

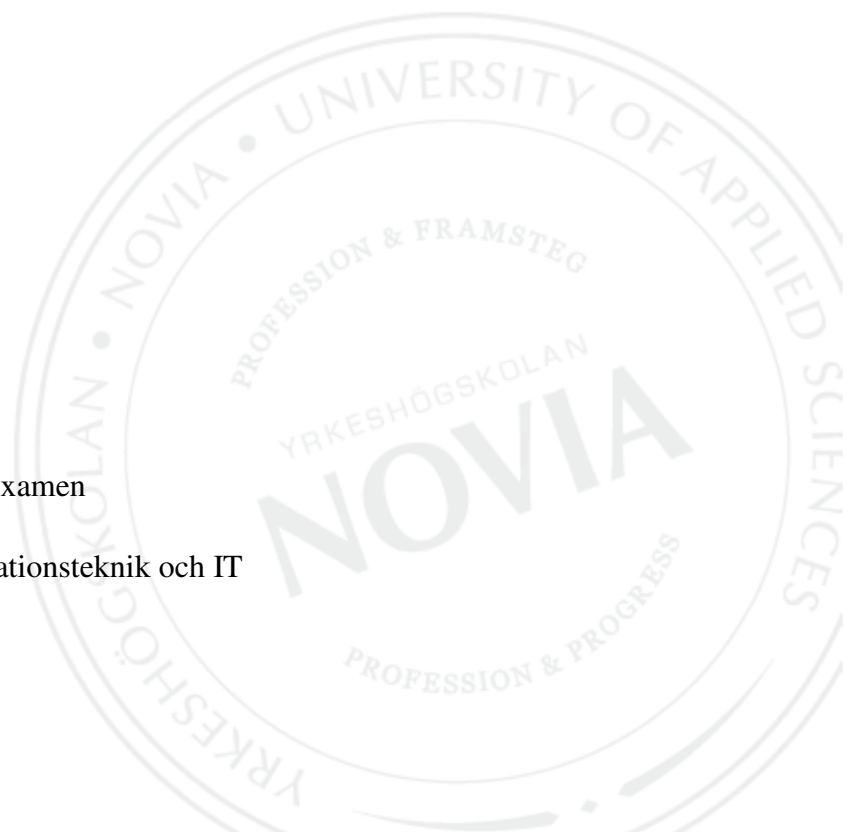
# Användning av LED-teknik i armaturer

Mikael Warelius

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för Automationsteknik och IT

Raseborg 2016



# EXAMENSARBETE

Författare: Mikael Warelius  
Utbildningsprogram och ort: Automationsteknik och IT, Raseborg  
Inriktningsalternativ/Fördjupning: Elplanering  
Handledare: Ulf Lemström

Titel: Användning av LED-teknik i armaturer

---

Datum: 30.3.2016      Sidantal: 38      Bilagor 0

---

## Abstrakt

LED-tekniken slår igenom på marknaden allt snabbare och nya användnings- och tillämpningssätt uppfins konstant. Syftet med detta examensarbete är att ge läsaren ett begrepp på olika LED-paket samt förstå vad allt som krävs för att få en pålitlig och fungerande LED-armatur. I första hand kommer det att handla om strålkastare som främst används inom affärsbelysning. Framstegen inom LED-tekniken är otroligt snabba i dagens läge och nya generationer av LED-moduler med bättre prestanda förekommer t.o.m. två gånger om året.

Tack vare mitt jobb har jag erfarenhet t.o.m. från LED-lösningar som ännu inte är öppet tillgängliga. LED-tekniken har lite olika krav än de konventionella ljuskällorna. Saker som värmeutveckling, LED-paketeringstyper samt olika krav på drivdon är saker som måste tas i beaktande. Olika sätt att dimma LED-moduler kommer också att beskrivas.

Resultatet av detta examensarbete är en simpel handbok för dem som vill få förståelse för LED-armaturer samt dess komponenter.

---

Språk: Svenska      Nyckelord: LED, LED armatur

---

# OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Mikael Warelius  
Koulutusohjelma ja paikkakunta: Automationsteknik och IT, Raasepori  
Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Sähkösuunnittelu  
Ohjaaja: Ulf Lemström

Nimike: LED-tekniikan käyttö valaisimissa

---

Päivämäärä: 30.3.2016 Sivumäärä: 38 Liitteet: 0

---

## Tiivistelmä

LED-tekniikka lyö läpi markkinoilla aina vain nopeammin, ja sitä myötä uusia käyttötapoja keksitään jatkuvasti. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on antaa lukijalle käsityksen erilaisista LED-paketeista sekä samalla ymmärtää mitä kaikkea vaaditaan, että saadaan rakennettua toimiva sekä luotettava LED-valaisin. Ensisijaisesti tämä opinnäytetyö käsittelee kohdevalaisimia, joita käytetään myymälävalaistuksessa. Edistysaskeleet LED-tekniikan saralla ovat nykypäivänä todella nopeat. Uusia LED-sukupolvia, joilla on parempi suorituskyky, julkaistaan jopa kaksi kertaa vuodessa. Työtehtävistäni johtuen minulla on käyttökokemuksia LED-sukupolvista, joita ei ole vielä julkistettu. LED-tekniikalla on hieman eri vaatimukset kun tavanomaisilla valonlähteillä. Lämmöntuotto sekä -hallinta, erilaiset liitäntälaitteet sekä erityyppiset LED-paketit ovat asioita, joita tulee huomioida jo valaisimen suunnittelun aikaisessa vaiheessa. Työssä käsitellään myös LED-valaisimien erilaisia himmennystapoja. Lopputuloksena on yksinkertainen käsikirja niille jotka haluavat paremmin ymmärtää LED-valaisimia ja siihen kuuluvia komponentteja.

---

Kieli: Ruotsi Avainsanat: LED, LED valaisin

---

## **BACHELOR'S THESIS**

Author: Mikael Warelius  
Degree Programme: Automation Engineering and IT, Raseborg  
Specilization: Electrical Systems Design  
Supervisor: Ulf Lemström

Title: The Usage of LED Technology in Luminaries

---

Date: 30 March 2016      Number of pages: 38      Appendices: 0

---

### **Summary**

LED-technology is breaking through on the market faster and faster and new ways of usage are constantly developed. The purpose of this thesis is to give the reader an idea of different LED-packages and to describe what is needed to make a working and reliable LED-luminaire. The focus of this thesis will revolve around spotlights used in shop-lighting. The progress of LED modules is nowadays rapid and new LED module generations are published as often as twice a year. Thanks to my job position I have practical knowledge of LED-packages that are not even yet published. LED-technology sets different demands compared to conventional light sources. Things like heat-development and management, different types of drivers and LED-packages have to be noted at the early stages of the development process. Different methods of LED luminaire dimming will also be explained.

The result of this thesis is a simple handbook for those who better want to understand LED-luminaires and the components used in them.

---

Language: Swedish Key words: LED, LED luminaires

---

## Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
2 Syfte.....	1
3 Vad är en LED? .....	1
3.1 Kort historik om LED.....	2
3.2 Olika huvudgrupper av lysdioder .....	3
3.2.1 Traditionella oorganiska lysdioder (LED).....	3
3.2.2 Organiska lysdioder (OLED) .....	4
3.2.3 Lysdioder med hög ljusstyrka (HBLED – High Brightness LED).....	5
3.3 Vita lysdioder.....	5
3.3.1 RGB-metoden/Additiv färgblandning .....	5
3.3.2 Fosforbeläggning .....	6
3.3.3 CCT .....	7
3.3.4 CRI .....	8
4 Olika lysdiodspaket .....	8
4.1 SMD-lysdiod .....	9
4.1.1. Montering av SMD-lysdiod.....	9
4.1.2 SMT – Surface Mount Technology .....	9
4.1.3 SMT-produktion .....	9
4.1.4 SMD-lysdiod, tekniska detaljer .....	10
4.2 COB-lysdioder – Chip on Board .....	12
4.2.1 MCPCB .....	13
4.2.2. Allmänt om COB.....	13
4.2.3 Exempel – Citizen CLU038-1206C4 COB lysdiodsljuskälla .....	13
4.2.4 Montering av COB .....	14
4.2.5 Montering utan COB-hållare .....	15
4.2.6 Övriga viktiga installationsinstruktioner .....	15

4.3 MCOB – Multiple Chips on Board .....	16
4.4 AC COB .....	16
5 Drivdon för lysdioder .....	17
5.1 Konstantströmsdrivdon.....	18
5.2 Konstantspänningsdrivdon .....	19
5.3 SELV – Safety Extra Low Voltage .....	19
5.4 Strömrippel – Flickering.....	19
5.5 Dimning och kontrollering av lysdiodljuskällor.....	21
5.5.1 PWM-dimning.....	22
5.5.2. CCR-dimming .....	22
5.5.3 DALI.....	23
5.5.4 Zigbee .....	23
6 Optik .....	24
6.1 Linser .....	25
6.2 Reflektorer .....	26
7 Lysdiodernas värmehantering.....	27
7.1 Passiv kylning av lysdioder .....	28
7.2 Aktiv kylning .....	30
8 Slutord .....	30
Källförteckning.....	32

## 1 Inledning

På den senaste tiden har LED-tekniken inom belysningsvärlden tagit stora steg framåt. De konventionella ljuskällorna byts ut till energisnålare LED-alternativ, detta ser man redan t.ex. i mataffärernas el-avdelning. Gamla 20 och 30 W halogenlampor börjar bytas ut mot energisnåla LED-alternativ. Energisnålhet och hållbarhet är LED-teknikens kännetecken. För att uppnå dessa statusar kräver det noggrann planering av komponenter omkring LED-paketet. Drivdon, reflektor/lins samt värmehantering är saker som påverkar LED-paketets prestanda.

Omkring LED-tekniken finns det också flera påståenden som inte stämmer, hoppeligen efter att ni läst detta har ni en uppfattning om vad som stämmer och vad som inte gör det.

## 2 Syfte

Syftet med detta arbete är att ge läsaren ett bättre begrepp om LED-teknik och LED-armaturer. Samtidigt fungerar detta som en tankesamlare åt mig eftersom jag saknade kunskap om dessa tekniker innan jag började jobba med dem. Därför är min praktiska kunskap betydligt bättre än den teoretiska. Dessutom passar detta ämne bra in i modern tid då energibesparingar söks på varje front och det är därför LED-tekniken har slagit igenom på marknaden.

## 3 Vad är en LED?

Ordet LED eller L.E.D kommer från engelskans "*Light Emitting Diode*" vilket på svenska blir "*lysdiod*". Den är en halvledare som emitterar bland annat synligt ljus då en elektrisk ström förs igenom den. Färgen av ljuset beror på vilket halvledarmaterial som används. (*LEDsmagazine, 2004*)

Det fenomen vilket ljuset produceras av heter elektroluminiscens. Detta fenomen uppkommer i vissa material då de utsätts för elektromagnetisk strålning. Materialet kan vara både organiskt och oorganiskt. Båda alternativen används för att tillverka lysdioder. (*AlltOmLED, 2012*)

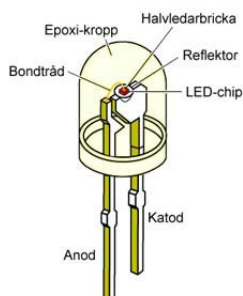
Till skillnad från fluorescerande ljuskällor (t.ex. lysrör) eller glöd- och halogenlampor som använder sig av uppvärmda filament för att skapa ljus, skapas ljuset i lysdioden inne i halvledarmaterialet och kallas därför "*solid-state lighting*" eller halvledarbaserad belysning. (*LEDsmagazine, 2004*)

Som tidigare nämnts, används olika material i lysdioden för att skapa vissa färger. Nedan kan vi se en tabell som berättar vilka halvledarmaterial som kan användas för att skapa vissa färger i konventionella lysdioder.

Halvledarmaterial	Färgen på ljuset
Aluminium galliumarsenid (AlGaAs)	Rött och infrarött
Indium galliumnitrid (InGaN)	Blått, grönt och ultraviolett
Aluminium gallium indiumfosfid (AlGaInP)	Gul, orange och röd
Galliumfosfid (GaP)	Gula och gröna lysdioder

Tabell 1 Typiska halvledarmaterial som används vid lysdiods produktion (*LEDsmagazine, 2004*)

Nedan ser ni hur en typisk lysdiod är uppbyggd. Halvledarmaterialet läggs på halvledarbrickan, som är kombinerad med en reflektor.



Figur 1 En konventionell lysdiod och dess olika delar (*AlltOmLED, 2012*)

### 3.1 Kort historik om LED

Fastän många tror att lysdioden är en ny uppfinning så är den inte det. Lysdiodens fader, rysken Oleg Vladimirovitj Losev uppfann lysdioden under 1920-talet. (*Wikipedia, u.å.*)

Det var redan år 1907 som engelsmannen Henry Joseph Round upptäckte att oorganiska material kan producera ljus med hjälp av elektricitet. Men eftersom han jobbade inom marinbranschen med andra saker var hans upptäckt snabbt bortglömd fastän han beskrev fenomenet i sin bok *"Electrical World"*. År 1935 upptäckte den franska fysikern



Ljusemission i zinksulfid och för att visa sin respekt för rysken Losev, kallar han fenomenet "Losev light" alltså "Losevs ljus". (Osram, 2012)

Den första industriellt producerade lysdioden uppfanns av Nick Holonyak 1962, en amerikan vars föräldrar var immigranter från Ukraina. Nick jobbade då för det gigantiska amerikanska bolaget General Electric. (GE-Lighting, 2015)

Under 1970-talet började produktionen för gröna, orangea och gula lysdioder. Efter det hände nästa stora framsteg först på början av 1990-talet då japanska Shuji Nakamura utvecklade den första effektiva blåa lysdioden som baserade sig på Indium galliumnitrid-halvledarmaterialet. År 1995 uppkom den första vita lysdioden. (Osram 2012)

År 2006 presenteras den första lysdioden som kan producera över 100 lumen per watt, det är endast gasurladdningslampor som kan prestera bättre. Härefter går utvecklingen snabbt då det år 2010 förekommer lysdioder som med specifik färg klarar av att producera 250 lumen per watt under laboratorieförhållanden. (Osram 2012)

## **3.2 Olika huvudgrupper av lysdioder**

Under åren har flera typer av lysdioder utvecklats, men de kan grupperas in i 3 huvudgrupper. Grupperingen baserar sig på både tillverkningsmetod och användningsområden. (Poole, u.å.)

### **3.2.1 Traditionella oorganiska lysdioder (LED)**

Till denna grupp hör de lysdioder som var först tillgängliga, alltså de som Nick Holonyak uppfann. Dessa lysdioder används mera för signalgivningsändamål, dvs. signaltavlor, indikatorer osv. (Poole, u.å.)

- 5mm enfärgade lysdioder
- Ytmonterade lysdioder
- Flerfärgade lysdioder
- Blinkande lysdioder



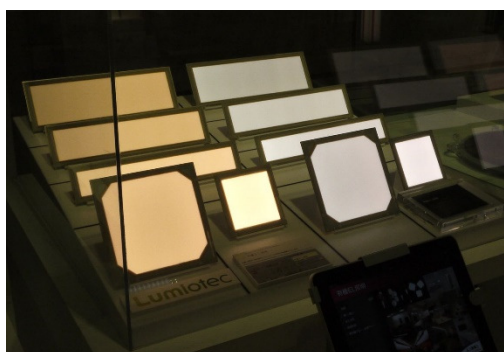
*Figur 2 En traditionell enfärgad 5mm lysdiod från Cree (Cree, u.å.)*



*Figur 3 En Lumileds ytmonterad lysdiod för bilindustrin (Lumileds\_DS137, u.å.)*

### **3.2.2 Organiska lysdioder (OLED)**

De organiska lysdioderna följer samma funktionsprinciper som oorganiska lysdioder. Men istället för oorganiska material används organiska material för att producera ljus. (*Ian Poole – LED Types summary*) Med organiska lysdioder kan man skapa paneler som kan böjas utan att de förstör panelen eller lysdioderna. Man har även konstaterat att organiska lysdioder lämpar sig bra för användning i olika slags skärmar för PC- och hemelektronik. Så kallade OLED paneler behöver inte bakbelysning och har bra färgåtergivning. Samsung och LG tillhör de största producenterna i världen. (*OLED-info, u.å.*)



*Figur 4 Olika OLED paneler (Wikipedia OLED, u.å.)*

### 3.2.3 Lysdioder med hög ljusstyrka (HBLED – High Brightness LED)

HBLED bygger på samma funktionsprincip som traditionella lysdioder, men producerar mycket mera ljus och därför är dessa lysdioder de mest allmänna i belysningsindustrin där det behövs mera ljus än vad de traditionella lysdioderna klarar av. Dessa lysdioder måste klara av en betydligt högre ström än traditionella lysdioder och måste därför oftast kylas ner med hjälp av kylflänsar eller dyligt. (*Poole, u.å.*)

Fördelarna med HB-lysdioder, förutom att de producerar mera ljus, är att de har längre livstid, lägre kostnad och kan produceras så att de är RoHS-kompatibla. Då traditionella lysdioder producerar omkring 20-30 lumen per watt kan HB-lysdioder producera över 100 lumen per watt. (*Ian Poole, u.å.*)

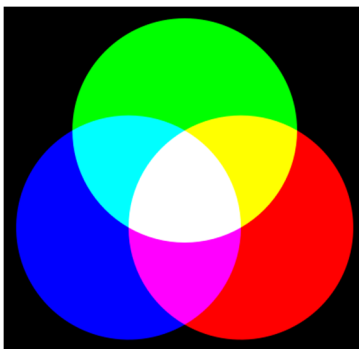
Dessa typer av lysdioder är de huvudsakliga lysdioderna som kommer att beskrivas i detta examensarbete.

### 3.3p Vita lysdioder

Som redan tidigare konstaterats, kan en lysdiod bara producera en färg och vit är inte en av dem. För att lysdioden skall kunna användas som ljuskälla i majoriteten av armaturer måste den kunna producera vitt ljus eftersom majoriteten av hembelysningen är på den vita skalan - detta återkommer jag till senare i texten. Det vi anser som naturligt ljus från solen anses vara vitt ljus. Nedan två vanliga sätt som används för att skapa vitt ljus. (*Solar-Center, u.å.*)

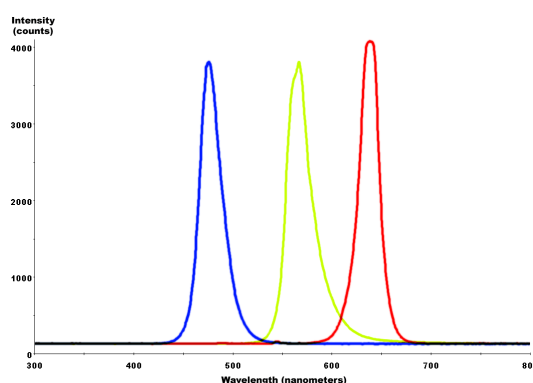
#### 3.3.1 RGB-metoden/Additiv färgblandning

I additiv färgblandning utgår vi ifrån svart färg. Tänk er ett mörkt rum. Sedan lägger vi till basfärgerna röd, grön och blå och därmed får vi vitt ljus. I den additiva färgblandningen blir grönt blandat med rött gult. Den resulterande vita färgen är beroende på i vilka proportioner de olika färgerna är blandade med varandra – tänk dig olika styrkors lysdioder. (*Kursnavet, 2011*)



*Figur 5 Additiv färgblandning med basfärgerna grönt, rött och blått (Wikipedia, u.å.)*

Man kan skapa vitt ljus från en lysdiod då man använder sig av en lysdiodsmodul som innehåller **R**öda, **G**röna och **B**låa lysdioder varifrån också namnet **RGB** kommer. Fördelar med RGB lysdiods ljuskällor är att man har möjligheten att styra färgen på ljuset, även små justeringar. Till de dåliga sidorna kan man räkna dålig färgåtergivning då man använder den som en ljuskälla för vitt ljus eftersom basfärgerna bara är tre.



*Figur 6 Exempel på hur spektralkurvorna kan se ut i ett RGB-system med blåa, gröna och gula lysdioder. X-axeln visar våglängden medan Y-axeln visar intensiteten i counts.*

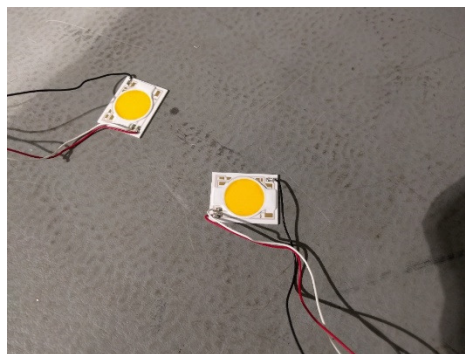
*(Wikipedia, u.å.)*

Samtidigt kan ett upplyst objekt orsaka olika färgs skuggor bakom objektet. Mera komplex drivdon eller övrig styrning krävs för att kontrollera de olika färgernas lysdioder. (*Philips, u.å.*)

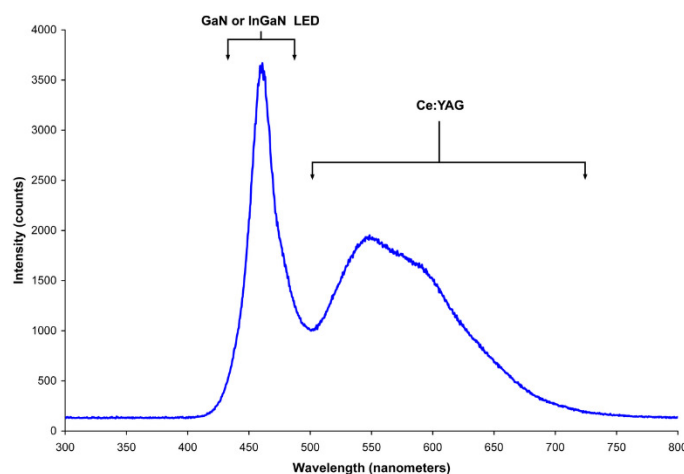
### 3.3.2 Fosforbeläggning

För att skapa vitt ljus kan man också tillägga en yta av fosfor ovanpå lysdioden. Fosforytans uppgift är att konvertera en del av det ursprungliga ljuset till andra färger. Flera olika lager kan användas för att nå bättre färgåtergivning. Det enklaste sättet är att använda blåa lysdioder med en fosforyta, som konverterar en del av ljuset till gult ljus. Kombinerat bildar de vitt ljus. Men med denna metod blir färgåtergivningen dålig. För varje fosforlager som

tilläggs minskar ljusmängden som kommer igenom lagret, men färgåtergivningen förbättras och blir varmare i färgen eftersom blåa ljusets mängd minskar. (Philips, u.å.)



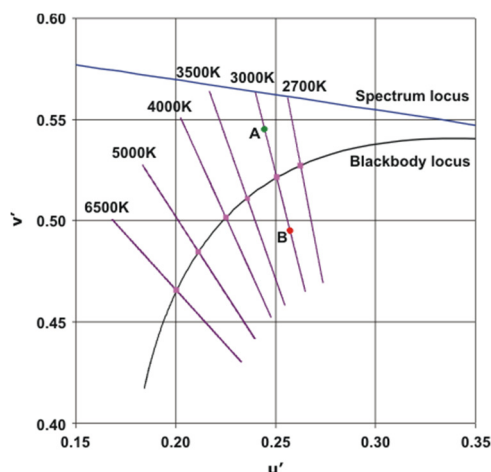
Figur 7 Några COB lysdiodsljuskällor som jag hade. Det gula är fosforlagret, under det hittar man lysdioderna. Bilden är självtagen



Figur 8 Figur 8 Spektralkurvan för en Galliumnitrid eller Indium Galliumnitrid-lysdiod som har en Ce:YAG fosforyta på sig. (Wikipedia, u.å.)

### 3.3.3 CCT

För att beskriva nyansen på det vita ljuset som olika ljuskällor emitterar kan man använda sig av CCT-värden. CCT står för "Correlated Color Temperature" som bestämmer vita ljusets nyans i grader Kelvin. De flesta ljuskällor ligger mellan 2700 K till 6500 K. Desto lägre värdet är desto mera röd nyans finns det i ljuset. 2700-3000K området anses vara varmt ljus medan 4000-6500K anses vara kallt ljus. Det är viktigt att veta att CCT bara är en ungefärlig beskrivning på nyansen. CCT baserar sig på CIE 1976 kromaticitetsdiagrammet. Till varje ljuskälla kan exakta koordinater bestämmas som berättar exakt vilken nyans ljuset har, men användningen av dessa koordinater anses vara svårare för konsumenten att uppfatta än CCT.



Figur 9 CIE 1976 diagram som visar sex stycken isotermlinjer som används för att bestämma CCT-värdet för en ljuskälla (Lighting research center, 2004)

I figur 9 finns två ljuskällor som båda ligger på 3000 K isotermlinjen och anses därför ha en CCT på 3000 K. Om dessa ljuskällor skulle lysa på en vit vägg skulle ljuskälla A ha en mera grönaktig nyans medan ljuskälla B skulle verka lite lila. (Lighting research center, 2004)

### 3.3.4 CRI

För att bestämma ljuskällans egenskaper för att visa olika färger naturligt använder man sig av ett CRI-värde för ljuskällan. CRI står för "color rendering index". Högsta CRI-värdet en ljuskälla kan få är 100. Glödlampor anses ha det bästa möjliga CRI och den är oftast 95 eller högre. Desto lägre CRI-värdet är desto onaturligare kan vissa färger uppfattas vara under ljuskällans sken. CRI bestäms via åtta stycken färgmodeller som är bestämda i CIE 1995. Då man mäter en ljuskälla mäter man skillnaden som upptäcks mellan den uppmätta ljuskällan och en glödlampa eller annan referensljuskälla med samma CCT. Ju mindre skillnad det är i färgernas renhet, desto högre CRI får ljuskällan. (Lighting research center, 2004)

## 4 Olika lysdiodspaket

Eftersom en enskild lysdiod kanske inte producerar tillräckligt med ljus för att kunna t.ex. belysa ett rum så som t.ex. en 60W glödlampa gör så måste man kombinera flera lysdioder i ett paket som sedan fungerar som en ljuskälla. Detta gör också kontrolleringen av temperaturen lättare eftersom belastningen delar sig på flera lysdioder.

## 4.1 SMD-lysdiod

Förkortningen SMD kommer från Surface Mount Device, vilket betyder ytmonterad apparat. Denna brukar oftast monteras fast på ett kretskort. Lysdioden sitter inne i ett paket som kan vara gjort av keramik eller plast beroende på användningstemperaturen. Den beskrivs oftast med en fyrsiffrig kod, t.ex. 5050 eller 3528. Dessa fyra numror beskriver dimensionerna på paketet i millimeter, t.ex. 5050 står för 5,0 x 5,0 mm. Typiska användningsområden inom belysning är lineära lösningar. Eftersom de för lite utrymme kan de monteras nära varandra så att belysningshelheten från armaturen är så jämn som möjlig. (*Nakao, 2013*)

### 4.1.1. Montering av SMD-lysdiod

SMD-komponenter använder SMT-teknologi då de monteras på kretskortet. SMT står för Surface Mount Technology som fritt översatt står för ytmonteringsteknologi. (*Kiwi Lighting, 2013*)

### 4.1.2 SMT – Surface Mount Technology

Eftersom SMD-komponenter oftast är väldigt små så är de svåra att montera för hand. Dessutom saknar de anod- och katodfötter, vilka underlättar monteringen då den görs för hand. Eftersom alla delar i en SMD-komponent är mindre än den traditionella variantens (5mm lysdioden), minskar de på kretsens kapacitans och induktans. SMD-komponenter är också oftast billigare än traditionella elektroniska komponenter. (*Poeth, 2003*)

### 4.1.3 SMT-produktion

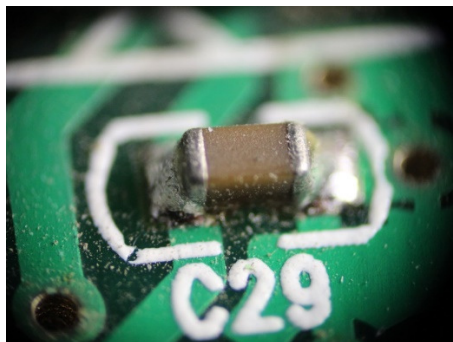
Före komponenterna placeras har kretskortet redan fått lödningspasta på de ställen var man senare vill löda komponenterna fast i kretskortet. Lödningspasta ”printas” på kretskortet med hjälp av silk-screen-metoden.

SMD-komponenterna kommer oftast på brickor eller på rullor. En tillverkningsrobot plockar upp dessa komponenter och placerar dem på kretskortet. Hastigheten på roboten varierar, men t.ex. ESO-Electronics robotar klarar av 25000 komponentsplaceringar i timmen.

Efter att komponenterna har blivit placerade på kretskortet går korten vidare till lödningsprocessen. Det finns två olika lödningsmetoder. En av dem heter reflow-lödning. I reflow-lödningsprocessen placeras kretskortet tillsammans med sina komponenter i en nitrogenfylld kammare som sakta värms upp till en sådan temperatur att lödningspastan smälter och

flussmedlet som pastan innehåller har ångat bort. Efter det kyls kretskorten sakta ner då tennet som var kvar i pastan stelnar och binder komponenterna fast i kretskortet.

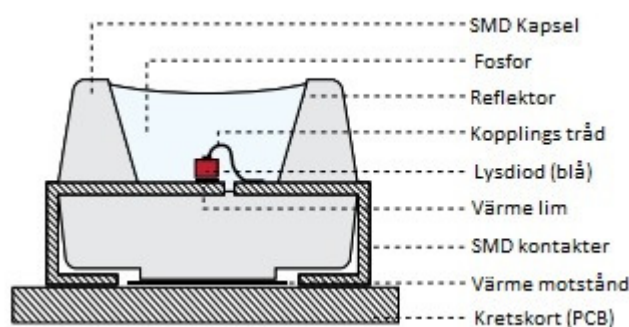
En annan metod kallas Vapor-Phase-lödning. Med denna teknik värms kretskortet upp till den lägsta möjliga temperaturen som räcker till att smälta lödningspastan. Denna metod möjliggör lödning under lägre temperaturer samt möjliggör lödning av olika komponenter i olika temperaturer. Denna metod lämpar sig bra för lödning av känsliga komponenter. (*ESO-Electronics, 2014*)



Figur 10 En ytmonterad kondensator på ett kretskort. (Wikipedia, u.å.)

#### 4.1.4 SMD-lysdiod, tekniska detaljer

SMD-lysdioder har oftast en bred stältningsvinkel eftersom de saknar epoxiskydd som de normala 5 mm lysdioderna har. Epoxiskyddet samlar ljuset så att stältningsvinkeln blir mindre. (*Lightingmarket, u.å.*)

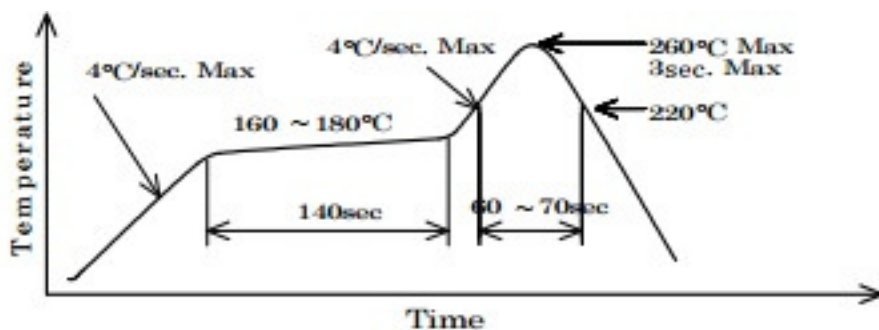


Figur 11 Uppbyggnad av en SMD-lysdiod med inbyggd optik (Tridonic, u.å.)

SMD-lysdioder lämpar sig bättre för allmänbelysning än punktbelysning. Detta eftersom SMD-lysdioderna kräver större areal för att uppnå samma effekt som t.ex. COB-lysdiodpaketen. (*Tridonic, 2015, s.8*)



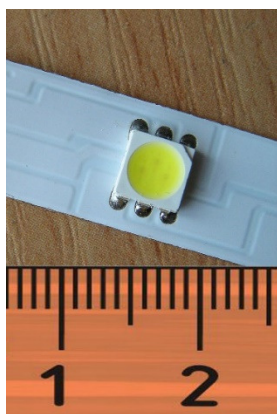
Citizens CL-L400 seriens 5050 SMD lysdiod har en effekt på 1 Watt och en ljusstyrka på 116 lumen på 3500 Kelvin. Den fungerar på 3,01 V likströmsspänning med en ström på 350mA. Högsta tillåtna strömmen är 600mA och högsta tillåtna effekten 2,3 W. Denna lysdiod tillämpar sig för reflow-montering. Pastan bör vara av den typen att den smälter vid 216 – 220 °C.



Figur 12 Citizens reflow-instruktioner för CL-L400 SMD lysdioden (Citizen, u.å.)

Användning av konstantströmsdrivdon är rekommenderat. Om man vill använda konstantspänningsdrivdon rekommenderar Citizen att ett strömbegränsande motstånd används i kretsen. Mera information kring detta finns i kapitlet som handlar om COB-lysdiodspaketet. (Citizen, u.å.)

SMD-lysdioder kan också vara färdigt utrustade med en optisk lins som styr ljuset ut på olika sätt enligt behov. (Osram, u.å.)



Figur 13 Bild på en 5050 SMD-lysdiod (Wikipedia, u.å.)



Figur 14 Tridonics SMD lysdiodsmodul (Tridonic, 2015)

## 4.2 COB-lysdioder – Chip on Board

Förkortningen COB kommer från Chips-On-Board och har blivit väldigt populär inom belysningsindustrin. I COB-lysdiodsljuskällan arrangerar man flera lysdioder på ett område på ett gemensamt substrat via icke-strömledande lim. Lysdioderna kopplas med kopplingstrådar. Kombinationerna kan variera från några stycken till flera hundra. Oftast används blåa lysdioder, som alla ligger under ett gemensamt fosforlager som hjälper till att skapa den ljusfärg man är ute efter. Som basmaterial används oftast MCPCB eller keramiska kretskort. (Jokelainen, 2015).

COB-lysdiodsljuskällan lämpar sig bra för punktbelysning eftersom arealen för den ljusemitterande ytan är såpass liten. Den är mera komplicerad att tillverka än SMD-lysdioden men till fördelarna hör bättre temperaturkontroll samt bättre lysdensitet. (Tridonic, 2015. s.8)



Figur 15 COB-lysdiodspaketets uppbyggnad (Tridonic, 2015)

### 4.2.1 MCPCB

MCPCB står för Metal Core PCB och använder antingen aluminium, koppar eller andra legeringar som värmeöverförande material på baksidan av kretskortet för att bättre leda bort värme från komponenterna som är fästa på framsidan. (*San Francisco Circuits, u.å.*)

### 4.2.2. Allmänt om COB

COB-lysdioder kan ha en effekt på allt mellan 2 och 200 Watt och en ljusstyrka på 30000 lumen. När man talar om sådana effekter bildas också en hel del värme och COB-lysdioder kräver så gott som alltid en extra kylfläns för att hålla temperaturen under kontroll. COB-lysdioden är också flexibel eftersom den går att köra med antingen högre eller lägre ström än vad den ursprungligen var menad för. Det man också bör komma ihåg är att värmen och ljusflödet följer därefter. Mera ström betyder mera ljus, men också mera värme. Flera tillverkare använder olika mängder lysdioder fastän bottenplattan skulle vara densamma. Det gör det lättare för t.ex. armaturstillverkarna att tillämpa samma optik för COB-lysdioden, men möjliggör bättre reglering av ljusflödet. Oftast har en armatur en COB-lysdiods ljuskälla, men då man behöver mycket belysning kan flera COB-lysdiodsljuskällor användas. Skuggan som ett upplyst objekt skapar har också mycket skarpare linjer eftersom ljuset kommer från ett så litet område jämfört med t.ex. SMD-lysdiodsbaserade armaturer där ljuspunkterna är spridda på ett större område. (*Jokelainen., 2015*)

### 4.2.3 Exempel – Citizen CLU038-1206C4 COB lysdiodsljuskälla

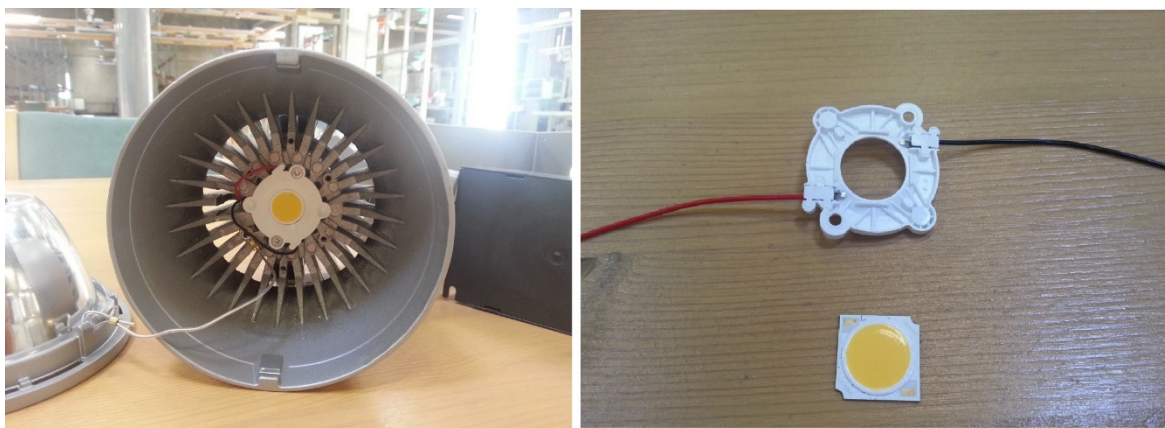
Som exempel kan vi ta Citizens CLU038-1206C4-303M2K1 COB-lysdiodsljuskälla. Enligt databladet har den tolv lysdioder per rad och sex stycken rader vilket betyder att den innehåller 72 lysdioder. Dessa lysdioder finns innanför den ljusemitterande ytan som består av gulfärgat fosfor och har en diameter på 14,5 mm. Dimensionerna på denna COB-lysdiodsljuskälla är 19 x 19 x 1,8 mm. Högsta tillåtna strömmen är 1380 mA medan högsta tillåtna effekten är 58,8 Watt. Spänningen varierar från 31,8 – 37,5 VDC. På 540 mA producerar den cirka 2,742 lumen och har en effektivitet på 150 lumen/watt. Högsta tillåtna temperatur från mätpunkten Tc är 105 grader Celsius. Tc-punkten är belägen på katodlödningsplattan. (*Citizen, u.å.*)



*Figur 16 Citizen CLU038-1206C5 COB-lysdiodljuskälla (Citizen, u.å.)*

#### 4.2.4 Montering av COB

COB monteras fast med skilda hållaren. I armaturen som jag öppnade var hållaren gjord av plast och hade små metallfjädrar där ledarna var fastkopplade. Fjädrarnas uppgift var att överföra strömmen till COB-lysdioden. Hållaren var fastspänd med två skruvar.



*Figur 17 COB-lysdiodljuskälla demonterad från en LED armatur. Bilden är självtagen.*

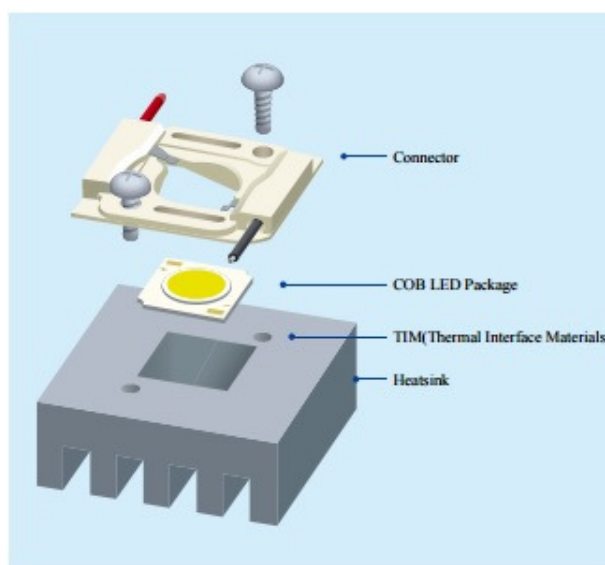
Det finns flera tillverkare som säljer COB hållare för olika modeller. Till dessa hör b.l.a. Stucchi (*Stucchi, u.å.*), Bender&Wirth (*Bender&Wirth, u.å.*) och BJB (*BJB, u.å.*). Hållarna möjliggör lättare montering av COB-lysdiodljuskällor och de kan vara utrustade med olika snabba monteringsfunktioner för kablarna samt optiken som skall användas.



*Figur 18 Stucchis COB-hållare för Bridgelux ES COB (Stucchi, u.å.)*

### 4.2.5 Montering utan COB-hållare

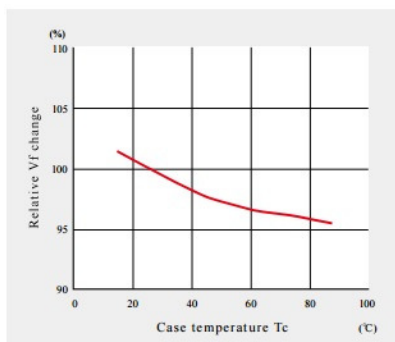
Alternativt kan man löda kablarna direkt på COB:s lödningspunkter (Anod och Katod). När man löder måste man vara försiktig att man inte värmer COB:n för mycket. Så gott som alla COB-tillverkare har instruktioner för hur man skall gå till väga för att inte söndra COB:n under monteringsprocessen. COB-hållaren är inte heller nödvändig i alla fall. Citizen har t.ex. möjlighet att skruva COB:n direkt fast med M3-skrivar. Det finns två hörn på COB:n som är menade för fastsättning. Användning av extra kylning är ett måste för att garantera funktionaliteten av COB-lysdiodspaketet för längre användningstider.



Figur 19 Citizens reference monteringsbild (Citizen, u.å.)

### 4.2.6 Övriga viktiga installationsinstruktioner

Utöver ovannämnda saker rekommenderar Citizen att olika TIM (Thermal Interface Material) skall användas. Detta behandlas mera senare i texten. Citizen rekommenderar också att deras COB-lysdiodprodukter skall användas tillsammans med ett konstantströmsdrivdon. Konstantspänningsdrivdon är inte rekommenderade eftersom de kan leda till instabilt ljusflöde eftersom spänningen lysdiods paketet fungerar på sjunker då COB-lysdiodpaketet blir varmare. Detta leder till att strömmen som passerar genom lysdiodspaketet höjs. Detta leder till ökat ljusflöde samt högre temperatur. Konstantströmsdrivdon håller den valda strömmängden konstant oberoende av spänningen. (Citizen, u.å.)



Figur 20 Figuren visar COB-lysdiodljuskällans framspänningsvariation då temperaturen ökar (Citizen, u.å.)

### 4.3 MCOB – Multiple Chips on Board

Som namnet redan säger är MCOB i princip flera COB-lysdiodspaket som är monterade på ett gemensamt substrat. Denna typ av paketering är allmän bl.a. i lysdiodlampor som liknar glödlampor och använder samma E27 eller motsvarande fästningsmetod. Genom att dela på belastningen på flera COB-lysdiodljuskällor får man bättre effektivitet samt värmehanteringsegenskaper. Varje COB-modul ligger inne i en optisk kopp. Detta gör hanteringen av ljusflödet lättare då utstrålningsvinkeln kan påverkas med att använda olika vinklar för de olika COB-lysdiodsmoduler som finns på samma MCOB lysdiodspaket. Som substrat kan aluminium, keramik och glas användas. (MCOB, u.å.)

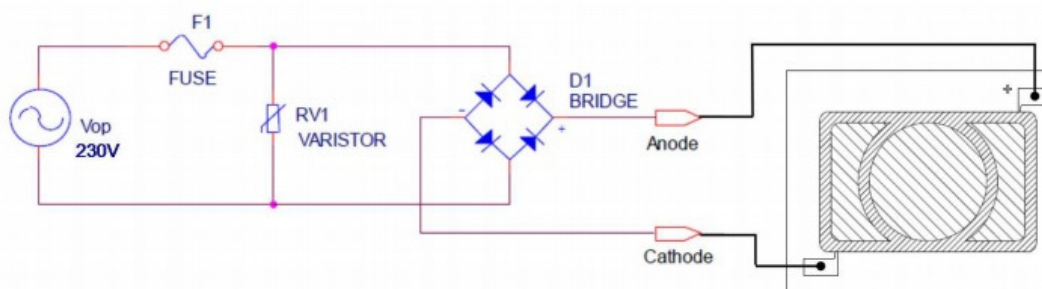


Figur 21 MCOB-lysdiodsljuskälla (MCOB, u.å.)

### 4.4 AC COB

AC COB är inte egentligen ett paketeringssätt, utan snarare en egen funktionsprincip. Dessa AC COB-lysdiodljuskällor är gjorda för att eliminera behovet av ett utomstående drivdon. AC COB behöver endast en likriktare som konverterar växelspanning (AC) till likspänning (DC). Det används ofta keramiskt substrat för bättre elektrisk isolering. Detta möjliggör billigare armaturlösningar eftersom drivdonet kan lämnas bort.

Citizens CLL176-A092A5 är en AC COB. Den producerar 945 lumen med en effekt på 10,6 W (3000 K version). Helt utan överlopps elektronik klarar man sig inte. Utöver helvågsl riktare rekommenderar Citizen att en varistor samt en säkring bör användas. Högsta tillåtna Tc-temperaturen är lite lägre än deras vanliga COB-lysdiodljuskällor då den endast är 85 °C. Tc-mätningpunkten befinner sig på katodanslutningspunkten. (Citizen, u.å.)



Figur 22 Citizens referensskrets för drivning av deras COB+ AC COB lysdiodljuskällor. Bilden visar hur säkringen (F1) samt varistorn (RV1) skall kopplas samt helvågsl riktaren (D1 BRIDGE) (Citizen, u.å.)

## 5 Drivdon för lysdioder

För att kunna driva en eller flera lysdioder i en armatur så måste man använda ett drivdon som kan producera en sådan ström som lysdiodljuskällan behöver. Drivdonet bör kunna adaptera sig efter temperaturen på lysdiodljuskällan eftersom spänningen till ljuskällan ändras efter lysdiodens temperatur. Om drivdonet inte kan anpassa sig enligt detta skulle lysdioden bara bli hetare och därmed dra mera ström från drivdonet ända tills lysdioden slutligen skulle sluta fungera p.g.a. värmen. Därför är konstantströmsdrivdon ett bättre alternativ än konstantspänningsdrivdon för att driva lysdiodljuskällor. (ledsupply, u.å.)

Eftersom nätspänningen runtom världen är växelström kan vi inte direkt använda detta för att driva lysdioder. Lysdioder, såsom största delen av elektroniska apparater, fungerar på likström och då måste drivdonet kunna konvertera från växelström till likström. Det finns både linjära och pulserande varianter. I drivdon som är av den pulserande varianten kopplas de strömhanterande komponenterna på och av på en hög frekvens. Den önskade spänningen eller strömmen kan uppnås med att ändra på kopplingsfrekvensen eller pulsförhållandet. Strömmen överförs sedan vidare med hjälp av kondensatorer och spolar. Strömmen likriktas med hjälp av dioder. Sekundärsidan är oftast fränkopplad från nätspänningen vilket leder till

högre säkerhet för användaren. Drivdonen måste också uppfylla olika standarder som begränsar mängden elektromagnetiska störningar som drivdonen får generera. (*Shuuya, 2011, s.4-5*)

Det finns flera tillverkare av både konstantström och konstantspänningsdrivdon. Till dem hör b.l.a. Osram, Philips, TCI och Meanwell. I detta kapitel kommer vi att tala om växelströmsdrivdon som både konstantström- och konstantspänningsvarianter. Vi kommer också att behandla rippelström, SELV samt dim- och styrfunktioner.



*Figur 23 Osram Optotronic FIT konstantströmsdrivdon (Osram, u.å.)*

## 5.1 Konstantströmsdrivdon

Som tidigare nämnts är konstantströmsdrivdonen det bästa valet för att driva lysdiods ljuspaketkällor.

Ett konstantströmsdrivdon håller den utgående strömmen på en konstant nivå, t.ex. 700mA. Regleringen sköts av integrerade kretsar eller transistorer. (*Vossloh-Schwabe*)

Det finns vissa saker man bör veta då man väljer ett drivdon till en armatur eller lysdiodljuskälla. Till dessa hör bland annat:

- Nominella inspänningen (t.ex. 200-240 VAC)
- Nätfrekvens (50/60 Hz)
- Effektfaktor – engl. Powerfactor (t.ex. >0,95)
- Effektivitet/verkningsgrad t.ex. 87%
- Högsta tillåtna omgivningstemperatur
- Maximala temperaturen på drivdonets Tc-punkt
- Kapslingsklass – t.ex IP20
- Livslängd t.ex. 100,000 h då temperaturen vid Tc = 65°C



- Utspänningsområdet t.ex. 27-54 VDC
- Utgångsrippleström t.ex. <5%
- Utström t.ex. 400 / 450 / 500 mA
- Uteffekt t.ex. 27W (*Osram OT FIT*)

Utström, uteffekt samt utspänning är kanske de tre viktigaste sakerna att granska då man väljer ett drivdon. Tillverkaren av lysdiodljuskällor anger alltid effekten, spänningen samt strömmen som krävs för att operera deras ljuskälla.

## 5.2 Konstantspänningsdrivdon

Konstantspänningsdrivdon används b.l.a. för att driva flera olika lysdiodsgrupper eller -segment samtidigt t.ex. i reklamskyltar. Typiska konstantspänningsdrivdon är 12 VDC eller 24 VDC. Till lysdioderna kopplas då in en strömbegränsande resistor för att skydda dem. Konstantspänningsdrivdon är oftast ett billigare alternativ till konstantströmsdrivdon. Konstantspänningsdrivdonens drivna ljuskällor har oftast sämre reliabilitet eftersom drivdonet kräver en extra konversionsstadiet vilket leder till ökat behov av komponenter i drivdonet. Effektiviteten av kretsen försämras också p.g.a. tidigare nämnda samt användningen av strömbegränsande motstånd vid lysdioderna. (*Frosch, u.å.*)

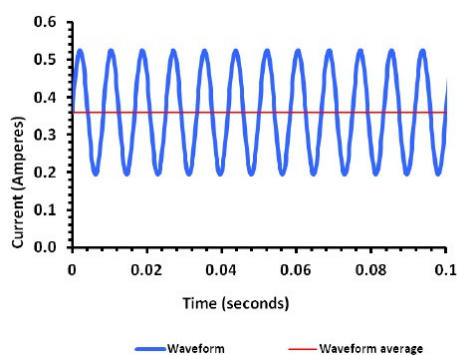
## 5.3 SELV – Safety Extra Low Voltage

SELV är en förkortning för safety extra low voltage vilket på svenska betyder skyddad, extra låg spänning. Ett drivdon som är SELV-godkänd innehåller en skyddstransformator eller en transformator som uppfyller skyddstransformatorkriterierna. Den högsta tillåtna spänningen i en SELV-krets får vara 42,4 V växelström eller 60 V likström. SELV-kretsen får inte vara i beröring med övriga kretsar och vid behov måste extra isolation användas. (*Airaksinen, 2011*)

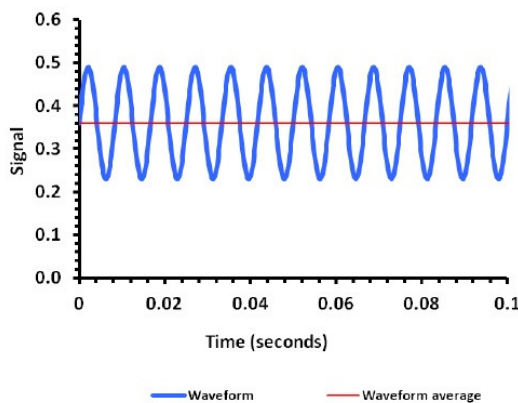
## 5.4 Strömrippingel – Flickering

Så gott som alla växelströmsdrivna ljuskällor producerar flicker, eller enklare sagt blinkningar. Dessa blinkningar som förekommer från ljuskällor har varit kända redan i början av 1900-talet. Studier kring negativa påverkningar på människan har blivit väldokumenterade och till dessa negativa påverkningar tillhör t.ex. migrän, epilepsianfall och trötthet i ögonen. I allmänhet säger man att blinkning som händer mindre än 100 gånger i sekunden, d.v.s. 100 Hz är synligt och över 500 Hz osynligt. Oberoende är det synligt eller

inte är båda skadliga för människan. Det finns inga officiella standarder för blinkning i armaturerna. Blinkning i LED-ljuskällor förknippas oftast direkt ihop med strömrippel som drivdonet har på sekundärsidan. Eftersom lysdioderna har snabb reaktionstid så följer den vågformen som drivdonet utger på sekundärsidan. Frekvensen på sekundärsidan är oftast två gånger nätspänningens frekvens. Det betyder att i Finland var vi har 50Hz nätfrekvens så producerar drivdonet 100 Hz frekvens på sekundärsidan. Det innebär att lysdiodljuskällorna har en blinkfrekvens på omkring 100 Hz. Denna frekvens leder till att strömmen inte är 100 % konstant, utan den varierar. Om vi har en 700 mA konstantström med en strömrippel på 5 % betyder det att strömmen på sekundärsidan varierar från 735 mA till 665 mA 100 gånger i sekunden. Detta leder till att ljusstyrkan i lysdiodljuskällan också varierar. Det är denna variation i ljusstyrkan som vi upplever som blinkningar. I figur 23 ser vi en vågform från ett 350 mA konstantstömsdrivdon med en rippel på 46 %. Vi ser att den utgivna strömmängden varierar jämnt på båda sidorna av det önskvärda strömvärdet på 350 mA. Medeltalet förblir ändå 350 mA. Vi kan också konstatera att denna vågform upprepar sig 12 gånger på 0,1 sekunder, vilket innebär att den är kopplad till 60 Hz nätspänning. Denna strömrippel orsakar variationer i ljusstyrkan på lysdiodljuskällan (se figur 24) (Cree, 2014)



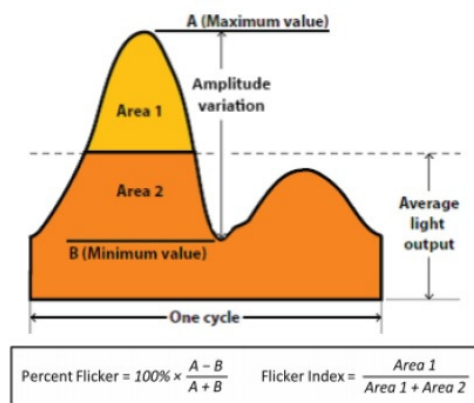
Figur 24 Strömrippel från drivdonet (Cree, 2014)



Figur 25 Variationen i ljusstyrkan på en lysdiodljuskälla (Cree, 2014)

Flickerfenomenet kan bli värre då man dimmar på lysdiodljuskällor. Samma gäller då man använder PWM (Pulse Width Modulation) för att dimma ljusstyrkan på lysdiodljuskällor.

För att förklara mängden blinkningar en armatur eller ljuskälla utger kan man använda sig av flickerindex eller flickerprocent.



Figur 26 Uträkning av flickerindex samt flickerprocent (Cree, 2014)

Figuren ovan visar ljusstyrkan från en ljuskälla och hur den varierar under en svängning. För att beräkna flickerprocenten mäter man skillnaden mellan högsta och lägsta punkten som i figur 25 kan ses som punkt A och punkt B. Som man kan se berättar flickerprocenten mera om hur stor variationen i amplituden är. Flickerindexet jämför områden på bägge sidan av medeltalet för ljusstyrkan. Flickerindexet berättar närmast hur mycket ljusstyrkan överskrider medeltalet under en svängning. Ju mindre värde man har både på indexet och procenten, desto bättre anses ljuskällan vara.

Man kan minska flickret från en lysdiodljuskälla med att tillägga kondensatorer på sekundärsidan som kompenserar variationerna på svängningarna. Detta är inte alltid möjligt t.ex. om det inte finns utrymme att bygga in extra kondensatorer som i t.ex. lysdiodlampor. Därför är det viktigt att redan vid planeringsstadiet försäkra sig om drivdonets strömrippel. Om olika dimningsapparater används tillsammans med lysdiodljuskällan bör man också försäkra sig om att dessa är kompatibla med varandra. (Cree, 2014)

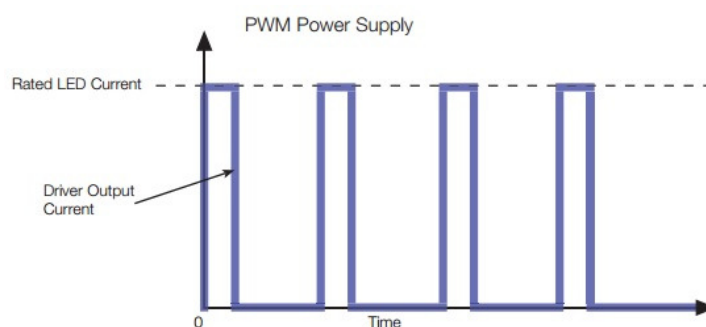
## 5.5 Dimning och kontrollering av lysdiodljuskällor

Lysdiodljuskällornas dimning skiljer sig stort från t.ex. glödlampsdimning. Lysdioderna kontrolleras oftast av ett drivdon. När man dimmar lysdiodljuskällor måste man egentligen tänka saken på det sättet att det är drivdonet som man vill reglera och inte direkt lysdioderna. Samt skall vi gå igenom olika kontrolleringsmetoder som finns för att styra större grupper av armaturer för att uppnå största möjliga energieffektivitet.

### 5.5.1 PWM-dimming

Dimningen av lysdioder kan göras via PWM (Pulse Width Modulation) eller CCR (constant current reduction). Konstantspänningsdrivdon använder sig så gott som alltid av PWM-metoden. PWM-funktionen bryter och kopplar på strömmen i sekundärsidan med en snabb frekvens. Strömmen är antingen det önskade värdet eller noll. Det betyder att lysdioder kommer att stängas av med jämna mellanrum. Nollstadiets längd beror på hur mycket vi har dimmat lysdioderna; ju lägre, desto längre varar noll stadiet.

Figur 26 visar hur strömmen i drivdonets sekundärsida varierar då vi dimmat lysdioderna ner till 25 % av originella effekten. Under 25 % av tiden ger drivdonet full effekt till dioden och 75 % av tiden är strömmen till lysdioderna noll. På grund av snabba svängningar i strömmen kan PWM-metoden öka elektromagnetiska störningar. (*Lutron, u.å.*)

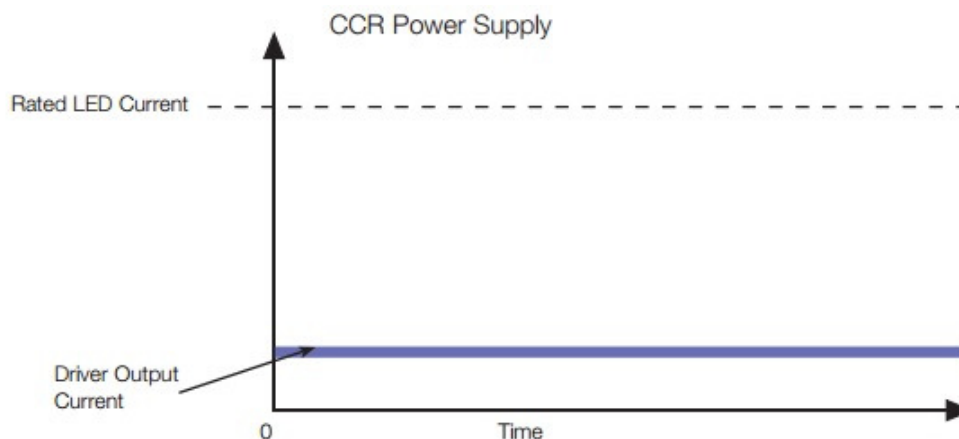


Figur 27 Ett exempeldiagram på PWM-dimming (*Lutron, u.å.*)

### 5.5.2. CCR-dimming

Constant Current Reduction vilket på svenska betyder konstantströmsreducering betyder att man begränsar mängden ström som får passera till lysdioderna. Denna funktion är linjär och kallas även för analog dimming. CCR-dimming ökar inte flickerfenomenet eftersom strömmen hålls på en reducerad, men konstant nivå. Det betyder att också ljusstyrkan hålls på en konstant nivå. CCR-dimming kan i vissa fall ändra egenskaperna på lysdioderna på ett negativt sätt. Vissa lysdioder kan vara specificerade till 3000K ljusfärg på ett visst givet milli-ampere värde. När man ändrar strömmen som passerar till dioderna kan ljusfärgen antingen höjas eller sjunka. Eftersom PWM-metoden alltid ger 100 % effekt förekommer

inte detta i PWM-diming. Figur 27 visar ett exempel då vi dimmar en lysdiodljuskälla ner till 25 % med CCR-metoden. (Lutron, u.å.)



Figur 28 Ett exempel på CCR-diming (Lutron, u.å.)

### 5.5.3 DALI

DALI står för "Digital Addressable Lighting Interface" vilket översatt till svenska skulle betyda "Digitalt adresserbart belysningsgränssnitt" och möjliggör digital kontrollering av drivdon och övriga komponenter.

DALI-systemet har försökts göras så simpelt som möjligt och är inte lika invecklat som t.ex. LonWorks och KNX. DALI kräver inte ändmotstånd eller specialkablar och arbetet kan utföras av en elmontör. DALI är inte menat för att kontrollera hela huset, utan endast belysningen. DALI är betydligt billigare än de tidigare nämnda KNX och LonWorks, och samtidigt kan DALI integreras med existerande automationssystem.

DALI-nätverkets maximala ström är 250 mA och en enskild DALI-komponent får högst förbruka 2 mA. Det betyder att i ett DALI-nätverk kan det finnas högst 125 DALI don. DALI-nätverket kan utökas med flera kontrollers som kopplas ihop med varandra via en router. Maximala adressantalet är 64 och maximala gruppantalet är 16. (Etelälahti, 2011, s.6-7)

### 5.5.4 Zigbee

Zigbee är i all sin korthet ett trådlöst kontrollsystem som kan användas för bland annat belysningskontroll. På slutet av 1990-talet uppkom ett behov för trådlösa kontrollsystem. IEEE grundade år 2000 en arbetsgrupp med namnet 802.15.4 som senare fick namnet

Zigbee Alliance. Deras uppgift var att utveckla Zigbee-tekniken. Första standarden publicerades 2003 och har därefter konstant blivit uppdaterad. Till den ursprungliga arbetsgruppen hörde företag som Honeywell, Invensys, Motorola, Mitsubishi, Philips och Samsung.

Zigbee är optimerad för att vara så energisnål som möjligt. På grund av detta kan batteridrivna Zigbee-apparater fungera i flera år på samma batteri. Zigbee-teknikens applikationsändamål kan kategoriseras i fem grupper. Dessa fem grupper är fastighetsautomation, industriella styrningar, dator- och dess kringutrustning, hälsoteknologi och konsumentelektronik. Zigbee tillhör WPAN-standardfamiljen. WPAN står för "Wireless Personal Area Network" vilket översatt till svenska skulle betyda personligt trådlöst nätverk. Teknikens största fördel är låg energikonsumtion, förmånlighet och trådlöshet.

Zigbee fungerar på frekvensområdet 2,4 GHz, som är det samma som WLAN och Bluetooth fungerar på. Dessutom fungerar den även på 868 MHz i Europa och 915 MHz i USA. Räckvidden på signalen är längre på de lägre frekvenserna men dataöverföringens hastighet är långsammare. (*Kallioniemi, 2009, s.1-6*)

En Zigbee-apparat består av ett minne, en processor, mjukvara, radio, antenn och energikälla. I ett Zigbee-nätverk måste det finnas minst två Zigbee-apparater varav den ena fungerar som nätverkskoordinator. I ett Zigbee-nätverk kan man koppla 65 356 Zigbee-apparater.

I varje Zigbee-nätverk måste det finnas i alla fall en koordinator. Koordinatorns uppgift är att uppehålla adresserna för de olika apparaterna, förmedla information emellan dem samt övervaka och uppehålla apparaternas funktioner.

Det finns tre huvudsakliga nätverkstopologier. Dessa är träd, stjärna och mesh. Dessa olika topologier bestämmer hur informationen inom nätverket rör sig. Apparaterna i nätverket kan själv bilda nätverk och vid behov ändra på det. (*Kallioniemi, 2009, s.8-9*)

## **6 Optik**

Optiken som används för lysdiodljuskällan bildar tillsammans med drivdonet de tre viktigaste komponenterna i en armatur. Optikens uppgift är att samla ljuset som lysdioderna emitterar och styra dem koncentrerat inom en önskvärd vinkel. Eftersom största delen av ljuset passerar via den optiska komponenten har den en stor inverkan på lumen per wattvärdet för armaturen. Dåligt vald eller planerad optik kan orsaka förluster i ljusflödet.

Vanliga optiska lösningar kan vara linser eller traditionella reflektorer. Tumregeln är att ju större relationen är mellan den ljusemitterande ytan och den optiska komponenten, desto bättre är resultatet. En bra optisk lösning anses ha en verkningsgrad på över 90 %. Det betyder att över 90 % av ljuset som passerar eller reflekteras genom den optiska komponenten i själva verket också kommer ut ur armaturen. (Kuntze, 2009)

Undantag för ovannämnda är så kallade diffusers, vars uppgift är att bredda den ursprungliga stältningsvinkeln som lysdioderna emitterar. Dessa används oftast i sådana armaturer som man använder för generell belysning snarare än punktbelysning. Eftersom ljuset från t.ex. en COB kommer koncentrerat från en liten yta kan diffusers också användas för att minska bländning. (Wikipedia, u.å.)

## 6.1 Linser

Linser produceras oftast av plast material så som PMMA (akryl) och polykarbonat. Det är ytterst viktigt att använda material av hög kvalitet, som tål ultraviolettt strålning för att garantera en lång livstid för optiken.

Flera bolag offererar universella linser för olika lysdiodljuskällor. De anpassas endast till olika ljuskällor genom att ändra på avståndet mellan lysdiodljuskällan och linsen för att få bästa möjliga prestanda. Dessa generella linser har sällan samma prestanda som linser som är enbart planerade för en viss typ av lysdiodljuskälla. Prestandan är stort beroende av hur mycket lysdiodljuskällan i fråga avviker från den originella ljuskällan som användes vid planeringen av linsen. Fördelen med generella linser är att de oftast är billigare.

Linserna ger möjlighet för noggrann kontroll över ljuset. Ljuset kan antingen samlas ihop och skjutas direkt framåt i en önskvärd symmetrisk kägla. I vissa fall krävs det dock att ljuset skjuts åt någondera sida eller åt båda sidorna där mitten lämnas mörk. Det finns även linser med väldigt bred strålningsvinkel. Dessa linser är mera krävande att producera och har oftast större förluster jämfört med det första exemplet.

Som tidigare redan nämnts så har storleken av linsen en positiv inverkan på prestandan. Alla lösningar har sin ideala storlek, varefter ökning av storleken inte mera ger så mycket bättre prestanda. Ett exempel är standard linsstorleken som har en diameter på 21 mm och är en populär storlek på b.la. Luxeon Rebel-, Cree XP- och Osram Oslon-lysdioder. I detta fall skulle varje millimeter som man minskar diametern med ha stor negativ inverkan på prestandan av linsen. Man måste dock komma ihåg att användningen av mindre linser ger möjligheten att placera flera lysdioder på ett visst område och därför är det alltid bra att

överväga vilken storlek som är ideal för det ändamål man är ute efter. Stora linser möjliggör mycket smala strålningskäglor vilket lämpar sig bra för punktbelysning. Linser anses ha bättre förmåga att kontrollera ljuset jämfört med reflektorer, men samtidigt är de oftast dyrare (Kuntze, 2009)



Figur 29 LEDil:s Strada lins för Citizen CL-L400 lysdiodspaket (LEDil, u.å.)

## 6.2 Reflektorer

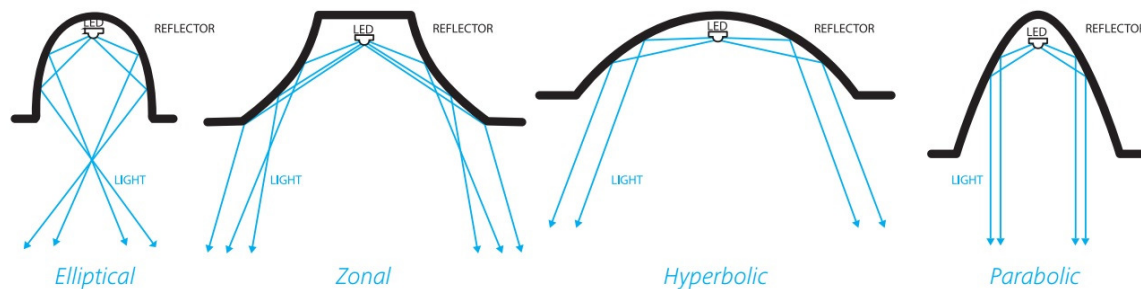
Reflektorerna har använts för att styra ljuset redan än längre tid. De är lätta att tillverka och kostar mindre än linser. (Cree, u.å.)

Reflektorerna, liksom linserna, fungerar bättre desto större man gör dem. För små ljuskällor upp till fyra dioder anses linsen vara ett bättre alternativ. Men för t.ex. COB-lysdiodljuskällor är reflektorn ett bättre alternativ eftersom linsen skulle måsta vara väldigt stor och därmed kosta mycket. Verkningsgraden för reflektorn är nästan densamma som på linser. Den största skillnaden är att i en lins har man i alla fall tre ytor för att kontrollera ljuset jämfört med reflektorns ena yta. (Kuntze, 2009)

Reflektorn är alltså en optisk komponent som används för att styra ljuset som kommer från en ljuskälla. Reflektorn använder sig av högt reflektiva ytor för att styra ljuset. Det finns två grupper av reflektorer. Den ena gruppen är de koniska reflektorerna och den andra gruppen är icke-koniska. Till koniska gruppen hör elliptiska, zonala, hyperboliska och paraboliska. Till den icke-koniska gruppen hör kvadratiska eller asymmetriska reflektorer. I reflektorn passerar en del av ljuset rakt ut från reflektorn utan att den rör de reflektiva ytorna. Linsen



kan monteras så att allt ljus passerar igenom linser, det betyder att reflektorerna inte är lika bra på att kontrollera ljuset så som linserna är. (LEDacademy, u.å., s.7)



Figur 30 Bilden visar den koniska reflektorgruppen. Pilarna visar hur ljuset styrs med hjälp av reflektorn då ljuskällan är i mitten. (LEDacademy, u.å.)



Figur 31 LEDil:s Angela reflector för Citizen CLU03x lysdiods COB-paket (LEDil u.å.)

## 7 Lysdiodernas värmehantering

Hantering av lysdiodernas temperatur är en av de viktigaste sakerna då man producerar en armatur. Även fast lysdioden är en av de energisnålaste sättet att generera ljus, förvandlas ändå cirka 80 % av energin till värme. Värme påverkar alla funktioner på en lysdiodljuskälla och är oftast en stor del av komponentkostnaden för den slutliga produkten. När temperaturen stiger minskar lysdiodens förmåga att omvandla energi till ljus och därmed inverkar det direkt på prestandan av lysdioden. Lysdioden sliter sig konstant under användningen vilket betyder att förmågan att producera ljus minskar desto längre man använder den. Värmen försnabbar denna process och kan även i vissa fall leda till att lysdioden slutar fungera. För att kyla ner lysdioderna måste man leda bort värme från lysdioderna till t.ex. en kylfläns.

Kylflänsens viktigaste uppgift är att överföra värme bort från lysdioden och avleda det i omgivningen. Värmen kommer av naturliga skäl att söka sig från ställen med högre termisk

energi till ställen med mindre, d.v.s. ju lättare man gör vägen för värmen att söka sig fram, desto bättre är överföringen. Det kan t.ex. betyda att värmen söker sig från en aluminiumkylfläns vidare till luften som omgiver den. Om vi tar figur 18 som exempel söker sig värmen från COB-ljuskällans lysdioder vidare till substratet som de är monterade på. Därefter vidare till kylflänsen genom värmepastan och därefter skingras den ut i omgivande luften. Värmepastans uppgift i detta fall är att fylla de små ojämnheter i ytorna som skall leda värme emellan sig.

Det finns tre huvudsakliga sätt att överföra värme. Dessa är konvektion, strålning och ledning.

Begreppet konvektion handlar om att man leder värmen till en gas eller en vätska. Kylningens effekt är mycket beroende på hur snabbt gasen eller vätskan rör på sig samt hur stor temperaturskillnad det är mellan objektet som skall kylas och den gasen eller vätskan som kyl ner den. Den uppvärmda gasen eller vätskan kommer att börja stiga när den uppvärms och ersätts av ny kall gas eller vätska. Detta fenomen bildas eftersom densiteten ändras då gasen eller vätskan värms.

Värmeöverföring via ledning handlar om att överföra värme från ett objekt till ett annat som är i direkt kontakt med varandra. När man binder ett varmt objekt fast till ett kallt objekt kommer de varma partiklarna med större energivärde att söka sig till de kalla partiklarna med mindre energivärde. Varje material har en viss egenskap att ta emot och överge värme. Denna egenskap kan beskrivas med ett värde som definieras som watt per meter kelvin. Ju högre detta värde är för ett material, desto bättre värmeledningsförmåga har det.

Strålningsvärmeöverföring kräver inte ett visst material för att kunna ske. Strålning förekommer då elektromagnetiska vågor plockar energi med sig och transporterar det vidare ända tills vägen träffar ett annat material. Strålningsvärmeöverföring fungerar bäst i vacuum, men förekommer i lysdiodljuskällor samt armaturer i en så liten mängd att den inte spelar någon roll. (*Schütt, 2014, s.1-20*)

## **7.1 Passiv kylning av lysdioder**

Det finns två huvudsakliga sätt att avleda värme i omgivningen. Dessa är passiv kylning och aktiv kylning. Då man kyler någonting passivt låter man naturens lagar sköta om kylningen med hjälp av naturlig konvektion. Denna metod är den mest använda för lysdiodsarmaturer och också det billigare alternativet. Nackdelen med passiv kylning är att den oftast kräver volymmässigt större areal än aktiva lösningar. Arealen på kylelementet spelar den största

rollen i passiv kylning. Det är därför viktigt att maximera arean av kyl-elementet som är i beröring vid t.ex. omgivande luft. Kylflänsar är ett bra sätt att maximera kylarealen på en viss storleks objekt. Avståndet mellan kylflänsarna samt deras storlek bör noggrant undersökas för att maximera kylningseffekten.

Användningen av så kallade heatpipes kan hjälpa i kylningen av lysdioder. Heatpipes är ihåliga rör som innehåller vätska, som förvandlas till ånga på de stället i röret som är i beröring med en värmekälla. När vätskan avdunstar binder den värme-energi i sig, ångan börjar sedan röra sig vidare längs med röret tills den kommer till rörets svalare sida. Där kyls den ner så att den kondenseras till vätska och rinner tillbaka till den varma sidan där den kyler ner röret. Heatpipen i sig kyler inte, men den möjliggör att flytta värme effektivt längre sträckor t.ex. till ett ställe som möjliggör bättre förutsättningar för kylning. Heatpipes kan också användas för att distribuera värme jämnare t.ex. i en kylfläns med väldigt tunna flänsar. Detta möjliggör viktligt lättare kylningar med bra kylningsförmåga.



*Figur 32 En PC-prosessor kylare som använder sig av heatpipes för att leda värme effektivt till kylflänsarna. Heatpipes är i detta fall gjorda av koppar och syns tydligt i bilden (Arctic Cooling, u.å.)*

Materialet spelar såklart också stor roll. Aluminium är exempelvis ett bra material, eftersom det har bra värmeledningsförmåga.



*Figur 33 En passivt kyld lysdiodsarmatur. Kylflänsarna på denna modell är tydligt synliga på toppen av koppen. Armaturen är gjord av aluminium (Skilux, u.å.)*

## 7.2 Aktiv kylning

Aktiv kylning följer exakt samma principer som den passiva metoden. Den enda skillnaden är att konvektionen eller ledningen av värmen effektiveras med hjälp av fläktar som tvingar luften att röra sig snabbare kring kylflänsen. Det kan också handla om att kyla lysdioden med hjälp av rörligt vatten eller olika halvledarkylare t.ex. peltier-element. Oberoende hur man aktivt kyler lysdioderna kräver denna metod övriga delar som har en direkt inverkan på energikonsumtionen av armaturen i frågan. Att aktivt kyla en lysdiodsarmatur är inte ovanligt då man använder sig av väldigt kraftiga lysdiodljuskällor. En passiv lösning skulle bli opraktiskt stor och t.o.m. dyrare i vissa fall. Nackdelarna är som sagt högre energikonsumtion, uppehåll av kylningssystemet, kostnader, ljud samt försämrad pålitlighet. Det finns få aktiva kylningsmetoder som fungerar lika länge som lysdioden utan regelbunden service. Figur 29 är ett exempel på aktivt kylning. Fläkten tvingar luften att röra sig snabbt genom kylflänsen vilket leder till bättre kylningsförmåga. Om man skulle plocka bort fläkten skulle det vara en passiv kylare. (Schütt, 2014,, s.1-34)

## 8 Slutord

Jag anser att efter att läst detta har man en bra grundlig uppfattning om vad som användning av LED teknik i armaturer innebär. Arbetet har inte gått djupt utan vi har bara skrapat ytan. Men nu har läsaren bra förutsättningar att läsa vidare på de ämnesområden som blev oklara eller mera intressanta. Dessutom anser jag att ämnet är aktuellt eftersom, enligt egen upplevelse, har LED produkterna blivit så pass förmånliga att de håller på att ersätta alla sina konkurrenter på affärerna, men många inte kanske är så insatta på hur de fungerar.

Arbetet blev inte så omfattande som jag kanske skulle ha villat. Men desto mera jag skrev desto svårare hade jag att lämna något relaterat bort, vilket skulle ha resulterat i en över 100 sidors arbete. Eftersom tidspressen var så pass stor, ansåg jag att arbetet var bra i denna format. Speciellt skulle jag ha villa gå djupt in på värmens effekter på armaturen samt kostnadskalkyler för olika komponenter.

Jag upplever själv att detta arbete gav mig just det som jag nämnde i abstrakten, teoretisk kunskap. Mycket litet som jag skriver om i detta arbete var nytt för mig, men det bekräfta det som jag upplevt och konstatera då jag jobbat med LED teknologin.

LED teknologin kommer att utvecklas ännu i flera år. Taket är inte nått, men de blir svårare och svårare för varje år att skapa bättre lysdioder. I väntan på nästa stora framsteg inom belysningsteknik är lysdioderna de som kommer att leda marknaden i flera år framåt.

## Källförteckning

AlltOmLED, 2012, *Vad är LED?* [Online]

<http://www.alltomled.se/guider/vad-ar-led/> [hämtat: 29.3.2016]

Airaksinen, T., 2011. *Pienjännitelaitteiden testaus ja suunnittelu standardin EN 60950-1 pohjalta*. Mikkelin Ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikka, Opinnäytetyö

Bender&Wirth, (u.å.). [Online]

<http://www.bender-wirth.com/katalog/katalog.php?lan=1&cat=26> [hämtat: 30.3.2016]

BJB, (u.å.). *Connectos for COB LEDs* [Online]

<http://www.bjb.com/index.php?pid=277289&lid=4> [hämtat: 30.3.2016]

Citizen Datablad 1, (u.å.). *CLU038-1206C4* [Online]

<http://www.light.fi/assets/files/151210-CLU038-1206C4%5bRa80-70%5d-DataSheet.pdf>

[hämtat: 29.3.2016]

Citizen Electronics, (u.å.). *CL-L400 Series* [Online]

<http://ce.citizen.co.jp/productse/info.php?no=89> [hämtat: 29.3.2016]

Citizen Electronics, (u.å.). *CLL176-A092A5* [Online]

<http://citiled.ru/media/files/2015/09/15/refce-p2989-cll176-a092a5-datasheet.pdf> [hämtat:

29.3.2016]

Citizen Instruktions Manual, (u.å.). [Online]

[http://ce.citizen.co.jp/lighting\\_led/dl\\_data/tech/en/Ref\\_P2468\\_0313\\_R3\(0514\).pdf](http://ce.citizen.co.jp/lighting_led/dl_data/tech/en/Ref_P2468_0313_R3(0514).pdf)

[hämtat: 29.3.2016]

Cree, 2014. *Flicker happens. But does it have to?* [Online]

<http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED-Components-and-Modules/XLamp/White-Papers/Flicker.pdf> [hämtat: 29.3.2016]

Cree, (u.å.). *Cree® XLamp® XB-D and XT-E LED Optical Design Considerations*

[Online]

[http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED-Components-and-Modules/XLamp/XLamp-Application-Notes/XLamp\\_XBD\\_XTE\\_Optical\\_Design.pdf](http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED-Components-and-Modules/XLamp/XLamp-Application-Notes/XLamp_XBD_XTE_Optical_Design.pdf) [hämtat: 29.3.2016]

- ESO Electronics, 2014. *How does SMT electronics assembly work?* [Online]  
<https://www.eso-electronic.com/en/knowledge-base/manufacturing/article/how-does-smt-electronics-assembly-work/> [hämtat: 29.3.2016]
- Etelälähti, M., 2011. *DALI-Oppimisympäristö*. Tampereen Ammattikorkeakoulu, Sähkötekniikan koulutusohjelma, Opinnäytetyö
- Frosch, R. (u.å.). *Constant-Voltage vs. Constant-Current LED Drivers* [Online]  
[http://btbmarketing.com/staging/phihong/Phihong\\_CC\\_vs\\_CV\\_LED\\_Drivers\\_White\\_Paper.pdf](http://btbmarketing.com/staging/phihong/Phihong_CC_vs_CV_LED_Drivers_White_Paper.pdf) [hämtat: 29.3.2016]
- GE-Lighting, 2015. *World's first LED* [Online]  
<http://www.gelighting.com/LightingWeb/emea/news-and-media/news/First-LED-by-the-GE-engineer-Nick-Holonyak.jsp> [hämtat: 29.3.2016]
- Jokelainen, J., 2015. *What is COB LED* [Online]  
<http://www.light.fi/blog/what-is-cob-led/> [hämtat: 29.3.2016]
- Kallioniemi, T., 2009. *Zigbee standardin toiminta ja periaatteet*. Tampereen Ammattikorkeakoulu, Tietoliikenne, Tietoliikennetekniikka, Tutkintotyö
- Kiwi Lighting, 2013. *5050 3528 3020 5630 SMD LED Module* [Online]  
<http://www.kiwilighting.com/blog/5050-3528-3020-5630-smd-led-module/> [hämtat: 29.3.2016]
- Kuntze, T., 2009. *All Facts for Choosing LED Optics Correctly* [Online]  
[http://ledil.fi/sites/default/files/Documents/Technical/Articles/Article\\_1.pdf](http://ledil.fi/sites/default/files/Documents/Technical/Articles/Article_1.pdf) [hämtat: 29.3.2016]
- Kursnavet, 2011. *Additiv och subtraktiv färgblandning* [Online]  
<http://kursnavet.se/kurser/medieproduktion/htm/m03/m3html7.htm> [hämtat: 29.3.2016]
- LEDAcadamey, (u.å.). *LED Optics* [Online]  
<http://www.ledacademy.net/wp-content/uploads/2015/03/lesson2.pdf> [hämtat: 29.3.2016]
- LEDsmagazine, 2004. *What is an LED?* [Online]  
<http://www.ledsmagazine.com/articles/2004/01/what-is-an-led.html> [hämtat: 29.3.2016]

Lightingmarket, 2015. *What is SMD LED? What are the benefits?* [Online]  
<http://web.archive.org/web/20150225125012/http://www.lightingmarket.co.uk/knowledge/smd-led-benefits> [hämtat: 29.3.2016]

Lighting Research Center, 2004. *What is correlated color temperature?* [Online]  
<http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightsources/whatisCCT.asp>  
[hämtat: 29.3.2016]

Lighting Research Center, 2004. *What is color rendering index?* [Online]  
<http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightsources/whatisColorRenderingIndex.asp> [hämtat: 29.3.2016]

Lutron, (u.å.). *Dimming LEDs via PWM and CCR* [Online]  
[http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/048360a\\_PWM\\_vs\\_CCR\\_LED\\_App\\_Note.pdf](http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/048360a_PWM_vs_CCR_LED_App_Note.pdf) [hämtat: 29.3.2016]

MCOB, (u.å.). *(Multi Cups/Chip on Board) MCOB LED Lighting Technology* [Online]  
<http://mcobopto.com/technology.aspx?Id=328> [hämtat: 29.3.2016]

OLED-info, (u.å.). *OLED technology: introduction and basics* [Online]  
<http://www.oled-info.com/oled-technology> [hämtat: 29.3.2016]

Osram, 2012. *The history of LED* [Online]  
[http://www.osram.com/osram\\_com/news-and-knowledge/led-home/professional-knowledge/led-basics/led-history/index.jsp](http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/led-home/professional-knowledge/led-basics/led-history/index.jsp) [hämtat: 29.3.2016]

Osram, (u.å.). *Oslux* [Online]  
[http://www.osram-os.com/osram\\_os/en/products/product-catalog/led-light-emitting-diodes/oslux/index.jsp](http://www.osram-os.com/osram_os/en/products/product-catalog/led-light-emitting-diodes/oslux/index.jsp) [hämtat: 29.3.2016]

Osram, (u.å.). *OPTOTRONIC FIT* [Online]  
[http://www.osram.se/osram\\_se/produkter/elektronik/elektroniskt-foerkopplingsdon-foer-led-moduler-och-dimmers/elektroniskt-drivdon-foer-led-moduler-och-dimmers-foer-inomhusbruk/kompakt-konstantstroem-icke-dimbar/optotronic-fit/index.jsp](http://www.osram.se/osram_se/produkter/elektronik/elektroniskt-foerkopplingsdon-foer-led-moduler-och-dimmers/elektroniskt-drivdon-foer-led-moduler-och-dimmers-foer-inomhusbruk/kompakt-konstantstroem-icke-dimbar/optotronic-fit/index.jsp) [hämtat: 29.3.2016]

Philips Lighting, (u.å.). *What is an LED?* [Online]  
<http://www.colorkinetics.com/Learn/What-is-an-LED/> [hämtat: 30.3.2016]



Philips Lighting, (u.å.). *Understanding LED Technology; LED Technology Basics; How an LED Creates White Light* [Online]

<http://www.lighting.philips.com/main/education/lighting-university/lighting-university-browser/course/understanding-of-led-technology.html>

Poole I., (u.å.). *LED Light Emitting Diode Types Overview* [Online]

<http://www.radio-electronics.com/info/data/semicond/leds-light-emitting-diodes/led-types.php> [hämtat: 29.3.2016]

Poole I., (u.å.). *High Brightness LED, HBLED Tutorial* [Online]

<http://www.radio-electronics.com/info/data/semicond/leds-light-emitting-diodes/high-brightness-hbled-basics-tutorial.php> [hämtat: 29.3.2016]

Poeth, D.F., 2003. *Introduction to Surface Mount Technology and Surface Mount Devices for the Small Manufacturer and Hobbyist: Prototype Manufacturing, Rework, and Repair Techniques* [Online]

<http://poeth.com/smtmfg.htm> [hämtat: 29.3.2016]

Nakao, A., 2013. *Understanding LED components – LED Packages* [Online]

[http://www.yujiintl.com/posts/view/understanding\\_led\\_components\\_led\\_packages](http://www.yujiintl.com/posts/view/understanding_led_components_led_packages)

[hämtat: 29.3.2016]

San Francisco Circuits, (u.å.). *Metal Core PCB / MCPCB* [Online]

<https://www.sfcircuits.com/pcb-production-capabilities/metal-core-pcb> [hämtat: 29.3.2016]

Shuuya, N., 2011. *LED-Teholähteet ja niiden ominaisuudet*

Turun Ammattikorkeakoulu (AMK), *Elektroniikka – Tietojärjestelmät, Opinnäytetyö*

Schütt, E., 2014. *Thermal management and design optimization for a high power LED work light*. Helsingfors, Yrkeshögskolan Arcada – Plastteknik, examesarbete

Stucchi, (u.å.).  *HOLDERS for COB LEDs* [Online]

<http://www.aagstucchi.it/en/products/category/182/> [hämtat: 30.3.2016]

Solar Center, (u.å.). *What Color is the Sun* [Online]

<http://solar-center.stanford.edu/SID/activities/GreenSun.html> [hämtat: 29.3.2016]

Taylor, S., 2015. *Understanding LED Drivers and How To Choose the Right One* [Online]

<http://www.ledsupply.com/blog/understanding-led-drivers/> [hämtat: 29.3.2016]

Tridonic, 2015. *LED Basics* [Online]

[http://www.tridonic.com/com/en/download/brochures/Whitepaper\\_LED\\_Basics\\_en\\_web.pdf](http://www.tridonic.com/com/en/download/brochures/Whitepaper_LED_Basics_en_web.pdf) [hämtat: 29.3.2016]

Vossloh-Schwabe, 2014. *Understanding LED Driver Technology* [Online]

[https://www.vossloh-schwabe.com/uploads/tx\\_sbdownloader/Leitfaden\\_Treiber\\_EN.pdf](https://www.vossloh-schwabe.com/uploads/tx_sbdownloader/Leitfaden_Treiber_EN.pdf) [hämtat: 29.3.2016]

Wikipedia, (u.å.). *Lysdiod* [Online]

<https://sv.wikipedia.org/wiki/Lysdiod> [hämtat: 29.3.2016]

Wikipedia, (u.å.). *Additiv färgblandning* [Online]

[https://sv.wikipedia.org/wiki/Additiv\\_f%C3%A4rgblandning](https://sv.wikipedia.org/wiki/Additiv_f%C3%A4rgblandning) [hämtat: 29.3.2016]

Wikipedia, (u.å.). *Diffuser (Optics)* [Online]

[https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuser\\_\(optics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuser_(optics)) [hämtat: 29.3.2016]

### **Bilder – Hämtat 30.3.2016**

Figur 1, AlltOmLED. <http://www.alltomled.se/guider/vad-ar-led/>

Figur 2, Cree. <http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/High-Brightness/5mm-Round-P2/5mm-Round-White>

Figur 3, Lumileds. <http://www.lumileds.com/uploads/550/DS147-pdf>

Figur 4, Wikipedia - OLED.

[https://en.wikipedia.org/wiki/OLED#/media/File:OEL\\_right.JPG](https://en.wikipedia.org/wiki/OLED#/media/File:OEL_right.JPG)

Figur 5, Wikipedia – Additiv Färgblandning.

[https://sv.wikipedia.org/wiki/Additiv\\_f%C3%A4rgblandning](https://sv.wikipedia.org/wiki/Additiv_f%C3%A4rgblandning)

Figur 6, Wikipedia – light emitting diode. [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode#/media/File:Red-YellowGreen-Blue\\_LED\\_spectra.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode#/media/File:Red-YellowGreen-Blue_LED_spectra.png)

Figur 8, Wikipedia – White LED. [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode#/media/File:White\\_LED.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode#/media/File:White_LED.png)

Figur 9, Lighting Research Center.

<http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightsources/whatisCCT.asp>

Figur 10, Wikipedia – SMT.

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/49/SMD\\_capacitor.jpg/220px-SMD\\_capacitor.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/49/SMD_capacitor.jpg/220px-SMD_capacitor.jpg)

Figur 11,14,15 Tridonic.

[http://www.tridonic.com/com/en/download/brochures/Whitepaper\\_LED\\_Basics\\_en\\_web.pdf](http://www.tridonic.com/com/en/download/brochures/Whitepaper_LED_Basics_en_web.pdf)

Figur 12, Citizen CL-L400 Series. <http://ce.citizen.co.jp/productse/info.php?no=89>

Figur 13, Wikipedia – SMD. [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Light-emitting\\_diodes\\_\(SMD\)#/media/File:5050\\_LED.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Light-emitting_diodes_(SMD)#/media/File:5050_LED.jpg)

Figur 16, Citizen Datablad 1. <http://www.light.fi/assets/files/151210-CLU038-1206C4%5bRa80-70%5d-DataSheet.pdf>

Figur 18, Stucchi. <http://www.aagstucchi.it/en/products/detail/1358/>

Figur 19,20, Citizen Instruktions Manual

[http://ce.citizen.co.jp/lighting\\_led/dl\\_data/tech/en/Ref\\_P2468\\_0313\\_R3\(0514\).pdf](http://ce.citizen.co.jp/lighting_led/dl_data/tech/en/Ref_P2468_0313_R3(0514).pdf)

Figur 21, MCOB. <http://mcobopto.com/technology.aspx?Id=328>

Figur 22, Citizen, CLL176. <http://citiled.ru/media/files/2015/09/15/refce-p2989-cll176-a092a5-datasheet.pdf>

Figur 23, Osram OT FIT.

[http://www.osram.se/osram\\_se/produkter/elektronik/elektroniskt-foerkopplingsdon-foer-led-moduler-och-dimmers/elektroniskt-drivdon-foer-led-moduler-och-dimmers-foer-inomhusbruk/kompakt-konstantstroem-icke-dimbar/optotronic-fit/index.jsp](http://www.osram.se/osram_se/produkter/elektronik/elektroniskt-foerkopplingsdon-foer-led-moduler-och-dimmers/elektroniskt-drivdon-foer-led-moduler-och-dimmers-foer-inomhusbruk/kompakt-konstantstroem-icke-dimbar/optotronic-fit/index.jsp)

Figur 24-26. Cree, *Flicker happens. But does it have to?*

<http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED-Components-and-Modules/XLamp/White-Papers/Flicker.pdf>

Figur 27,28. Lutron.

[http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/048360a\\_PWM\\_vs\\_CCR\\_LED\\_App\\_Note.pdf](http://www.lutron.com/TechnicalDocumentLibrary/048360a_PWM_vs_CCR_LED_App_Note.pdf)

Figur 29. LEDil, Strada.

<http://ledil.com/node/2/p/81?ds=1&mn=0&ld=231&md=0&xd=0&mh=0&xh=0&mt=0&>

[mf=0&xf=0&sf=0&fm=0&ty=0&sm=0&cn=0&vc=0&io=0&tro=0&tpo=0&tr=n0&tp=n0&trt=0&tpt=0&fr=n0&st=0&pg=0&lo=n0&ol=0&of=0&od=0&oh=0](#)

Figur 30, LEDAcademy. <http://www.ledacademy.net/wp-content/uploads/2015/03/lesson2.pdf>

Figur 31, LEDil, Angela.

<http://ledil.com/node/2/p/12281?ds=1&mn=0&ld=255&md=0&xd=0&mh=0&xh=0&mt=0&mf=0&xf=0&sf=0&fm=0&ty=0&sm=0&cn=0&vc=0&io=0&tro=0&tpo=0&tr=n0&tp=n0&trt=0&tpt=0&fr=n0&st=0&pg=0&lo=n0&ol=0&of=0&od=0&oh=0>

Figur 32, Arctic Cooling. [https://www.arctic.ac/eu\\_en/freezer-7-pro-rev-2.html](https://www.arctic.ac/eu_en/freezer-7-pro-rev-2.html)

Figur 33, Skilux – Lean Big Cylinder. <http://skilux.fi/en/tuotteet/myymalavalaisimet/kohdevalaisimet/lumi-rondo-led-big>