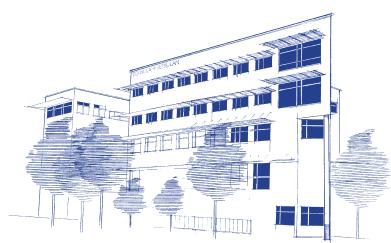


RR



# LED-belysning och brukaren

CINNA ADANKO, MARIANNE KÜLLER



School of Engineering  
Jönköping University  
Research Report No. 2014:03  
ISSN 1404-0018

Kontakt:

Cinna Adanko  
Campus Värnamo  
331 83 Värnamo  
[cinna.l.adanko@varnamo.se](mailto:cinna.l.adanko@varnamo.se)

Marianne Küller  
Miljöpsykologi  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118, 221 00 Lund  
[Marianne.Kuller@arkitektur.lth.se](mailto:Marianne.Kuller@arkitektur.lth.se)

# Förord

Alltsedan dagens ljustekniska begrepp formellt accepterades av industrin definieras ljus och belysning främst i termer av människans visuella system. Insikten att ljus påverkar människans biologiska system på en grundläggande nivå har lett till ny och spännande forskning. Många av de biologiska och psykologiska effekterna av belysning modifieras av ljuskällans egenskaper och belysningsomgivningen. Teknikutvecklingen inom belysningsområdet går mycket snabbt och LED-teknologin möjliggör nya avancerade belysningslösningar. Det är därför angeläget att föra ut den nya kunskapen om hur människan påverkas av ljus och belysning i praktisk tillämpning.

Rapporten är ett försök att på svenska sammanfatta den senaste forskningen vad gäller ljuskällan LED:s påverkan på människan. Arbetet har ingått som en del i ett projekt benämnt *Framtagande av material för kompetensutveckling inom energieffektiv och god belysning*, och har finansierats av Energimyndigheten med Cinna Adanko som projektledare. Arbetet med litteratursammanställningen har utförts av Cinna Adanko och Marianne Küller. Ett varmt tack till Thorbjörn Laike som tagit sig tid att följa arbetet och granska slutresultatet.

Värnamo och Lund 2014

Cinna Adanko

Marianne Küller



# Summary

Lighting research is diversified and includes theory and methodology from disciplines as different as technology, medicine and social sciences. There is also an expectation on research results to be directly applicable in real environments. The introduction of LED has furthermore made previous research on incandescent lamps, fluorescent lamps and other light sources, outdated. New knowledge – and new research – is needed.

An inventory of current LED-research was made during 2013. The result of this inventory is the basis of the research review here presented. The presentation includes more than 400 articles, reported under the headings: The biological clock; Flicker and dimming of LED; Energy efficiency; daylight and lighting control; Colour rendering; Glare, and finally; Perceived lighting qualities.

Underlying theoretical considerations as well as actual knowledge are presented in the text of the different sections, and references are given to relevant research publications. All publications have been provided with two or more keywords in Swedish, describing the content of the publication. After the text given under each heading the references supporting this text are presented. In the final section all LED-publications are given in alphabetical order according to author and with keywords.

# Sammanfattning

Ljusforskning är om något diversifierad och omfattar teorier och metoder från skilda discipliner som teknik, medicin och samhällsvetenskap. Det finns också en förväntan att erhållna forskningsresultat skall kunna appliceras direkt i verkliga miljöer. I och med introduktionen av LED har många tidigare studier som behandlat glödlampor, lysrör och andra ljuskällor inaktualiseras. Ny kunskap - och ny forskning - krävs.

En inventering av aktuell humanrelaterad LED-forskning genomfördes under 2013. Med utgångspunkt i detta material har föreliggande forskningsöversikt sammanställts. Totalt omfattar denna drygt 400 artiklar, som redovisas under följande rubriker: Den biologiska klockan; Flimmer och dimring av LED; Energibesparing: dagsljus och ljusstyrning; Färgåtergivning; Bländning och slutligen; Upplevda ljuskvaliteter.

Såväl bakomliggande teoretiska resonemang som det aktuella kunskapsläget redovisas i de olika avsnitten. Efter varje avsnitt ges också referenser till relevanta forskningspublikationer. Samtliga publikationer har försetts med två eller flera svenska nyckelord, som anger publikationens innehåll. Publikationerna har sedan delats in i kategorier enligt avsnitten ovan. Efter varje avsnitt redovisas de publikationer på vilka texten baserar sig, med nyckelord. I ett slutavsnitt redovisas samtliga LED-publikationer i alfabetisk ordning efter författare och med nyckelord.



# Innehållsförteckning

Förord

Summary

Sammanfattning

Innehållsförteckning

1 Inledning	5
2 Den biologiska klockan	7
3 Flimmer och dimring av LED	25
4 Energibesparing: Dagsljus och ljusstyrning	35
5 Färgåtergivning	49
6 Bländning	57
7 Upplevda ljuskvaliteter	65
8 LED-referenser	75

# 1 Inledning

Ljusforskning är om något diversifierad och omfattar teorier och metoder från skilda discipliner som teknik, medicin och samhällsvetenskap. Det finns också en förväntan att forskningsresultat skall kunna appliceras direkt i verkliga miljöer. I och med introduktionen av LED har många studier som behandlat glödlampor, lysrör och andra ljuskällor inaktualisering. Resultaten kan inte direkt överföras till LED, en ljuskälla med helt andra egenskaper och möjligheter. Bristen på standard för de nya ljuskällorna ställer också till problem, man vet inte i vilken utsträckning erhållna resultat kan appliceras på andra LED-källor. Även utvecklingen inom LED är problematisk, erhållna resultat gäller inte generellt, då ljuskällans egenskaper förändras i takt med den tekniska utvecklingen.

En inventering av aktuell humanrelaterad LED-forskning har genomförts under 2013. Vid inventeringen har databasen Lubsearch använts. Detta är en söktjänst som Lunds universitetsbibliotek licensierar och som många bibliotek världen över använder. För att få en uppfattning om mängden av publikationer i de databaser som ingår i söktjänsten gjordes två enkla sökningar. Den första var på nyckelorden ”LED lighting” och gav 14.445 referenser, den andra på ”Solid State Lighting”, som gav 6.607 referenser. Huvuddelen av artiklarna var teknikinriktade. Ett 40-tal databaser valdes att ingå i sökningarna, från medicinska och psykologiska till tekniska och designinriktade, då ljus och belysning är ett flervetenskapligt forskningsområde. Totalt har ett 50-tal sökord använts i olika kombinationer. CIE:s

konferenspublikationer från de senaste åren har också genomgåtts som komplettering till databassökningen. Sökningarna har resulterat i drygt 250 LED-artiklar som samlats i ett referenshanteringsprogram, Endnote, där respektive artikel inklusive abstract och doi lagrats. Kraven på de valda publikationerna var att de skulle vara peer-reviewed, detta gällde även konferensbidrag. Således ingår inte företagspublikationer, nyhetsbrev, tidningar eller konsumentbroschyror. Vissa undantag vad gäller kravet på peer reviewed har gjorts för svenska publikationer. De valda publikationerna är humanrelaterade, inte enbart tekniska, och behandlar heller inte djur och växter. Sammanfattningsvis kan sägas att forskningen rörande LED idag kan ses som spridda ör, som inte täcker den forskning som finns om äldre ljuskällor. För att kunna placera öarna på den stora kartan behandlas också icke LED-relaterad ljusforskning i denna forskningssammanställning, varför ytterligare 250 publikationer relaterade till ljus och människa ingår i sammanställningen.

Med utgångspunkt i detta material har föreliggande forskningsöversikt sammanställts. Såväl de bakomliggande teoretiska resonemangen som det aktuella kunskapsläget redovisas i de olika avsnitten. Efter varje avsnitt ges också referenser till relevanta forskningspublikationer. Samtliga publikationer har försetts med två eller flera svenska nyckelord, som anger publikationens innehåll. Totalt omfattar sammanställningen drygt 500 artiklar.

## 2 Den biologiska klockan

Ljus studerades länge med den enda målsättningen att fastställa kriterier för god synprestation. Det etablerade ljusforskningssamhället dominerades av åsikten att ljus enbart påverkade människan visuellt och att det inte fanns något belägg för ljusets inverkan på icke-visuella mekanismer. Detta trots att sådana samband påvisats tidigt, dock utan att ge en förklaring till hur denna påverkan medierades (Hollwich, 1948). 1981 skrev den engelske ljusforskaren Boyce att det inte fanns några tillförlitliga resultat som pekade på ljusets icke-visuella effekter. Samma år publicerades i Sverige en bibliografi med som styrkte det motsatta (Küller, 1981). Exakt hur denna icke-visuella påverkan skedde var länge okänt, men 2002 fann Berson et al. förklaringen; att människan utöver stavar och tappar också har en tredje receptor i ögat, s.k. retinala ganglieceller, som inte används för synen. Dessa receptorer är känsliga för det de blå våglängderna i ljuset och medverkar till att synkronisera människans dygnsrytm.

Ljuset har en rad biologiska effekter. En av dessa är regleringen av den biologiska klockan, att mänskor är vakna under dygnets ljusa timmar och sover på natten, då det är mörkt. Denna synkronisering av dygnsrytmen kallas för entrainment och ljuset är den viktigaste och mest kända zeitgebern (timern). Andra timers är t ex temperatur och sociala stimuli. För människan är ljus intuitivt förknippat med ett alert och vaket tillstånd, där ljusstyrka, varaktighet, tid på dagen och ljusets våglängd väcker alertheten, vilket i sin tur medför endokrina och fysiologiska följdtillstånd. Mänsklig fysiologi och mänskligt beteende styrs av denna 24-timmars rytm som påverkar hälsa

och välbefinnande, sömncykel, vakenhet, prestationsmönster, kroppstemperatur och produktion av hormoner. Tallkottkörteln har en central roll, både vad gäller dygns- och årsrytmer. Via ljuset som når ögat regleras utsöndringen av och nivåerna på hormoner som kortisol (stresshormon), tillväxthormon, och melatonin (sömnhormon). (Andersen et al., 2012; Arendt, 1998; Baron et al., 1992; Bellia, 2011; Cajochen, 2007; Chellappa et al., 2011; Duffy et al., 1996; Küller, 1981; Küller, 1986; Küller, 2002; Küller & Küller, 2001; Küller et al., 2009, Küller & Wetterberg, 1993, 1996; Vandewalle et al., 2009; Wehr et al., 1997; Wetterberg 1993, 1994).

Utsöndringen av melatonin är generellt mycket låg under dagen, medan den ökar tidigt om kvällen, når en topp under natten och slutligen tonar bort under tidig morgon. Studier har visat på melatoninets betydelse för flera organs funktioner, såsom hjärnan, hypofysen, sköldkörteln, binjurarna och den glatta muskulaturen. Melatonin hjälper också till att kontrollera de kvinnliga könshormonerna och påverkar menstruationscykeln. Förutom den dygnsreglerande funktionen har melatonin också befunnits påverka immunförsvaret. (Arendt & Pivetz, 1991; Figueiro et al., 2004; Hardeland et al., 1995; Küller & Küller, 2001; Küller & Wetterberg, 1993; Laike et al., 2010; Lewy et al., 1980)

Kortisol bildas i varierande mängd under dygnet. Nivåerna är som lägst under natten och som högst strax efter uppvaknandet. Det finns också en topp sent på eftermiddagen. Kortisol verkar som en samordnare för organismen och koncentrationen i blodet varierar därför också med aktuella krav, t ex ökar utsöndringen vid stress. Ljus undertrycker sömnhormonet melatonin och ökar kortisolproduktionen. (Hollwich, 1979; Küller & Küller, 2001; Linder et al., 1990; Stevens et al., 2007; Rivest et al., 1989; Sharma et al., 1989).

En mängd sjukdomar, från sömnproblem och depressioner till cancer, har kopplats till störningar i den biologiska klockan. Kön, ålder och personliga egenskaper som cirkadisk typ, dvs om vi är morgon- eller kvällsmänniskor, påverkar också våra reaktioner. Vid depressioner kan kortisolutsöndringen vara arytmisk och förhöjd. Hos patienter med schizofreni har störningar i melatoninmetabolismen påvisats. (Hollwich, 1979; Küller & Küller, 2001; Linder et al., 1990; Stevens et al., 2007; Rivest et al., 1989; Sharma et al., 1989).

Kroppens normala hormonella cykler kan störas av att utsättas för starkt ljus på kvällen eller för lite ljus under dagen. Statiskt belysning är vanlig i arbetsmiljöer, vilket under vintertid kan medföra störningar i den biologiska klockan. I miljöer utan fönster kan förhållandena vara stabila över dagen och över året, men dessa förhållanden är i sig artificiella med mindre variation än i vår vanliga miljö avseende t ex klimat och naturligt dagsljus. Küller och Wetterberg (1996) jämförde de cirkadiska variationerna för kortisol och melatonin hos personer som arbetade i miljöer under jord respektive över jord. Man fann en betydande årsvariation i kortisolproduktionen på morgonen hos dem som arbetade över jord, medan variationen hos dem som arbetade under jord var mindre uttalad. Eftermiddagsproduktionen av kortisol var också lägre för personer under jord. Koncentrationen av melatonin var nästan tre gånger högre under natten än under dagen, och denna dygnsvariation var mer uttalad hos de som arbetade under jord. Dessa personer sov också i genomsnitt en timme längre om natten.

Fönsterlösa eller mörka innemiljöer kan förvärra symptomen som uppstår vid bristande ljusexponering. Många av de biologiska och psykologiska effekterna av

belysning tycks modifieras av ljuskällans egenskaper och belysningsomgivningen. Både intensitet och spektralfördelning är av relevans. I inomhusmiljö kan tilläggseffekter tillkomma i kombinationen av dagsljus och artificiellt ljus.

Det kronobiologiska systemet kan störas vid skiftarbete. Detta kan medföra allvarlig sömnighet under nattskift och i viss utsträckning också under morgonskiftet, vilket medför en ökad risk för olycksfall. Studier har visat på fördelar med hög belysningsstyrka under nattarbete. (Badia, 1991; Brainard & Bernecker, 1991; Kecklund et al., 2010; Küller & Küller, 2001)

Vid jetlag störs sömn/vakenhetscykeln. Det cirkadiska systemet kan inte anpassa sig direkt till denna förändring, vilket försämrar vår förmåga att sova och vakna på lämpliga tider och vi behöver några dagar för att ställa in oss på den nya tidszonens (Küller 2002).

Bersons upptäckt (2002) av den tredje receptorn och införandet av LED-armaturer har öppnat nya forskningsområden. Kunskapen om att det är ljuset i det blåa våglängdsområdet som styr vår biologiska klocka ger också nya möjligheter för belysningsplaneringen. Att integrera denna expanderade gren av neurovetenskap med områdena ljusteknik och arkitektur kräver omfattande forskning om vilka egenskaper hos ljuset som är optimala inom såväl kliniska och icke-kliniska tillämpningar som inom belysning och arkitektur. Sådan kunskap kommer att medföra stora förändringar i framtida belysningsstrategier (Hanifin & Brainard, 2007).

LED:s färgton bestäms av den dominanta våglängden. LED finns i färgerna rött, orange, grönt och blått. Med LED-belysning kan det vara möjligt att återskapa dagsljusets variation över dagen, med varmt ljus med låg ljushet på morgonen, ett

klart, kallare och starkare ljus mitt på dagen och ett varmare ljus med lägre ljusstyrka på kvällen. Genom att använda lysdioder med olika våglängder kan ljuskällan manipuleras så att man får en dynamisk ljuskälla. Belysning skulle då kunna bidra till ökad hälsa och välbefinnande genom en skräddarsydd reglering av ljus och mörker under dygnets timmar. Ytterligare forskning om den optimala blandningen av våglängder krävs.

Likaså finns ett behov av nya angreppssätt med ett förändrat perspektiv, bl a baserat på ljuset som når ögat. Forskning om hur mycket cirkadiskt ljus som behövs i ögat under dagens olika timmar bör i framtiden kunna kopplas till kraven på arbetsuppgiftsbelysning. (Bellia et al., 2011; Brainard et al., 2001; Hanifin et al., 2006; Rea & Figueiro, 2011; Rea 2011a, 2011b)

Laike et al. (2010) jämförde omfältsluminansens inverkan på vakenheten i en laboratoriestudie. Två typer av ljuskällor undersöktes, LED och T5-lysrör med likvärdig ljusstyrka, färgtemperatur och färgåtergivning. Belysningsstyrkan på arbetsytan hölls konstant, medan omfältsluminansen varierade. Resultaten visar att med ökad omfältsluminans ökar kortisolnivån signifikant. Det föreligger inga skillnader i upplevelse mellan de två typerna av ljuskällor förutom att man upplever LED-belysningen som något mer lysande. Andra studier av LED-belysningens påverkan på människan pågår, men än så länge är den erhållna kunskapen fläckvis och en samlande bild saknas. (Figueiro et al., 2011; Figueiro & Rea, 2011; Miller et al., 2010; Noguchi et al., 2011; Plitnick et al., 2010)

Samtidigt som LED-belysningens påverkan på människan studeras pågår utveckling av modeller med vars hjälp man förutsäga en LED-ljuskällas icke-visuella effekter.

Ljusets intensitet, spektralfördelning, varaktighet och mönster, samt timing, är betydelsefulla variabler för icke-visuella resoner. Med utgångspunkt i dessa variabler har ett databaserat schema utvecklats för att studera icke-visuella resoner och utvärdera olika typer av belysningsförhållanden, samt skatta deras icke-visuella effektivitet (Ámundadóttir et al., 2013). En annan modell för visualisering av den cirkadiska potentialen hos en punkt i rummet baserar sig på gränsvärdet för belysningen vad gäller spektralfördelning, intensitet och timing (Andersen et al., 2012). Bellia et al. jämförde 2011 olika ljuskällor, vars cirkadiska effekter beräknades med målsättningen att utveckla en teoretisk modell baserad på cirkadisk effektivitet och cirkadisk aktion. Trots att standarder för cirkadiska funktioner saknas, var skillnaderna mellan lamporna inte stora. Författarna konstaterar att den cirkadiska effekten generellt tenderar att sänkas när man ökar den dominanta våglängden, med några undantag, där spektralfördelningen tycks vara avgörande. Ytterligare forskning krävs för att förstå hur mycket cirkadiskt ljus som behövs i ögat under dagens olika timmar.

Optimering av biologiska effekter är möjlig samtidigt som kraven på god syn upprätthålls. Men eftersom biologiska effekter av belysning styrs av ett annat system än synen i sig, kommer ett mått utöver lumen per watt att behövas (Lang, 2011). Rea efterlyser (2011) en ny definition av cirkadiskt ljus, med tanke på den påverkan människan utsätts för av både artificiellt ljus och naturligt ljus, vilket i sin tur påverkar vårt välbefinnande. En sådan formell definition skulle kunna lägga grunden för bättre normer för belysning.

Utveckling av cirkadiska LED-armaturer som imiterar variationerna i dagsljuset pågår. Dessa är avsedda för såväl forskare inom området som för allmän belysningsplanering och i ljusterapi. Ferguson et al. (2008) och Nicol och Ferguson

(2002) undersökte ett antal sådana ljuskällors förmåga att undertrycka melatoninproduktionen. Det visade sig att belysning som modulerar intensiteten i det blå spektrat är mest effektiva. Glickman et al. fann 2006 att kortvågig blå LED hade större effekt vid SAD-behandling än rött ljus. West et al. (2011) fann vid en jämförelse mellan lysrörsbelysning och kortvågig blå LED, att LED tycktes hämma melatoninutsöndringen mer än vanliga vita 4000K lysrör. 2001 fann Wright et al. en påtaglig melatoninnedgång vid stimulering av LED, där blå/grön LED medförde en större hämning av melatoninproduktionen än vit LED-belysning.

Ett antal forskare från olika vetenskapsområden testade 2012 en LED-prototyp i en internationell rymdstation. Man studerade bl a LED-belysningens förmåga att främja seende och reglera neuroendokrina, cirkadiska, neurologiska effekter och sömn. Man studerade synprestation, färgdiskriminering och melatoninreglering hos friska personer under olika belysningsförhållanden. Resultaten visade att det är möjligt att kvantifiera de fotobiologiska reaktionerna i miljön med LED-systemet. Forskarna sammanfattar att omfattande arbete återstår för att utarbeta kriteria för sådana reaktioner och att dessa studier bara är en första fas, som sedan måste prövas i verkliga situationer. Genom att utveckla belysning för brukarnas säkerhet, hälsa och välbefinnande öppnas dörrar för den stora del av jordens befolkning som lider av kronisk sömnlöshet eller cirkadiska störningar. En sådan utveckling kan revolutionera belysningen i offentliga miljöer, arbetsmiljöer och hem under de närmaste årtiondena (Brainard et al., 2012).

En störning i det basala dygnsmönstret kan resultera i trötthet, sömnpromblem, nedstämdhet och somatiska rubbningar. Den årliga variationen i antal dagsljustimmar, tillsammans med fasförskjutningar i den biologiska klockan antas

vara det huvudsakliga skälet till både nedstämdhet vintertid och depressioner under hösten och våren. Det finns variationer i hur allvarligt människor påverkas under den mörka årstiden, från mild nedstämdhet till mycket allvarliga symptom; Seasonal Affective Disorder, SAD, som kräver medicinsk behandling. Den mildare varianten kallas Sub SAD (subclinical/subsyndromal SAD). (Küller, 2008; Küller & Wetterberg, 1996; Rosenthal, 1998; Wetterberg, 1994)

Hos personer som lever långt från ekvatorn visar produktionen av hormoner en årstidsvariation. Melatoninproduktionens dagliga rytm ändras från vinter till sommar, utsöndringen startar tidigare på sommaren än under vintern. Det sker också en nedgång i kortisolproduktionen under den mörka årstiden. På norra halvklotet är nedgången mest uttalad under november till december, med en förhöjning redan i februari. Årstidsrelaterade störningar i humöret har på norra halvklotet dokumenterats i Alaska, Danmark, Finland, Island, Norge, Skottland, Schweiz, Sverige och i centrala USA. I den södra hemisfären har SAD identifierats i Antarktis, Argentina, Australien, Saudiarabien och Sydafrika under vintersäsongen (Küller & Küller, 2001). Studier i andra klimatzoner har också pekat på ett annorlunda mönster för kortisolproduktionen. (Ahuja & Sharma, 1971; Küller et al., 2006; Küller & Lindsten, 1992; Küller & Wetterberg, 1993; Okamoto et al., 1966; Roecklein et al., 2013; Tonello, 2008; Van Dongen et al., 1998; Watanabe, 1964 )

Mildare årstidsrelaterade affektiva störningar kan lindras av bättre belysning inomhus och/eller vistelse utomhus i dagljus (Küller & Küller, 2001; Küller, 2002; Veitch et al., 2004). En jämförelse mellan vårdtiden av depressiva patienter som låg i rum med mycket respektive lite dagsljus visade att patienterna i de ljusare rummen hade en genomsnittlig vårdtid om 16,9 dagar, medan de i de mörkare rummen hade 19,5 dagars vårdtid (Beauchemin & Hays, 1996). En annan undersökning visade att

depressiva patienter som vårdades i rum som vette mot öst med direkt morgonsolljus hade en ca 4 dagar kortare vårdtid än de som vårdades i rum mot väster (Benedetti et al., 2001).

Alzheimerpatienter uppvisar ett slumpmässigt mönster av vila och aktivitet jämfört med den sömn/vakenhetscykel som äldre vanligtvis uppvisar. Ljusbehandling har visat sig vara ett verksamt verktyg. Det cirkadiska systemet är maximalt känsligt för kortvågigt ljus. Studier har visat att blått LED-ljus (30 lux) på näthinnan 2 timmar tidigt på kvällen ger en förbättrad sömnkvalitet, jämfört med samma dos rött ljus. (Figueiro et al., 2004; Figueiro, 2008; Hanford, & Figueiro, 2013). Forskning har också visat att äldre personer som får tillskott av ljus sover bättre. Man har även sett positiva effekter hos personer med demenssjukdomar (van Hoof et al., 2009).

Figuerio och Bierman (2009) utvecklade en prototyp för personlig ljusbehandling utrustad med blå LED med låg ljusstyrka. Denna testades på äldre personer. Resultaten tyder på att en personlig enhet kan vara effektiv för ljusbehandling för personer som lider av cirkadiska sömnstörningar. Ytterligare tester behövs dock. Kortvågig LED-belysning förväntas kunna användas vid ljusbehandling med lägre lux-värden än traditionella lysrör (Anderson et al., 2009).

Det krävs också en medvetenhet om att de nya ljuskällorna kan medföra risker för brukaren. Blue-Light Hazard, blåljusrisk, definieras som den potentiella risken för fotokemiska skador på näthinnan från strålningsexponering av våglängder mellan 400 och 500 nm (Cesarini, 2009). Arbete med mätning och standardisering av ögonsäkerhet vid optiskt strålning från LED-produkter pågår (Tongsheng & Xhenjian, 2013). Blått ljus i LED-armaturer reducerar fotoreceptorernas resoner

efter ett exponeringstillfälle, vilket kan vara oroande med tanke på de blå-berikade armaturer som används för att behandla SAD-symptom och andra sjukdomar (Gagne et al., 2011; West et al., 2011). Benke och Benke sammanfattar 2013 en riskanalys av LEDs påverkan på hälsa med att ytterligare forskning behövs för ökad kunskap om negativa hälsoeffekter. Kompletterande riskanalyser bör genomföras med hänsyn till ljuskällans spektrala sammansättning. En viktig fråga är diskrepansen mellan de positiva effekterna av artificiell belysning under dagen och de problem som orsakas av exponering nattetid. Andra områden som kräver uppmärksamhet inkluderar effekten av genetiska komponenter såväl som miljön i allmänhet.

I en artikel från 2011 menar Boyce att användning av ljusexponering som ett medel för ökad hälsa är en möjlighet men inte någon garanti. Han menar att tills dess full förståelse för de icke-visuella effekterna av ljus erhållits, är den bästa lösningen att försöka replikera de villkor under vilka mänskligheten utvecklats, dvs dagsljus på dagen och lite ljus på natten.

## Referenser

- Ámundadóttir, M. L., St. Hilaire, M. A., Lockley, S. W., & Andersen, M. (2013). *Modelling non-visual responses to light: unifying spectral and temporal characteristics in a single model structure*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED modell ljusdesign non-visual cirkadisk ljuskvaliteter
- Behar-Cohen, F., Martinsons, C., Viénot, F., Zissis, G., Barlier-Salsi, A., Cesarini, J. P., Enouf, O., Garcia, M., Picaud, S. & Attia, D. (2011). Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye? *Progress in Retinal and Eye Research*, 30, 239-257 LED blue-light hazard BLH hemmiljö blått ljus hälsa
- Bellia, L., Bisegna, F., & Spada, G. (2011). Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power

- distributions. *Building and Environment*, 46(10), 1984-1992 LED hälsa innemiljö non-visual ljusdesign nomenklatur cirkadisk ljuskvalitet spektralfördelning.
- Boyce, P. R. (2011). Lemmings, light, and health revisited. *Leukos*, 8(2), 83-92 LED cirkadiska rytmer ljusexponering non-visual cancer
- Brainard, G., C., Coyle, W., Ayers, M., Kemp, J., Warfield, B., Maida, J., Bowen, C., Bernecker, C., Lockley, S.W. & Hanifin, J.P. (2012). Solid-state lighting for the International Space Station: Tests of visual performance and melatonin regulation. *Acta Astronautica* LED melatonin rymdstation sömn syn fysiologi cirkadisk.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. R., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E. & Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405-6412 non-visual teori melatonin cirkadisk
- Cajochen, C., Frey, S., Anders, D., Spati, J., Bues, M., Pross, A., Mager, R., Wirz-Justice, A. & Stefani, O. (2011). Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology*, 110(5), 1432-1438 LED non-visual eeg prestation cirkadisk sömn
- Cesarini, J. P. (2009). Blue light hazards for ocular lesions. *Radioprotection*, 44(4), 463-478 LED blue-light hazard BLH riskbedömning
- Chellappa, S. L., Steiner, R., Blattner, P., Oelhafen, P., Götz, T., & Cajochen, C. (2011). Non-Visual Effects of Light on Melatonin, Alertness and Cognitive Performance: Can Blue-Enriched Light Keep Us Alert? *PLoS ONE*, 6(1), 1-11 non-visual prestation arbetsmiljö hemmiljö cirkadisk melatonin
- Dai, C.-h., Wu, Z.-f., Chen, B.-h., Wang, Y.-f., Li, X.-z., & Fu, L. (2013) *Research on the measurement technology and evaluation method of photobiological safety*, SPIE - The International Society for Optical Engineering. LED blue-light hazard BLH radiometri
- Downes, M., Ayers, M., West, K., Kemp, J., Warfield, B., Hasher, D., Welsh, C., Whittaker, A., Hanifin, J., Cecil, K. & Brainard, G. (2011). Melatonin suppression using solid-state lighting in a simulation of the International Space Station crew sleeping quarters. [Meeting]. *Society for Neuroscience Abstract Viewer and Itinerary Planner*, 41 LED utemiljö ljusplanering energieffektivitet
- Ferguson, I., Melton, A., Li, N., Nicol, D., Park, E. H., & Tosini, G. (2008). Imitating Broadband Diurnal Light Variations Using Solid State Light Sources. *Journal of Light & Visual Environment*, 32(2), 63-68 LED cirkadiska blått ljus hälsa

- Figueiro, M. (2008). Sustainable lighting for healthcare facilities: more than just lumens per watt. *Journal of Green Building*, 3(1), 74-89 *äldre barn sjukhus cirkadisk standard*
- Figueiro, M. G. (2008). A proposed 24 h lighting scheme for older adults. *Lighting research & technology*, 40(2), 153-160 *LED demens cirkadisk hälsa patient*
- Figueiro, M. G. (2010). Non-visual effects of light: Implications for design. In J. Bentley, A. Gupta & R. N. Youngworth (Eds.), *International Optical Design Conference 2010* (Vol. 7652). Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering *cirkadisk terapi äldre hälsa byggd miljö non-visual*.
- Figueiro, M. G., Brons, J. A., Plitnick, B., Donlan, B., Leslie, R. P., & Rea, M. S. (2011). Measuring circadian light and its impact on adolescents. *Lighting Research and Technology*, 43(2), 201-215 *cirkadiskt non-visual studenter sömn välbefinnande*.
- Figueiro, M. G., Bullough, J. D., & Rea, M. S. (2004). *Spectral Sensitivity of the Circadian System*. Paper presented at the Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Third International Conference on Solid State Lighting. (Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2004, 5187:207-214) . *LED cirkadisk demens blått ljus sömn*
- Figueiro, M. G., & Rea, M. S. (2011). Sleep opportunities and periodic light exposures: Impact on biomarkers, performance and sleepiness. *Lighting Research and Technology*, 43(3), 349-369 *LED ljusexponering sömn cirkadisk non-visual*.
- Fotios, S. (2011). Lighting in offices: lamp spectrum and brightness. *Bürobeleuchtung: Lampenspektrum und Helligkeit*(2), 114 *spektralfördelning design kontor cirkadisk*
- Freyssinier, J.P. & Rea, M. (2010). A two-metric proposal to specify the color-rendering properties of light sources for retail lighting. *Color Research and Application* 7784 *LED butik standard design färgåtergivning cirkadisk*
- Gagne, A. M., Levesque, F., Gagne, P. & Hebert, M. (2011). Impact of blue vs red light on retinal response of patients with seasonal affective disorder and healthy controls. 35(1), 227-231. *LED blue-light hazard BLH SAD ljusterapi riskbedömning*
- Hanifin, J., Stewart, K., Smith, P., Tanner, R., Rollag, M., & Brainard, G. (2006). High intensity red light suppresses melatonin. *Chronobiology International: The Journal of Biological & Medical Rhythm Research*, 23(1/2), 251-268 *lighting melatonin circadian cirkadisk melatonin hormoner rött ljus*.
- Hanifin, J.P. & Brainard, G.C. (2007). Photoreception for Circadian, Neuroendocrine, and Neurobehavioral Regulation. *Journal of Physiological Anthropology*, 26(2), 87-94 *ljusterapi melatonin cirkadisk*

- Harrison, E., M., Gorman, M., R., & Mednick Sara, C. (2011). The effect of narrowband 500nm light on daytime sleep in humans. *Physiology & Behavior*, 103, 197-202 *LED hälsa sömn cirkadisk*.
- Hecht, J. (2012). Better than sunshine. *New Scientist*, 214(2871), 42-45 *LED sömn hälsa blått, rött, grönt ljus, cirkadisk*.
- Hoffmann, G., Gufler, V., Griesmacher, A., Bartenbach, C., Canazei, M., Staggl, S. & Schobersberger, W. (2008). Effects of variable lighting intensities and colour temperatures on sulphatoxymelatonin and subjective mood in an experimental office workplace. *Applied Ergonomics*, 39(6), 719-728 *arbetsmiljö hälsa melatonin cirkadisk ljuskvaliteter*.
- Hoof, J. v., Schoutens, A. M. C. & Aarts, M. P. J. (2009). High colour temperature lighting for institutionalised older people with dementia. *Building and Environment*, 44, 1959-1969 *cirkadisk demens institutionsmiljö*.
- Ishibashi, K., Arikura, S., Kozaki, T., Higuchi, S. & Yasukouchi, A. (2010). Thermoregulatory effect in humans of suppressed endogenous melatonin by pre-sleep bright-light exposure in a cold environment. *Chronobiology International*, 27(4), 782-806 *cirkadisk melatonin sömn ljusexponering vuxna*.
- Knisley, J. (2012). The Health Benefits of LED Lighting. *EC&M Electrical Construction & Maintenance*, 111(12), C6-C10 *LED hälsa cirkadisk melatonin*.
- Küller, R. (2002). The Influence of Light on Circarhythms in Humans. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, 21(2), 87-91 *hälsa cirkadisk fönster skiftarbete SAD sömn*.
- Küller, R. (2008). Light, Mood and Seasonal Disorders. In T. Porter & B. Mikellides (Eds.), *Colour for Architecture Today* (pp. 138-142). Oxford: Taylor and Francis *SAD cirkadisk*.
- Küller, R., & Küller, M. (2001). *The influence of daylight and artificial light on diurnal and seasonal variations in humans. A bibliography* (Vol. 139): Commission International de l'Eclairage *non-visual dagsljus cirkadisk seasonal*.
- Küller, R., & Laike, T. (1998). The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal. *Ergonomics*(4), 433 *flimmer eeg cirkadisk stress kontorsmiljö HF-don*.
- Küller, R., & Lindsten, C. (1992). Health and behavior of children in classrooms with and without windows. [doi: DOI: 10.1016/S0272-4944(05)80079-9]. *Journal of Environmental Psychology*, 12(4), 305-317 *dagljus skola barn kortisol melatonin längtillväxt cirkadisk*.
- Lang, D. (2011). *Energy efficient lighting for the biological clock*. Paper presented at the Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XV, 25-27 Jan. 2011, USA. *hälsa LED cirkadisk syn hälsa*

energieffektivitet energibesparing

- Liu, Y., & Mou, T. (2013). *Evaluation of window lighting considering the circadian effect.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. LED fönster(artificiellt) cirkadisk dagsljus
- Lowden, A., Åkerstedt, T. & Wibom, R. (2004). Suppression of sleepiness and melatonin by bright light exposure during breaks in night work. *Journal of Sleep Research*, 13(1), 37-43 cirkadisk sömn industri medelålders skiftarbetare.
- Mark, R. (2004). Lighting for caregivers in the neonatal intensive care unit. *Clinics in Perinatology*, 31, 229-242 arbetsmiljö vårdmiljö sjukhus sömn cirkadisk patienter review.
- Matei, S. (2004). *The bio-influence of trichromatic white LEDs light source: Bioresonance phenomenon.* Paper presented at the Light Sources 2004 - Proceedings of the Tenth International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, July 18, 2004 - July 22, 2004 Toulouse, France LED ljusfärg välbefinnande cirkadisk
- Miller, D., Bierman, A., Figueiro, M. G., Rea, M. S. & Schernhammer, E. S. (2010). Ecological measurements of light exposure, activity and circadian disruption. *Lighting Research and Technology*, 42(3), 271-284 LED cirkadisk hemmiljö daysimeter.
- Miller, D., Bierman, A., Figueiro, M.G., Schernhammer, E.S. & Rea, M.S. (2010). Ecological measurements of light exposure, activity and circadian disruption. *Lighting research & technology*, 42(3), 271-284 LED hälsa cirkadisk.
- Morita, T., Hirano, Y. & Tokura, H. (2003). Temporal variability of preferred lighting conditions self-selected by women. *Physiology & Behavior*, 78, 351-355 cirkadisk färgtemperatur kvinnor
- Morita, T. & Tokura, H. (1998). The Influence of Different Wavelengths of Light on Human Biological Rhythms. *Applied Human Science*, 17(3), 91-96 biological rhythm cirkadisk melatonin rött/grönt/blått ljus boendemiljö.
- Nicol, D. B. & Ferguson, I. T. (2002). Development of a circadian light source. In I. T. Ferguson, N. Narendran, S. P. DenBaars & Y. S. Park (Eds.), *Solid State Lighting II* (Vol. 4776, pp. 255-260 Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering. LED cirkadisk rekommendationer ljuskälleprototyp).
- Nicol, D. B. & Ferguson, I. T. (2002). *Development of a circadian light source.* Paper presented at the Solid State Lighting II, 9-11 July 2002 USA. LED cirkadisk ljuskälla prototyp,
- Noguchi, H., Toda, N., Mori, A. & Kamikawa, Y. (2011). *Effects Of Dawn Simulation On Quality Of Life In Elementary School Children.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED skola cirkadisk sömn skymningssimulering.

- Noguchi, H., Toda, N., Yasukouchi, A. & Nan, Q. (2013). *Eco-friendly color tunable LED office lighting incorporating circadian physiology*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED dimring cirkadisk eeg melatonin kontroll kontorsmiljö*.
- Rautkylä, E., Puolakka, M. & Halonen, L. (2012). Alerting effects of daytime light exposure-a proposed link between light exposure and brain mechanisms. *Lighting Research and Technology*, 44(2), 238-252 *circkadisk icke visuell melatonin teori*.
- Rea, M.S. (2011). Human health and well-being: Promises for a bright future from solid-state lighting. In K.P. Streubel, L.W. Tu, H. Jeon & N. Linder (Eds.), *Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XV* (Vol. 7954). Bellingham Spie-Int Soc Optical Engineering. *LED hälsa cirkadisk cancer melatonin*
- Rea, M.S. (2011). Toward a definition of circadian light. *Journal of Light and Visual Environment*, 35(3), 250-254 *LED cirkadisk hälsa*.
- Rea, M.S. & Figueiro, M.G. (2011). What is "healthy lighting?" *International Journal of High Speed Electronics & Systems*, 20(2), 321-342 *LED cirkadisk hälsa SAD*.
- Rea, M.S., Figueiro, M.G., Bierman, A. & Bullough, J.D. (2010). Circadian light. *Journal of Circadian Rhythms*, 8 *icke visuell cirkadisk ljuskvalitet fotometri review*.
- Rea, M.S., Figueiro, M.G., Bierman, A. & Hamner, R. (2012). Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research and Technology*, 44(4), 386-396 *LED cirkadisk icke visuell*.
- Roecklein, K.A., Wong, P.M., Miller, M.A., Donofry, S.D., Kamarck, M.L. & Brainard, G.C. (2013). Melanopsin, photosensitive ganglion cells, and seasonal affective disorder. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(3), 229-239 *circadisk SAD sömn depression*
- Sandström, M., Bergqvist, U., Küller, R., Laike, T., Ottosson, A. & Wibom, R. (2002). *Belysning och hälsa. En kunskapsöversikt med fokus på ljusets modulation, spetralfördelning och desss kronobiologiska betydelse*. Stockholm Arbetslivsinstitutet *circadisk hälsa spektralfördelning modulering*.
- Spivey, A. (2011). Built environment. The Mixed Blessing of Phosphor-Based White LEDs. *Environmental Health Perspectives*, 119(11), A472-A473 *LED cirkadisk hälsa melatonin blått/vitt ljus*.
- Stevens, R.G., Blask, D.E., Brainard, G.C., Hansen, J., Lockley, S.W., Provencio, L. Rea, M.S. & Reinlib, L. (2007). Meeting Report: The Role of Environmental Lighting and Circadian Disruption in Cancer and Other Diseases. *Environmental Health Perspectives*, 115(9), 1357-1362 *circadisk hälsa cancer melatonin*.

- Stone, P.T. (1999). The effects of environmental illumination on melatonin, bodily rhythms and mood states: A review. *Lighting Research and Technology*, 31(3), 71-79 *arbetsmiljö hemmiljö melatonin cirkadisk*
- Tongsheng, M. & Zhenjian, P. (2013). *Measurement and standardization of eye safety for optical radiation of LED products*. SPIE - The International Society for Optical Engineering. *LED blue-light hazard BLH säkerhetsstandard fotobiologisk säkerhet radiometri*
- Tralau, B., Dehoff, P. & Schierz, C. (2011). *Extension of lighting quality criteria and their evaluation for different application areas*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *ljuskvalitet ljusdesign cirkadisk emotion mätning*
- van Bommel, W. (2010). Lighting Tomorrow: What's Hot. *Light & Engineering*, 18(2), 5-9 *LED standard cirkadisk färgåtergivning bländning*.
- van Bommel, W. J. M. (2006). Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work. [doi: DOI: 10.1016/j.apergo.2006.04.009]. *Applied Ergonomics*, 37(4), 461-466 *cirkadisk standard rekommendationer hälsa välbefinnande sömn*.
- Van Bommel, W.J.M., & Van Den Beld, G.J. (2004). Lighting for work: a review of visual and biological effects. *Lighting research & technology*, 36(4), 255-269 *cirkadisk hälsa arbetsmiljö omfältsluminans prestation*.
- van Hoof, J., Schoutens, A.M.C. & Aarts, M.P.J. (2009). High colour temperature lighting for institutionalised older people with dementia. *Building & Environment*, 44(9), 1959-1969 *demens äldre cirkadisk design*.
- Vandewalle, G., Maquet, P., & Dijk, D.J. (2009). Light as a modulator of cognitive brain function. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(10), 429-438 *cirkadisk icke visuell*.
- Webb, A.R. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. *Energy & Buildings*, 38(7), 721-727 *LED arbetsmiljö energieffektivitet cirkadisk UV blått ljus*.
- Veitch, J.A. (2005). Light, lighting, and health: Issues for consideration. *Leukos*, 2(2), 85-96 *hälsa belysningsstyrka melatonin fotoreceptor cirkadisk*.
- Veitch, J.A., Christoffersen, J. & Galasiu, A.D. (2013). *What We Know About Windows And Well-Being, And What We Need To Know*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. *dagsljus fönster hälsa tredje receptionen komfort cirkadisk*
- Veitch, J. A. & Galasiu, A.D. (2012). *The physiological and psychological effects of windows, daylight, and view at home: Review and research agenda.*: Ottawa, ON; NRC Institute for Research in Construction *dagsljus fönster cirkadisk hemmiljö hälsa*.
- West, K.E., Jablonski, M.R., Warfield, B., Cecil, K.S., James, M., Ayers, M.A.,

- Maida, J., Bowen, C., Sliney, D.H., Rollag, M.D., Hanifin, J.P. & Brainard, G.C. (2011). Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *J Appl Physiol*(110), 619-626 *LED blått ljus melatonin astronauter hälsa välbefinnande cirkadisk melatonin.*
- Vetter, C., Juda, M., Roenneberg, T., Lang, D. & Wojtysiak, A. (2011). Blue-enriched office light competes with natural light as a zeitgeber. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 37(5), 437-445 *blått ljus sömn cirkadisk sömn zeitgeber dagljus.*
- Wetterberg, L. (1994). Light and biological rhythms. *Journal of Internal Medicine*, 235(1), 5-19 *cirkadisk hälsa melatonin.*
- Wojtysiak, A. & Lang, D. (2013). *Application studies on non-visual effects of light with traditional and solid state light sources.* Paper presented at the Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. *LED cirkadisk kontor*
- Wright, H.R., Lack, L.C. & Partridge, K.J. (2001). Light emitting diodes can be used to phase delay the melatonin rhythm. *Journal of Pineal Research*, 31(4), 350-355 *LED cirkadisk hälsa melatonin blått ljus ljusbox.*
- Yasukouchi, A., Hazama, T. & Kozaki, T. (2007). Variations in the Light-induced Suppression of Nocturnal Melatonin with Special Reference to Variations in the Pupillary Light Reflex in Humans. *Journal of Physiological Anthropology*, 26(2), 113-121 *LED melatonin pupillstorlek studenter hälsa ljusstyrka cirkadisk*



### 3 Flimmer och dimring av LED

Flimmer kan sägas vara upplevelsen av snabba variationer i ljusintensitet och denna upplevelse påverkas av frekvens, moduleringsdjup, ljusstyrka och belysningens applicering. Det finns inga föreskrifter för hur flimmer ska beskrivas. Mått som används är Flimmer index och Procent flimmer.

Flimmer uppfattas, dvs syns, vid låga frekvenser, men när man ökar frekvensen kommer man till en punkt där betraktaren kommer att säga att ljuset är konstant. Det är stor variation mellan mänskor i denna upplevelse, och effekten av flimmer är relaterad till en individuell tröskel. För att fastställa denna gräns utsätts personen för ett flimrande ljus med en frekvens som gör att ögat uppfattar det som flimrande. Frekvensen ökas tills det att ljuset uppfattas som ett kontinuerligt ljus. Den frekvens där detta sker kallas antingen Critical Flicker Fusion eller Critical Flicker Frequency, CFF. Det finns också ett icke-visuellt flimmer, dvs flimmer som vi visuellt inte uppfattar, alltså inte ser. Vanligtvis slutar man se flimmer vid ca 60Hz, men vissa mänskor rapporterar flimmer upp till 90-100 Hz. Flimmer över CFF-tröskeln och upp till ca 200 Hz kan uppfattas av nervsystemet som osynligt flimmer.

Moduleringsdjup, frekvens och vågform såväl som exponeringstid har visat sig påverka flimmerkänsligheten. Maximal känslighet för flimmer har man i 20-årsåldern, sedan minskar känsligheten med ökande ålder. Kvinnor är mer känsliga än män. Barn, som är känsligare än vuxna för flimmer, kan också tänkas vara mer benägna att

reagera på detta, men det finns grupper med högre känslighet för flimmer även bland den vuxna befolkningen (Küller & Laike, 1998).

Ett betydande antal människor uppfattar flimmer i sin miljö, vilket i sin tur förknippas med att belysningen upplevs som otillfredsställande. Studier har visat att autistiska barn blir mer oroliga när belysningen flimrar. I kontorsmiljö uppstår inte bara synergonomiska besvär såsom huvudvärk och ögonbesvär utan även allmän stress kan förorsakas av flimmer. Liknande resultat har man funnit vad gäller skolmiljö. Fotosensitiva kan få epileptiska anfall om de blir utsatta för flimmer (Brundrett, 1974; Küller, 1981; Küller & Küller 2001; Wilkins et al., 2010; Winterbottom, 2009).

Flimmer kan också samverka med rörliga maskiner. Då uppfattas de rörliga maskindelarna röra sig ryckigt (stroboskopeffekt) i flimrande ljus och därmed öka riskerna vid industriarbete. Stroboskopiska effekter kan också uppstå i samband med bildskärmsarbete. Flimmer påverkar ögats rörelser.; vid läsning i flimrande ljus fördubblas antalet ögonrörelser och läsprestationen försämras därmed. Oavsett om flimret är synligt eller osynligt kan det bidra till irritation, huvudvärk, migrän, trötthet, epilepsi och andra neurologiska reaktioner. (IEEPAR1789, 2010: Küller, 1981; Veitch, 1995; Jaén et al., 2011).

De flesta lysrörsmaturer som idag säljs i Sverige är bestyckade med HF-don (högfrekvensdon). HF-donet driver lysrören med en högre frekvens än frekvensen i nätpänningen (50Hz). Den höga frekvensen ger högre verkningsgrad, flimmerfritt ljus, låg energiförbrukning, förlänger lysrörens livslängd och spar energi. HF-don finns för direkt drift (100 % ljus) eller för ljusreglering (HF dim).

En jämförelse mellan lysrör och glödlampor visade att om man tar bort allt synligt flimmer finns det inte någon preferens för någondera, de bedömdes ge likvärdiga belysningsförhållanden. (Brundrett, 1974). Veitch och McColl (1995) studerade effekterna av lysrörsbelysning med HF-don alternativt konventionella don med samma spektralfördelning på ljuset. Synprestationen var signifikant högre under högfrekvent flimmer än under lågfrekvent flimmer. Man fann inte någon skillnad i visuell komfort. Författarna diskuterar om det icke-visuella flimret kan uppfattas som ett brus i hjärnans neurala aktivitet, dvs den samlade elektriska signal som uppstår hos ett nätverk av nervceller när enstaka nervceller aktiveras.

Wilkins et al. (1989) fann i en fältstudie på kontorsarbetsplatser att andelen personer med huvudvärk och ögonbesvär mer än halverades då flimret reducerades med HF-don. Küller och Laike jämförde 1998 i en laboratoriestudie lysrörsbelysning i två rum - det ena med konventionella förkopplingsdon och det andra med HF-don. Studien visar att belysningskvaliteten skattades högre i rummet med HF-don (flimmerfritt). Däremot förelåg inga skillnader vad gällde synergonomi, huvudvärk, känsla av stress och trötthet. Prestationen påverkades dock och en skillnad fanns mellan personer med hög respektive låg känslighet för flimmer. De mer flimmerkänsliga personerna (ca 40%) påverkades både psykofisiologiskt (bl a eeg, hjärnans elektriska signaler) och beteendemässigt av flimmer. Gruppen med hög känslighet hann med fler uppgifter vid ett korrekturläsningsprov, men hade också mer än dubbelt så många fel när konventionella don användes.

Forskning om flimmer fick en nedgång då HF-don för lysrör blev vanliga på marknaden och problemen med flimmer därmed tycktes löst. De nya ljuskällor som under senare år introducerats på marknaden öppnar upp forskningsområdet på nytt.

Många studier av LED-belysning kan vara svåra att dra generella slutsatser av, då specifikationer av den enskilda armaturen/lampan saknas och det idag finns ett stort antal fabrikat på marknaden med mycket varierande egenskaper, inte bara vad gäller flimmer. Standarddimmers kan inte användas därför att strömkontrollkretsar i LED-lamporna håller ljusstyrkan så konstant som möjligt. För att dimra LED-lampor används LED-don som ger ut en pulsbreddsmodulerad ström (PWM) som fastställer LED-ljusstyrkan genom snabbt och precist av/på slag av LED-lamporna. En annan teknik som används i drivdon för LED är strömreduktion/amplitudmodulering, dvs att man sänker strömstyrkan till lysdioderna för att reglera ner ljuset.

Kitsinelis et al jämförde (2012) LED-belysning med glödlampor och lysrör genom att mäta ljus och flimmer hos ett antal kommersiella lampor. Jämförelsen visade att LED uppvisar en rad olika egenskaper beroende på drivkretsen, alltifrån helt flimmerfritt till den högsta procenten av flimmer i jämförelsen. Undersökningen visade också att då spänningen sjunker vid ljusreglering ökar flimmerprocenten för LED-armaturerna. Poplawski och Miller fann 2013 att variationen vad gäller flimmer hos kommersiella LED-produkter är stor och att dimring av LED-produkter ökar flimret. Det kan därvid till och med uppstå flimmer hos LED-ljuskällor som är flimmerfria i icke-dimrat tillstånd.

2010 presenterade en av IEEE:s (Institute of Electrical and Electronics Engineers) arbetsgrupper en rapport om hälsoeffekter av flimmer från LED-belysning. Rapporten definierar frekvenser för ljusmodulering för lysdioder och beskriver tillämpningar där flimmer medför minsta möjliga hälsorisker för användarna. Dessutom diskuteras dimringsbegreppet och rekommendationer för LED-belysning och ljusreglering för att skydda mot kända negativa hälsoeffekter presenteras. Lehman et al introducerade

2011 nya mätetal och definitioner för flimmer hos LED-belysning, baserade på IEEE Standards Working Group, IEEE PAR1789:s arbete. Veitch et al. (2010) rapporterar att med dagens LED-belysning uppkommer flimmer ofta med sådana frekvenser som medför biologiska responser hos människan. Artikeln diskuterar metoder för att mildra dessa oavsiktliga biologiska effekter av LED-belysning. Grather konstaterade 2009 att enbart Flicker frequency är ett otillräckligt mått på flimmer, att fler studier behövs för att utveckla lämpliga tröskelvärden för flimmer och att flimmer från LED-armaturer kan vara mycket mer påtagligt än flimmer från konventionella ljuskällor.

Mochizuki och Kimura fann i en studie 2010 inte någon skillnad när man arbetade en timme under LED- respektive lysrörsbelysning vad gäller trötthet. Moduleringsfrekvenser högre än critical fusion frequency påverkar människan på diverse sätt, som ännu inte klarlagda. I ett försök visade Jaén et al. (2011) att även om man subjektivt inte upplever någon skillnad så reduceras den visuella prestationen när moduleringen av ljuset ökar.

Bollough genomförde 2011 en studie där flimmer och stroboskopeffekter samt acceptansen av flimmer utvärderades under olika ljusförhållanden (LED). Frekvenser från 50Hz till 300 Hz bedömdes, liksom olika modulationsförlopp, arbetscykler, vågformer och färgtemperaturer. Upplevelsen av flimmer i studien var försumbar vid 100Hz eller högre, men stroboskopeffekter kunde uppfattas vid 300 Hz. En minskning av ljusmoduleringen från 100% till 33% gav en minskning i stroboskopeffekter. I en senare studie (2012) konstaterar samme författare att den stroboskopiska effekten av flimmer är beroende av frekvensen och mängden av modulering (procent flicker). När flimmerfrekvensen uppnår 1000Hz eller högre, var skillnaderna i modulering oviktiga för acceptansen av stroboskopiska effekter. Vogels

et al. studerade 2011 upplevelsen av flimmer i kontorsmiljö och fann att den stroboskopiska effekten i sig var den övervägande orsaken till upplevelse av otillfredsställelse och ögonbesvär. Man konstaterar också att Flimmer Index inte lämpar sig vid stroboskopiska effekter, och att det därför finns ett behov av ett nytt instrument.

En review av litteraturen om flimmers ergonomiska och biologiska konsekvenser och potentiella hälsoeffekter (Wilkins, et al., 2010) sammanfattar effekterna på människors hälsa, både för synligt och osynligt flimmer samt konsekvenserna för utformningen av LED-belysning. Hälsorisker från flimmer beror på frekvens, moduleringsdjup, ljusstyrka, belysningens applicering och många andra faktorer. Exempel ges på drivrutiner i LED-belysning som kan ge flimmer, men många andra drivrutiner som medför flimmer redovisas inte. Några praktiska konsekvenser tas upp: Flimmer är en oönskad egenskap hos alla belysningssystem. Både synligt och icke synligt flimmer är mer än bara irriterande, det kan vara en potentiell hälsorisk. Flimmer från lysdioder kan ha ett moduleringsdjup större än de flesta lysrör, och effekterna av flimmer från LED kan därför vara mer uttalade. Punktljuskällor är mindre benägna att framkalla kramper och huvudvärk än en diffus ljuskälla, som täcker en stor del av en persons synfält. Flimmer från LED som används för allmänbelysning utgör därför sannolikt en större hälsofara än lysdioder som används i instrumentpaneler. Osynligt flimmer från LED orsakar sannolikt problem när den visuella uppgiften kräver exakt placering av ögonen, som exempelvis när man läser.

Flimmer kan vara ett stort hinder för acceptansen av LED-produkter och praktiker bör vara uppmärksamma på risken för icke redovisade flimmernivåer hos SLL produkter. Poplawski, et al. (2013) ger riklinjer för att minimera risken för att icke lämpliga ljuskällor installeras där flimmer kan vara en hälsorisk och ett hinder för

produktivitet och välbefinnande:

- Vid allmänbelysning bör kraftig modulering och höga ljusstyrkor undvikas, då allmänbelysning upptar större delen av synfältet; som takbelysning i korridorer, kontorsrum, klassrum, laboratorier etc;
- Flimrande dimringsteknik bör undvikas i lokaler där barn och andra sensitiva grupper tillbringar längre tid, t ex sjukhus, kliniker, klassrum, förskolor etc;
- Arbetsbelysning som fyller hela synfältet med hög ljusstyrka bör inte innehålla höga nivåer av flimmer.

Platser där flimmer kan accepteras är parkeringsplatser och vägar, där brukarna rör sig i motorfordon eller tillbringar en kort tid. Samtidigt är det dock möjligt att flimmer vid bilkörning nattetid kan interferera med ögonrörelserna (Roberts et al., 2013). Vid accentbelysning på konstverk kan flimmer också vara acceptabelt, men sensitiva användare kan uppleva en strobofobisk effekt, vilket i sig kan vara distraherande. Det kan också finnas platser där flimrande ljus kan vara en fördel. Kontrollerat flimmer som en LED-källa på en cykel kan vara en avledande faktor som ökar synligheten.

## Referenser

- Recommending practices for modulating current in High Brightness LEDs for mitigating health risks to viewers.* (2001). New York. [LED flimmer hälsorisker rekommendationer](#): IEEE PAR 1789 Illuminating Engineering Society
- A Review of the Literature on Light Flicker: Ergonomics, Biological Attributes, Potential Health Effects, and Methods in Which Some LED Lighting May Introduce Flicker. (2010). *IEEE Standard P1789 LED flimmer hälsorisker*
- Brundrett, G. W. (1974). Human sensitivity to flicker. *Lighting Research and Technology*, 6(3), 127-143 [flimmer yngre](#).

- Bullough, J. D., Skinner, N.P., and Sweater Hickcox, K. . (2012). *Visual performance and perceived lighting quality under flickering illumination*. Paper presented at the Proceedings of the 13th International Symposium on the Science and Technology of Lighting, June 24-29, 2012, Troy NY, flimmer ljuskvalitet subjektiv upplevelse.
- Bullough, J. D., Hickcox, K. S., Klein, T. R., Lok, A., & Narendran, N. (2012). Detection and acceptability of stroboscopic effects from flicker. *Lighting Research and Technology*, 44(4), 477-483 LED flimmer stroboskopiska effekter.
- Bullough, J. D., Sweater Hickcox, K., Klein, T. R., & Narendran, N. (2011). Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort. *Lighting research & technology*, 43(3), 337-348 LED flimmer stroboskopiska effekter komfort.
- Caicedo, D., Pandharipande, A., & Leus, G. (2011). Occupancy-based illumination control of LED lighting systems. *Lighting Research and Technology*, 43(2), 217-234 LED flimmer ljusstyrning design dimring energibesparing.
- Chiang, H. c., Lee, D. g., Ko, B. w., Koga, T., Hirate, K., Munakata, J. & Yoshizawa, N. (2010). A study on the psychological and physiological effects by LED lightings for workspace. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJJ)*, 75(654), 683-690 syn färgdiskriminering prestation LED
- Govén, T., Laike, T., Raynham, P., & Sansal, E. (2011). *Influence of ambient light on the performance, mood, endocrine systems and other factors of school children*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED circadian melatonin skola emotions flimmer non-visual VBE prestation.
- Grather, M. (2009). *The Evaluation of Flicker in LED luminaires LED flimmer*.  
[http://www.cormusa.org/uploads/CORM\\_2009\\_-  
 The\\_Evaluation\\_of\\_Flicker\\_in\\_LED\\_luminaires\\_Grather.pdf](http://www.cormusa.org/uploads/CORM_2009_-The_Evaluation_of_Flicker_in_LED_luminaires_Grather.pdf)
- Horn, F. K., Link, B., Dehne, K., Lämmer, R., & Jünemann, A. G. (2006). Flicker provocation with LED full-field stimulation in normals and glaucoma patients. *Der Ophthalmologe: Zeitschrift Der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, 103(10), 866-872 LED flimmer vitt ljus stress äldre glaucoma.
- Jaen, E. M., Colombo, E. M., & Kirschbaum, C. F. (2011). A simple visual task to assess flicker effects on visual performance. *Lighting research & technology*, 43(4), 457-471 flimmer visuell prestation modulerig.
- Kitsinelis, S., Zisis, G., & Arexis, L. (2012). A study on the flicker of commercial lamps. *Light & Engineering*, 20(3), 25-33 LED flimmer dimring.
- Ko, B. w., Lee, D. g., Chiang, H. c., Koga, T., & Hirate, K. (2011). Basic study on rest effect of light color in the led lighting *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJJ)*, 76(662), 363-368 LED fatigue flimmer ekg

blått/rött/vitt ljus, hälsa.

- Küller, R., & Laike, T. (1998). The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal. *Ergonomics*(4), 433 flimmer eeg cirkadisk stress kontorsmiljö HF-don.
- Lehman, B., Wilkins, A., Berman, S., Poplawski, M., & Johnson Miller, N. (2011, 2011 / 01 / 01 /). *Proposing measures of flicker in the low frequencies for lighting applications.* Paper presented at the IEEE Energy Conversion Congress and Exposition: Energy Conversion Innovation for a Clean Energy Future, ECCE 2011, Proceedings LED flimmer IEEE standard hälsorisker
- Lehman, B., Wilkins, A., Berman, S., Poplawski, M., & Miller, N. J. (2011). Proposing Measures of Flicker in the Low Frequencies for Lighting Applications. *Leukos*, 7(3), 189-195 flimmer IEEE standard hälsorisker
- Lehman, B., Wilkins, A., Berman, S., Poplawski, M., & Miller, N. J. (2011, 17-22 Sept. 2011). *Proposing measures of flicker in the low frequencies for lighting applications.* Paper presented at the Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2011 IEEE LED flimmer standard rekommendationer hälsa hälsorisker.
- Mochizuki, E., & Kimura, H. (2010). Effects of difference of spectral power distribution on visual fatigue. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJ)*. 75(647), 35-41 LED flimmer arbetsmiljö fatigue.
- Poplawski, M. E., & Miller, N. M. (2013). *Flicker in solid-state lighting: measurement techniques, and proposed reporting and application criteria.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. LED flimmer dimring ljusdesign
- Roberts, J. E., & Wilkins, A. J. (2013). Flicker can be perceived during saccades at frequencies in excess of 1 kHz. *Lighting research & technology*, 45(1), 124-132 LED flimmer ögonrörelser bilkörning trafikmiljö.
- Veitch, J. A., & McColl, S. L. (1995). Modulation of fluorescent light: Flicker rate and light source effects on visual performance and visual comfort. *Lighting research & technology*, 27(4), 243 flimmer prestation komfort.
- Wilkins, A., Nimmo-Smith, I., Slater, A., & Bedocs, L. (1989). Fluorescent lighting, head aches and eyestrain. *Lighting Research and Technology*(21), 11-18 flimmer kontor hälsa.
- Wilkins, A., Veitch, J., & Lehman, B. (2010). LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update 2010 *IEEE Energy Conversion Congress & Exposition (ECCE)* , 171. LED flimmer hälsa standard
- Wilkins, A., Veitch, J., & Lehman, B. (2010). *LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update.* Paper presented at the 2010 2nd IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2010; Atlanta,

- GA; United States; 12 September 2010 through 16 September 2010 *LED standard flimmer hälsorisker*.
- Winterbottom, M., & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of Environmental Psychology*, 29(1), 63-75 *skola elever prestation flimmer blandning*.
- Vogels, I., Sekulovski, D., & Perz, M. (2011). *Visible artefacts of LEDs*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED flimmer stroboscopic*.

## 4 Energibesparing: Dagsljus och ljusstyrning

Dagsljus börjar med varmt ljud med låg ljushet på morgonen, det ökar till att bli ett klart, kallare och mer intensivt ljud mitt på dagen och övergår sedan till ett varmare ljud med lägre ljusstyrka på kvällen. Belysningsstyrkan kan variera från 120.000 lux i direkt solljus mitt på dagen, till mindre än 5 lux en molnig kväll. En molnig dag kan belysningsstyrkan mitt på dagen vara så låg som 20.000 lux. Månsken nattetid kan ge en belysningsstyrka på mindre än 1 lux. Dagens längd varierar över jordklotet. Nära ekvatorn är dagen och natten nästan lika långa året runt. Ju längre man kommer från ekvatorn desto kraftigare blir variationen i dagens längd vinter- respektive sommartid. I norra Sverige har man t ex dagsljus dygnet runt vid sommarsolståndet och mörker dygnet runt vid vintersolståndet. I södra Sverige varierar dagens längd från ca 6 timmar vintertid till ca 18 timmar sommartid.

Mängden dagsljus inomhus definieras med en dagsljusfaktor, dvs förhållandet mellan uppmätta ljusnivåer inne och ute. (Det ljud som är tillgängligt inomhus vid molnigt väder, uttryckt i procent av ljuset utomhus). Vid beräkning av dagsljusfaktorn beaktas tre komponenter 1) ljuset som reflekteras direkt från himlen; 2) ljuset som reflekteras från ytor utomhus, och; 3) det inomhus reflekterade ljuset (Fontoyon, 1999) Dagsljusfaktorn är den parameter som vanligtvis används för att beskriva dagsljussituationen i en byggnad. I och med införandet av LED finns ett behov av andra metoder för att beskriva dagsljus och belysning. Mardaljevic et al. (2011)

efterlyser t ex en ersättning för dagsljusfaktorn, grundad på absoluta värden för mängden ljus baserad på ett helt års sol- och himmelsförhållanden utifrån standardiserade klimatvärden.

Ljuset har en rad biologiska effekter. En av dessa är regleringen av den biologiska klockan - att människor är vakna under dygnets ljusa timmar och sover på natten, då det är mörkt. Mänsklig fysiologi och mänskligt beteende styrs av denna 24-timmarsrytm, som påverkar hälsa och välbefinnande, sömncykel, vakenhet, prestationsmönster, kroppstemperatur och produktion av hormoner. En mängd sjukdomar, från sömnproblem och depressioner till cancer, har kopplats till störningar i den biologiska klockan. Att utsättas för starkt ljus på kvällen eller för lite ljus under dagen kan störa kroppens normala hormonella cykler. Statiskt belysning är vanlig i arbetsmiljöer, vilket vintertid kan medföra störningar i den biologiska klockan. Fönsterlösa eller mörka innemiljöer kan förvärra de symptom som uppstår vid bristande ljusexponering. Många av de biologiska och psykologiska effekterna av belysning tycks modifieras av ljuskällans egenskaper och belysningsomgivningen. Både intensitet och spektralfördelning är av relevans. I inomhusmiljö kan tilläggseffekter tillkomma i kombinationen av dagsljus och artificiellt ljus. Utveckling av cirkadiska LED-armaturer som imiterar variationerna i dagsljuset avsedda såväl för forskare inom området som för allmän belysningsplanering och i ljusterapi pågår.

Dagsljusinfallet i en byggnad kan, om det utnyttjas på rätt sätt, ha en positiv inverkan på brukaren. En framgångsrik dagsljusarkitektur måste beakta dagsljusets dynamiska kvaliteter över dygnet och året. Andra viktiga aspekter är besvärande bländning samt att ljuset ska upplevas som visuellt behagligt. Belysningsstyrkan och belysningens fördelning på arbetsytan och omgivningarna har stor inverkan på hur snabbt, korrekt

och bekvämt en visuell uppgift uppfattas och genomförs. Brukarens möjligheter till kontroll över dagsljuset är också betydelsefulla i sammanhanget.

Människor föredrar rum med fönster och dagsljus. Utsikt och natur är viktiga komponenter liksom inomhusklimat och synkomfort (Shemirani et al., 2011). Tillgång till mycket respektive lite dagsljus har visat sig påverka vårdtiden, detsamma har visats vad gäller vårdtiden för patienter i rum med tillgång till morgonsolljus (Beauchemin & Hays, 1996; Benedetti et al., 2001).

Dagsljusupplevelsen påverkas också av fönsterglasets egenskaper, såsom glasets transmittans. Ett 2-glasfönster släpper igenom ca 80 % av dagsljuset medan ett 3-glasfönster släpper igenom ca 75 %. Om fönstret innehåller glas med lågemissionsskikt minskar dagsljusinsläppet ytterligare. 1995 rapporterade Boyce et al. att minsta accepterade transmittans ligger mellan 25-38%, beroende på himmel och molnförhållanden. Vanligt fönsterglass absorberar också all UVB-strålning (för ögat osynlig strålning), medan ultraviolet A (UVA) och C (UVC) passerar genom de flesta typer av glas. UV-strålning inom B-området har en pigmenterande effekt på huden och formar D-vitamin i kroppen. (Küller, 1981). Färgade glas kan ge annorlunda upplevelser än klarglaset. Arsenault et al. (2012) visade att fönsterglasets färg kan ha en signifikant effekt på kontorsarbetares vakenhetsgrad.

Cuttle påpekade redan 1999 att det är svårt att studera ljuskvalitet utan att relatera denna till inomhusarkitektur och inredning. Studier har visat att dagsljus i kombination med andra egenskaper hos miljön, som utsikt, inomhusklimat och inredning påverkar sinnesstämning och prestation. Måttliga mängder solljus och utsikt tillsammans med upplevelse av kontroll och avskildhet påverkar sinnesstämning

och denna i sin tur påverkas negativt när svårighetsgraden hos arbetsuppgiften ökar (Baron et al., 1992; Tonello, 2004; Wang & Boubekri, 2011 ).

Wang och Boubekri påpekade 2011 att riktlinjer för dagsljusdesign bör förändras och reflektera det faktum att mänskliga aktiviteter är viktiga kriteria utöver de fysiska parametrarna. Baserat på en definition av en optimal zon ger författarna designriktlinjer baserade på brukarnas emotioner, attityder och kognitiva resoner på olika dagsljusförhållanden i dagsljuskontor. Dessa rekommendationer omfattar utvärdering av kontor utifrån arkitektonisk synpunkt omfattande dagsljus, utsikt från fönstret, möjligheter till avskildhet och kontroll, samt brukarens beteende som svar på dessa miljöfaktorer.

Lang (2011) konstaterar att paradigmen för god belysning skiftat i och med upptäckten av den tredje receptorn (Berson et al., 2002). Receptorn är primärt känslig inom det blå spektralområdet och kontrollerar därigenom väsentliga biologiska funktioner, t ex den biologiska klockan och aktivitet dagtid. Utvecklingen inom LED-teknologin kommer i framtiden att möjliggöra nya avancerade belysningslösningar. I slutändan kommer ljusdesign genom korrekt genomförda dagsljusstrategier kunna bidra till att förbättra individers hälsa, arbetstillfredsställelse och välmående samt reducera energiförbrukningen (Alrubaih et al., 2013; Boyce et al., 2003; Edwards & Torcellini, 2002; Franta & Anstead, 1994; Rea & Figueiro 2011; Rea 2011a, 2011b; Brainard et al., 2012).

2013 presenterade Liu och Mou ett konstgjort fönster upplyst medelst fyra kanaler LED. Konstruktionen beaktar färgåtergivning och cirkadiska effekter och simulerar dagsljuset efterhand som dagen fortskrider. Det konstgjorda fönstrets inverkan på människans cirkadiska system har emellertid inte studerats.

Genom att utnyttja dagsljusinfallet i en byggnad kan energi sparas. Ljusstyrning, dvs reglering av den artificiella belysningen (manuell och automatisk) i relation till det infallande dagsljuset, kan bidra till ytterligare energibesparing. System för ljusstyrning måste inte bara ta hänsyn till parametrar som ljusstyrka, luminans, färgtemperatur och färgåtergivning hos den artificiella ljuskällan, utan också till variationer i dagsljuset över dag och årstid. Förutom att fönsterutsikten kan påverka positivt har här också färgen på fönsterglaset betydelse.

Det finns matematiska beräkningar som visar att ljusstyrning kan minska energiförbrukningen i byggnader så mycket som 40-65% (exempelvis Chiogna et al., 2013). Men det viktigaste i detta sammanhang är att styrningen fungerar på ett sådant sätt att människor förstår syftet med styrningen och känner att denna motsvarar deras krav. Forskning om dagsljusstyrning (oavsett om armaturerna är lysrör eller LED) har visat på ett antal faktorer som påverkar brukarnas upplevelser och beteenden.

POE (Post Occupancy Evaluation – Systematisk och noggrann utvärdering av byggnader som bebotts under en tid) av en byggnad med dagsljuskontor, visade på oavsedda negativa konsekvenser av en dåligt genomförd projektering. Under arbetets gång hade byggnaden passerat tre separata designgrupper, vilket bidrog till bristande samordning mellan dagljusinfall, inredning och dagsljuskontroll. 60% av brukarna hade möblerat om för att anpassa interiören till dagsljusinfallet. Resultaten pekar på betydelsen av designsamarbete som tar hänsyn både till byggnadens kontext och till människorna som ska vistas där. Studien visade bl a att: Människor värderar dagsljus och utsikt; Individer har stor variation i sina preferenser för dagsljusnivå; Dagsljus och utsikt kan ha både positiva och negativa effekter på människors hälsa (negativt t ex i

form av blandning); Brukarna önskar kontroll över ljusförhållandena, både belysning och dagsljus (Day, 2012).

2001 studerade Escuyer och Fontoynont acceptansen av ljuskontrollsyste m i tre kontorsmiljöer med dimbar belysning, med manuell, semi-maneu l och automatisk kontroll. Automatisk dimring med manuella val av belysningsnivåer, möjlighet att själv välja belysningsstyrka för vissa uppgifter och användarvänliga kontroller kan enligt studien vara nyckelingredienser i det ideal a systemet.

Boyce et al. studerade 2006 kontorsarbetare under olika belysningsförhållanden och sammanfattar sina och andra resultat i en lista på praktiska implikationer. Vid fasta belysningsinstallationer föredrar de flesta en belysningsstyrka på 400 lx. Vid installationer med individuell kontroll rekommenderas 700 lx med dimring ned till ca 175 lx. Få personer föredrar lägre ljusstyrkor. Det finns också ekonomiska motiv för individuell dimring. Då brukarna själva får bestämma belysningsstyrkan ökar inte bara tillfredsställelsen med miljön utan även energibesparingen, då de individuella kontrollerna gör det möjligt för användaren att släcka belysningen och istället dra fördel av dagsljuset. Individuell dimring används sannolikt heller inte så ofta, om det inte finns stor variation i de visuella krav en arbetsuppgift ställer. Individuell dimring används företrädesvis för att ställa in belysningen på den nivå brukaren tycker är lämplig för arbetsuppgiften, varefter den får förbli så, om inte arbetsuppgifternas belysningskrav ändras. Ovanstående slutsatser gäller ljusstyrningssystem som ger en enhetlig belysning av hela arbetsytan. Där andra former av belysning används, kan andra belysningsstyrkor föredras, beroende på belysningens utformning.

Individuell kontroll av ljus har visat sig påverka brukarnas tillfredsställelse med belysningen och kan vara en faktor för att förbättra arbetsvillkoren. Individuell

kontroll kan bidra till att önskade ljusförhållanden uppnås, öka tillfredsställelsen med miljön, den visuella komforten och ljuskvaliteten samt kan öka beredskapen att utföra en svår uppgift (Boyce et al., 2006a, 2006b; Newsham & Veitch, 2001; Newsham et al., 2004). I en laboratoriestudie visade det sig att personlig kontroll av belysningen ökade den personliga tillfredsställelsen och ledde till en genomsnittlig energibesparing på ca 10% jämfört med ett fast system. I en uppföljande studie användes den personliga kontrollen mindre än en gång per dag (Newsham, 2009).

I en studie utvärderade Maleetipwan-Mattson (2012) olika typer av ljusstyrning och studerade beteende och upplevelse i relation till dessa, vilket sedan ställdes i relation till energiförbrukningen. Sex olika typer av ljusstyrning i cellkontor ingick, nämligen; - Traditionell styrning, manuell till/från; - Individuell styrning-manuell till/från och dimring; - Frånvarostyrning-manuell till/automatisk från; - Frånvarodämpning-manuell till/automatisk från med automatisk dimring. 10%; - Frånvaro-automatisk till/från med dagljusstyrning, och - Frånvaro- manuell och automatisk till/från med algoritmisk styrning. Resultaten visade att brukarna generellt sett upplevde god visuell kvalitet under de olika ljusförhållandena med undantag för kontor med en ljusnivå på 500 lux. Automatisk kontroll behövdes ej. Beträffande brukarnas beteende i relation till användandet av ljusstyrning, kan samtliga kontroller förbättras genom att erbjuda en möjlighet att slå på och av ljuset manuellt. Vidare bör dimringskontroller, manuella och automatiska, erbjudas för energibesparing under dagar med många timmars dagsljus. Genom att kombinera dessa funktioner skulle ljusstyrning kunna uppnå både energieffektivitet och användarvänlighet även i miljöer där det är svårt att i förväg känna till arbetsuppgifter, arbetskultur, brukarmönster, brukarnas vanor och tillgången till dagsljus.

Förväntningarna på att kunna energieffektivisera belysningssystemen är stora. Avancerade algoritmiska modeller för dagsljusreglering ses här som ett framgångskoncept. Colaco et al., (2013) testade i laboratoriemiljö en prototyp, som reglerar dagsljusvariation, baserad på närvarodetektering och möjlighet till individuella on-line inställningar. De förväntade synergieffekterna validerades och visade på fördelarna med systemet vad gäller bländning, belysningsstyrka och ljusets uniformitet. Författarna menar att man i framtiden kan optimera energibesparingen genom att integrera dagsljus och avancerad ljsstyrning som beaktar brukarnas responser/användning.

Ny teknik bedöms kunna energieffektivisera belysningssystem mer än 50% jämfört med dagens konventionella teknik, men detta förutsätter också att ljsstyrningen fungerar inte bara i testsituationer utan också i den verkliga miljön, för att den önskade energibesparingen skall erhållas.

I en interventionsstudie i två bostadsområden jämfördes konventionella belysningsanläggningar (Högtrycksnatrium, HPS, och kvicksilverlampor) med retrofit LED. De boendes upplevelse av ljuskvalitet ökade i det område där natrium ersattes med LED, i båda områdena upplevdes den visuella tillgängligheten som högre vid LED-belysning och upplevd fara fortsatte upplevas som låg. Energianvändningen minskade med 41-76%. I området med HPS valde de boende behålla LED retrofit, medan de boende i området med kvicksilverlampor valde återgå till dessa (Kuhn et al., 2013).

En uppföljning av studien visade att acceptans av nya energieffektiva belysningssteknologier inte bara kan sökas i kostnader och energibesparning, utan också i de boendes förväntningar på och erfarenheter av ljuset och miljön. Nationella mål för

att reducera energiförbrukning vad gäller belysning baseras på vad som teoretiskt är möjligt med den bästa tillgängliga teknologi. När det gäller implementering fattas beslut ibland av personer med tydligt specificerad plikt att spara pengar, medan andra beslutsfattare förväntas se till en gruppens bästa, en grupp som kan vara mycket heterogen, t ex en bostadsrättsförening. I det aktuella fallet var det inte bara kostnader och energibesparing, utan också de boendes förväntningar på och erfarenhet av belysningen som styrde beslutet. I de fall teknologin inte fungerar tillfredsställande initialet påverkar detta också negativt (Johansson et al., 2014).

Ylinen et al. (2011) konstaterar att det är möjligt att spara energi med LED i vägbelysning, men när gamla installationer ersätts med ny LED-armatur måste stolparnas placering och höjd noggrant beaktas, liksom valet av armaturer, alla lösningar är inte lämpliga i alla situationer.

## Referenser

- Alrubaih, M. S., Zain, M. F. M., Alghoul, M. A., Ibrahim, N. L. N., Shameri, M. A., & Elayeb, O. (2013). Research and development on aspects of daylighting fundamentals. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 21, 494-505 dagsljus blandning ljusstyrning energieffektivitet dagsljusfaktor DIALux simulering energibesparing.
- Arsenault, H., Hébert, M., & Dubois, M.C. (2012). Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. *Building & Environment*, 56, 223-231 kontorsmiljö dagsljus modell visuell komfort upplevd belysningskvalitet fönsterglas färg
- Beauchemin, K. M., & Hays, P. (1996). Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions. *Journal of Affective Disorders*, 40(1-2), 49-51 dagsljus sjukhus SAD ljusterapi patienter depression.
- Benedetti, F., Colombo, C., Barbini, B., Campori, E., & Smeraldi, E. (2001). Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression.

- Journal of Affective Disorders*, 62(3), 221-223 dagsljus hälsa depression sjukhus fönster
- Biro, A., & Bianchi, C. (2013). *Light as a motor for innovation and wellbeing*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED ljusdesign dagsljus energieffektivitet fönster innemiljö värlefinnande energibesparing.
- Boubekri, M., & Wang, N. (2012). Daylight's influence beyond our eyes: Investigating the mediating role of mood in cognitive performance in a sunlit workplace. *Light and Engineering*, 20(4), 37-50 dagsljus beteende sinnesstämning SAD utsikt fönster prestation.
- Boyce, P., Eklund, N., Mangum, S., Saalfeld, C., & Tang, L. (1995). Minimum acceptable transmittance of glazing. *Lighting research & technology*, 27(3), 145 fönsterglas dagsljus transmittans.
- Choi, J. H., Beltran, L. O., & Kim, H. S. (2012). Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility. *Building and environment*, 50, 65-75 hälsa dagsljus sjukhus patienter
- Colaco, S. G., Kurian, C. P., George, V. I., & Colaco, A. M. (2012). Integrated design and real-time implementation of an adaptive, predictive light controller. *Lighting Research and Technology*, 44(4), 459-476 ljusstyrning blandning simulering energibesparing.
- Day, J., Theodorson, J., & Van Den Wymelenberg, K. (2012). Understanding Controls, Behaviors and Satisfaction in the Daylit Perimeter Office: A Daylight Design Case Study. *Journal of Interior Design*, 37(1), 17-34 dagsljus blandning kontor POE design.
- de Kort, Y. A. W., & Smolders, K. C. H. J. (2010). Effects of dynamic lighting on office workers: First results of a field study with monthly alternating settings. *Lighting research & technology*, 42(3), 345-360 kontor dagsljus hälsa dynamiskt ljus.
- Deroisy B., D. A. (2013). *Daylight and solar access at urban scale: A methodology and its application to a high density development in Brussels*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 dagsljus stadsmiljö.
- Dubois, M.-C., & Blomsterberg, Å. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. *Energy & Buildings*, 43(10), 2572-2582 LED litteraturgenomgång arbetsmiljö eeg energieffektivitet kontor dagsljus energibesparing.
- Escuyer, S., & Fontoynont, M. (2001). Lighting controls: a field study of office workers' reactions. *Lighting research & technology*, 33(2), 77-96 ljusstyrning kontor dimring dagsljus energibesparing.

- Favero, F. (2011). *Natural light. Lighting qualities for the design of future spaces development of a methodology*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 dagsljus design.
- Fisekis, K., Davies, M., Kolokotroni, M., & Langford, P. (2003). Prediction of discomfort glare from windows. *Lighting research & technology*, 35(4), 360-371 blandning dagsljus fönster kontor.
- Fontoynont, M. (2002). Perceived performance of daylighting systems: lighting efficacy and agreeableness. *Solar Energy*, 73(2), 83-94 dagsljus fönster ljuskvalitet prestation ljuskvalitet.
- Fontoynont, M., Larsen, D., Andersen, L. & Grün-Roien, M., (2013). *Proposal of simple daylighting performance indices for regulations: Validation with on-site measurement campaign*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 dagsljusfaktor energieffektivitet dagsljus fönster standard ljuskvalitet energibesparing.
- Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. *Energy and Buildings*, 38(7), 728-742 Dagsljus ljusstyrning välbefinnande tillfredsställelse preferens energibesparing.
- Goven, T., & T, L. (2010). *Light at school - Effects daylight, surrounding light and control*. Paper presented at the Energy efficient lighting in a human Perspective, August 18-19, Ceebel, dagsljus omfältluminans kontroll
- Iversen, A., Svendsen, S., & Nielsen, T. R. (2013). The effect of different weather data sets and their resolution on climate-based daylight modelling. *Lighting Research and Technology*, 45(3), 305-316 simulering dagsljus
- Joarder, A. R., & Price, A. D. F. (2013). Impact of daylight illumination on reducing patient length of stay in hospital after coronary artery bypass graft surgery. *Lighting research & technology*, 45(4), 435-449 dagsljus sjukhus patienter utsikt
- Juslén, H. T., Wouters, M. C. H. M., & Tenner, A. D. (2005). Preferred task-lighting levels in an industrial work area without daylight. *Lighting research & technology*, 37(3), 219-233 dagsljus industri ljusstyrning kontroll arbetsmiljö energibesparing.
- Kelly, R., Painter, B., Mardaljevic, J. & Irvine, K. (2013). *Capturing the user experience of electrochromic glazing in an open plan office*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013 dagsljus fönsterglas fönster transmittans kontor.
- Košir, M., Krainer, A., Dovjak, M. & Kristl, Ž. (2011). Automatically controlled daylighting for visual and non-visual effects. *Lighting Research and Technology*, 43(4), 439-455 dagsljus simulering kontor

- Kuhn, L., Johansson, M., Laike, T. & Govén, T. (2013). "Residents' perceptions following retrofitting of residential area outdoor lighting with LEDs." *Lighting Research and Technology* 45(5): 568-584. *LED retrofit utomhusbelysning ljuskvalitet upplevd fara ljusstyrning energibesparing.*
- Küller, R., & Küller, M. (2001). *The influence of daylight and artificial light on diurnal and seasonal variations in humans. A bibliography* (Vol. 139): Commission International de l'Eclairage *non-visual dagsljus cirkadisk seasonal.*
- Küller, R., & Lindsten, C. (1991). *Hälsoeffekter vid arbete i fönsterlösa klassrum / Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning skola fönster dagsljus elever melatonin kortisol.*
- Küller, R., & Wetterberg, L. (1996). The subterranean work environment: Impact on well-being and health. *Environment International*, 22(1), 33-52 *underjord cirkadisk dagsljus hälsa ljusupplevelse.*
- Liu, Y., & Mou, T. (2013). *Evaluation of window lighting considering the circadian effect.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED fönster(artificiellt) cirkadisk dagsljus*
- Maleetipwan-Mattsson, P. (2012). Evaluation of Lighting Control Systems A case of occupants' experience and use of different control systems in office environments *Environmental Psychology Monographs Nr 21 ljusstyrning kontroll energibesparing kontorsmiljö energibesparing*
- Mardaljevic, J., Andersen, M., Roy, N., & Christoffersen, J. (2011). *Daylighting metrics for residential buildings.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *dagsljus cirkadian fotobiology dagsljusfaktor.*
- Matsushima, K., Nishimura, T., Ichikawa, S., Kawauchi, T., Sekiguchi, M., Tanaka, T., Hirano, R. & Tazuke, F. (2009). Indoor Lighting Facilities. *Journal of Light & Visual Environment*, 33(3), 178-192 *LED rekommendationer kontorsmiljö dagsljus.*
- Nakamura, Y., & Fujita, N. (2013). *Just sufficient lighting condition under hybrid-lighting of real daylight and artificial light.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED dagsljus kontorsmiljö*
- Pandharipande, A., & Caicedo, D. (2011). Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing. *Energy & Buildings*, 43(4), 944-950 *LED ljusstyrning dagsljus energibesparing*
- Shemirani, S. M. M., Memarian, G. H., Naseri, S. P., Nejad, H. H., & Vaziri, V. (2011). Investigating the Behaviors of the Elementary School Students in Reference to Factors Associated with Daylight. *Asian Social Science*, 7(3), 237-248 *dagsljus skola fönster beteende design.*

- Tonello, G. (2004). How is Workers' Mood Affected by Workplace Lighting? *Journal of Light & Visual Environment*, 28(3), 139-147 SAD dagsljus industri
- Wang, N., & Boubekri, M. (2009). A proposal for a behavioral approach to daylighting design. *Light and Engineering*, 17(1), 79-87 dagsljus preferenser beteende.
- Wang, N., & Boubekri, M. (2011). Design recommendations based on cognitive, mood and preference assessments in a sunlit workspace. *Lighting Research and Technology*, 43(1), 55-72 fönster dagsljus design rekommendationer.
- Veitch, J. A., Christoffersen, J., & Galasiu, A. D. (2013). *What we know about windows and well-being, and what we need to know*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 dagsljus fönster hälsa tredje receptorn komfort cirkadisk.
- Veitch, J. A., & Galasiu, A. D. (2012). *The physiological and psychological effects of windows, daylight, and view at home: Review and research agenda.*: Ottawa, ON; NRC Institute for Research in Construction dagsljus fönster cirkadisk hemmiljö hälsa.
- Vetter, C., Juda, M., Roenneberg, T., Lang, D., & Wojtysiak, A. (2011). Blue-enriched office light competes with natural light as a zeitgeber. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 37(5), 437-445 blått ljus sömn cirkadisk sömn zeitgeber dagsljus.
- Wu, W., & Ng, E. (2003). A review of the development of daylighting in schools. *Lighting Research and Technology*, 35(2), 111-124 dagsljus skolmiljö hälsa.



## 5 Färgåtergivning

CRI (color rendering index) är ett kvantitativt mått på en ljuskällas förmåga att återge ett föremåls färger jämfört med naturligt ljus, dvs hur verklighetstroget färger återges under en ljuskälla. Ra-index (färgåtergivningstal) är en annan benämning. CRI har definierats av CIE, International Commission on Illumination. Skalan som används går från 0 – 100, där ljuskällor med över 80 anses ha en god färgåtergivning.

Färgtemperatur är den visuella och subjektiva upplevelsen av en ljuskällas ljus som ”kallare” eller ”varmare”. Färgtemperaturen mäts i Kelvin. En glödlampa med varmtonat ljus har t.ex. en färgtemperatur på 2 700 K. En dagsljusliknande ljuskälla kan ha färgtemperaturen 6 000 K. Färgtemperatur bör alltid anges tillsammans med färgåtergivningen, Ra, då man egentligen bara kan jämföra färgåtergivningen hos ljuskällor som har samma färgtemperatur. Forskning har visat att tre våglängder, 450 (blå), 540 (grön) och 610 (orange/röd) stimulerar färgseendet mer än andra delar av spektrum (Thornton, 1972). Färgseendet förbättras då man elimineras våglängder nära 500 och 580 nanometer.

Systemen för att beskriva färg och färgåtergivning är komplicerade och har vissa brister, samt komplickeras ytterligare av introduktionen av LED-ljuskällor med helt andra egenskaper. CIE påbörjade 2007 en granskning och undersöker nya metoder för att bestämma färgåtergivningsegenskaper även hos LED-belysning, och har rekommenderat en ny metod, CRI2012 (Davis, 2011). Bodrogi et al. (2013a, 2013b)

studerade CRI2012 och konstaterade att skalan inte representerar den faktiska upplevelsen.

Många aktuella LED-publikationer prövar nya metoder för att mäta färgåtergivning samt efterlyser nya mätetal. Fumagalli et al (2013) efterlyser en ny metod för att beskriva/mäta färgåtergivning och anser att LED-lampor i sammanhanget är intressanta, då han menar de i regel har ett lågt Ra-värde samtidigt som de upplevs som vara mer tilltalande och återge färgerna bättre. Narendran och Deng visade i 2002 en studie att en blandning av rött, blått och grönt i vita LED fungerar bäst vid visuella uppgifter, samt att Ra (färgåtergivningsindex) inte korrelerar med färgpreferenser. Författarna anser att Ra inte är ett lämpligt mätetal vad gäller LED-belysning. Viénot et al. (2008) sammanfattar att LED-kluster med rött, grönt, blått och/eller amber påverkar färgseendet negativt och att LED-kluster med vita LED och några kompletterande LED-färger ger en korrektare färgåtergivning. Vienot et al. (2011) studerade hur man genom att manipulera färgerna i LED-kluster kan återuppliva bleknade färgtryck, så att de upplevs lika färgrika som de ursprungligen var.

Rea och Freyssinier (2010) anser att ett enda mätetal för att kvantifiera färgåtergivning inte är tillräckligt. De studerade därför gamut area index (GAI) tillsammans med CRI och konstaterar att ett tvådimensionellt system för färgåtergivning behövs vid allmän belysningstillämpning. Jost-Boissard (2009) presenterar en semantisk metod för att kvantifiera ljuskällors visuella färgkvaliteter och konstaterar att den subjektiva upplevelsen av de testade LED-ljuskällorna inte korrelerar till CRI i dess nuvarande form. Kohmoto et al. (2011) konstaterar att CIE:s definition av CRI kan sägas ungefärligen beskriva vita LED:s färgåtergivningsegenskaper.

Det kan således konstateras att dessa forskare genomgående är eniga om att dagens metoder för att fastställa LED-ljuskällornas färgåtergivningsförmåga inte är tillfredsställande och att ytterligare forskning krävs inom området.

## Referenser

- Berns, R. S. (2011). Designing white-light LED lighting for the display of art: A feasibility study. *Color Research & Application*, 36(5), 324 LED museum UV IR färgåtergivning.
- Bodrogi, P., Krause, N., Brückner, S., Khanh, T.Q. (2013). *Semantic interpretation of colour rendering indices: A comparison of CRI and CRI2012*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 färgåtergivning CRI ljuskvaliteter
- Bodrogi, P., Brückner, S., Khanh, T. Q., & Winkler, H. (2013). Visual assessment of light source color quality. *Color Research & Application*, 38(1), 4 LED upplevd ljuskvalitet spektralfördelning färgåtergivning.
- Boissard, S., & Fontoynont, M. (2009). Optimization of LED-based Light Blendings for Object Presentation. *Color Research and Application*, 34(4), 310-320 LED CRI rekommendationer butik museum ljusstyrning upplevd ljuskvalitet standard färgåtergivning CRI energibesparing.
- Boissard, S., & Fontoynont, M. (2009). Optimization of LED-based light blendings for object presentation. *Color Research & Application*, 34(4), 310-320 LED CRI rekommendationer butik museum ljusstyrning upplevd ljuskvalitet standard färgåtergivning CRI energibesparing.
- Breanne, K. H., Tad, T. B., Caroline, R. M., John, M. S., & Christian, D. A. (2012). Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), 122-128 LED industri emotion non-visual kontors arbetsmiljö färgåtergivning.
- Csuti, P., Szabo, F., Schanda, J.D. (2013). *Preferred home lighting design*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED färgåtergivning laboratoriemiljö
- Dangol, R., Bhusal, P., Puolakka, M., & Halonen, L. (2013). *Subjective preferences for LED lighting in offices*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED CRI

färgåtergivning kontor ljuskvalitet.

- Dangol, R., Islam, M., LiSc, M. H., Bhusal, P., Puolakka, M., & Halonen, L. (2013). Subjective preferences and colour quality metrics of LED light sources. *Lighting research & technology*, 45(6), 666-688 LED färgåtergivning CRI ljuskvalitet.
- Davis, W. (2011). *Recent developments of the Color Rendering Index*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED utomhusmiljö energieffektivitet energibesparing.
- Delgado, M. F., Dirk, C. W., Druzik, J., & WestFall, N. (2011). Lighting the world's treasures: Approaches to safer museum lighting. *Color Research & Application*, 36(4), 238 LED museum spektralfördelning färgåtergivning.
- Fontoynont, M., Bruyère, L., & Blanc-Gonnet, J. (2013). *Perception of human skin in street lighting under five types of LED spectra*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED gatubelysning spektralfördelning färgåtergivning perception.
- Fotios, S. A., & Cheal, C. (2011). Predicting lamp spectrum effects at mesopic levels. Part 1: Spatial brightness. *Lighting research & technology*, 43(2), 143-157 LED belysningsstyrka CRI lamptyper färgåtergivning mesopic.
- Fotios, S. A., & Cheal, C. (2011). Predicting lamp spectrum effects at mesopic levels. Part 2: Preferred appearance and visual acuity. *Lighting research & technology*, 43(2), 159-172 LED preferens CRI färgåtergivning mesopic.
- Freyssinier, J. P., & Rea, M. (2010). A two-metric proposal to specify the color-rendering properties of light sources for retail lighting. [Conference Paper]. *Color Research and Application* 7784 LED butik standard design färgåtergivning cirkadisk
- Fumagalli, S., Bonanomi, C., & Rizzi, A. (2013). An experiment on the color rendering of different light sources. In R. Eschbach, G. G. Marcu & A. Rizzi (Eds.), *Color Imaging Xviii: Displaying, Processing, Hardcopy, and Applications* (Vol. 8652). Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering LED CRI färgåtergivning belysningskvalitet
- Gomes, J. F. S., Vieira, R. R., de Oliveira, I. A. A., & Leta, F. R. (2014). Influence of illumination on the characterization of banana ripening. *Journal of food engineering*, 120, 215-222 LED butik färgåtergivning CRI.
- Hawes, B. K., Brunye, T. T., Mahoney, C. R., Sullivan, J. M., & Aall, C. D. (2012). Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 122.128(42 ), 1 LED arbetsmiljö perception emotion industri färgåtergivning belysningsstyrka.
- Hinks, D., & Shamey, R. (2011). Review of retail store lighting: implications for colour control of products. *Coloration Technology*, 127(2), 121-128 LED butik atmosfär färgåtergivning review.

- Hira, S., Watanabe, K., Okada, H., Nishimura, Y., Nagatome, K., Shimada, N. & Hamamoto, Y. (2009). Psychophysiological reactivity to composite blue and white led light: Crime prevention through environmental design. *Psychophysiology*, 46, S131-S131 *LED blått, vitt ljus, brottsförebyggande färgåtergivning design.*
- Imai, Y., Kotani, T., Fuchida, T. (2013). *A study of color rendering properties based on color preference of objects in adaptation to LED lighting.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED CRI färgåtergivning preferens ljuskvaliteter*
- Ishii, M., Moriyama, T., Toda, M., Kohmoto, K., & Saito, M. (2008). Color Degradation of Textiles with Natural Dyes and of Blue Scale Standards Exposed to White LED Lamps: Evaluation of White LED Lamps for Effectiveness as Museum Lighting. *Journal of Light & Visual Environment*, 32(4), 370-378 *LED färgåtergivning museum färgdegradation*
- Jost, S., Fontoynont, M. (2013). *Colour rendering of face complexion and hair under LED sources.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED ljuskvaliteter färgåtergivning*
- Jost-Boissard, S., Fontoynont, M., & Blanc-Gonnet, J. (2009). Perceived lighting quality of LED sources for the presentation of fruit and vegetables. *Journal of Modern Optics*, 56(13), 1420-1432 *LED färgåtergivning CRI butik ljuskvaliteter*
- Kobayashi, S., Komatsubara, H. , Nasuno, N. , Fuchida, T. , Hashimoto, K. (2013). *Colour rendering evaluation of the LED light source by the relative evaluation* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013 *LED färgåtergivning ljuskvaliteter*
- Kohmoto, K., Saito, M., Nakamura, Y., Maruzuka, K., Takashima, M., Hoshino, F., Schobersberger, W. (2011). *Improvement of the CIE colour rendering evaluation method to conform to white LEDS.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED CRI färgåtergivning ljuskvaliteter*
- Kosztyan, Z., Szabo, F., Sarvari, G., & Schanda, J. (2011). *Sample selection for a colour fidelity index.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED CRI färgåtergivning*
- Kotani, T. (2011). Color Rendering of LED Lamp. *NIHON GAZO GAKKAISHI (Journal of the Imaging Society of Japan)*, 50(3), 229-233 *LED CRI färgåtergivning vitt ljus.*
- Li, C., Strassi, M., Rauchenzauner, S., & Wintner, E. (2009). Evaluation of LED

- illumination for dental instruments. *Lighting research & technology*, 41(1), 89-97 *LED sjukhus färgåtergivning*
- Linhares, J. M. M., Felgueiras, P. E. R., Pinto, P. D., & Nascimento, S. M. C. (2010). Colour rendering of indoor lighting with CIE illuminants and white LEDs for normal and colour deficient observers. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 30(5), 618-625 *LED CRI färgåtergivning rekommendationer färgblinda perception*.
- Mahler, E., Viénot, F., & Ezrati, J. J. (2009). Testing LED lighting for colour discrimination and colour rendering. *Color Research and Application*, 34(1), 8-17 *LED CRI färgåtergivning*.
- Markvart, J., Iversen, A. , Logadóttir, Á. , Corell, D.D., Thorseth, A. & Dam-Hansen, C. (2013). *User evaluation of eight LED light sources with different special colour rendering indices R9*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED CRI färgåtergivning fotometri*.
- Nagy, B. V., Barboni, M. T. S., Oliveira, J. G., & Ventura, D. F. (2013). *The effect of ambient illumination spectrum on visual performance*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *CRI syn färgåtergivning*.
- Nakajima, Y. & Fuchida, T. (2013). *Affective evaluation on color samples illuminated by LED illumination-influence of illuminance level*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED färgåtergivning*.
- Narendran, N., & Deng, L. (2002). Color rendering properties of LED light sources. In I. T. Ferguson, N. Narendran, S. P. DenBaars & Y. S. Park (Eds.), *Solid State Lighting II* (Vol. 4776, pp. 61-67 ). Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering *LED design preferens CRI färgåtergivning*.
- Oi, N., Lu, B., & Takahashi, H. (2009). A comparison between fluorescent lamp and LED in the preference of indoor illuminance and color temperature: Scale model experiments assuming living rooms. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJ)*, 74(638), 421-426 *LED CRI färgåtergivning hemmiljö ljuskvalitet*.
- Osvaldo da Pos, F. B. (2011). *Unique hue shifts under different light sources*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED CRI färgåtergivning*.
- Rea, M. S., & Freyssinier, J. P. (2010). Color rendering: Beyond pride and prejudice. *Color Research and Application*, 35(6), 401-409 *LED CRI färgåtergivning*.
- Rea, M. S., & Freyssinier, J. P. (2013). White lighting for residential applications. *Lighting research & technology*, 45(3), 331-344 *LED utomhusmiljö CRI färgåtergivning färgtemperatur*.

- Royer, M. P., Houser, K. W., & Wilkerson, A. M. (2012). Color discrimination capability under highly structured spectra. *Color Research & Application*, 37(6), 441 LED CRI färgåtergivning
- Ryckaert, W. R., Roelandts, I. , Van Gils, M. , Durinck, G. , Forment, S. , Audenaert, J. & Hanselaer, P. (2011). *Performance of LED linear replacement lamps*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED CRI färgåtergivning spektralfördelning
- Seki, H., Uto, K., & Kosugi, Y. (2012). Quantitative Evaluations of Printed Color Appearance under LED Light Sources. *NIHON GAZO GAKKAISHI (Journal of the Imaging Society of Japan)*, 51(6), 613-621 LED CRI färgåtergivning ljuskvaliteer rekommendationer standard.
- Smet, K., Ryckaert, W. R., Hanselaer, P., Pointer, M. R., & Deconinck, G. (2011). Colour appearance rating of familiar real objects. *Color Research and Application*, 36(3), 192-200 LED färgåtergivning
- Smet, K. A. G., Ryckaert, W. R., Hanselaer, P., Pointer, M. R., & Deconinck, G. (2012). A memory colour quality metric for white light sources. *Energy and Buildings*, 49, 216-225 LED färgåtergivning.
- Szabó, F., Csuti, P., & Schanda, J. (2013). *Light emitting diodes in museum lighting – Colour quality requirements for visitors' acceptance*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED CRI museum färgåtergivning UV IR.
- Thornton, W. A. (1971). Three-Color Visual Response. *Journal of the Optical Society of America*, 62(3). färgåtergivning
- Thorseth, A., Corell, D. D., Behrensdorff Poulsen, P., Dam-Hansen, C., & Petersen, P. M. (2013). *Dynamic miniature lighting system with low correlated colour temperature and high Colour Rendering Index for museum lighting of fragile artefacts*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED CRI färgåtergivning museum
- van Bommel, W. (2010). Lighting tomorrow: What's hot. *Light & Engineering*, 18(2), 5-9 LED standard cirkadisk färgåtergivning blandning.
- Viénot, F., Coron, G., & Lavédrine, B. (2011). LEDs as a tool to enhance faded colours of museums artefacts. *Journal of Cultural Heritage*, 12(4), 431-440 LED CRI museum färgåtergivning ljusfärg.
- Viénot, F., Mahler, E., Ezrati, J. J., Boust, C., Rambaud, A., & Bricoune, A. (2008). Color appearance under LED illumination: The visual judgment of observers. *Journal of Light and Visual Environment*, 32(2), 208-213 LED CRI färgdiskriminering ljusfärg färgåtergivning.

- Viliūnas, V., Vaitkevičius, H., Stanikūnas, R., Švegžda, A., & Bliznikas, Z. (2011). LED-based metameric light sources: Rendering the colours of objects and other colour quality criteria. *Lighting research & technology*, 43(3), 321-330  
*LED CRI spektralfördelning färgåtergivning perception*
- Yang, E., Kang, H., Kim, J., Kim, J., Jang, H., & Pak, C. (2013). Changes in Perceived Colors of Cut Roses under Florist Shop Lighting. *Journal of the Japanese society for horticultural science*. 82(2), 170-178 *LED CRI färgåtergivning butik*.
- Yoshizawa, N., Fujiwara, T. & Miyashita, T. (2013). *A study on the appearance of paintings in the museum under violet and blue led.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED CRI museum färgåtergivning*.

## 6 Bländning

Bländning uppkommer då så stora skillnader i ljuskällornas luminans förekommer i synfältet att den överstiger ögats prestationsförmåga. Skillnaderna kan orsakas av olämplig luminanskombination eller luminansnivå, eller genom extrema kontraster. Olika grader av bländning förekommer från knappt märkbar till outhärdlig. Bländning kan medföra huvudvärk, obehagskänslor och påverkar ofta synprestationen negativt. Bländning kan mäts med luminansmätare, men detta ersätter inte upplevd bländning. CIE rekommenderar *Unified glare rating* (UGR) som ett kvantitativt mått, andra bländningsberäkningsmetoder är *CIBSE Glare Index*, *IES Glare Index* och *Daylight Glare Index* (DGI)

Den individuella LED-ljuskällan är liten och kompakt med hög ljusstyrka; ökad spektral ljusintensitet inom området 460-480 nm; vilket medför risk för obehagsbländning (Hickcox, 2012). Studier har visat att ljuskällor med mer kortvägigt ljus inte bara ökar upplevelsen av ljusstyrkan utan också graden av obehagsbländning. Andra studier pekar på att bländningseffekten är högre vad gäller blå LED jämfört med grön och röd LED. Försök att definiera de visuella mekanismerna vid bländning i termer av spektralkänslighet hos ögats receptorer har visat att såväl tappar (inklusive S-cones) som stavar bidrar till upplevelsen av obehagsbländning. (Akashi et al. 2013; Bullough, 2009; Kimura-Minoda & Ayama, 2011; Lee et al., 2009). Med stigande ålder försämras näthinnans nervceller och linsen grumlas. Konsekvensen av förändringarna i det visuella systemet är nedsatt

synskärpa, ökad känslighet för kontraster, minskad förmåga till färgdiskriminering, ett behov av ökad tid för att anpassa sig till stora och plötsliga förändringar i ljusstyrka samt ökad känslighet för bländning (Akashi et al., 2013; Boyce, 2003).

Inte bara färgen på LED-ljuskällan har studerats, utan även omgivningens färger i relation till denna och dess inverkan på upplevelsen av obehagsbländning. Förekomsten av omfältsluminans reducerar upplevelsen av obehagsbländning. Det blå omfältljuset reducerar bländning i mindre utsträckning än vit eller gul omfältluminans (Sweater-Hickcox et al., 2013; Laike et al., 2010; Uchida et al., 2004). Också inredningen i ett rum kan påverka bländningseffekten. Vid studier av belysning i klassrum fann man t ex att bländningspunkterna varierade med olika slags whiteboard i rummet (Yenchek & Sammarco, 2010).

Ett genomgående tema i många studier är missnöje med rådande modeller för att mäta bländning. Bristen på standardiserade mått för bländning ses som ett hinder i utvecklingen (Clear, 2013). Dagens bländningsmodeller har utvecklats med data från 1949 (Luckiesh & Guth). För att idag kunna studera bländning i komplexa miljöer behövs fundamentala förändringar i bländningsmodellerna. van Bommel (2010) pekar på att felaktiga uppgifter om LED ofta anges, vilket kan göra nya användare besvikna, då LED som ljuskälla inte lever upp till förväntningarna samt att det behövs ett nytt system för bedömning av bländning, då befintliga modeller utvecklats för omständigheter helt annorlunda än LED.

En jämförelse mellan kommersiellt tillgängliga LED-armaturer, retrofit och lysrör vad gäller spektralfördelning, bländning och ljusupplevelse gjordes, då lysrören i ett litet kontor ersattes med LED. Enligt Ryckaert et al. (2012) är det uppenbart att ett-till-ett byten från klassiska lysrör till LED kan ha allvarliga konsekvenser vad gäller

belysningskvalitet, som t ex bländning.

Flera olika förslag till förbättringar av gamla och utarbetande av nya modeller för mätning av bländning har lagts fram. Ayama et al. (2013) undersökte förhållandet mellan subjektiv bedömning av obehagsbländning och fotometriska värden för LED-ljuskällor, och föreslår på basis av detta ett nytt index för LED-ljuskällor. En studie av UGR-metodens tillämpbarhet vid prediktion av obehagsbländning från LED-belysning visar på att det finns ett behov av nya mätmetoder, som klart måste ange formelns/metodens begränsningar. Författarna anser också att det krävs ytterligare forskning om metoder för att mäta obehagsbländning hos olika belysningskällor (Higashi et al., 2013).

I en studie av Tashiro et al. (2011) bedömdes obehagsbländning hos tre olika typer av vita LED-armaturer. Resultaten tyder på att totala belysningsstyrkan är ett starkt mått på graden av obehagsbländning. En ny metod som adderar total belysningsstyrka till UGR testades. Resultaten tyder på att denna nya formel förutsäger bländning på ett tillfredsställande sätt. Man jämförde också storleken på LED-ljuskällan och fann att förändringar i synvinkel inte påverkar obehagsbländning mellan 0.4 och 5.0 grader.

Threshold increment (TI) är ett mått på obehagsbländning uttryckt som den procentuella ökning i kontrast som krävs mellan ett föremål och dess bakgrund för att föremålet ska synas lika bra med en bländande ljuskälla. Högre värden på TI motsvarar högre obehagsbländning.

Synbarheten nattetid vid LED-belysning påverkas negativt av bländning, då man har hög belysningsstyrka, medan synbarheten ökar då man har låg belysningsstyrka.

Bländningen orsakas av den höga kontrasten, och i en studie utgick man från att synbarheten kan förbättras om man sänker den höga kontrasten. Studien visade att synbarheten ökas inom kontrastintervallet, 4:1 till 100:1, då bländningen undertrycks (Uchida et al., 2004).

Ylinen et al., (2011) mätte vägbelysningens styrka och beräknade TI för fyra olika LED-installationer. Resultaten visar att uppmätta och beräknade TI skiljer sig åt beroende på faktorer i den fysiska miljön.

## Referenser

- Akashi, Y., Asano, S. & Kakuta, Y. (2013). *Visual mechanisms of discomfort glare sensation caused by LEDs*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013 LED bländning äldre
- Alrubaih, M. S., Zain, M. F. M., Alghoul, M. A., Ibrahim, N. L. N., Shameri, M. A., & Elayeb, O. (2013). Research and development on aspects of daylighting fundamentals. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 21, 494-505 dagsljus bländning ljusstyrning energieffektivitet dagsljusfaktor DIALux simulering energibesparing.
- Aries, M., B. C. , Veitch, J., A., & Newsham, G., R. . (2010). Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*, 30(4), 533-541 kontorsmiljö sömn utsikt bländning ljuskvalitet fönster.
- Ayama, M., Tashiroi, T., Kawanobe, S., Kimura-Minoda, T., Kohko, S., & Ishikawa, T. (2013). *Discomfort glare of white LED sources of different spatial arrangements*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED bländning ljuskvalitet
- Boyce, P. R. (2003). Lighting for the elderly. *Technology and Disability*, 15(3), 165-180 äldre kontrast färgdiskriminering bländning review
- Brons, J. A., Bullough, J. D., & Rea, M. S. (2008). Outdoor site-lighting performance: A comprehensive and quantitative framework for assessing light pollution. *Lighting research & technology*, 40(3), 201-224 simulering

utomhusmiljö light pollution bländning.

- Clear, R. D. (2013). Discomfort glare: What do we actually know? *Lighting Research and Technology*, 45(2), 141-158 bländning bländningsmodeller.
- Colaco, S. G., Kurian, C. P., George, V. I. & Colaco, A. M. (2012). Integrated design and real-time implementation of an adaptive, predictive light controller. *Lighting Research and Technology*, 44(4), 459-476 ljusstyrning bländning simulering energibesparing.
- Custers, P. J. M., De Kort, Y. A. W., IJsselsteijn, W. A., & De Kruiff, M. E. (2010). Lighting in retail environments: Atmosphere perception in the real world. *Lighting Research and Technology*, 42(3), 331-343 butik handel bländning glare atmosfär ljuskvaliteter
- Day, J., Theodorson, J. & Van Den Wymelenberg, K. (2012). Understanding Controls, Behaviors and Satisfaction in the Daylit Perimeter Office: A Daylight Design Case Study. *Journal of Interior Design*, 37(1), 17-34 dagsljus bländning kontor POE design.
- Elhaddad A.I.M., T., E. & Halonen, L. (2013). *User preferences in indoor LED lighting*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED bländning kontor
- Fernandes, J. T., Amorim, C. N. D., & Sousa, J. A. B. (2013). *Lighting and daylighting quality: Critical review of criteria and recommendations and its insertion in Brazilian context*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013 utsikt bländning utsikt fönster
- Fisekis, K., Davies, M., Kolokotroni, M. & Langford, P. (2003). Prediction of discomfort glare from windows. *Lighting research & technology*, 35(4), 360-371 bländning dagsljus fönster kontor.
- Fostervold, K. I. & Nersveen, J. (2008). Proportions of direct and indirect indoor lighting — The effect on health, well-being and cognitive performance of office workers. *Lighting Research and Technology*, 40(3), 175-200 omfältsluminans indirekt ljus rekommendationer bländning välbefinnande hälsa kontor prestation.
- Hickcox, K. S., Narendran, N., Bullough, J. D., & Freyssinier, J. P. (2012). Effect of different colored background lighting on LED discomfort glare perception. In M. H. Kane, C. Wetzel, J. J. Huang & I. T. Ferguson (Eds.), *Twelfth International Conference on Solid State Lighting and Fourth International Conference on White Leds and Solid State Lighting* (Vol. 8484). Bellingham LED utemiljö blått, vitt, gult ljus, spektralfördelning bländning omfältsluminans. Spie-Int Soc Optical Engineering.
- Higashi, H., Koga, S. & Kotani, T. (2013). *The development of evaluation for*

- discomfort glare in LED lighting of indoor work place: The effect of the luminance distribution of luminous parts on subjective evaluation.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED bländning belysningskvaliteter belysningsstyrka.
- Iacomussi, P., Rossi, G. & Rossi, L. (2011). *A comparison between different light sources induced glare on perceived contrast.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED tunnel bländning.
- Kimura-Minoda, T., & Ayama, M. (2011). Evaluation of discomfort glare from color leds and its correlation with individual variations in brightness sensitivity. *Color Research & Application*, 36(4), 286 LED grönt/rött ljus bländning rekommendationer.
- Laike, T., Govén, T. & Sjöberg, K. (2010). *Nya ljuskällors betydelse för vakenhet, välbefinnande och prestation:* Institutionen för arkitektur och byggd miljö, LTH, Lunds Universitet; Institutionen för Medicin, Lunds Universitet; Fagerhult AB, LED omfältsluminans cortisol kontorsmiljö melatonin perception ljusupplevelse emotioner.
- Luckiesh, M., & Guth, S. (1949). Brightnesses in visual field at borderline between comfort and discomfort (BCD). *Illuminating Engineering* 33, 650–670 bländning.
- Ryckaert, W. R., Smet, K. A. G., Roelandts, I. A. A., Van Gils, M., & Hanselaer, P. (2012). Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. *Energy & Buildings*, 49, 429-436 LED retrofit energibesparing fallstudie ljuskvalitet bländning.
- Sweater-Hickcox, K., Narendran, N., Bullough, J. D. & Freyssinier, J. P. (2013). Effect of different coloured luminous surrounds on LED discomfort glare perception. *Lighting research & technology*, 45(4), 464-475 LED bländning omfältsluminans blått/rött/vitt ljus.
- Tashiro, T., Kimura-Minoda, T., Kohko, S., Ishikawa, T. & Ayama, M. (2011). *Discomfort glare evaluation to white LEDs with different spatial arrangement.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED bländning vitt ljus ljuskvalitet.
- Uchida, K., Tanaka, T. & Sugie, N. (2004). Improving Nighttime Visibility of LED Type Outdoor Displays-Optimization of Luminance Contrast by Feeble Background Lighting-. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*, 124(11), 954-960 LED bländning utomhusmiljö syn kontrast.
- van Bommel, W. (2010). Lighting tomorrow: What's hot. *Light & Engineering*, 18(2), 5-9 LED standard cirkadisk färgåtergivning bländning.
- Winterbottom, M. & Wilkins, A. (2009). Lighting and discomfort in the classroom. *Journal of Environmental Psychology*, 29(1), 63-75 skola elever prestation

*flimmer bländning.*

Ylinen, A. M., Tahkamo, L., Puolakka, M. & Halonen, L. (2011). Road Lighting Quality, Energy Efficiency, and Mesopic Design - LED Street Lighting Case Study. *Leukos*, 8(1), 9-24 *LED gatubelysning energieffektivitet mesopic bländning energibesparing.*



## 7 Upplevda ljuskvaliteter

Egenskaper hos en ljuskälla kan anges på många sätt, t ex som flimmer, färgåtergivning, energiförbrukning, spektralfördelning etc. Men även om dessa faktorer är kända säger det inte allt om hur den slutliga belysningen upplevs av den enskilde individen, och hur detta påverkar dennes fysiologiska och psykologiska välbefinnande. Upplevelsen av ljuskvalitet är subjektiv och kopplad till brukarens behov.

Belysningskvaliteten i ett rum eller en miljö påverkas inte bara av ljuskällans fotometriska egenskaper, utan även dagsljuset är här en del av belysningskvaliteten. Vad gäller utomhusbelysning tillkommer andra viktiga dimensioner som upplevd säkerhet eller upplevelse av fara utomhus (Boyce et al., 2006).

Veitch presenterade 2001 en sammanställning av forskning inom området utifrån de teoretiska psykologiska processer som tänks beskriva relationen ljus/människa. Enligt Veitch kommer förståelsen för ljusets effekter på människans beteende och välbefinnande att öka först när forskare väljer mätbara, teoretiskt baserade prediktioner för vad de observerar och om belysningsförhållandena väljs så de utgör ett meningsfullt test av dessa prediktioner.

Det finns således ett behov av att kunna beskriva hur den enskilda människan upplever variationer i ljuskällans egenskaper. När man studerar belysningens inverkan

på människan, används inte bara fysiologiska mått som t ex eeg och hormonproduktion, utan även psykologiska upplevelsemått som hur man känner sig i en viss situation, emotioner, och hur man upplever ljuskvaliteten. Hur dessa mätningar av subjektiva upplevelser görs varierar stort; från enkla frågor till väl utarbetade formulär med skatningsskalor som kan grupperas i olika upplevelsedimensioner. Den faktor som oftast beaktas är värdering, exempelvis tilltalande, attraktiv, stimulerande. Andra skalor kan vara enhetlig, stark, bländande, tröttande och komplex. Med hjälp av skattningsmetoder är det således möjligt att jämföra den subjektiva upplevelsen av olika belysningsalternativ. Idag finns inte några standardiserade test för sådana mätningar.

1993 använde Küller och Wetterberg bipolära adjektiv för att beskriva upplevd ljuskvalitet hos inomhusbelysning, och fann två upplevelsekvaliteter, som diskriminerade mellan olika belysningskällor, nämligen hedonisk ton/värdering, och ljusstyrka. Dessa mått har sedan använts för att beskriva upplevelse av belysning både över och under mark (Küller & Wetterberg, 1995). Samma mått har också använts vid jämförelser mellan lysrör och LED. Det visade sig då att det inte förelåg några skillnader i upplevelsen av de två typerna av ljuskällor, förutom att man upplevde LED-belysningen som något mer lysande (Goven et. al., 2007; 2010). Med samma instrument visade Maleetipwan-Mattsson (2012) att brukarna generellt sett upplevde god visuell kvalitet under olika ljusförhållanden i kontorsmiljöer, med undantag för kontor med en ljusnivå av 500 lux.

Om belysningen upplevs positivt, medför detta också andra positiva resoner. 2008 visade Veitch i en undersökning att personer som ansåg att belysningen i arbetsmiljön var av hög kvalitet också fann arbetsmiljön mer attraktiv, kände sig bättre till mods och kände större välbefinnande vid slutet av dagen.

Bodrogi et al. (2013) undersökte den visuella upplevelsen av färgkvalitet hos tre ljuskällor, glödlampor, lysrör och vita LED. Skillnader erhölls vad gäller preferens, upplevelse av ljusstyrka och färgupplevelse. Vad gäller preferens skattades glödlampan högst, därefter kom LED. Vad gäller ljusstyrka skattades LED som högst, och vad gäller färgåtergivning skattades glödlampan högre än lysrör och LED.

Johansson et al. (2013) utvecklade med utgångspunkt i instrument som tidigare använts för att beskriva upplevelse av belysning inomhus (Küller & Wetterberg 1993, 1996) ett instrument, POLQ (Percieved Outdoor Lighting Quality) med två övergripande dimensioner för att beskriva brukarnas upplevelse av utomhusbelysningens kvalitet, nämligen Upplevd styrke/kvalitet, PSQ (Perceived Strength Quality) och Upplevd komfortkvalitet, PCQ (Percived Comfort Quality). PSQ beskrivs med adjektiv som stark, ljus men tar också hänsyn till ljusets riktning, medan PCQ kan jämföras med det som tidigare beskrivits som t ex hedonisk ton, dvs i vilken utsträckning ljuset upplevs som mjukt, naturligt och varmt. Dessa upplevelsekvaliteter diskriminerade mellan ljuskällor med olika belysningsstyrka, färgtemperatur och CRI. Analyser visade att de båda belysningskvaliteterna visade sig förklara upplevelsen av tillgänglighet, medan skillnader i upplevd komfortkvalitet (PCQ) kan bidra till att förklara upplevelsen av fara i miljön. Enligt författarna kan instrumentet öka förståelsen av gåendes upplevelse av utomhusbelysning, och föreslår därför att det används som ett verktyg vid design av hållbara belysningslösningar i stadsmiljö.

Fotios jämförde 2013 spektralfördelning och upplevd ljusstyrka för utomhusbelysning i ett bostadsområde och fann att vid belysningsnivåer som man finner på vägar

nattetid (mesopic region) förefaller lampor med högre SP-ratio (scotopic/photopic) upplevas som starkare vid samma belysningsstyrka än lampor med låga S/P förhållanden. (S/P ration används för att beräkna den mängd ljus som en ljuskälla avger i relation till den mängd som i sin tur används vid mänskligt seende.) Detta innebär att ljuskällor med hög SP-nivå skulle kunna användas för att skapa upplevelse av högre ljusstyrka, vilket skulle medföra en energibesparing.

Individuell kontroll av belysningen kan i sin tur bidra till att önskade ljusförhållanden uppnås och öka tillfredsställelsen med miljön, den visuella komforten och ljuskvaliteten samt kan öka beredskapen att utföra en svår uppgift (Newsham & Veitch, 2001; Newsham et al., 2004;. Boyce et al., 2006a; 2006b). I en laboratoriestudie visade det sig att personlig kontroll av belysningen ökade den personliga tillfredsställelsen och ledde till en genomsnittlig energibesparing på ca 10% jämfört med ett fast system. I en uppföljande studie användes den personliga kontrollen mindre än en gång per dag (Newsham, 2009).

Med utgångspunkt i att det, förutom de fotometriska kriterier som anges i EN 12464, behövs ytterligare objektiva och subjektiva faktorer för att beskriva ljuskvalitet, redovisar Tralau et al. (2011) en modell omfattande olika aspekter av ljuskvalitet nämligen; den visuella, att kunna utföra den visuella uppgiften; den emotionella, att skapa atmosfär; den biologiska, att stimulera människan, samt slutligen; orientering - att känna sig trygg. Arbetet grundar sig på en skrift för det tyska belysningssällskapet och kan ses som ett försök till definition av ljuskvalitet och av en gemensam terminologi.

I och med introduktionen av LED har steg tagits för att utveckla modeller för att utvärdera olika belysningsförhållanden i relation till psykologiska och fysiologiska

reaktioner. Med utgångspunkt i ljusets egenskaper har Amundsdottir et al. (2013) utvecklat ett databaserat schema, för att skatta ljuskällornas icke-visuella effektivitet. Govén et al. (2011) har utvecklat VBE-modellen, som baserar sig på Visuell, Biologisk och Emotionell utvärdering, vilka tillsammans speglar individens upplevelse av ljuskällan. Den visuella utvärderingen beskriver möjligheten att utföra de visuella uppgifter som krävs i miljön över tid; den biologiska utvärderingen beskriver hur ljuset påverkar de biologiska cirkadiska och årstidsrelaterade rytmerna, och; den emotionella utvärderingen beskriver såväl den första emotionella reaktionen på miljön som reaktionen över tid.

## Referenser

- Akashi, Y., & Boyce, P. R. (2006). A field study of illuminance reduction. *Energy & Buildings*, 38(6), 588-599 kontor ljusstyrka energibesparing ljuskvalitet.
- Ámundadóttir, M. L., St. Hilaire, M. A., Lockley, S. W., & Andersen, M. (2013). *Modelling non-visual responses to light: Unifying spectral and temporal characteristics in a single model structure*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED modell ljusdesign non-visual cirkadisk ljuskvalitet.
- Aries, M., B. C. , Veitch, J., A., & Newsham, G., R. . (2010). Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*, 30(4), 533-541 kontorsmiljö sömn utsikt bländning ljuskvalitet fönster.
- Ayama, M., Tashiroi, T., Kawanobe, S., Kimura-Minoda, T., Kohko, S. & Ishikawa, T. (2013). *Discomfort glare of white LED sources of different spatial arrangements*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED bländning ljuskvalitet.
- Bellia, L., Bisegna, F. & Spada, G. (2011). Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. *Building and Environment*, 46(10), 1984-1992 LED hälsa innemiljö non-visual ljusdesign nomenklatur spektralfördelning cirkadisk

## Ljuskvalitet.

- Bodrogi, P., Krause, N., Brückner, S. & Khanh, T.Q. (2013). *Semantic interpretation of colour rendering indices: A comparison of CRI and CRI2012*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 färgåtergivning CRI ljuskvaliteter
- Bodrogi, P., Brückner, S., Khanh, T. Q., & Winkler, H. (2013). Visual assessment of light source color quality. *Color Research & Application*, 38(1), 4 LED upplevd ljuskvalitet spektralfördelning färgåtergivning.
- Boissard, S. & Fontoynont, M. (2009). Optimization of LED-based Light Blendings for Object Presentation. *Color Research and Application*, 34(4), 310-320 LED CRI rekommendationer butik museum ljusstyrning upplevd ljuskvalitet standard färgåtergivning CRI energibesparing.
- Boyce, P. R., Veitch, J. A., Newsham, G. R., Jones, C. C., Heerwagen, J., Myer, M. & Hunter, C. M. (2006a). Lighting quality and office work: two field simulation experiments. *Lighting research & technology*, 38(3), 191-223 hälsa prestation subjektiv upplevelse ljuskvalitet trötthet kontorsmiljö.
- Boyce, P. R., Veitch, J. A., Newsham, G. R., Jones, C. C., Heerwagen, J., Myer, M., et al. (2006b). Occupant use of switching and dimming controls in offices. *Lighting research & technology*, 38(4), 358-378 kontorsmiljö ljusstyrning dimring komfort kontroll energibesparing ljuskvalitet.
- Bullough, J. D., Skinner, N.P. & Sweater Hickcox, K. (2012). *Visual performance and perceived lighting quality under flickering illumination*. Paper presented at the Proceedings of the 13th International Symposium on the Science and Technology of Lighting, June 24-29, 2012, Troy NY, flimmer ljuskvalitet subjektiv upplevelse.
- Custers, P. J. M., De Kort, Y. A. W., IJsselsteijn, W. A. & De Kruiff, M. E. (2010). Lighting in retail environments: Atmosphere perception in the real world. *Lighting Research and Technology*, 42(3), 331-343 butik handel blandning glare atmosfär ljuskvalitet
- Dangol, R., Bhusal, P., Puolakka, M. & Halonen, L. (2013). *Subjective preferences for LED lighting in offices*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED CRI färgåtergivning kontor ljuskvalitet.
- Dangol, R., Islam, M., LiSc, M. H., Bhusal, P., Puolakka, M. & Halonen, L. (2013). Subjective preferences and colour quality metrics of LED light sources. *Lighting research & technology*, 45(6), 666-688 LED färgåtergivning CRI ljuskvalitet.
- Fontoynont, M. (2002). Perceived performance of daylighting systems: lighting efficacy and agreeableness. *Solar Energy*, 73(2), 83-94 dagsljus fönster prestation ljuskvalitet.

- Fontoynont, M., Larsen, D., Andersen, L. & Grün-Roien, M. (2013). *Proposal of simple daylighting performance indices for regulations: Validation with on-site measurement campaign*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 dagsljusfaktor energieffektivitet dagsljus fönster standard ljuskvalitet energibesparing.
- Fotios, S. (2013). Maintaining brightness while saving energy in residential roads. *Lighting Research and Technology*, 45(1), 7-21 LED CRI spektralfördelning belysningsstyrka mesopic fotometri energieffektivitet fotgängare energibesparing ljuskvalitet.
- Govén, T., Laike, T., Pendse, B., & Sjöberg, K. (2007). *The background luminance and colour temperatures influence on alertness and mental health*. Paper presented at the CIE 26th session of the CIE Beijing, China omfältsluminans färgtemperatur hälsa arousal ljuskvalitet
- Goven, T., & Laike, T. (2010). *Light at school - Effects daylight, surrounding light and control*. Paper presented at the Energy efficient lighting in a human Perspective, August 18-19, Ceebel, Katrineholm. LED omfältsluminans dagsljus skola ljuskvalitet
- Govén, T., Laike, T., Raynham, P., & Sansal, E. (2011). *Influence of ambient light on the performance, mood, endocrine systems and other factors of school children*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July-15 July 2011 LED circadian melatonin skola emotions flimmer non-visual VBE prestation ljuskvalitet.
- Govén, T. & Laike, T. (2013). *Visual and non-visual effects of different spectral power distributions from light sources - light emitting diodes (LED) vs. 3-phosphorus fluorescent tubes*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED kortisol upplevd ljuskvalitet spektralfördelning ljussstyrka fotometri ljusstyrka
- Hagiwara, T., Akasaka, H., Matsuo, H. & Nishio, M. (2011). *Visibility assessment of light emitting diode (LED) street lighting*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED gatubelysning ljuskvalitet bostadsområde.
- Hoffmann, G., Gufler, V., Griesmacher, A., Bartenbach, C., Canazei, M., Staggl, S.& Schobersberger, W. (2008). Effects of variable lighting intensities and colour temperatures on sulphatoxymelatonin and subjective mood in an experimental office workplace. *Applied Ergonomics*, 39(6), 719-728 arbetsmiljö hälsa melatonin cirkadisk ljuskvalitet
- Imai, Y., Kotani, T. & Fuchida, T. (2013). *A study of color rendering properties based on color preference of objects in adaptation to LED lighting*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France:

- April 15/16, 2013 LED CRI färgåtergivning preferens ljuskvalitet
- Johansson, M. (2010). *Outdoor LED-lighting in residential areas: Pre-test and intervention.* Paper presented at the Energy efficient lighting in a human Perspective, August 18-19, Ceebel LED utomhusmiljö intervention ljuskvalitet
- Johansson, M. (2010). Utomhus LED-belysning i flerbostadsområden. *Miljöforskning, 1* LED utomhusbelysning ljuskvalitet
- Johansson, M., Pedersen, E., Maleetipwan-Mattsson, P., Kuhn, L., & Laike, T. (2013). Perceived outdoor lighting quality (POLQ): A lighting assessment tool. *Journal of Environmental Psychology(0)*, LED utomhusbelysning ljuskvalitet
- Jost, S. & Fontoynont, M. (2013). *Colour rendering of face complexion and hair under LED sources.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED ljuskvaliteter färgåtergivning
- Jost-Boissard, S., Fontoynont, M. & Blanc-Gonnet, J. (2009). Perceived lighting quality of LED sources for the presentation of fruit and vegetables. *Journal of Modern Optics, 56*(13), 1420-1432 LED färgåtergivning CRI butik ljuskvalitet
- Kobayashi, S., Komatsubara, H., Nasuno, N., Fuchida, T. & Hashimoto, K. (2013). *Colour rendering evaluation of the LED light source by the relative evaluation* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013 LED färgåtergivning ljuskvalitet
- Kohmoto, K., Saito, M., Nakamura, Y., Maruzuka, K., Takashima, M., Hoshino, F. & Schobersberger, W. (2011). *Improvement of the CIE colour rendering evaluation method to conform to white LEDs.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED CRI färgåtergivning ljuskvaliteter.
- Kuhn, L., Johansson, M., Laike, T. & Goven, T. (2013). Residents' perceptions following retrofitting of residential area outdoor lighting with LEDs. *Lighting research & technology, 45*(5), 568-584 LED ljuskvalitet retrofit energieffektivitet utomhusmiljö ljusstyrning energibesparing
- Küller, R., Ballal, S., Laike, T., Mikellides, B., & Tonello, G. (2006). The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments. *Ergonomics, 49*(14), 1496-1507 innemiljö arbetsmiljö sinnesstämma upplevd ljuskvalitet.
- Küller, R. & Wetterberg, L. (1993). Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: Impact of two fluorescent lamp types at two light intensities. *Lighting research & technology, 25*(2), 71 kontorsmiljö hälsa melatonin kortisol eeg välbefinnande upplevd ljuskvalitet
- Küller, R. & Wetterberg, L. (1996). The subterranean work environment: Impact on well-being and health. *Environment International, 22*(1), 33-52 underjord

cirkadisk dagsljus hälsa upplevd ljuskvalitet.

- Maleetipwan-Mattsson, P. (2012). Evaluation of Lighting Control Systems A case of occupants' experience and use of different control systems in office environments. *MILJÖPSYKOLOGISKA MONOGRAFIER Environmental Psychology Monographs Nr 21* ljusstyrning kontroll energibesparing kontorsmiljö energibesparing ljuskvalitet
- Mou, X. & Berns R. (2013). *Design of LED for museum lighting application.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013 LED CRI museum ljuskvalitet.
- Newsham, G. R., & Veitch, J. A. (2001). Lighting quality recommendations for VDT offices: A new method of derivation. *Lighting Research and Technology*, 33(2), 97-116. ljuskvalitet kontorsmiljö laboratoriestudie.
- Newsham, G., Mancini, S., Veitch, J., Marchand, R., Lei, W., Charles, K. & Arsenault, C. (2009). Control strategies for lighting and ventilation in offices: effects on energy and occupants. *Intelligent Buildings International*, 1(2), 101 energieffektivitet kontorsmiljö komfort kontroll välbefinnande energibesparing ljuskvalitet.
- Oi, N., Lu, B., & Takahashi, H. (2009). A comparison between fluorescent lamp and LED in the preference of indoor illuminance and color temperature: Scale model experiments assuming living rooms. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJJ)*. 74(638), 421-426 LED CRI färgåtergivning hemmiljö ljuskvalitet.
- Plitnick, B., Figueiro, M. G., Wood, B. & Rea, M. S. (2010). The effects of red and blue light on alertness and mood at night. *Lighting research & technology*, 42(4), 449-458 LED ljusfärg melatonin hälsa blått/rött ljus eeg ljuskvalitet
- Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bierman, A. & Bullough, J. D. (2010). Circadian light. *Journal of Circadian Rhythms*, 8 icke visuell cirkadisk ljuskvalitet fotometri review.
- Ryckaert, W. R., Smet, K. A. G., Roelandts, I. A. A., Van Gils, M., & Hanselaer, P. (2012). Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. *Energy & Buildings*, 49, 429-436 LED retrofit energibesparing fallstudie ljuskvalitet bländning.
- Tashiro, T., Kimura-Minoda, T., Kohko, S., Ishikawa, T. & Ayama, M. (2011). *Discomfort glare evaluation to white LEDs with different spatial arrangement.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED bländning vitt ljus ljuskvalitet
- Tralau, B., Dehoff, P. & Schierz, C. (2011). *Extension of lighting quality criteria and their evaluation for different application areas.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 ljuskvalitet ljusdesign cirkadisk emotion mätning

- Veitch, J. A. (2001). Psychological processes influencing lighting quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(1), 124-140 upplevd ljuskvalitet  
psykologiska modeller beteende välbefinnande.
- Veitch, J. A. & Newsham, G. R. (1998). Determinants of lighting quality I: State of the science. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27(1), 92-104 ljuskvalitet.
- Veitch, J. A. & Newsham, G. R. (2000). Preferred luminous conditions in open plan offices: research and practice recommendations. *Lighting Research & Technology* 32(4), 199-212 ljuskvaliteter kontorsmiljö
- Veitch, J. A., Stokkermans, M. G. M. & Newsham, G. R. (2013). Linking Lighting Appraisals to Work Behaviors. *Environment & Behavior*, 45(2), 198-214 kontor industri ljuskvalitet prestation välbefinnande.
- Yang, E., Kang, H., Kim, J., Kim, J., Jang, H. & Pak, C. (2013). Changes in Perceived Colors of Cut Roses under Florist Shop Lighting. *Journal of the Japanese society for horticultural science*. 82(2), 170-178 LED CRI  
färgåtergivning butik.

## 8 LED-referenser

- Recommending practices for modulating current in High Brightness LEDs for mitigating health risks to viewers.* (2001). New York. LED flimmer hälsorisker rekommendationer; IEEE PAR 1789 Illuminating Engineering Society Lighting Up. (2008). *Ecologist*, 38(2), 9-9 LED hemmiljö hälsorisker.
- A Review of the Literature on Light Flicker: Ergonomics, Biological Attributes, Potential Health Effects, and Methods in Which Some LED Lighting May Introduce Flicker. (2010). *IEEE Standard P1789 LED flimmer hälsorisker*
- Akashi, Y., Asano, S. & Kakuta, Y. (2013). *Visual mechanisms of discomfort glare sensation caused by LEDs*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013 LED bländning äldre
- Alzubaidi, S. & Soori, P. K. (2012). Energy Efficient Lighting System Design for Hospitals Diagnostic and Treatment Room—A Case Study. *Journal of Light & Visual Environment*, 36(1), 23-31 LED visuell prestation sjukhus komfort energieffektivitet energibesparing.
- Aman, M. M., Jasmon, G. B., Mokhlis, H., & Bakar, A. H. A. (2013). Analysis of the performance of domestic lighting lamps. *Energy Policy*, 52, 482-500 LED hemmiljö DIALux rekommendationer standard livscykel.
- Ámundadóttir, M. L., St. Hilaire, M. A., Lockley, S. W. & Andersen, M. (2013). *Modelling non-visual responses to light: Unifying spectral and temporal characteristics in a single model structure*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED modell ljusdesign non-visual cirkadisk ljuskvaliteter.
- Anderson, J. L., Glod, C. A., Dai, J., Cao, Y. & Lockley, S. W. (2009). Lux vs. wavelength in light treatment of Seasonal Affective Disorder. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 120(3), 203-212 LED SAD psychologi fototerapi standard rekommendationer.
- Arsenault, H., Hébert, M., & Dubois, M.C. (2012). Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. *Building & Environment*, 56, 223-231 kontorsmiljö dagsljus modell visuell komfort upplevd belysningskvalitet fönsterglas färg
- Aubes, M., Bance, J., Bhosle, S., Massol, L., Sajous, P. & Zissis, G. (2011).

- LEDVILLE Project: Traffic Roundabout LED Lighting System. *Journal of Light & Visual Environment*, 35(3), 278-282 *LED perception utomhusbelysning trafik*
- Ayama, M., Tashiroi, T., Kawanobe, S., Kimura-Minoda, T., Kohko, S. & Ishikawa, T. (2013). *Discomfort glare of white LED sources of different spatial arrangements*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED blandning ljuskvalitet*
- Barbato, G., Bellia, L., V, D. P. & A., P. (2013). *Subjective responses to different light sources. A study on light preferences and comparison of standard light measures with human individual estimates*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013 *LED ljusstyrka individuella preferenser SPD komfort*.
- Behar-Cohen, F., Martinsons, C., Viénot, F., Zissis, G., Barlier-Salsi, A., Cesarini, J. P., Enouf, O., Garcia, M., Picaud, S. & Attia, D. (2011). Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye? *Progress in Retinal and Eye Research*, 30, 239-257 *LED blue-light hazard BLH hemmiljö blått ljus hälsa*.
- Bellia, L., Bisegna, F. & Spada, G. (2011). Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions. *Building and Environment*, 46(10), 1984-1992 *LED hälsa innemiljö non-visual ljusdesign nomenklatur cirkadisk ljuskvalitet spektralfördelning*.
- Benedetti, F., Colombo, C., Barbini, B., Campori, E. & Smeraldi, E. (2001). Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression. *Journal of Affective Disorders*, 62(3), 221-223 *dagsljus hälsa depression sjukhus fönster*
- Benke, K. K., & Benke, K. E. (2013). Uncertainty in Health Risks from Artificial Lighting due to Disruption of Circadian Rhythm and Melatonin Secretion: A Review. *Human and ecological risk assessment*, 19(4), 916-929 *LED cirkadisk blått ljus hälsa melatonin cancer hälsorisker*
- Berns, R. S. (2011). Designing white-light LED lighting for the display of art: A feasibility study. *Color Research & Application*, 36(5), 324 *LED museum UV IR färgåtergivning*.
- Biro, A., & Bianchi, C. (2013). *Light as a motor for innovation and wellbeing*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED ljusdesign dagsljus energieffektivitet fönster innemiljö välbefinnande energibesparing*.
- Bodrogi, P., Krause, N., Brückner, S., Khanh, T.Q. (2013). *Semantic interpretation of colour rendering indices: A comparison of CRI and CRI2012*. Proceedings of

- CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 färgåtergivning CRI ljuskvaliteter
- Bodrogi, P., Brückner, S., Khanh, T. Q. & Winkler, H. (2013). Visual assessment of light source color quality. *Color Research & Application*, 38(1), 4 LED upplevd ljuskvalitet spektralfördelning färgåtergivning.
- Boissard, S., & Fontoynont, M. (2009). Optimization of LED-based light blendings for object presentation. *Color Research & Application*, 34(4), 310-320 LED CRI rekommendationer butik museum ljusstyrning upplevd ljuskvalitet standard färgåtergivning CRI energibesparing.
- Boyce, P. R. (2010). The Impact of Light in Buildings on Human Health. *Indoor & Built Environment*, 19(1), 8 LED hälsa cancer circadiska ljuskällor
- Boyce, P. R. (2011). Lemmings, light, and health revisited. *Leukos*, 8(2), 83-92 LED cirkadiska rytmer ljusexponering non-visual cancer
- Boyce, P. R. (2011). On measuring task performance. *Coloration Technology*, 127(2), 101 LED prestation spektralfördelning industri.
- Boyce, P. R., Fotios, S. & Richards, M. (2009). Road lighting and energy saving. *Lighting research & technology*, 41(3), 245-260 LED vägbelysning energieffektivitet design energibesparing.
- Brainard, G., C., Coyle, W., Ayers, M., Kemp, J., Warfield, B., Maida, J., Bowen, C., Bernecker, C., Lockley, S.W. & Hanifin, J.P. (2012). Solid-state lighting for the International Space Station: Tests of visual performance and melatonin regulation. *Acta Astronautica* LED melatonin rymdstation sömn syn fysiologi cirkadisk.
- Breanne, K. H., Tad, T. B., Caroline, R. M., John, M. S. & Christian, D. A. (2012). Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(1), 122-128 LED industri emotion non-visual kontors arbetsmiljö färgåtergivning.
- Bullough, J. D., Hickcox, K. S., Klein, T. R., Lok, A. & Narendran, N. (2012). Detection and acceptability of stroboscopic effects from flicker. *Lighting Research and Technology*, 44(4), 477-483 LED flimmer stroboskopiska effekter komfort
- Bullough, J. D., Sweater Hickcox, K., Klein, T. R. & Narendran, N. (2011). Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort. *Lighting research & technology*, 43(3), 337-348 LED flimmer stroboskopiska effekter komfort.
- Caicedo, D., Pandharipande, A. & Leus, G. (2011). Occupancy-based illumination control of LED lighting systems. *Lighting Research and Technology*, 43(2), 217-234 LED flimmer ljusstyrning design dimring energibesparing.

- Cajochen, C., Frey, S., Anders, D., Spati, J., Bues, M., Pross, A., Mager, R., Wirz-Justice, A. & Stefani, O. (2011). Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal Of Applied Physiology*, 110(5), 1432-1438 *LED non-visual eeg prestation cirkadisk sömn*
- Cesarini, J. P. (2009). Blue light hazards for ocular lesions. *Radioprotection*, 44(4), 463-478 *LED blue-light hazard BLH riskbedömning*
- Chen, J. R., Wen, C.H. & Luo, M.R. (2013). *Assessing color harmony in a room using LED lightings*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED färgharmoni innemiljö design*
- Chen, Y., Peng, S. , Tang, X. & Heynderickx, I. (2013). *Comparison between fluorescent and LED lighting on visibility and visual comfort in school classrooms*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED fluorescent synbarhet visuell komfort barn yngre skola*
- Cheng, W., Ju, J., Sun, Y. & Lin, Y. (2011). The effect of LED lighting on color discrimination and preference of elderly people. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing*, 19(6) *LED äldre preferenser färgdiskriminering*
- Cheng, W. C., Tannous, W. & Badano, A. (2012). Impact of solid-state lighting on observer performance of color discrimination. In C. K. Abbey & C. R. MelloThoms (Eds.), *Medical Imaging 2012: Image Perception, Observer Performance, and Technology Assessment* (Vol. 318). Bellingham Spie-Int Soc Optical Engineering *LED syn färgdiskriminering prestation*
- Chiang, H. C., Lee, D. g., Ko, B. w., Koga, T., Hirate, K., Munakata, J. & Yoshizawa, N. (2010). A study on the psychological and physiological effects by LED lightings for workspace. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJJ)*, 75(654), 683-690 *syn färgdiskriminering prestation LED*
- Conniasselle, T., Collard, B. & Deswert, J.-M. (2013). *Impression of light and feeling of security in the city - Experimenting mesopic vision*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED vitt ljus, mesopic, dimring, fotgängare, stadsmiljö utomhusmiljö*
- Csuti, P., Szabo, F. & Schanda, J.D. (2013). *Preferred home lighting design*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED färgåtergivning laboratoriemiljö*
- Cuttle, C. (2007). *Light for Art's Sake: Lighting for Artworks and Museum Displays*: Routledge.
- Cuttle, C. (2010). Towards the third stage of the lighting profession. *Lighting research*

- & technology*, 42(1), 73-93 LED ljusdesign
- Dai, C.-h., Wu, Z.-f., Chen, B.-h., Wang, Y.-f., Li, X.-z., & Fu, L. (2013) *Research on the measurement technology and evaluation method of photobiological safety*, SPIE - The International Society for Optical Engineering. LED blue-light hazard BLH radiometri
- Dangol, R., Bhusal, P., Puolakka, M. & Halonen, L. (2013). *Subjective preferences for LED lighting in offices*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED CRI färgåtergivning kontor ljuskvalitet.
- Dangol, R., Islam, M., LiSc, M. H., Bhusal, P., Puolakka, M. & Halonen, L. (2013). Subjective preferences and colour quality metrics of LED light sources. *Lighting research & technology*, 45(6), 666-688 LED färgåtergivning CRI ljuskvalitet.
- Davis, R. F. (2009). Solid State Lighting: Current Status and the Impact of the Technology on Energy Utilization and Environmental Conditions. *Proceedings of World Academy of Science: Engineering & Technology*, 51, 563-567 LED utomhusmiljö energieffektivitet energibesparing.
- Davis, W. (2011). *Recent developments of the Color Rendering Index*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED utomhusmiljö energieffektivitet energibesparing.
- Davoudian, N., & Raynham, P. (2012). What do pedestrians look at at night? *Lighting research & technology*, 44(4), 438-448 LED utomhusmiljö energieffektivitet energibesparing.
- Delgado, M. F., Dirk, C. W., Druzik, J. & WestFall, N. (2011). Lighting the world's treasures: Approaches to safer museum lighting. *Color Research & Application*, 36(4), 238 LED museum spektralfördelning färgåtergivning.
- Downes, M., Ayers, M., West, K., Kemp, J., Warfield, B., Hasher, D., Welsh, C., Whittaker, A., Hanifin, J., Cecil, K. & Brainard, G. (2011). Melatonin suppression using solid-state lighting in a simulation of the International Space Station crew sleeping quarters. *Society for Neuroscience Abstract Viewer and Itinerary Planner*, 41 LED utemiljö ljusplanering energieffektivitet energibesparing.
- Dubois, M. C. & Blomsterberg, Å. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. *Energy & Buildings*, 43(10), 2572-2582 LED litteraturgenomgång arbetsmiljö eeg energieffektivitet kontor dagljus energibesparing.
- Elhaddad, A. I. M., Tetri, E. & Halonen, L. (2013). *User preferences in indoor LED lighting*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New

- Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED bländning kontor
- Entwistle, J. (2007). Street theatre. *RIBA Journal*, 114(4), 59-60 LED light pollution design gatubelysning arkitektur utomhusmiljö.
- Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C. D., Keith, D. M. & Haim, A. (2011). Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of environmental management*, 92(10), 2714-2722 LED light pollution offentlig miljö gatumiljö rekommendationer hälsa.
- Fenton, L., Ferguson, J. & Moseley, H. (2012). Analysis of energy saving lamps for use by photosensitive individuals. *Photochem. Photobiol. Sci.*, , 11, 1346-1356 LED UV fotosensitiva hälsa
- Ferguson, I., Melton, A., Li, N., Nicol, D., Park, E. H. & Tosini, G. (2008). Imitating Broadband Diurnal Light Variations Using Solid State Light Sources. *Journal of Light & Visual Environment*, 32(2), 63-68 LED cirkadiska blått ljus hälsa
- Figueiro, M. G. (2008). A proposed 24 h lighting scheme for older adults. *Lighting research & technology*, 40(2), 153-160 LED demens cirkadisk hälsa patient
- Figueiro, M. G. (2010). Non-visual effects of light: Implications for design. In J. Bentley, A. Gupta & R. N. Youngworth (Eds.), *International Optical Design Conference 2010* (Vol. 7652). Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering LED cirkadisk terapi äldre hälsa byggd miljö non-visual.
- Figueiro, M. G., Bierman, A., Bullough, J. D. & Rea, M. S. (2009). A personal light-treatment device for improving sleep quality in the elderly: Dynamics of nocturnal melatonin suppression at two exposure levels. *Chronobiology International*, 26(4), 726-739 LED äldre blått ljus melatonin ljusbehandling
- Figueiro, M. G., Brons, J. A., Plitnick, B., Donlan, B., Leslie, R. P. & Rea, M. S. (2011). Measuring circadian light and its impact on adolescents. *Lighting Research and Technology*, 43(2), 201-215 LED cirkadiskt non-visual studenter sömn välfinnande.
- Figueiro, M. G., Bullough, J. D. & Rea, M. S. (2004, 2004 / 01 / 01 /). *Spectral Sensitivity of the Circadian System*. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Third International Conference on Solid State Lighting. (Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2004, 5187:207-214) . LED cirkadisk demens blått ljus sömn
- Figueiro, M. G., Gras, L., Qi, R., Rizzo, P., Rea, M., & Rea, M. S. (2008). A novel night lighting system for postural control and stability in seniors. *Lighting research & technology*, 40(2), 111-126 LED hälsa äldre syn fallolyckor.
- Figueiro, M. G., Hamner, R., Bierman, A. & Rea, M. S. (2013). Comparisons of three practical field devices used to measure personal light exposures and activity levels. *Lighting research & technology*, 45(4), 421-434 LED cirkadisk daysimeter aktivitet ljusexponering.

- Figueiro, M. G. & Rea, M. S. (2011). Sleep opportunities and periodic light exposures: Impact on biomarkers, performance and sleepiness. *Lighting Research and Technology*, 43(3), 349-369 LED ljusexponering sömn cirkadisk non-visual.
- Fisher, R. P. (2008). Illuminating innovations. *Health Facilities Management*, 21(4), 33-37 LED DALI sjukhus.
- Fontoynont, M., Bruyère, L. & Blanc-Gonnet, J. (2013). *Perception of human skin in street lighting under five types of LED spectra*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED gatubelysning spektralfördelning färgåtergivning perception.
- Fostervold, K. I. & Nersveen, J. (2008). Proportions of direct and indirect indoor lighting — The effect on health, well-being and cognitive performance of office workers. *Lighting Research and Technology*, 40(3), 175-200 omfältsluminans indirekt ljus rekommendationer bländning välbefinnande hälsa kontor prestation.
- Fotios, S. & Goodman, T (2012). Proposed UK guidance for lighting in residential roads. *Lighting Res. Technol.*, 44, 69-83 LED visual tasks rekommendationer mesopic belysning mesopic fotometri CRI gatubelysning.
- Fotios, S. (2013). LRT Digest 1 Maintaining brightness while saving energy in residential roads. *Lighting research & technology*, 45(1), 7-21 LED CRI spektralfördelning belysningssstyrka mesopic fotometri energieffektivitet fotgängare energibesparing.
- Fotios, S. (2013). Maintaining brightness while saving energy in residential roads. *Lighting Research and Technology*, 45(1), 7-21 LED CRI spektralfördelning belysningssstyrka mesopic fotometri energieffektivitet fotgängare energibesparing.
- Fotios, S. & Goodman, T. (2012). Proposed UK guidance for lighting in residential roads. *Lighting research & technology*, 44(1), 69-83 LED gatubelysning CRI mesopic fotometri.
- Fotios, S. A. & Cheal, C. (2011). Predicting lamp spectrum effects at mesopic levels. Part 1: Spatial brightness. *Lighting research & technology*, 43(2), 143-157 LED belysningsstyrka CRI lamptyper färgåtergivning mesopic.
- Fotios, S. A. & Cheal, C. (2011). Predicting lamp spectrum effects at mesopic levels. Part 2: Preferred appearance and visual acuity. *Lighting research & technology*, 43(2), 159-172 LED preferens CRI färgåtergivning mesopic.
- Freyssinier, J. P., & Rea, M. (2010). A two-metric proposal to specify the color-rendering properties of light sources for retail lighting. *Color Research and Application* 7784 LED butik standard design färgåtergivning cirkadisk
- Fumagalli, S., Bonanomi, C. & Rizzi, A. (2013). An experiment on the color rendering of different light sources. In R. Eschbach, G. G. Marcu & A. Rizzi (Eds.), *Color Imaging Xviii: Displaying, Processing, Hardcopy, and Applications*

- (Vol. 8652). Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering *LED CRI färgåtergivning belysningskvalitet*
- Gagne, A. M., Levesque, F., Gagne, P. & Hebert, M. (2011). Impact of blue vs red light on retinal response of patients with seasonal affective disorder and healthy controls. 35(1), 227-231. *LED blue-light hazard BLH SAD ljusterapi riskbedömning*
- Glickman, G., Byrne, B., Pineda, C., Hauck, W. W. & Brainard, G. C. (2006). Light Therapy for Seasonal Affective Disorder with Blue Narrow-Band Light-Emitting Diodes (LEDs). *Biological Psychiatry*, 59(6), 502-507 *LED SAD blått ljus cicadisk melatonin ljusterapi*
- Gomes, J. F. S., Vieira, R. R., de Oliveira, I. A. A. & Leta, F. R. (2014). Influence of illumination on the characterization of banana ripening. *Journal of Food Engineering*, 120, 215-222 *LED butik färgåtergivning CRI*.
- Goodman, T. M. (2009). Measurement and specification of lighting: A look at the future. *Lighting research & technology*, 41(3), 229-243 *LED hälsa välbefinnande fönsterglass*
- Govén, T. & Laike, T. (2013). *Visual and non-visual effects of different spectral power distributions from light sources - light emitting diodes (LED) vs. 3-phosphorus fluorescent tubes*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED kortisol upplevd ljusqualitet spektralfördelning ljussstyrka fotometri ljussstyrka*
- Govén, T., Laike, T., Raynham, P. & Sansal, E. (2011). *The impact of lighting controls on the energy consumption of lighting in school classrooms*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa , 10 July – 15 July 2011 *LED energieffektivitet kontrol dimring dialux skola belysningskvalitet energibesparing*.
- Govén, T., Laike, T., Raynham, P. & Sansal, E. (2011). *Influence of ambient light on the performance, mood, endocrine systems and other factors of school children*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa , 10 July – 15 July 2011 *LED circadian melatonin skola emotions flimmer non-visual VBE prestation*.
- Goven, T., & T, L. (2010). *Light at school - Effects daylight, surrounding light and control*. Paper presented at the Energy efficient lighting in a human Perspective, August 18-19, Ceebel.
- Grather, M. (2009). *The Evaluation of Flicker in LED luminaires LED flimmer*. [http://www.cormusa.org/uploads/CORM\\_2009\\_-\\_The\\_Evaluation\\_of\\_Flicker\\_in\\_LED\\_luminaires\\_\\_Grather.pdf](http://www.cormusa.org/uploads/CORM_2009_-_The_Evaluation_of_Flicker_in_LED_luminaires__Grather.pdf)
- Gupta, R. P. & Prasad, U. (2011). Performance comparison of solid state and incandescent based cap lamp for underground coalmines. *International Journal of Engineering Science & Technology*, 3(3), 2514-2518 *LED gruva*

### underjord huvudlampa

- Haans, A., & de Kort, Y. A. W. (2012). Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape. *Journal of Environmental Psychology*, 32(4), 342-352 LED spektralfördelning gatubelysning utomhusmiljö säkerhet fotgängare belysningskvalitet.
- Halonen, L. & Puolakka, M. (2012). Development of mesopic photometry - The new CIE recommended system. *Light & Engineering*, 20(2), 56-61 LED mesopic visuell prestation ljusstyrka spektralfördelning
- Harrison, E., M., Gorman, M., R., & Mednick Sara, C. (2011). The effect of narrowband 500nm light on daytime sleep in humans. *Physiology & Behavior*, 103, 197-202 LED hälsa sömn cirkadisk.
- Hawes, B. K., Brunye, T. T., Mahoney, C. R., Sullivan, J. M. & Aall, C. D. (2012). Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 122.128(42 ), 1 LED arbetsmiljö perception emotion industri färgåtergivning belysningsstyrka.
- Hecht, J. (2012). Better than sunshine. *New Scientist*, 214(2871), 42-45 LED sömn hälsa blått, rött, grönt ljus, cirkadisk.
- Hemphälä , H., Johansson , G., Odenrick, P., Åkerman, K. & Larsson, P. A. (2011). *Lighting recommendations in operating theatres*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa , 10 July – 15 July 2011 LED sjukhus operationssalar rekommendationer belysningsstyrka.
- Hickcox, K. S., Narendran, N., Bullough, J. D. & Freyssinier, J. P. (2012). Effect of different colored background lighting on LED discomfort glare perception. In M. H. Kane, C. Wetzel, J. J. Huang & I. T. Ferguson (Eds.), *Twelfth International Conference on Solid State Lighting and Fourth International Conference on White Leds and Solid State Lighting* (Vol. 8484). Bellingham Spie-Int Soc Optical Engineering. LED utemiljö blått, vitt, gult ljus, spektralfördelning bländning omfältsluminans
- Higashi, H., Koga, S. & Kotani, T. (2013). *The development of evaluation for discomfort glare in LED lighting of indoor work place: The effect of the luminance distribution of luminous parts on subjective evaluation*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED bländning belysningskvaliteter belysningsstyrka.
- Hinks, D. & Shamey, R. (2011). Review of retail store lighting: implications for colour control of products. *Coloration Technology*, 127(2), 121-128 LED butik atmosfär färgåtergivning review
- Hira, S., Watanabe, K., Okada, H., Nishimura, Y., Nagatome, K., Shimada, N. & Hamamoto, Y. (2009). Psychophysiological reactivity to composite blue and

- white led light: Crime prevention through environmental design. *Psychophysiology*, 46, S131-S131 *LED blått, vitt ljus, brottsförebyggande färgåtergivning design*.
- Hong, Z., Jian, Q., Xingfa, S., Guojun, D., Peng, L. & Shuping, L. (2011). Fuzzy Control of LED Tunnel Lighting and Energy Conservation. *Tsinghua Science & Technology*, 16, 576-582 *LED underjord ljusstyrning energibesparing*.
- Horn, F. K., Link, B., Dehne, K., Lämmer, R. & Jünemann, A. G. (2006). Flicker provocation with LED full-field stimulation in normals and glaucoma patients. *Der Ophthalmologe: Zeitschrift Der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft*, 103(10), 866-872 *LED flimmar vitt ljus stress äldre glaucoma*.
- Hwang, T., Lee, D. G. & Kim, J. T. (2012). Optimal Illuminance of Seven Major Lighting Colours in LED: Focus on Occupant Comfort and Communication in an Indoor Environment. *Indoor & Built Environment*, 21(1), 122 *LED hemmiljö ljusfärg komfort*
- Iacomussi, P., Rossi, G., Rossi, L. (2011). *A comparison between different light sources induced glare on perceived contrast*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED tunnel blandning*.
- Imai, Y., Kotani, T. & Fuchida, T. (2013). *A study of color rendering properties based on color preference of objects in adaptation to LED lighting*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED CRI färgåtergivning preferens ljuskvaliteter*
- Ishii, M., Moriyama, T., Toda, M., Kohmoto, K. & Saito, M. (2008). Color Degradation of Textiles with Natural Dyes and of Blue Scale Standards Exposed to White LED Lamps: Evaluation of White LED Lamps for Effectiveness as Museum Lighting. *Journal of Light & Visual Environment*, 32(4), 370-378 *LED färgåtergivning museum färgdegradation*
- Jacob, B. (2009). Lamps for improving the energy efficiency of domestic lighting. *Lighting research & technology*, 41(3), 219-228 *LED OLED hemmiljö energieffektivitet energibesparing*.
- Johansson, M. (2010). *Outdoor LED-lighting in residential areas: Pre-test and intervention*. Paper presented at the Energy efficient lighting in a human Perspective, August 18-19, Ceebel.
- Johansson, M. (2010). Utomhus LED-belysning i flerbostadsområden. *Miljöforskning*, 1 *LED utomhusbelysning ljuskvaliteter*.
- Johansson, M., Küller, M. & Pedersen, E. (2014). Goals frames guiding a housing cooperatives' choice of outdoor lighting. Miljöpsykologi, LTH, Lund *LED ljusstyrning energibesparing ljusupplevelse*.
- Johansson, M., Pedersen, E., Maleetipwan-Mattsson, P., Kuhn, L. & Laike, T. (2013). Perceived outdoor lighting quality (POLQ): A lighting assessment

- tool. *Journal of Environmental Psychology*(0), *LED utomhusbelysning belysningskvalitet*
- Johansson, M., & Rosén, M. (2007). *Belysningskvalitetens betydelse för tillgänglighet och upplevd rädsla längs gångvägar*. Paper presented at the VTIs Transportforum. *LED brottsförebyggande äldre vägbelysning*.
- Johansson, M., Rosen, M. & Küller, R. (2011). Individual factors influencing the assessment of the outdoor lighting of an urban footpath. *Lighting research & technology*, 43(1), 31-43 *LED brottsförebyggande äldre vägbelysning*.
- John, J. S., Jonisha, P. P., William, L. P., Patrick, G. D. & Caitlin, T. M. (2012). The effect of cap lamp lighting on postural control and stability. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, 377-383 *LED underjord olycksfall visuell prestation*.
- Jost, S. & Fontoynont, M. (2013). *Colour rendering of face complexion and hair under LED sources*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 *LED ljuskvaliteter färgåtergivning*.
- Jost-Boissard, S., Fontoynont, M. & Blanc-Gonnet, J. (2009). Perceived lighting quality of LED sources for the presentation of fruit and vegetables. *Journal of Modern Optics*, 56(13), 1420-1432 *LED färgåtergivning CRI butik ljuskvaliteter*.
- Kajimoto, O., Shiraichi, Y., Ohtsuka, M., Kadokawa, T. & Sugino, T. (2012). Effects of Newly Developed LED Lighting on Living Comfort in an Indoor Environment (Part 2). *Japanese Journal of Complementary and Alternative Medicine.*, 9(2), 137-147 *LED innemiljö komfort fysiologi*.
- Katsuura, T., Ochiai, Y., Senoo, T., Lee, S., Takahashi, Y. & Shimomura, Y. (2012). Effects of blue pulsed light on human physiological functions and subjective evaluation. *J Physiol Anthropol.*, 31(1), 23 *LED eeg blått/vitt ljus non-visual eeg*.
- Kimura-Minoda, T., & Ayama, M. (2011). Evaluation of discomfort glare from color leds and its correlation with individual variations in brightness sensitivity. *Color Research & Application*, 36(4), 286 *LED grönt/rött ljus bländning rekommendationer*.
- Kitsinelis, S., Zisis, G. & Arexis, L. (2012). A study on the flicker of commercial lamps *Light & Engineering*, 20(3), 25-33 *LED flimmer dimring*.
- Knisley, J. (2012). The Health Benefits of LED Lighting. *EC&M Electrical Construction & Maintenance*, 111(12), C6-C10 *LED hälsa cirkadisk melatonin*.
- Knulst, A. J., Stassen, L. P. S., Grimbergen, C. A. & Dankelman, J. (2009). Choosing Surgical Lighting in the LED Era. *Surgical innovation*, 16(4), 317-

323 LED sjukhus kirurgi

- Knulst, A. J., Stassen, L. P. S., Grimbergen, C. A. & Dankelman, J. (2009). Standards and Performance Indicators for Surgical Luminaires. *Leukos*, 6(1), 37-49 LED standard sjukhus kirurgi
- Ko, B. w., Lee, D. g., Chiang, H. c., Koga, T. & Hirate, K. (2011). Basic study on rest effect of light color in the led lighting *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJ)*. 76(662), 363-368 LED fatigue flimmer ekg blått/rött/vitt ljus, hälsa.
- Kobayashi, S., Komatsubara, H., Nasuno, N., Fuchida, T. & Hashimoto, K. (2013). *Colour rendering evaluation of the LED light source by the relative evaluation* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013 LED färgåtergivning ljuskvaliteter
- Kohmoto, K., Saito, M., Nakamura, Y., Maruzuka, K., Takashima, M., Hoshino, F. & Schobersberger, W. (2011). *Improvement of the CIE colour rendering evaluation method to conform to white LEDS*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED CRI färgåtergivning ljuskvaliteter.
- Kokubu, M., Ando, S. & Oda, S. (2007). The effect of fixation distance on reaction times for the peripheral visual field. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29, S99-S100 LED syn ögonrörelser
- Kostic, A., Kremic, M., Djokic, L. & Kostic, M. (2013). Light-emitting diodes in street and roadway lighting – a case study involving mesopic effects. In *Lighting Research & Technology*, Vol. 45, pp. 217-229 LED gatubelysning vägbelysning mesopic energieffektivitet energibesparing
- Kosztyan, Z., Szabo, F., Sarvari, G. & Schanda, J. (2011). *Sample selection for a colour fidelity index*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED CRI färgåtergivning.
- Kotani, T. (2011). Color Rendering of LED Lamp. *NIHON GAZO GAKKAISHI (Journal of the Imaging Society of Japan)*, 50(3), 229-233 LED CRI färgåtergivning vitt ljus.
- Kronqvist, A. (2011). *The influence of light emitting diodes on wellbeing and comfort in home offices*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED komfort ljuskänslighet välbefinnande.
- Kronqvist, A. (2013). *Review of office lighting research*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. LED litteraturgenomgång kontorsmiljö
- Kuhn, L., Johansson, M., Laike, T. & Goven, T. (2013). Residents' perceptions following retrofitting of residential area outdoor lighting with LEDs. *Lighting research & technology*, 45(5), 568-584 LED ljuskvalitet retrofit energieffektivitet

utomhusmiljö ljusstyrning energibesparing.

- Kuhn, L., Johansson, M., Laike, T., & Govén, T. (2013). Residents' perceptions following retrofitting of residential area outdoor lighting with LEDs. *Lighting Research & Technology*, 45(5), 568-584 LED retrofit utomhusbelysning ljuskvalitet upplevd fära ljusstyrning energibesparing.
- Kusano, M. & Iwata, T. (2010). Comparison of appearances of cloth illuminated by led lighting with that by conventional lighting. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*. 75(653), 569-576 LED museum preferenser ljusfärg rött ljus.
- Kyba, C. C. M., Ruhtz, T., Fischer, J. & Hölker, F. (2012). Red is the new black: how the colour of urban skyglow varies with cloud cover. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425(1), 701-708 LED light pollution gatubelysning.
- Lac-Batel, C. & Sergent, M. (2011). *Maintenance factor of outdoor led lighting installation.* Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED energieffektivitet belysningsdesign underhåll utomhusmiljöenergibesparing.
- Laike, T. (2010). *The influence on man and the experience of LED-lighting and lighting from fluorescent tubes - A laboratory study.* Paper presented at the Energy efficient lighting in a human Perspective, August 18-19, Ceebel.
- Laike, T., Govén, T. & Sjöberg, K. (2010). *Nya ljuskällors betydelse för vakenhet, välbefinnande och prestation:* Institutionen för arkitektur och byggd miljö, LTH, Lunds Universitet; Institutionen för Medicin, Lunds Universitet; Fagerhult AB, LED omfältsluminans cortisol kontorsmiljö melatonin perception ljusupplevelse emotioner.
- Lampert-Gréaux, E. (2012). Trees Of Light. *Live Design*, 46(1), 48-48 LED light pollution belysningsdesign.
- Lang, D. (2011). *Energy efficient lighting for the biological clock.* Paper presented at the Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XV, 25-27 Jan. 2011, USA. LED cirkadisk syn hälsa energieffektivitet energibesparing
- Lee, A. C. H., Elson, D. S., Neil, M. A., Kumar, S., Ling, B. W., Bello, F. & Hanna, G.B. (2009). Solid-state semiconductors are better alternatives to arc-lamps for efficient and uniform illumination in minimal access surgery. *Surgical Endoscopy*, 23(3), 518-526 LED sjukhus perception kirurgi
- Lee, D. g., Chiang, H. C. & Hirate, K. (2009). Basic study on tint and discomfort caused by LED lighting colors in architectural spaces. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)*. , 74(639), 553-559 LED ljusfärg bländning komfort design.

- Lee, D. g., Chiang, H. C., Koga, T. & Hirate, K. (2011). Basic study on discomfort caused by LED lighting colors in working space. *AIJ Journal of Technology and Design*, 17(35), 201-204 *LED arbetsmiljö ljusfärg komfort*
- Lehman, B., Wilkins, A., Berman, S., Poplawski, M. & Johnson Miller, N. (2011, 2011 / 01 / 01 /). *Proposing measures of flicker in the low frequencies for lighting applications*. Paper presented at the IEEE Energy Conversion Congress and Exposition: Energy Conversion Innovation for a Clean Energy Future, ECCE 2011, Proceedings *LED flimmer IEEE standard hälsorisker*
- Lehman, B., Wilkins, A., Berman, S., Poplawski, M. & Miller, N. J. (2011). Proposing Measures of Flicker in the Low Frequencies for Lighting Applications. *Leukos*, 7(3), 189-195 *LED flimmer IEEE standard hälsorisker*
- Lehman, B., Wilkins, A., Berman, S., Poplawski, M. & Miller, N. J. (2011, 17-22 Sept. 2011). *Proposing measures of flicker in the low frequencies for lighting applications*. Paper presented at the Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2011 IEEE *LED flimmer standard rekommendationer hälsa hälsorisker*.
- Li, C., Strassi, M., Rauchenzauner, S. & Wintner, E. (2009). Evaluation of LED illumination for dental instruments. *Lighting research & technology*, 41(1), 89-97 *LED sjukhus färgåtergivning*
- Li, F., Chen, Y., Liu, Y. & Chen, D. (2012). Comparative In Situ Study of LEDs and HPS in Road Lighting. *Leukos*, 8(3), 205-214 *LED perception vägbelysning*.
- Linhares, J. M. M., Felgueiras, P. E. R., Pinto, P. D. & Nascimento, S. M. C. (2010). Colour rendering of indoor lighting with CIE illuminants and white LEDs for normal and colour deficient observers. *Ophthalmic & Physiological Optics*, 30(5), 618-625 *LED CRI färgåtergivning rekommendationer färgblinda perception*.
- Liu, Y., & Mou, T. (2013). *Evaluation of window lighting considering the circadian effect*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. *LED fönster(artificiellt) cirkadisk dagsljus*
- Logadóttir, A., Iversen, A., Markvart, J., Corell, D. D., Thorseth, A. & Dam-Hansen, C. (2013). *Comparison of user satisfaction with four different lighting*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. *LED kontorsmiljö kontroll välbefinnande*
- Logadóttir, Á. (2011). *Occupant Controlled Lighting. Investigation of the Method of Adjustment*. *LED kontorsmiljö kontroll välbefinnande*
- Logadóttir, Á., Fotios, S. A., Christoffersen, J., Hansen, S. S., Corell, D. D. & Dam-Hansen, C. (2013). Investigating the use of an adjustment task to set preferred colour of ambient illumination. *Color Research & Application*,

*38(1), 46 LED prefärnser färgtemperatur CCT.*

- Mahler, E., Viénot, F. & Ezrati, J. J. (2009). Testing LED lighting for colour discrimination and colour rendering. *Color Research and Application*, 34(1), 8-17 LED CRI färgåtergivning.
- Majithia, C. A., Desai, A. V. & Panchal, A. K. (2011). Harmonic analysis of some light sources used for domestic lighting. *Lighting Research and Technology*, 43(3), 371-380. LED distortion vågformer
- Markvart, J., Iversen, A. , Logadóttir, Á. , Corell, D.D., Thorseth, A. & Dam-Hansen, C. (2013). *User evaluation of eight LED light sources with different special colour rendering indices R9.* Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. LED CRI färgåtergivning fotometri
- Matei, S. (2004). *The bio-influence of trichromatic white LEDs light source: Bioresonance phenomenon.* Paper presented at the Light Sources 2004 - Proceedings of the Tenth International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, July 18, 2004 - July 22, 2004 Toulouse, France LED ljusfärg välbefinnande cirkadisk
- Matsushima, K., Nishimura, T., Ichikawa, S., Kawauchi, T., Sekiguchi, M., Tanaka, T., Hirano, R. & Tazuke, F. (2009). Indoor Lighting Facilities. *Journal of Light & Visual Environment*, 33(3), 178-192 LED rekommendationer kontorsmiljö dagsljus.
- Miller, D., Bierman, A., Figueiro, M. G., Rea, M. S. & Schernhammer, E. S. (2010). Ecological measurements of light exposure, activity and circadian disruption. *Lighting Research and Technology*, 42(3), 271-284 LED cirkadisk hemmiljö daysimeter.
- Miller, D., Bierman, A., Figueiro, M. G., Schernhammer, E. S. & Rea, M. S. (2010). Ecological measurements of light exposure, activity and circadian disruption. *Lighting research & technology*, 42(3), 271-284 LED hälsa cirkadisk.
- Mochizuki, E., & Kimura, H. (2010). Effects of difference of spectral power distribution on visual fatigue. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJJ)*. 75(647), 35-41 LED flimmer arbetsmiljö fatigue.
- Moeller, K., Grote, V., Moser, M., Keller, K., Lorenz, D. & Khanh, T. Q. (2011). *LED office lighting to promote performance and well-being.* Paper presented at the Ergonomics and Health Aspects of Work with Computers - International Conference, EHAWC 2011, Held as Part of HCI International 2011, Proceedings. LED kontorsmiljö välbefinnande prestation ekg
- Mou, X. & Berns R. (2013). *Design of LED for museum lighting application.* Paper presented at the Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“ Paris, France: April 15/16, 2013. LED CRI museum

## ljuskvalitet

- Munehiro, K., Tokunaga, R. A., Asano, M. & Hagiwara, T. (2007). Required luminous intensity of LED roadway delineators under foggy conditions. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 7, 1987-2002 LED vägbelysning ljusintensitet.
- Nakabayashi, S., Suzuki, M., Kawashima, M. & Iwata, T. (2012). A basic study on preference of illuminance and color temperature for task and ambient lighting using led light. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJ)*, 77(678), 633-640 LED ljusupplevelse färgtemperatur preferens prestation
- Nakajima, Y., Fuchida, T. (2013). *Affective evaluation on color samples illuminated by LED illumination - influence of illuminance level*. Paper presented at the Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. LED färgåtergivning
- Nakamura, Y., & Fujita, N. (2013). *Just sufficient lighting condition under hybrid-lighting of real daylight and artificial light*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. LED dagsljus kontorsmiljö
- Narendran, N., & Deng, L. (2002). Color rendering properties of LED light sources. In I. T. Ferguson, N. Narendran, S. P. DenBaars & Y. S. Park (Eds.), *Solid State Lighting II* (Vol. 4776, pp. 61-67). Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering. LED design preferens CRI färgåtergivning
- Neumann, R. (2011). *LED headlamps in automotive lighting - opportunities for all vehicle segments*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED bilbelysning utomhusmiljö.
- Nicol, D. B. & Ferguson, I. T. (2002). Development of a circadian light source. In I. T. Ferguson, N. Narendran, S. P. DenBaars & Y. S. Park (Eds.), *Solid State Lighting II* (Vol. 4776, pp. 255-260). Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering. LED cirkadisk rekommendationer ljuskälleprototyp
- Nicol, D. B., & Ferguson, I. T. (2002). *Development of a circadian light source*. Paper presented at the Solid State Lighting II, 9-11 July 2002 USA. LED cirkadisk ljuskälla prototype
- Noguchi, H., Toda, N., Mori, A. & Kamikawa, Y. (2011). *Effects of dawn simulation on quality of life in elementary school children*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED skola cirkadisk sömn skymningssimulering.
- Noguchi, H., Toda, N., Yasukouchi, A. & Nan, Q. (2013). *Eco-friendly color tunable led office lighting incorporating circadian physiology*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013 LED dimring cirkadisk eeg melatonin kontorsmiljö.

- Oi, N., Lu, B. & Takahashi, H. (2009). A comparison between fluorescent lamp and LED in the preference of indoor illuminance and color temperature: Scale model experiments assuming living rooms. *Journal of Environmental Engineering (Transactions of AJ)*. 74(638), 421-426 *LED CRI färgåtergivning hemmiljö ljuskvalitet*.
- Ono, K., Miki, M., Yoshimi, M., Akita, M., Kasahara, Y., Nishimoto, T., Omi, T. & Adachi, H. (2012). Development of an intelligent lighting system using LED ceiling lights into an actual office. *Electronics and Communications in Japan*, 95(10), 54-63 *LED energibesparing prototyp ljusstyrning kontorsmiljö*.
- Ono, K., Miki, M., Yoshimi, M., Nishimoto, T., Omi, T., Adachi, H., Akita, M. & Kasahara, Y. (2011). Development of the Intelligent Lighting System using LED Ceiling Lights into an Actual Office. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*, 31(5), 321-327 *LED energibesparing kontorsmiljö ljusstyrning*.
- Osvaldo da Pos, F. B. (2011). *Unique hue shifts under different light sources*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED CRI färgåtergivning*.
- Pandharipande, A. & Caicedo, D. (2011). Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing. *Energy & Buildings*, 43(4), 944-950 *LED ljusstyrning dagsljus energibesparing*.
- Peponene, R., Sieberhagen, R. & Nel-Sakharova, N. (2011). *Radiometry of phototherapy (blue light therapy) in South Africa*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED sjukhus bilirubin non-visual fototerapi*.
- Pinto, P. D., Felgueiras, P. E. R., Linhares, J. M. M. & Nascimento, S. M. C. (2010). Chromatic effects of metamers of D65 on art paintings. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal Of The British College Of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 30(5), 632-637 *LED spektralfördelning perception*.
- Plitnick, B., Figueiro, M. G., Wood, B. & Rea, M. S. (2010). The effects of red and blue light on alertness and mood at night *Lighting research & technology*, 42(4), 449-458 *LED ljusfärg melatonin hälsa blått/rött ljus eeg ljuskvalitet*.
- Poplawski, M. E. & Miller, N. M. (2013). *Flicker in solid-state lighting: measurement techniques, and proposed reporting and application criteria*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. *LED flimmer dimring ljusdesign*.
- Protzman, J. B. & Houser, K. W. (2006). LEDs for general illumination: The state of the science. *Leukos*, 3(1-4), 121-142 *LED CRI ljusfärg spektralfördelning allmänbelysning*.
- Ramamurthy, V., Narendran, N., Freyssinier, J. P., Raghavan, R. & Boyce, P.

- (2004). Determining contrast sensitivity functions for monochromatic light emitted by high-brightness LEDs. Paper presented at the Proc. SPIE. 5187, Third International Conference on Solid State Lighting LED spektralfördelning fött/grönt/blått ljus kontraster luminans
- Ramane, D., Bangali, J. & Shaligram, A. (2012). Automated test jig for uniformity evaluation of luminaries. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 3(1), 41 LED ljussyrning energibesparing dimring.
- Rand, D. (2005). *Off line dimming for high brightness LEDs*. Boston: Northeastern Univeristy. LED kontorsmiljö dimring
- Rea, M. S. (2010). Opinion: The future of LED lighting: Greater benefit or just lower cost. *Lighting research & technology*, 42(4), 370-370 LED diskuterande.
- Rea, M. S. (2011). Human health and well-being: Promises for a bright future from solid-state lighting. In K. P. Streubel, L. W. Tu, H. Jeon & N. Linder (Eds.), *Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting XV* (Vol. 7954). Bellingham Spie-Int Soc Optical Engineering. LED hälsa cirkadisk cancer melatonin
- Rea, M. S. (2011). Toward a definition of circadian light. *Journal of Light and Visual Environment*, 35(3), 250-254 LED cirkadisk hälsa.
- Rea, M. S. & Figueiro, M. G. (2011). What is "healthy lighting?" *International Journal of High Speed Electronics & Systems*, 20(2), 321-342 LED cirkadisk hälsa SAD.
- Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bierman, A. & Hamner, R. (2012). Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system. *Lighting Research and Technology*, 44(4), 386-396 LED cirkadisk icke visuell.
- Rea, M. S. & Freyssinier, J. P. (2010). Color rendering: Beyond pride and prejudice. *Color Research and Application*, 35(6), 401-409 LED CRI färgåtergivning.
- Rea, M. S., & Freyssinier, J. P. (2013). White lighting for residential applications. *Lighting research & technology*, 45(3), 331-344 LED utomhusmiljö CRI färgåtergivning färgtemperatur.
- Roberts, J. E. & Wilkins, A. J. (2013). Flicker can be perceived during saccades at frequencies in excess of 1 kHz. *Lighting research & technology*, 45(1), 124-132 LED flimmer ögonrörelser bilkörsätt trafikmiljö utomhusmiljö.
- Rodrigues, C., Almeida, P. S., Soares, G. M., Jorge, J. M., Pinto, D. P. & Braga, H. A. C. (2011). *An Experimental Comparison Between Different Technologies Arising for Public Lighting: LED Luminaires Replacing High Pressure Sodium Lamps*. New York IEEE. LED utomhusmiljö fotometri
- Royer, M. P., Houser, K. W., & Wilkerson, A. M. (2012). Color discrimination capability under highly structured spectra. *Color Research & Application*, 37(6), 441 LED CRI färgåtergivning
- Ryckaert, W. R., Roelandts, I., Van Gils, M. , Durinck, G., Forment, S., Audenaert,

- J. Hanselaer, P. (2011). *Performance of LED linear replacement lamps*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED CRI färgåtergivning spektralfördelning*
- Ryckaert, W. R., Smet, K. A. G., Roelandts, I. A. A., Van Gils, M. & Hanselaer, P. (2012). Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An evaluation. *Energy & Buildings*, 49, 429-436 *LED retrofit energibesparing fallstudie ljuskvalitet bländning*.
- Saito, T. & Y., A. (2013). *Field experiments of street lighting using high S/P ratio LEDs*. Paper presented at the Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. *LED gatubelysning S/P ratio upplevd trygghet*
- Sammarco, J. J., Gallagher, S. & Reyes, M. (2010). Visual performance for trip hazard detection when using incandescent and led miner cap lamps. *Journal of Safety Research*, 41(2), 85–91 *LED olyckfall gruva prototyp*.
- Sammarco, J. J. & Lutz, T. (2011). Visual Performance for Incandescent and Solid-State Cap Lamps in an Underground Mining Environment. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 47(5), 2301-2306 *LED gruva prestation mesopic prototyp*.
- Sandor, N. & Schanda, J. (2006). Visual colour rendering based on colour difference evaluations. *Lighting research & technology*, 38(3), 225-239 *LED CRI standard*.
- Satoshi, H., Yoshinori, K. & Sho'etsu, S. (2011). *Tunnel lighting design based on revealing power*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED tunnel vägbelysning tunnel*
- Seki, H., Uto, K. & Kosugi, Y. (2012). Quantitative Evaluations of Printed Color Appearance under LED Light Sources. *NIHON GAZO GAKKAISHI (Journal of the Imaging Society of Japan)*, 51(6), 613-621 *LED CRI färgåtergivning ljuskvaliteer rekommendationer standard*.
- Smet, K., Ryckaert, W. R., Hanselaer, P., Pointer, M. R. & Deconinck, G. (2011). Colour appearance rating of familiar real objects. *Color Research and Application*, 36(3), 192-200 *LED färgåtergivning*.
- Smet, K. A. G., Ryckaert, W. R., Hanselaer, P., Pointer, M. R., & Deconinck, G. (2012). A memory colour quality metric for white light sources. *Energy and Buildings*, 49, 216-225 *LED färgåtergivning*.
- Spaulding, J. M., Thompson, M. R. & Levin, R. E. (2011). Human Preference in Tunable Solid State Lighting. In K. P. Streubel, L. W. Tu, H. Jeon & N. Linder (Eds.), *Light-Emitting Diodes: Materials, Devices, and Applications for Solid State Lighting Xv* (Vol. 7954). Bellingham: Spie-Int Soc Optical

- Engineering. *LED preferens färgtemperatur spektralfördelning*
- Spivey, A. (2011). Built Environment. The Mixed Blessing of Phosphor-Based White LEDs. *Environmental Health Perspectives*, 119(11), A472-A473 *LED cirkadisk hälsa melatonin blått/vitt ljus*.
- Stall-Meadows, C. & Hebert, P. R. (2011). The sustainable consumer: An in situ study of residential lighting alternatives as influenced by infiel education. *International Journal of Consumer Studies*, 35(2), 164-170 *LED energieffektivitet hemmiljö information beteende energibesparing*.
- Subramanian, S., Sankar, M. J., Deorari, A. K., Velpandian, T., Kannan, P., Prakash, G. V. Agarwal, R. & Paul, V.K.(2011). Evaluation of phototherapy devices used for neonatal hyperbilirubinemia. *Indian Pediatrics*, 48(9), 689-696 *LED sjukhus bilirubin nyfödda fototerapi*
- Sweater-Hickcox, K., Narendran, N., Bullough, J. D. & Freyssinier, J. P. (2013). Effect of different coloured luminous surrounds on LED discomfort glare perception. *Lighting research & technology*, 45(4), 464-475 *LED bländning omfältsluminans blått/rött/vitt ljus*.
- Szabó, F., Csuti, P. & Schanda, J. (2013). *Light emitting diodes in museum lighting – Colour quality requirements for visitors' acceptance*. Paper presented at the Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. *LED CRI museum färgåtergivning UV IR*
- Tanaka, H., Takahashi, T., Okamoto, K., Tokuda, M., Yamaguchi, F. & Hirata, Y. (2011). Suppression of cancer cell proliferation by high-intensity blue LED light. *Physica Status Solidi (C) Current Topics in Solid State Physics*, 8(2), 359-361 *LED blått ljus cancer*
- Tashiro, T., Kimura-Minoda, T., Kohko, S., Ishikawa, T. & Ayama, M. (2011). *Discomfort glare evaluation to white LEDs with different spatial arrangement*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa , 10 July – 15 July 2011 *LED bländning vitt ljus ljuskvalitet*
- Tetri, E., Paakkinnen, M. & Halonen, L. (2011). *LED module design and testing*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED energieffektivitet energibesparing*.
- Thorseth, A., Corell, D. D., Behrensdorff Poulsen, P., Dam-Hansen, C. & Petersen, P. M. (2013). *Dynamic miniature lighting system with low correlated colour temperature and high Colour Rendering Index for museum lighting of fragile artefacts* Paper presented at the Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. *LED CRI färgåtergivning museum*
- Tongsheng, M. & Zhenjian, P. (2013). *Measurement and standardization of eye safety for optical radiation of LED products*. SPIE - The International Society for

- Optical Engineering. LED blue-light hazard BLH säkerhetsstandard fotobiologisk säkerhet radiometri.
- Toru Hagiwara, Hitoshi Akasaka, Matsuo, H. & Nishio, M. (2011). *Visibility assessment of light emitting diode (LED) street lighting*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED gatubelysning ljuskvalitet bostadsområde.
- Tridente, A. & De Luca, D. (2012). Efficacy of light-emitting diode versus other light sources for treatment of neonatal hyperbilirubinemia: a systematic review and meta-analysis. *Acta Paediatrica*, 101(5), 458-465 LED bilirubin fototerapi nyfödda sjukhus.
- Tähkämö, L., Ylinen, A., Puolakka, M., & Halonen, L. (2012). Life cycle cost analysis of three renewed street lighting installations in Finland. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(2), 154 LED tillämnning livscykel vägbelysning standard rekommendationer.
- Uchida, K., Tanaka, T. & Sugie, N. (2004). Improving Nighttime Visibility of LED Type Outdoor Displays-Optimization of Luminance Contrast by Feeble Background Lighting-. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*, 124(11), 954-960 LED bländning utomhusmiljö syn kontrast.
- van Bommel, W. (2010). Lighting tomorrow: What's hot. *Light & Engineering*, 18(2), 5-9 LED standard cirkadisk färgåtergivning bländning.
- Van Horn, R. (2006). LEDs and Home Lighting Technology. *Phi Delta Kappan*, 88(2), 103-169 LED hemmiljö design.
- Webb, A. R. (2006). Considerations for lighting in the built environment: Non-visual effects of light. *Energy & Buildings*, 38(7), 721-727 LED arbetsmiljö energieffektivitet cirkadisk UV blått ljus energibesparing.
- Veitch, J. A., Stokkermans, M. G. M. & Newsham, G. R. (2013). Linking Lighting Appraisals to Work Behaviors. *Environment & Behavior*, 45(2), 198-214
- West, K.E., Jablonski, M.R., Warfield, B., Cecil, K.S., James, M., Ayers, M.A., Maida, J., Bowen, C., Sliney, D.H., Rollag, M.D., Hanifin, J.P. & Brainard, G.C. (2011). Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *J Appl Physiol*(110), 619-626 LED blått ljus melatonin astronauter hälsa välbefinnande cirkadisk melatonin.
- Whitehead, L. A. & Mossman, M. A. (2012). A Monte Carlo method for assessing color rendering quality with possible application to color rendering standards. *Color Research & Application*, 37(1), 13 LED spektralfördelning energieffektivitet ljusfärg energibesparing.
- Viau Colindres, J., Rountree, C., Destarac, M. A., Cui, Y., Pérez Valdez, M., Herrera Castellanos, M., Mirabal, Y., Spiegel, G., Richards-Kortum, R. & Oden, M. (2012). Prospective randomized controlled study comparing low-cost LED

- and conventional phototherapy for treatment of neonatal hyperbilirubinemia. *Journal Of Tropical Pediatrics*, 58(3), 178-183 *LED bilirubin fototerapi nyfödda sjukhus ljusfärg*.
- Vidovszky-Németh, Á. & Schanda, J. (2011). *Brightness, visual comfort and task performance*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED prestation komfort perception*.
- Vidovszky-Németh, A. & Schanda, J. (2012). White light brightness-luminance relationship. *Lighting research & technology*, 44(1), 55-68 *LED perception prestation*.
- Viénot, F., Coron, G. & Lavédrine, B. (2011). LEDs as a tool to enhance faded colours of museums artefacts. *Journal of Cultural Heritage*, 12(4), 431-440 *LED CRI museum färgåtergivning ljusfärg*.
- Viénot, F., Mahler, E., Ezrati, J. J., Boust, C., Rambaud, A. & Bricoune, A. (2008). Color appearance under LED illumination: The visual judgment of observers. *Journal of Light and Visual Environment*, 32(2), 208-213 *LED CRI färgdiskriminering ljusfärg färgåtergivning*.
- Viikari, M., Puolakka, M., Halonen, L. & Rantakallio, A. (2012). Road lighting in change: User advice for designers. *Lighting research & technology*, 44(2), 171-185 *LED vägbelysning standard rekommendationer utomhusmiljö*.
- Viliūnas, V., Vaitkevičius, H., Stanikūnas, R., Švegzda, A., & Bliznikas, Z. (2011). LED-based metameric light sources: Rendering the colours of objects and other colour quality criteria. *Lighting research & technology*, 43(3), 321-330 *LED CRI spektralfördelning färgåtergivning perception*.
- Wilkins, A., Veitch, J. & Lehman, B. (2010). LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update 2010 *IEEE Energy Conversion Congress & Exposition (ECCE)* *LED flimmer hälsa standard*, 171.
- Wilkins, A., Veitch, J. & Lehman, B. (2010). *LED lighting flicker and potential health concerns: IEEE standard PAR1789 update*. Paper presented at the 2010 2nd IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2010; Atlanta, GA; United States; 12 September 2010 through 16 September 2010 *LED standard flimmer hälsorisker*.
- Vitta, P., Stanikunas, R., Tuzikas, A., Reklaitis, I., Stonkus, A., Petrulis, A., Vaitkevicius, H. & Zukauskas, A. (2011). Energy-saving approaches to solid-state street lighting. In M. H. Kane, C. Wetzel & J. J. Huang (Eds.), *Eleventh International Conference on Solid State Lighting* (Vol. 8123). Bellingham: Spie-Int Soc Optical Engineering *LED gatubelysning energibesparing ljusstyrning kontroll*.
- Vogels, I., Sekulovski, D. & Perz, M. (2011). *Visible artefacts of LEDs*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 *LED flimmer stroboscopic*.

- Wojtysiak, A. & Lang, D. (2013). *Application studies on non-visual effects of light with traditional and solid state light sources*. Paper presented at the Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013. LED cirkadisk kontor
- Wright, H. R., Lack, L. C., & Partridge, K. J. (2001). Light emitting diodes can be used to phase delay the melatonin rhythm. *Journal of Pineal Research*, 31(4), 350-355 LED cirkadisk hälsa melatonin blått ljus ljusbox.
- Yamagishi, M., Kubo, C. & Yamaba, K. (2012). Investigation of Lighting Condition for Elderly People Focused on Appearance of Objects. *Transactions of Japan Society of Kansei Engineering*, 11(3), 373-383 LED symbarhet äldre preferens
- Yamagishi, M., Yamaba, K., Nagata, M., Kubo, C. & Nokura, K. (2010). Studying Light Color using White LED Lighting -Effect of Light Color on Task Performance. *IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials*, 130(3), 247-252 LED fysiologi ekg äldre ljusfärg ljusstyrka arbetsmiljö.
- Yang, E., Kang, H., Kim, J., Kim, J., Jang, H. & Pak, C. (2013). Changes in Perceived Colors of Cut Roses under Florist Shop Lighting. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 82(2), 170-178 LED CRI färgåtergivning butik.
- Yasukouchi, A., Hazama, T. & Kozaki, T. (2007). Variations in the Light-induced Suppression of Nocturnal Melatonin with Special Reference to Variations in the Pupillary Light Reflex in Humans. *Journal of Physiological Anthropology*, 26(2), 113-121 LED melatonin pupillstorlek studenter hälsa ljusstyrka cirkadisk
- Yenchek, M. R. & Sammarco, J. J. (2010). The potential impact of light emitting diode lighting on reducing mining injuries during operation and maintenance of lighting systems. *Safety Science*, 48(10), 1380–1386 LED olyckfall gruva säkerhet.
- Ylinen, A. M., Tahkamo, L., Puolakka, M. & Halonen, L. (2011). Road Lighting Quality, Energy Efficiency, and Mesopic Design - LED Street Lighting Case Study. *Leukos*, 8(1), 9-24 LED gatubelysning energieffektivitet mesopic blandning energibesparing.
- Yoshizawa, N., Fujiwara, T. & Miyashita, T. (2013). *A study on the appearance of paintings in the museum under violet and blue led*. Proceedings of CIE Centenary Conference „Towards a New Century of Light“, Paris, France: April 15/16, 2013.
- Yoshizawa, N., Yamana, Y. & Kurabuchi, T. (2011). *Investigations for the renovation of lighting systems in national museum of Western arts in Tokyo*. Paper presented at the 27th Session of the CIE: Proceedings Sun City/South Africa, 10 July – 15 July 2011 LED museum.
- Yun, G. Y., Kim, H. & Kim, J. T. (2013). Subjective Responses to Changes in

- Spectral Power Distributions of LED Light. *Indoor & Built Environment*, 22(1), 226 *LED preferens prestation spektralfördelning välbefinnande*.
- Zacks, S. (2005). Northern lights: an award-winning building illuminates downtown Glasgow. *Metropolis*, 25(4), 46-46 *LED fasadbelysning utomhusmiljö*
- Zissis, G., & Kitsinelis, S. (2009). State of art on the science and technology of electrical light sources: from the past to the future. *Journal of Physics D-Applied Physics*, 42(17) *LED litteraturgenomgång*