable armaturer bör återfinnas som en tabell i en tunable-armaturs redovisning.

CRI för varje CCT, dvs om en armatur går från 2700K till 5000K borde CRI redovisas även för stegen emellan, t.ex. 3000/4000K.

Lika andra armaturer

TM-30!

Skulle kanske vilja ha redovisat för flera färgtemperaturer

Jag har inte föreskrivit så många så jag har tyvärr inte hunnit bilda mig en uppfattning om det.

Alla leverantörer redovisar en färgåtergivning för hela armaturer, är det rättvist? Skiljer sig färgåtergivningen åt om det är 3K eller 6K? I så fall bör leverantören redovisa färgåtergivningen för varje färgtemperatur respektive ljusflöde för de olika färgtemperaturerna.

Jag tror det räcker med ett sammanvägt värde för armaturens CRI värde för att inte röra till det för våra beställare. Jag tror de har fullt upp med alla andra värden som vi anger. Vet de till exempel skillnad på CRI 8 och CRI 14 eller 15? Börjar vi sedan prata om SDCM värden så tror jag många åker upp på läktarn.

Vid fasta temperaturer. Lägsta/ högsta och ngt däremellan

Jag tycker att det sätt t.ex. Fagerhult redovisar på är okej.

CRI är en standard och kan bara redovisas på ett sätt - som CRI. Menar ni kanske hur färgåtergivning bör redovisas?

Jag tycker att man tydligt borde visa på det lägsta och högsta värdet, så man vet vilket spann CRI:et rör sig emellan.

Ange de faktiska cri men även om de varierar så är de viktigt att redovisa de med. Kanske med ett spann, armaturen har ett cri 80-95 typ

I ett spann så att man vet att lägsta värdet är acceptabelt.

Föreskriver sällan tunable white och är därmed dåligt insatt i hur dess dokumentation skiljer sig från statiska produkter - men jag vill kunna utläsa färgåtergivningen vid det sämsta läget i kurvan. Egentligen skulle det vara intressat att veta färgåtergivningen med jämna mellanrum, utifall det skiljer sig mycket vissa steg av någon anledning (ex CRI 90 vid 3000K och CRI 96 vid 3100K).

Kanske i givna färgtemperaturer. 2200K, 2700K, 3000K, 4000K, 5000K osv

Helst inte alls. Är stark förespråkare av TM30 som erbjuder en mycket bredare och ärligare plattform att ta beslut från.

Anser att man bör ha en tabell som redovisar förändringar under olika CCT intervaller

en kurva som visar CRI parallellt med dimningskurvan. alt med TM30-15

Med ett och samma värde för olika ljusfärger. Börjar det avvika en massa beroende på vilket Kelvin-tal man har är det inte så bra.

Redovisa Cri för dem olika färgtemperaturerna

Med ljuskrivan vid olika färgtemperaturer

jag tror att tm 30-15 har en del goda ideer.

Tunable White fungerar igenom att ha olika grupper med LED. en grupp kan vara 2700K, en annan 4000K och en tredje 6500K. Redovisas CRI för varje enskild LED typ i armaturen så är jag lycklig.

Skiftningar ska representeras vid per 100:e steg i kelvintal, liksom lumenflöde.

Duger som det är idag men fler referenspunkter i spektrat vore bättre än CRI har

Vid några stragiska mätpunkter längs det aktuella spannet

Bra fråga.. kanske på 2700K, 3000K, 3500K, 4000K, 4500K, 5000K, samt 6000K. Kanske inte så många färger.. men att man får med fler :)

Jag skulle föredra att tillverkarna redovisar hela spektralfördelningen i kombination med RA/CRI. Det borde standardiseras. Det skulle även underlätta att redovisa den korrelerade färgtemperaturen så man lätt kan jämföra en tillverkares (3000K) mot en annans (3000K), så olika fabrikat kan användas parallellt.

Redovisa CRI för åtminstone högsta K, lägsta K samt mittvärde eller flera värden inom spannet.

Bilaga 4 - Översiktstabell av mätningar

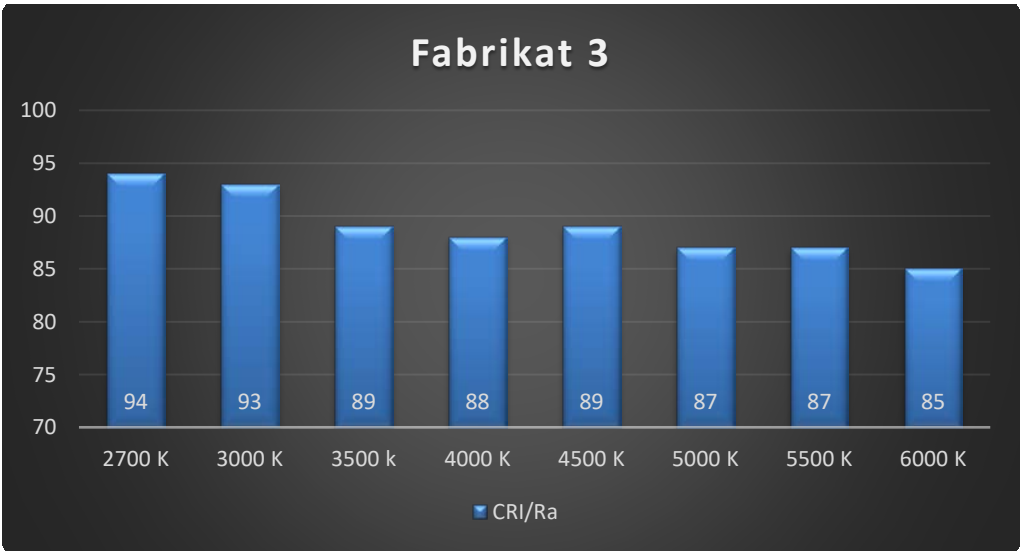
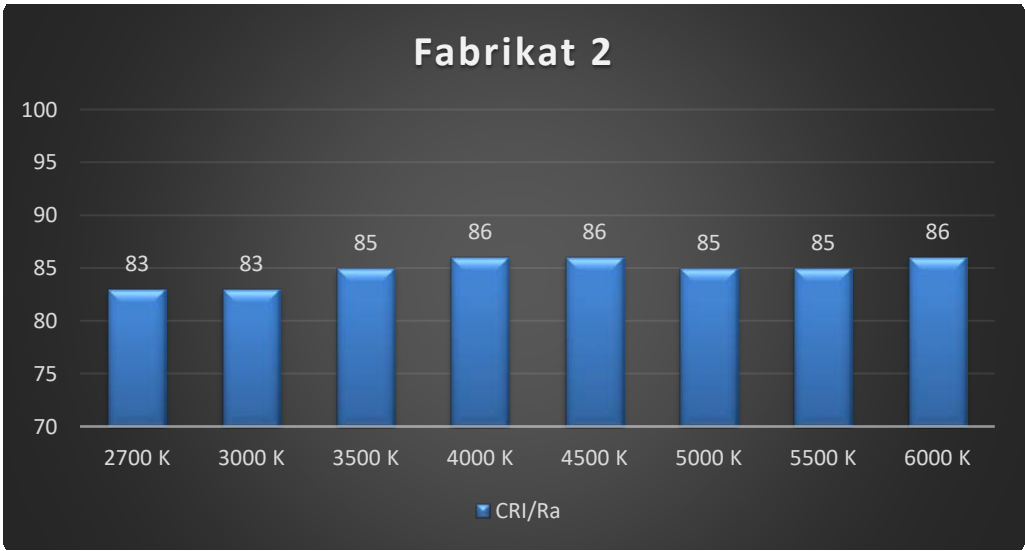
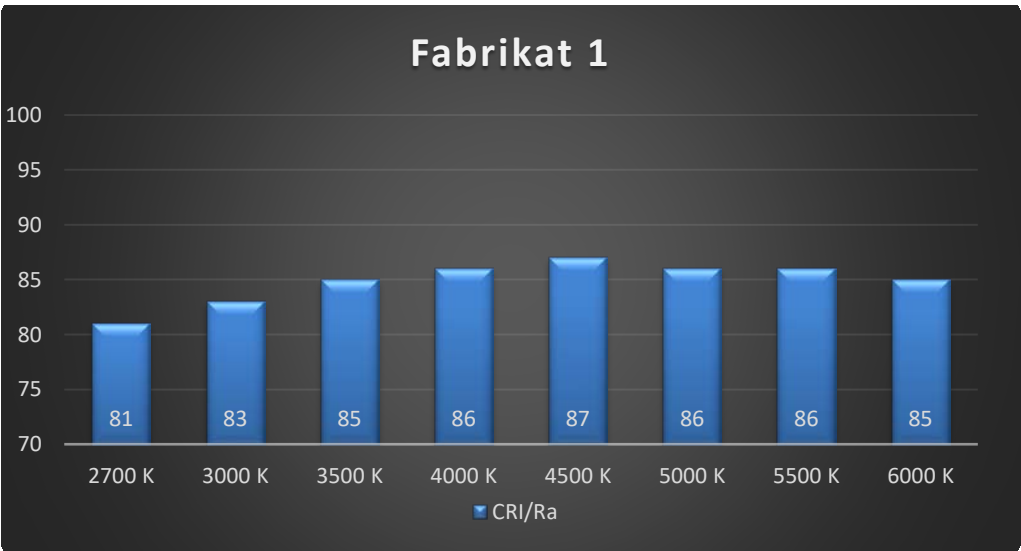
Fabrikat 1		Fabrikat 2	
CCT	CRI	CCT	CRI
2744	81	2803	83
2960	83	2947	83
3510	85	3574	85
3943	86	4127	86
4450	87	4547	86
4982	86	5145	85
5469	86	5552	85
6135	85	6130	86
Fabrikat 5		Fabrikat 3	
CCT	CRI	CCT	CRI
2166	88	2762	94
2750	90	2946	93
3035	91	3494	89
3506	90	4179	88
3981	89	4666	89
4278	90	5059	87
		5422	87
Fabrikat 4		5941	85
CCT	CRI		
2657	82		
2988	84		
3401	85		
3993	86		
4604	85		
5150	84		
5493	84		
6071	83		

Bilaga 5 - Mätningar fabrikat 1-5

CCT	CRI/Ra
2700 K	81
3000 K	83
3500 K	85
4000 K	86
4500 K	87
5000 K	86
5500 K	86
6000 K	85

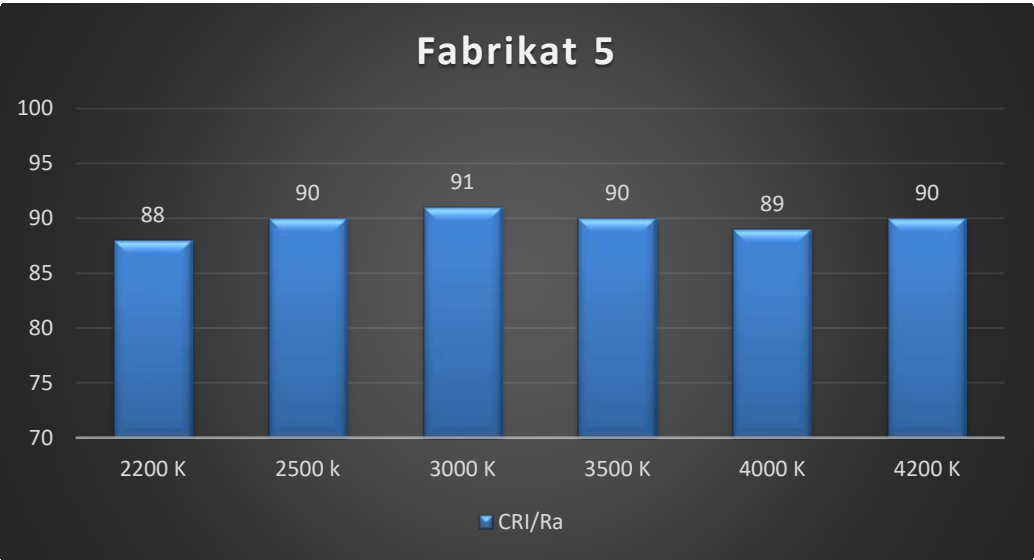
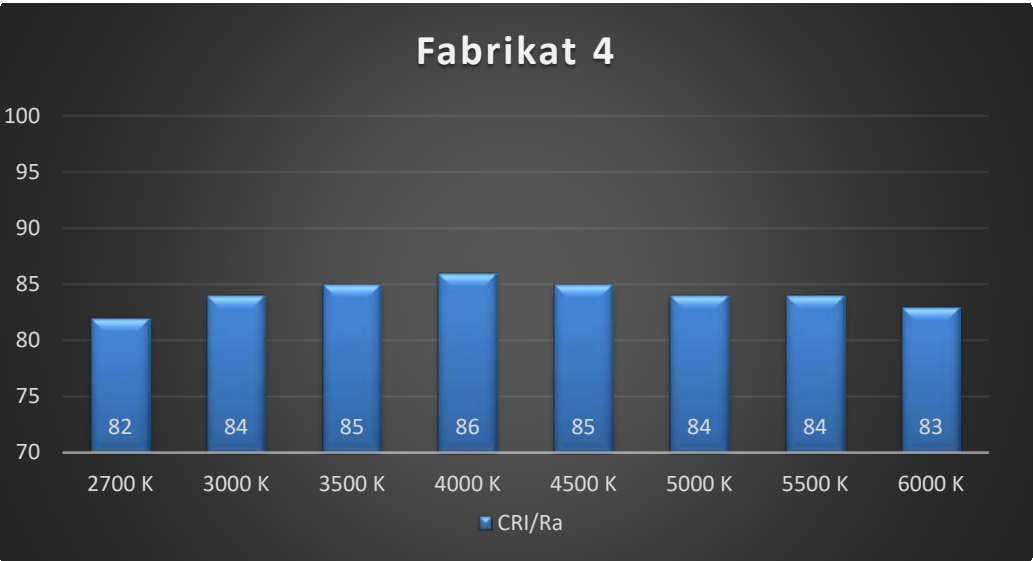
CCT	CRI/Ra
2700 K	83
3000 K	83
3500 K	85
4000 K	86
4500 K	86
5000 K	85
5500 K	85
6000 K	86

CCT	CRI/Ra
2700 K	94
3000 K	93
3500 k	89
4000 K	88
4500 K	89
5000 K	87
5500 K	87
6000 K	85



CCT	CRI/Ra
2700 K	82
3000 K	84
3500 K	85
4000 K	86
4500 K	85
5000 K	84
5500 K	84
6000 K	83

CCT	CRI/Ra
2200 K	88
2500 k	90
3000 K	91
3500 K	90
4000 K	89
4200 K	90



Bilaga 6 - Specifikation, Lighting Passport AsenseTEK

Lighting Passport SPEC

Product Type		Lighting Passport Standard	
Size		Width : 68.5 mm Depth : 17 mm Height : 56 mm	
Net Weight		76.5 g ± 1 g	
Wavelength Range		380 ~ 780 nm	
Illuminance Range		Measurable : 5~50,000 lux ※ 20 ~ 200,000 lux Reliable Chromaticity : 50~50,000 lux ※ 200 ~200,000 lux	
Output wavelength pitch		1 nm	
Optical Resolution (FWHM)		8 nm	
Repeatability		x, y : < 0.001	
Accuracy (@ 1,000 lux Standard Light Source)		x, y : ± 0.002 Illuminance : ± 3 % CCT : ± 2 %	
Integration Time		6 ms ~ 16 s	
Language (SGM Plus) (SGE Plus)		Traditional Chinese, Simplified Chinese, English	
Language (SGM) (SGE)		Traditional Chinese, Simplified Chinese, English, Japanese, French, German, Russian, Italian, Turkish, Spanish, Suomi	
Measurement Mode		Single, Multiple, Continuous, Subtract Background	

Measurement
Capability

CCT
Duv
 CIE 1931
 CIE 1976
 Spectrum
 C78.377-2008
 IEC-SDCM
 CRI (Ra) (R1-R8)
CRI (Re) (R1-R15)
 R1 ~ R15
 CQS
 TLCI (Qa)
 Gamut Area Index
 (GAI)
 Illuminance
 Foot Candle
PPFD
 Peak Wavelength (λ_p)
Dominant Wavelength
 (λ_D)
Purity
SP ratio

>>>More Applications
 ·Transmittance
 ·Agricultural Lighting
 ·Studio

Key Features	Photograph Note Data Filter Auto Connection Auto Dark Calibration Data Comparison WiFi Transfer GPS Orientation Social Media Integration
Additional function	<p>1. TM-30-15 (Rf, Rg & Diagram) : FREE (iOS/Android) APPs : SGM</p> <p>2. Smart Pass (Smart Pass) : 20 USD (iOS/Android IAP) APPs : SGM/SGAL/SGS ※ Users can get it for Free just by Emailing your records to at least 3 users.</p>
Operating Temperature/Humidity	0 ~ 35 °C, relative humidity under 80% with no condensation
Storage Temperature/Humidity Range	-10 ~ 45 °C, relative humidity of 85% or less (@ 35 °C) with no condensation

Bilaga 7 - Intervju med Naomi Miller

Hi Naomi, My name is Joakim Hällvall and I'm studying my third year at the Lighting Design education at the School of Engineering, Jönköping University. I'm doing a thesis where I'm investigating if whether luminaire manufacturers provide the right/or enough technical data for their tunable-white luminaires. I was wondering if I can ask you some questions;

* What do you think is the most important thing as a manufacturer to specify for tunable-white luminaires?

- Here's a list

What information do you need on the product spec sheet?

- *Type: Color tuning (RGB, RGBA, RGBW, etc.), Dim-to-warm, White tuning*
- *SPD data and photopic lumen output at highest CCT, lowest CCT, and in between*
- *Maximum and minimum watts drawn at max, min, mid CCTs*
- *Candela curve for distribution info*
- *Controls protocol (0-10V, DMX, DALI, Zigbee, etc.)*
- *Compatible controls, and any interfaces between controls and driver*
- *Cable type and connectors among control, interface, & luminaire*
- *Driver type, logarithmic or linear dimming curve*
- *Minimum dimming level, whether it dims to off, what happens when raised from off*
- *% Flicker and Flicker Frequency at max, min, and mid output level*
- *Max and min number of luminaires on controller*
- *How to order the COMPLETE system*
- *And, perhaps, maximum melanopic lumens at high CCT, low CCT, mid CCT*

* What issues do you see when it comes to specifying tunable-white luminaires?

- *I'm so glad you are pursuing this! Indeed, luminaire manufacturers do not seem to be providing all the data that specifiers need, especially if they are going to be evaluating the spectrum for light-and-health issues.*

* How would you like the manufacturers to specify the CRI and lumen for the different CCT-values?

- *Here is a link to a webpage that covers some of these issues.*

<https://www.energy.gov/eere/ssl/specifying-led-color-tunable-products> and a link to a presentation by my colleague, Andrea Wilkerson

https://energy.gov/sites/prod/files/2017/05/f34/wilkerson_color-tuning_lfi2017.pdf

I hope this helps,

Naomi

Naomi J Miller, FIES, FIALD, LC
Designer/Senior Scientist
Pacific Northwest National Laboratory
620 SW 5th Avenue, Suite 810
Portland OR 97204
USA
503.417.7571 work
Naomi.Miller@PNNL.gov