



CHALMERS

Modernisering av lysrörsbelysning med LED

Examensarbete

GÖRAN I. ÅHLING

Sammanfattning

Modernisering av lysrörsbelysning med LED

Denna rapport utvärderar möjligheten att ersätta befintliga lysrör av typ T8 (diameter 26 mm), samt dess föregångare T12 (diameter 38 mm) med moderna ersättningsljuskällor där ljus alstras av ljusdioder, så kallade LED (Light Emitting Diode).

Rapporten ger en orientering om grundläggande belysningstekniska förutsättningar, och en beskrivning av de idag vanliga belysningslösningar i kommersiella lokaler i Sverige.

I beskrivningen av LED-ersättningsljuskällor sammanfattas deras användbarhet och deras begränsningar. I efterföljande text ges vägledning för identifiering av befintliga belysningsarmaturer i syfte att avgöra om ersättningsrör kan användas, och i så fall vilken typ som måste väljas.

Slutsatsen är att LED-baserade ersättningsljuskällor tekniskt ofta är ett gott alternativ, såväl för utbyte i befintliga armaturer liksom som förstahandsval vid nyanläggning, men att vissa förbehåll måste beaktas: Ersättningsljuskällorna är inte lämpade för användning i alla miljöer, och de förutsätter armaturer där varken multi-HF-don eller seriekoppling av ljuskällor med EM-koppling förekommer. Ersättningsljuskällorna förutsätter också att ljusreglering (dimning) inte förekommer.

Energiförbrukningen blir ofta påtagligt reducerad vid byte från lysrör till LED-ersättningsljuskällor, men den ekonomiska situationen måste beräknas utgående från varje enskilt falls förutsättningar, såsom årlig belysningstid, lokalernas uppvärmning och/eller eventuella kylning, samt givetvis inköps-, montage- och underhållskostnad för de olika typerna av belysning.

Summary

Modernization of fluorescent lighting with LED

This report addresses the possibility to replace existing lighting solutions based on fluorescent tubes of type T8 (diameter 26 mm), and their ancestors T12 (diameter 38 mm) with modern retrofit-style light-sources where light is emitted from solid-state diodes, i.e. LEDs.

The report describes basic prerequisites for artificial lighting, and a description of currently common lighting techniques in domestic Swedish commercial buildings.

In the description of LED-retrofit light sources a summary of their usefulness and their limitations is given. The text gives some guidance in identifying existing luminaires and is aimed at a decision on possible use of retrofit-tubes, and if so, which type of retrofit tube.

The conclusion is that LED-based retrofit tubes often are technically suitable but states that certain prerequisites must be considered: The retrofit tubes are not suitable for use in every environment, they require luminaires where serial connection of multiple tubes is not used (for EM-design) or multi-tube HF-drivers is not used. The retrofit tubes require that light-reduction (dimming) is not installed.

The energy consumption is often substantially reduced by replacing incandescent lighting with LED-retrofit tubes, but the economic facts must be calculated based upon several parameters in each actual case, such as yearly time of use, the heating or possibly cooling of the premises, besides the obvious costs of acquiring, installing and maintaining the different types of lighting.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	I
Summary	I
Förord	III
1. Inledning	1
2. Vad är ljus och belysning, och vad krävs av en armatur?	3
3. Lagar och regler för belysningsanläggningar.....	4
CE-märkning	4
Lågspänningsdirektivet	4
EMC-direktivet	5
Standarder för lysrör	5
Försäkring.....	5
Vem får göra vad i en elanläggning.....	6
Lekmannens befogenheter	6
4. Hur fungerar olika belysningar?	7
Två huvudtyper av ljuskälla	7
Glödljus och halogenljus – nätspänning och lågspänning.....	7
Konventionell lysrörskoppling.....	8
Glimtändare respektive ”elektronisk glimtändare”	11
HF-don-koppling.....	11
Seriekoppling av lysrör med gemensam drossel	12
Kompaktlysör respektive ”lågenergiglödlampor”	12
LED-belysning	13
Lysrörsarmatur med LED-baserad ersättningsljuskälla	15
Lysrör och automatsäkringar respektive jordfelsbrytare	17
Teknikernas för- och nackdelar	18
5. Vilka typer av armaturer och styrningar finns det? Identifiering?	21
6. Val av ersättningsljuskälla	25
7. Funktionella krav vid utvärdering av ersättningsljuskälla	27
8. Slutsatser.....	28
9. Referenser	29
Bilagor	31
Bilaga A – Använda förkortningar och beteckningar.....	31
Bilaga B - Beräkning av maximalt armaturavstånd vid armaturer i rad	32

Förord

Jag vill med denna rapport bidra till att läsaren får ökad förmåga att välja ljuskällor till en belysningsanläggning, och därigenom spara energi. Främst inriktas arbetet mot belysningsanläggningar med lysrör med fokus på byte till LED-baserade ersättningsrör.

Denna rapport bygger på uppdrag utförda för BeLok, beställargruppen för lokalfastigheter, (se www.belok.se) ett samarbetsforum som drivs av Energimyndigheten för att organisera informations- och erfarenhetsutbyte mellan Sveriges största fastighetsägare inom kategorin "lokalfastigheter".

Energimyndigheten driver parallellt med BeLok även BeBo (bostäder) och BeLivs (livsmedelshandel) (se www.bebostad.se respektive www.belivs.se), alla med ett visst mått av samverkan över områdesgränserna.

Syftet med rapporten är att ge läsaren en förståelse för de energimässiga fördelarna med LED-baserade utbytesljuskällor för äldre (befintlig) lysrörsbelysning kombinerat med information för att i ett enskilt fall värdera förutsättningarna – ersättningsljuskällorna är ännu inte tekniskt kapabla att användas under alla förutsättningar där lysrör idag används.

Rapporten inriktar sin diskussion på lokalfastigheter och förhållanden i Sverige maj 2015.

Jag vill framföra ett stort tack till min handledare, Gunnar Elgered, som stått ut med mig trots en tidsplanering som drabbats av otaliga störningar.

Jag vill också framföra ett stort tack till alla andra som bidragit till rapportens tillkomst, främst BELOK, Energimyndigheten, intervjuade driftingenjörer vid Akademiska Hus och representanter för tillfrågade leverantörer, som varit behjälpliga.

Jag måste också framhålla att denna rapport inte är någon marknadsöversikt. Den utger sig inte för att förteckna eller utvärdera samtliga förekommande ljuskällor på marknaden, men ger exempel på några för att stödja diskussionen.

Möln dal, 2015

Göran Åhling

1. Inledning

Sverige är delar av året ett relativt mörkt land, beläget ungefärligen mellan 55 och 69 graders latitud, vilket för de nordligaste delarna till och med innebär hela dygn utan dagsljus under vinterhalvåret. Vi har också sedan förhållandevis långt tid vant oss vid en mycket god belysning på såväl arbetsplatser som i offentliga miljöer. Detta har till stor del möjliggjorts av en omfattande verksamhet under 1900-talet, när det ansågs vara en nationell angelägenhet att förse samtliga hushåll och verksamhetslokaler i landet med god elförsörjning.

Till en början ersatte den elektriska belysningen tidigare lyktor, med fotogen, gas och andra bränslen, varvid enstaka glödlampor i stora rum ansågs utgöra en stor förbättring för såväl belysning som brandsäkerhet och luftkvalitet, men efterhand har inomhusbelysning i större lokaler kommit att bli synonymt med "lysrör", som "uppfanns" 1938. I huvudsak kan man anse att alla större anläggningar för allmänbelysning utförda i perioden 1960 – 2000, liksom åtskilliga under 50-talet, är/var utförda med lysrörsbelysning. Efter denna period har kompaktlysrör, halogenlampor ("infällda spotlights") och senare LED-baserade armaturer och ljuskällor med belysningsmässiga egenskaper snarlika dessa kommit i viss användning för "finare miljöer" (restauranger, hotell, receptioner m.m.).

Fram till första halvan av 1990-talet utgjordes lysrörsbelysning uteslutande av vad vi idag kallar "konventionella elektromekaniska armaturer", med lysrör typ T12 (beteckning enligt ILCOS - International Lamp COding System) (IEC 61231, 2010,... Amd1:2013), med sockelfattning G13. Dessa lysrör hade en ytterdiameter av 12/8" motsvarande c:a 38 mm. De betecknas T38 i viss europeisk nomenklatur enligt LBS från ZVEI – "deutschen Lampenbezeichnungssystem des Zentralverbands Elektrotechnik- und Elektronikindustrie" (Wikipedia, 2015).

Under 2000-talet utvecklades en ersättande lysrörsstandard, typ T8, alltså med sockelfattning G13. Dessa hade en ytterdiameter av 8/8" tum, det vill säga 1" eller ca 26 mm. De benämns T8 eller T26 enligt respektive standard. Genom förbättringar av konstruktionen erhåller man från ett T8-rör lika god belysning som från ett äldre T12-rör men med c:a 10 % energibesparing. (Exempelvis kan ett 1200 mm långt lysrör FD-T12 på 40W ersättas av ett FD-T8 på 36W i samma sockel och armatur med oförändrat ljusutbyte.)

Under 1990-talet började ett alternativ till konventionell styrning av lysrör i form av så kallade HF-don (HF står för högfrekvens, High Frequency) komma i betydande användning, även om den första HF-styrningen sågs redan 1978. HF-don är omvandlare från elnätets 50 Hz till en högfrekvent matning (ofta cirka 40 kHz) vilket ger flera fördelar, bland annat förbättrat ljusutbyte relativt drift direkt på nätfrekvensen.

Under andra halvan av 1990-talet började även en ytterligare utvecklad variant av lysrör, T5-rören (diameter 5/8" eller 16 mm, T16 enligt ZVEI) komma i praktisk användning. Dessa mycket smala rör kan endast användas med HF-don och ger ett för tekniken mycket gott ljusutbyte. De bästa kombinationerna har uppvisat 104 lm/W (Khalil, 2014).

Lysrörsbelysning hade från början en mycket begränsad färgåtergivning, men kom efterhand att utvecklas avsevärt. Tekniken har dock alltid varit behäftad med vissa svagheter; exempelvis ger användning i låg temperatur långsam start, frekvent tändning/släckning medför betydande reduktion i ljuskällans livslängd etc. Att lysrören blivit så dominerande trots sina svagheter måste tillskrivas deras goda driftekonomi och ljusutbyte relativt de alternativ som stod till buds, främst glödlampor.

Under senare år har ett av många orsaker stigande (relativt) energipris (elpris), kombinerat med ett i bland annat Sverige stigande miljömässigt medvetande och ansvarstagande lett till ett påtaglig efterfrågan av ytterligare energieffektivisering, samtidigt som halvledarteknikens utveckling givit nya möjligheter. Lysdioder (engelska: "Light Emitting Diodes" eller "LED") är en teknik som uppvisat stor utveckling, från de första röda indikatorlamporna till att idag erbjuda moduler med ljusutbyte som kan jämföra sig med, eller överglänsa, de bästa lysrören.

Denna rapport syftar främst till att utvärdera en specifik produkt på marknaden, LED-baserade ersättningsrör, som är LED-baserade ljuskällor avsedda att monteras i äldre belysningsarmaturer som konstruerats och tillverkats för konventionella lysrör.

Denna rapport tar upp nödvändiga fakta och kännetecken för att:

- Förklara grundläggande belysningstekniska grunder för att bedöma olika ljuskällors relativa egenskaper
- Förstå hur olika typer av vanligt förekommande belysning fungerar
- Fastställa "rättsläget" för utbyte av ljuskälletyp i befintliga armaturer
- Identifiera en befintlig lysrörsarmatur, och eventuella styrningar till denna
- Avgöra om ett utbyte till LED-ersättning är tekniskt möjlig
- Om så är fallet välja ut en fungerande ersättningsljuskälla i LED-teknik
- Göra en grov företagsekonomisk bedömning av lönsamheten i utbyte till LED-ljuskälla och ställa den i relation till rimliga alternativ. I lönsamhet inkluderas såväl kostnader som energianvändning

Rapportens huvudsyfte är att kunna fungera som vägledning vid system- och materialvalsutredning i samband med byggprojekt, främst renoveringsprojekt, men även "normalt underhåll" under löpande förvaltning, såsom kampanjvis byte av ljuskällor.

Rapporten tar i tur och ordning upp:

Belysningstekniska grunder (kap. 2), lagrum (kap. 3), olika typer av ljuskällor (kap. 4), hjälp för att identifiera armatur och styrning (kap. 5) samt ersättningsljuskällor (kap 6 – 7).

2. Vad är ljus och belysning, och vad krävs av en armatur?

”Ljus” är egentligen en elektromagnetisk strålning. Ljus av olika färg har olika våglängd. En allmän uppfattning är att för det mänskliga ögat synligt ljus har våglängder mellan 400 och 700 nm. Dagsljus, liksom ljus från varma kroppar (såsom en glödlampa) innehåller strålning av ”alla våglängder” inom ett visst våglängdsområde; man säger att det är ett kontinuerligt spektrum. Ett sådant ljus är en förutsättning för att kunna betrakta färgade objekt, och för att kunna särskilja olika färger.

Olika typer av konstgjort ljus kan ha en ojämn fördelning inom sitt spektrum, eller rent av sakna ljus av vissa våglängder, vilket påverkar det mänskliga ögats förmåga att objektivt granska sin omgivning. I standardorgan har man försökt skapa olika mätetal, bland annat det vanligen förekommande R_a -talet (”Rendering average”) som har en gradering från 0 till 100 med 100 som bästa värde. Detta index grundas på en matematisk jämförelse mellan olika ljuskällors spektralegenskaper och innebär inte någon visuell bedömning. I våra dagliga inomhusmiljöer har vi lärt oss att undvika ljuskällor med lägre R_a -värde än 80–85 (Anell, 2002).

Ljus från en ljuskälla sägs också ha en ”färgtemperatur”, som för glödljus är temperaturen hos en varmkroppsstrålar som ger ett likvärdigt ljus som det man vill beskriva. En vanlig glödlampa har en färgtemperatur på 2 700 K, och dess ljus brukar kallas ”varmt”. Dagsljus, solljus, har en färgtemperatur på cirka 6000 K och är ”kallt”. Ljus från urladdningslampor och lysrör, liksom LED-ljuskällor, mäts genom en korrelation med en referensljuskälla, vilket medför att ”urladdningsljus” och glödljus med samma mätetal på färgtemperatur kan upplevas olika. Såväl människors uppfattning av färger som den allmänna trivselen påverkas av färgtemperaturen.

Ljusflöde är ett mått på hur mycket synlig ljusstrålning som en ljuskälla avger totalt, i alla riktningar. Definitionen är det sammanlagda (viktade) utsända strålningseffekten inom våglängdsområdet 400–700 nm. Enheten är lumen (lm).

Om ett ljusflöde träffar en yta definieras en belysningsstyrka med enheten lux (lx), där en lx = 1 lm/m².

Ljusstyrka – måttet för avgiven mängd ljusstrålning i en viss riktning. Enheten är candela (cd) = 1 lumen per rymdvinkelenhet.

Ljusutbyte. Effektiviteten hos en ljuskälla kan anses vara dess verkningsgrad. Den anges i lm/W (lumen per watt).

Ljufördelningsdiagram kan tas upp för såväl ljuskällor som för armaturer. Det är ett sätt att grafiskt representera ljusspridningen från en ljuskälla i olika riktningar och åtföljer ”alltid” datablad för både ljuskällor och armaturer.

Bländning är ett problem med starka, diskreta ljuskällor som tvingar ögat att adaptera sig så att man samtidigt tappar förmåga att se svagare belysta objekt vid sidan av ljuskällan. Ofta kan man ange ett mätetal på en ljuskällas luminans, som då avser en viss ljusstyrka per ytenhet i en bestämd riktning, och mäts i cd/m².

Modulation (blinkning): Vid styrning av belysningar med låg frekvens kan ljus, speciellt från urladdningslampor och lysrör, upplevas ”blinkande” på ett för många människor störande sätt. Detta kan förekomma vid dimning vid 50 Hz (som gör att lysrör faktiskt blinkar med relativt korta ljusstötar var 10 ms) men även vid full ljusstyrka från lysrör i anläggningar med lägre frekvens hos matande elnät, t.ex. i äldre tågagnar där lysrören matas med kontaktledningens 16 2/3 Hz.

3. Lagar och regler för belysningsanläggningar

CE-märkning

Alla produkter som erbjuds till försäljning inom EES-området skall vara märkta med CE, vilket markerar att produktens tillverkare (om denne finns inom EES-området) eller importören till EES-området intygar att produkten uppfyller de egenskaps och säkerhetsdirektiv som EU låtit utfärda och som är relevanta för produkten i fråga.

När dessa regler infördes i början på 2000-talet uppstod i Sverige mycket stränga tolkningar av denna skrivning. Ett exempel inom elområdet var att det närmast "officiellt" meddelades att detta skulle innebära att alla platsbyggda elcentraler (i en byggnad) måste CE-märkas, det vill säga att tillverkaren (elinstallatören som köpt en låda och några säkringar hos en grossist) skulle tvingas att utföra nödvändig provning för att garantera direktivens uppfyllande, samt upprätta och förvara dokumentation över produkten under dess förväntade livslängd- vilket för en elcentral kan vara så mycket som 50 år.

Senare har dock fastslagits att exemplet med elcentralerna i debatten i Sverige tolkats betydligt mer bokstavligt än vad som varit regelskrivarens avsikt, och även mer bokstavligt än övriga länder inom Europa valt att utläsa. En elcentral som monteras i ett hus är INTE en produkt som erbjuds till försäljning, utan en del av ett hus. Det är rimligt att ett husföretag behöver CE-märka "huset" som produkt, men inte en privatperson eller en fastighetsägare som nu och då säljer ett hus. Åtskilliga är de elinstallatörer i Sverige som med stora artiklar i facktidningar skrämts att skaffa teoriböcker och märkkartor för att uppfylla den överdrivet stränga tolkningen som sedan visade sig vara en svensk överreaktion.

På samma sätt är det rimligt att betrakta en belysningsarmatur. Den som har belysningsarmaturer monterade i en fastighet, men väljer att på något sätt modifiera dessa i förhållande till det utförande som tillverkaren levererat och beskrivit i sin dokumentation behöver inte "CE-märka" dessa modifierade armaturer, och kommer knappast att kunna hållas ansvarig för några fenomen som inte är direkt relaterade till modifieringen. Ägaren/brukaren är naturligtvis ansvarig för den modifierade produktens bestående säkerhet, och för att märkning är korrekt, innefattande avlägsnande av de efter modifiering inte längre giltiga CE-märkningarna.

Enligt de hårdnackade företrädare för motsatt uppfattning som under stundom alltjämt hörs tala med myndig stämma i debatten skulle exempelvis en elinstallatör som monterar en mikrovågsugn med spårskruvar, där den bifogade dokumentationen (utformad i 87 stiliserade teckningar men utan text) visar bilder på skruv med krysskalle vara ansvarig om det 6 månader senare börjar brinna i en felaktig komponent inuti ugnen. Jag är övertygad om att den dag detta provas rättsligt kommer resultatet att bli som med elcentralerna, den bokstavsövertrogna (över-)tolkningen kommer att anses falla på sin egen orimlighet.

Lågspänningsdirektivet

Detta är den grundläggande förordning som beskriver hur elanslutna produkter inom Europa säkerhetsmässigt skall konstrueras. Till stor del vilar direktivets fundament på utförande enligt olika standarder enligt IEC. De standarder som är relevanta i Sverige finns även utgivna som "Svensk standard", ofta med beteckningen SS-EN xxxxx (skall utläsas som: Svensk Standard – Europeisk Norm nr xxxxx).

Grundmeningen med direktivet är att förordna en grundläggande säkerhet mot skada till följd av el hos en tillverkad produkt, och att denna förordning skall vara lika inom hela EES-området.

Nationella särkrav ses som tekniska handelshinder, vilket strider mot Europeiska Unionens grundfundament: Fri rörlighet för varor, tjänster och kapital inom EU.

EMC-direktivet

EMC-direktivet är på samma sätt en förordning om hur apparater (såväl elnätanslutna som övriga) skall tåla "störningar" i form av elektromagnetisk strålning och/eller elektromagnetiska fält av en definierad nivå i sin omgivning utan att avsedd funktion påverkas. Direktivet reglerar även hur stora nivåer av motsvarande störningar som en produkt tillåts avge till sin omgivning.

Standarder för lysrör

Det finns sedan gammalt standarder för hur lysrör och lysrörshållare skall utformas och provas för att anses uppfylla "betryggande säkerhet för person och egendom (IEC 60061, 1969,... Amd 51:2014). Generellt anses uppfyllande av dessa giltiga standarder vara ett (tillräckligt) krav för att uppfylla lågspänningsdirektivet.

Från dessa standarder kan nämnas att maximal temperatur på ett lysrörs anslutningsstift under drift är noga specificerad, och samma siffra finns i standarden för lysrörshållare. (IEC 60360, 1998). Givetvis finns det även standarder för lysrörens specifika egenskaper och provmetoder. (IEC 60081, 1997,... Amd 4:2010)

I standarden för lysrörshållare anges också vilka maximala vikter som ett lysrör får ha. För de typer av lysrör som studeras i denna rapport, sockel G13 med rör T12 eller T8, är maximal vikt 500 g, något som vissa tidiga "ersättningsrör", speciellt i de längre varianterna, har tenderat att överskrida.

Den europeiska standarden för ersättningsljuskällor heter IEC 62776 (IEC 62776, 2014). Den publicerades i december 2014 och har följts upp (beslutsfäst) med SS-EN62776, fastställd 2015-05-13. Den senare är skriven på engelska, och "misstänkt lik" IEC-standard. Dessa dokument vänder sig till tillverkare av ljuskällor, och beskriver utformning och provmetoder för att säkerställa skydd mot fara för person och egendom (skydd mot oavsiktlig strömgenomgång, brand etc.)

Försäkring

I Sverige är det praxis att fastighetsägare håller brandförsäkring, vilket också ofta är ett krav från långivare. Samtliga inhemska försäkringsbolag driver gemensamt Svenska Brandskyddsföreningen. Som en del av denna organisation finns Elektriska Nämnden, som i praktiken är försäkringsbolagens gemensamma kompetensresurs i elfrågor. För alla mer omfattande elanläggningar, exempelvis de med högspänningsabonnemang, kräver försäkringsbolagen att deras kunder med reglementerad regelbundenhet, vanligen vart tredje år, skall låta besikta samtliga elanläggningar av en besiktningsman som godkänts av, och rapporterar till, Elektriska Nämnden.

Elektriska Nämnden utfärdar direktiv för vad som kan godkännas, varvid man i huvudsak stödjer sig på gällande elinstallationsförordning, och produkt direktiv.

För produkten "ersättningsljuskällor för sockel G13" har det fram till december 2014 inte funnits någon relevant standard. Elektriska Nämndens direktiv har fram till detta datum varit att sådana ljuskällor inte omfattas av gällande försäkring. En brand orsakad av dåliga ljuskällor kan därför riskera att bli en dyr affär för en fastighetsägare som försökt komma billigt undan vid valet av ljuskällor. Observera att detta alltså gäller för ljuskällor som inte följer aktuell standard. Om

man har sådana installerade i sin anläggning bör man överväga om inte ett utbyte till ljuskällor enligt standard vore synnerligen lämpligt att utföra skyndsamt.

Vem får göra vad i en elanläggning

I svensk förordning skiljer man på en lekman och en behörig elinstallatör. Den senare har en certifiering (behörighetsbevis) från Elsäkerhetsverket. En sådan certifiering är personlig och kan efter ansökan erhållas av personer som kan redovisa såväl tillräcklig teoretisk utbildning som praktisk erfarenhet vad avser elinstallation. En behörig elinstallatör kan anställa så kallade elyrkesmän att utföra arbete under hans ansvar, vilket är det vanliga förfarandet på elinstallationsföretag. Elyrkesmännen kallas ofta montörer. Krav på behörighet föreligger för installationsarbete, det vill säga att uppföra eller förändra en elanläggning. Förutom allmän behörighet (den högsta nivån av behörighet) finns lägre nivåer, giltiga för installationsarbeten vid vissa specificerade spänningar, samt så kallade begränsade behörigheter som är giltiga för vissa typer av underhållsarbeten i befintliga anläggningar, exempelvis losskoppling och återinkoppling av motorer inför och efter reparation på verkstad. Sådan begränsad behörighet kan erhållas vid en betydligt lägre utbildnings- och erfarenhetsnivå än den allmänna behörigheten. Det är idag mycket vanligt att fastighetsskötare under sin utbildning avlägger prov för någon av de begränsade elbehörigheterna.

I motsats till behörig elinstallatör (och den honom underställda elyrkesmannen) står begreppet lekman, vilket är alla andra personer. Dessa får fullt ut använda en elanläggning – slå på och av strömbrytare som avsett, koppla in och ut kontakter ”för allmänt bruk” och så vidare.

Lekmannens befogenheter

En lekman får utföra alla normala driftåtgärder på en belysningsanläggning, såsom att tända och släcka ljuset, men också byta ljuskällor, liksom glimtändare.

Även en lekman är skyldig att se till att han/hon inte gör något som kan medföra risker för sig eller andra, och även lekmannen är skyldig att följa tillverkarens instruktioner för de produkter som används vid ett arbete. Konkret är alltså en lekman ansvarig för följderna av att montera ett ersättningslysrör, som fysiskt passar, i en armatur med fel typ av drivdon i förhållande till det som anges på det nya rörets förpackning. Den lekman som inte har kunskap att avgöra om produktvalet är korrekt har inte heller rätt att utföra montage.

Att modifiera en armatur, exempelvis koppla ur en kondensator i den, är definitionsmässigt ett elinstallationsarbete, som skall utföras av en behörig elinstallatör eller en elyrkesman under ansvar av en behörig elinstallatör. Sådant arbete utförs alltid i sådan regi att elinstallatören har en gällande (företags-)försäkring. Det är dock inte orimligt att låta en tillräckligt kunnig person med begränsad behörighet utföra sådan urkoppling. Den begränsade behörighet som uttryckligen innebär rätt att koppla loss ”exempelvis motorer” bör också vara fullgod för att koppla loss en kondensator på ett fullgott sätt.

4. Hur fungerar olika belysningar?

Två huvudtyper av ljuskälla

- För praktiskt bruk finns det idag två huvudmetoder att generera ljus från elenergi: Varmkroppsstrålning och atomexcitation. Varmkroppsstrålning uppstår runt varje tillräckligt varmt objekt, som till exempel glödtråden i en glödlampa eller halogenlampa, där elektrisk ström värmer upp en tunn tråd.
- Atomexcitation bygger på naturens strävan efter jämvikt. När man på konstgjord väg förser vissa atomer (eller i vissa fall molekyler) med "mer energi än normalt" så kommer dessa att autonomt återgå till sin normalnivå genom att göra sig av med den påförda "överenergin". Oavsett hur uppladdningen har utförts så sker återgången genom emission av vissa, för varje atom, karakteristiska våglängder. För vissa grundämnen ligger denna karakteristiska våglängd inom den del av energispektrum som vi kallar "synligt ljus". Genom att låta atomer från flera olika ämnen exciteras samtidigt kan man få ett ljus som har ljus av flera olika våglängder i sig samtidigt, och därför kan upplevas någorlunda dagsljuslikt.
- Atomexcitationen kan sedan göras på två olika sätt. Det äldsta sättet är att låta en ljusbåge (en urladdning) kontrollerat pågå mellan två elektroder i en atmosfär av exempelvis kvicksilverånga under lågt tryck, varvid det uppstår främst UV-strålning som kan excitera ett "ljuspulver", vilket är funktionen för vanliga lysrör. Detta kan man grovt talat påstå är den sista stora tillämpningen av "radiatorsteknik" i en stor del av samhället.
- Det andra sättet är att använda halvledardioder, vars funktion bygger på "överenergi" i en övergång mellan två områden på något halvledande ämne (exempelvis kisel), och som med inblandning av lämpliga ämnen även avger ljus när elektrisk ström flyter genom övergången. Det har forskats mycket på denna konstruktion, och efterhand har det utvecklats lysdioder (LED) med mycket gott ljusutbyte. Under utvecklingen har man följt två olika spår: Det ena innebär att göra dioder med "vitt ljus", och det andra att göra dioder med UV-ljus och ett ljuspulver på samma sätt som i lysrör. Forskningen går vidare och försöker ytterligare förfinas diodtekniken, och den senaste utvecklingen idag (2015) har resulterat i LED-moduler med större ljusutbyte än de bästa lysrören. Utveckling och forskning på bland annat lysrör förefaller i allt väsentligt ha avstannat, vilket tyder på att det är LED-ljus som kommer att bli vår huvudsakliga belysning framöver. Vår dagliga belysning har alltså övergått från "radiator" till "transistorteknik" (eller "fasta tillståndets teknik" – på engelska: "Solid State" - som det också kallas).

Glödljus och halogenljus – nätspänning och lågspänning.

Glödlampan, som vi är vana att använda för belysningsändamål, består av en glaskolv fylld med ädelgas av lågt tryck och en glödtråd av wolfram. Den har under lång tid saluförts i Europa standardiserad till 60 mm klotdiameter och 27 mm Edisongänga i sockeln i styrkorna 25 W, 40 W, 60 W, 75 W och 100 W. Svagare och starkare varianter har funnits, med anpassade glas och socklar, liksom alternativa former för särskilda behov (klotlampa, päronlampa...)

I belysningssammanhang har man valt 75 W-storleken som "norm", och mätt upp dess ljusutbyte till 13 lm/W. Ljuset har en varm färg (c:a 2700 K) och ett kontinuerligt spektrum, vilket är mycket gynnsamt för en fullgod färgåtergivning. Glödljuset uppvisar ingen modulation ("blinkning") vid matning med 50 Hz växelström.

Lampan är lätt att reglera med alla förekommande reglermetoder, där inmatad spännings effektivvärde begränsas genom endera fasvinkelstyrning eller amplitudstyrning, det senare dock mindre vanligt i modern tid.

Lampan anses ha en medellivslängd av 1000 h, vilket innebär att ungefär hälften av lamporna håller den tiden vid nominell matningsspänning. Redan 5 % sänkning av matningsspänningen fördubblar livslängden, med åtföljande reduktion i ljusutbyte understigande 10 %.

Lampans tillverkningskostnad är mycket låg. Styckpriset är i storleksordningen enstaka kronor.

Denna ljuskälla får sedan några år inte säljas för allmänna belysningsändamål inom EU med anledning av det låga ljusutbytet, vilket har forcerat utvecklingen av alternativa ljuskällor.

Halogenlampan är i princip en vanlig glödlampa, men den är utförd att arbeta vid en något högre temperatur på glödtråden, och avger därför också ett "vitare" ljus, c:a 4000 K. Den mycket mindre glaskroppen är utförd av kvartsglas och fylld med en svag gas av jod eller brom (två gaser från halogen-gruppen i periodiska systemet), vars uppgift är att förhindra svärtning av glaset med partiklar från glödtråden (wolfram) som loss görs vid normal användning.

Halogenlampor finns dels som rena glödlampersättare, i standardiserade socklar och glaskroppar, dels som små ljuskroppar (c:a 20 x 10 mm) och dels som små "strålkastare", där de båda senare varianterna finns för såväl nätspänning som för "lågspänning", ofta 12 V. Lågspänningsutförandet ger ofta ett vitare ljus och en större livslängd än ljuskällor för nätspänning, men kräver i gengäld en transformator (drivdon), som uppvisar vissa energiförluster vid normal användning.

Halogenlampan uppvisar ett ljusutbyte av c:a 16 lm/W (53W Philips EcoClassic), och den kan regleras som en vanlig glödlampa. Men halogenprocessen är beroende av hög temperatur, och upphör när ljuskällan styrs ned alltför mycket, varvid glaskroppen riskerar påtaglig svärtning (det vill säga en påtaglig livslängdsförkortning). I praktiken bör halogenljuskällor därför inte fördunklas i stor omfattning och/eller med betydande varaktighet. Livslängden anges ofta vara ungefärligen dubbel jämfört med en konventionell glödlampa, medan marknadspriset snarare är fem gånger högre.

Speciellt de små halogenlamporna ger en mycket stor ljusmängd från en mycket liten yta, vilket kan ge risk för bländning, men samtidigt ger detta möjligheter att använda avancerad optik till en rimlig kostnad. Detta i kombination med god färgåtergivning hos ljuset har gjort dessa lampor mycket populära i handel, skyltfönster etc.

Även halogenlampor kommer att förbjudas för allmän belysning inom EU från 2016, då även dessa anses vara alltför slösaktiga med el. De är ca 30 % bättre än vanlig glödlampa.

Energimässigt bör man även ta hänsyn till förluster i drivdon, exempelvis transformator, när man betraktar lågvoltshalogenbelysning. Drivdon blir inte sällan påtagligt varma under normal användning.

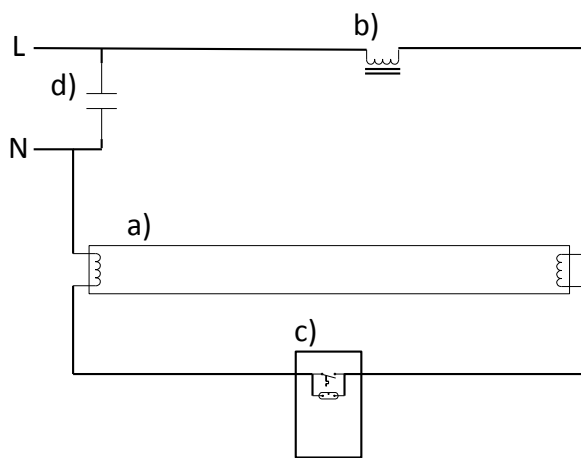
Konventionell lysrörskoppling

Det "vanliga" lysrör vi tänker på, i "konventionell koppling" är ett rakt glaströr, 28 mm i diameter, med en inmonterad glödtråd i varje ände. Glödtrådarnas båda ändar är anslutna till varsin "pinne" som sticker ut och utgör lysrörets sockel.

När lysröret är tänt sker det en kontinuerlig urladdning mellan de båda glödtrådarna, i princip en lång ljusbåge som vid elsvetsning. Ur elektrisk synvinkel är det tända lysröret ett motstånd, men med varierande resistans; vid ökande ström genom lysröret blir det varmare, varvid resistansen minskar.

För att ge lysröret en stabil arbetspunkt används därför traditionellt alltid ett driftdon i form av en drossel (en induktans med järnkärna)kopplad i serie med röret. Den ström som går genom lysröret går också genom drosseln, vars lindningstråd värms upp genom resistiva förluster. Drosseln (induktansens) inverkan på strömmen som flyter är kraftigt fasvridande. För att kompensera elnätet installeras även en kondensator i varje lysrörsarmatur. Effekten är att strömmen genom exempelvis ett 36-W lysrör är c:a 0,4 A, men om man studerar dess fasläge ligger c:a 0,22 A i fas med spänningen och resten 90 grader fasvridet, där den senare strömmen kan "produceras" i kondensatorn. Denna koppling betecknas "EM", eller "elektromagnetiskt drivdon".

Ett tätt lysrör har cirka 30 – 60 V arbetsspänning. Urladdningen genom det är förhållandevis "lågohmig". Ett släckt lysrör har däremot en (mycket) hög resistans. För att starta lysröret (tända en ljusbåge i det) krävs därför två åtgärder: Dels måste elektroderna i båda ändar förvärmas, dels måste spänningen (kortvarigt) göras mycket högre än normal driftspänning (brinnspänning).



- a) Lysrör
- b) Drossel
- c) Glimtändare
- d) Kondensator
- L) Inmatad el (fas)
- N) Inmatad el (neutral)

I den konventionella "elektromagnetiska" kopplingen löser man detta genom att vardera änden i lysröret är en glödtråd, likt en svag glödlampa. När röret skall tändas kopplas dessa båda glödtrådar in till elnätet (i seriekoppling) en kort tid. Strömmen till lysröret (glödtrådarna) går genom drosseln, men är egentligen högre än vad drosseln skulle tåla i kontinuerlig belastning. När glödströmmen bryts kommer induktansen i drosseln att motverka förändringen, så att spänningen momentant stiger med åtskilliga hundra volt, vilket orsakar ett genombrott i isolationen i lysrörets låga gastryck – ett "överslag" blir faktum, och därmed har lysröret tätt sig.

För att sköta in och urkopplingen av glödströmmen används en så kallad glimtändare. Det är en glimmlampa (en urladdningslampa) med två elektroder i en kontrollerad gas av lågt tryck som börjar lysa när spänningen över den blir tillräckligt stor. I samma glaskropp som elektroderna sitter även en temperaturkänslig strömbrytare, som normalt är bruten, men som sluts vid uppvärmning.

Konkret händer alltså följande vid "tillslag" av ett lysrör:

Nätspänning slås till. Spänningen över lysröret blir 230 V, vilket gasen/avståndet mellan ändarna "isolerar". Spänningen blir samtidigt 230 V över elektroderna i glimtändaren, som börjar lysa och värmer upp strömbrytaren.

När strömbrytaren i glimtändaren blir tillräckligt varm gör den kontakt. Då hamnar nätspänningen, minus förlustspänningen i drosseln, över de två därigenom seriekopplade

glödtrådarna i lysröret, som börjar värmas upp. Under tiden kallnar glimtändaren eftersom lampan i den slocknade när brytaren gjorde kontakt och kortslöt.

När strömbrytaren i glimtändaren därefter kallnat tillräckligt för att sluta göra kontakt bryts strömmen genom glödtrådarna, induktansen i drosseln gör en ”högspänningsspike”, och om kombinationen av glödtrådnas temperatur och spänningens storlek är tillräcklig, tänds lysröret, annars återupprepas förloppet med att glimtändaren börjar värmas. Det är inte ovanligt att längre lysrör gör ett par ”blinkningar” innan glödtrådarna hunnit värmas upp tillräckligt.

Vid normal drift är spänningen över lysröret c:a 30 V, vilket är alltför låg spänning för att lampan i tändaren skall börja glimma, varför ingen energi förbrukas i glimtändaren när lysröret är tätt. Urladdningen i röret avger tillräcklig värme för att elektroderna skall underhålla en temperatur med fungerande urladdning. Uppvärmningsström genom glödtrådarna behövs endast under startförloppet.

Däremot består drosseln av en lindning på en järnkärna, som genomflyts av ström vid drift. Varje form av ström genom en tråd ger givetvis upphov till förluster, och så även drosseln i en lysrörsarmatur. Med tiden har det utvecklats ”lågenergidrosslar”, och senare även ”superlågenergidrosslar”, och för att få någon jämförbarhet har en Europeisk samarbetsorganisation, CELMA, delat in drosslarna i olika klasser, se tabell nedan:

Tabell: Energiförlustvärden för mindre lampor enligt CELMA (FASSBINDER, Ingeniería Iluminatului 21-2008).

Lamp power rating	Maximum input power of ballast & lamp circuits					
50 Hz	Class D	Class C	Class B2	Class B1	Class A3	Class A2
18 W	>28 W	28 W	26 W	24 W	21 W	19 W
36 W	>45 W	45 W	43 W	41 W	38 W	36 W

Med omräkning till drosselförlusten blir det alltså:

Lamp power rating	Maximum input power of ballast & lamp circuits					
50 Hz	Class D	Class C	Class B2	Class B1	Class A3	Class A2
18 W	>10 W	10 W	8 W	6 W	3 W	1 W
36 W	>9 W	9 W	7 W	5 W	2 W	0 W

Det kan tyckas förvånande att definiera en klass A2 som för 36 W-lysrör inte medger någon förlust alls i drivdonet, vilket är en teknisk omöjlighet. Men sanningen är att man på annat ställe fastslagit vilken ljusmängd som skall avges av 36 W-lysrör, och konstaterat att modernare drivdon som arbetar vid förhöjd frekvens på drivströmmen får ett förhöjt ljusutbyte. Därför är inmatad effekt i ett 36 W-lysrör vid högfrekvensdrift endast 32 W, vilket möjliggör drivdon i klass A2 (som då får ha max 4 W förluster). För konventionella, elektromagnetiska, kopplingar är det dock klasserna C (standard), B2 (lågenergi) och B1 (superlågenergi) som står till hands.

Ett konventionellt lysrör med elektromagnetiskt driftdon kan regleras (ner) genom att endera sänka matningsspänningen eller genom fasvinkelstyrning. Båda dessa tekniker är främst

tillämpbara efter att ljuskällorna fått starta vid full nätspänning och uppnå normal drifttemperatur.

Nedreglering genom spänningssänkning är begränsad till som lägst cirka 75 % av full belysning, medan fasvinkelstyrning kan användas ned till c:a 20 % belysning.

Glimtändare respektive ”elektronisk glimtändare”

Konventionell, termomekanisk, glimtändare har ett par nackdelar;

- Det behövs närmast regelmässigt 2 – 4 blinkningar för att uppnå tillräcklig temperatur på glödtrådarna synkront med att brytningen skall ske vid ”rätt” ställe i växelströmskurvan – en brytning under tiden som växelströmmen är ”nära noll” ger inte upphov till någon spänningsspike som behövs för att tända röret.
- Ett vanligt ålderssymptom hos lysrör är att glödtrådarnas benägenhet till urladdning (elektron-emission) minskar, vilket gör att ”tändningen” inte lyckas. Lysrör vars tekniska livslängd passerat kan därför blinka obegränsat länge. Då strömmen genom drosseln under glödning är avsevärt högre än vad drosseln är avsedd att varaktigt klara av utgör detta en faktisk risk för överhettning med åtföljande brand. Så kallad säkerhetständare innehåller en extra brytfunktion, med en knapp för att återställa efter byte av lysrör. Denna funktion utgörs av en långsam värmekänslig brytare som inte av sig själv kan återgå om den har aktiverats. Den aktiveras om glimtändaren tvingas till alltför många aktiveringar på kort tid.
På marknaden finns det idag elektroniska glimtändare som med en större precision löser glimtändarens uppgifter, vilket anges bidra till såväl lägre energiförbrukning som ökad livslängd för ljuskällor.

HF-don-koppling

Högfrekvensdrift av lysrör, vanligtvis med en växelströmsdrivning vid frekvenser i intervallet 40 – 70 kHz, möjliggör flera fördelar gentemot den tidigare driften direkt vid nätfrekvens med seriedrossel. En är ett något ökat ljusutbyte, som vanligtvis dock formuleras som en minskad energiförbrukning vid bibehållet ljusutbyte.

Lysrör i format T5 har uppmätts med ljusutbyte 104 lm/W, format T8 strax under 100 lm/W med HF-don, vilket är det högsta tillgängliga utbytet med hittills gängse belysning.

HF-donet utgörs av en elektronisk omformare som matas med nätspänning, vilken likriktas och sedan switchas till önskad arbetsfrekvens, där en transformator kan ge önskad omsättning mellan nätspänningen och ljuskällans spänning i en fysiskt sett mycket kompakt enhet.

Mot HF-donen kan invändas att de utgör en betydligt mer komplicerad enhet än konventionella drivdon i form av drossel, kondensator och glimtändare, att de på ett annat sätt är känsliga för överspänningar och störningar, och inte minst att de belastar elnätet annorlunda än tidigare drivdon. Första generationens HF-don lovade mycket, inklusive god livslängd, men redan efter några år hade nära nog 100 % av dessa havererat på grund av såväl olämpliga konstruktioner som otillräcklig kompetens inom elektronikproduktion hos tillverkande företag.

Flera av problemen med tidiga HF-don har branschen nu löst. Dagens drivdon tycks ha en livslängd av ungefär 10–15 år, vilket anses fullgott. Det står dock i kontrast till tidigare generationers lysrörsdrivare med minst 25–30 års funktion. Det krävs betydande förtjänster i form av reducerad elanvändning och samtidigt ökad livslängd på ljuskällor för att förtjäna och förränta merkostnaden av dels dyrare drivdon, och dels halva livslängden i förhållande till

konventionella drosslar. Till saken hör att ett byte av drivdon i en lysrörsarmatur inte får utföras av annat än behörig person, något som också bidrar till kostnader. Det är snarare troligt att man väljer att byta hela armaturen efter 10–15 år när alltför många drivdon börjat krångla i ett bestånd, vilket utgör en miljöbelastning som bör vägas in i en LCC-jämförelse mellan olika belysningstekniker.

Farhågan om störningar från drivdon, så kallade EMC-problem, har nog i stort visat sig "löst" – de första generationerna av drivdon var konstruerade med mycket enkla likriktare, vilket resulterade i betydande övertoner till matande elnät (ett problem som till skillnad från de äldre donens fasvridning inte går att lösa med enkla kondensatorer). Lösning av detta problem har till viss del skett under påverkan av enhetlig kravställning genom standarddokument. Idag gäller SS-EN 60929:2011 för lysrörsarmaturer med HF-don. Denna föreskriver att: HF-don skall ha ett (helelektroniskt) aktivt filter, halten av 3:e överton ej får överstiga 8 % av grundtonen, och THD (total harmonisk distorsion) ej får överstiga 10 % av grundtonen.

Dagens tillverkade och saluförda lysrörsarmaturer och drivdon förefaller samtliga uppfylla dessa normkrav, och det snarast med viss marginal på den svenska elmaterialmarknaden.

En annan skillnad mellan drivdon med HF-don relativt konventionella drosseldrivdon ligger i att de elektroniska donen i sina filter av nöden måste tillåta en viss "läckström" mellan fas och nolla relativt jord, vilket kan resultera i problem med "falsk utlösning" av jordfelsövervakning. Många jordfelsbrytare, som installerats på hela centraler, kommer helt korrekt att reagera på ett jordfel om c:a 20 – 30 HF-don ansluts, och därför stänga av strömmatningen. Vid byte av belysningsarmaturer från de mer välisolerade äldre drosslarna till armaturer med HF-don kan samtidigt justeringar i jordfelsövervakning alltså bli påkallat.

HF-don finns såväl med som utan möjlighet till reglering av belysningsnivå, och därmed åtföljande energiförbrukning. De bästa reglerbara HF-donen (med glödtrådsströmövervakning) kan regleras ned till en nivå av c:a 1 % av full effekt, något som kan vara mycket energieffektivt när hänsyn tas till ljuskällornas livslängd i lokaler där faktiskt behov av belysning endast förekommer sporadiskt.

Seriekoppling av lysrör med gemensam drossel

Under 80-talet blev det mer vanligt att optimera såväl tillverkningskostnad som energiförluster hos lysrörsarmaturer genom att låta flera, ofta två, lysrör dela på en gemensam drossel. Eftersom brinnspänningen hos ett lysrör ligger i storleksordningen 30 – 60 V kan två lysrör utan problem kopplas i serie med en gemensam drossel som begränsar uttagen ström från elnätet. Denna lösning medför att glimtändare endast får halva spänningen jämfört med ovan beskriven separat matning. Metoden kräver därför att anpassade glimtändare används. De är ofta märkta med "series" eller "double".

Denna lösning påverkar inte möjligheten till ljusreglering/dimning.

Kompaktlysör respektive "lågenergiglödlampor"

Kompaktlysör, exempelvis "PL-11", "PL-S" etc. finns i ett antal effekter, storlekar och utformningar från ett flertal stora tillverkare. Det handlar om "korta lysör" som monteras i en stiftsockel, ungefär som en glödlampa med lysöranslutning. Som för alla lysör krävs ett drivdon även för dessa korta rör. Rent tekniskt är tekniken närmast identisk med ovan beskrivna "vanliga lysör". Kompaktlysör finns dels med 2-stiftssockel och dels med 4-stiftssockel, där de senare är

avsedda att drivas av HF-don, och de förra med konventionellt driftdon. Glimlampa för tändförloppet är inbyggd i ljuskällans sockel, och byts alltså inte separat.

Denna typ av ljuskälla ger i huvudsak samma egenskaper avseende ljuskvalitet som lysrör, men med sitt smidiga format är den anpassad för användning i mindre armaturer, exempelvis de infällda "hinkar" (ibland saluförda som "spotlights") som blev vanliga i kassettak runt år 2000. Ljuskällorna ger typiskt ett ljusutbyte i storleksordningen 70 – 90 lm/W, jämförbart med vanliga lysrör i T8-format, men något sämre än de bästa T5-rören.

"Lågenergiglödlampor" kan i realiteten sägas vara "ultrakompaktlysror med integrerat drivdon". De i handeln vanligaste modellerna är utformade att ersätta en glödlampa och har därför E-27 skruvsockel avsedd att anslutas rakt på till 230 V mätning. Såväl drivdon som tändanordning är integrerade i ljuskällans sockel. Dessa glödlampor säljs i stor omfattning på konsumentmarknaden, och erbjuder en energibesparing relativt glödlampor och halogenlampor. Det finns idag en uppsjö av mekaniskt utförande av dessa ljuskällor, inklusive sådana som är likvärdiga med den traditionella glödlampans glasbulb med diameter 60 mm. Mycket vanligt har annars varit att lågenergiglödlamporna varit längre än den glödlampa de skulle ersätta, vilket ställt till problem med vissa armaturer. Vad gäller ljusutbyte kan nog konstateras att litet format försvårar möjligheten att uppnå stort ljusutbyte, men att en typisk lågenergilampa på 15 W avger 970 lm, motsvarande en "gammal 75 W-glödlampa", och då har c:a 65 lm/W i ljusutbyte.

På senare tid har även färgåtergivning och ljusstemperatur från dessa lampor förbättrats, så att de idag kan vara ett fullgott alternativ vid energieffektivisering av befintlig glödljusanläggning i kommersiella lokaler. Ett problem att se upp med är att ljuskällorna trots allt betingar ett visst ekonomiskt värde, och att de genom sin användbarhet i "vanliga armaturer" kan vara stöldbegärliga. För installationer i publika lokaler, hyreshusens trapphus och liknande där man till viss del redan vid glödlampsbelysning föredragit B-22 bajonettsockel på ljuskällor, så finns även lågenergilampor med samma sockel.

LED-belysning

Lysdioder, eller LED som förkortningen blir på engelska, fungerar genom att elektrisk ström leds mellan olika områden på en halvledare, och då exciterar ämnen som sedan avger ljus när de återgår till normaltillstånd. Dessa ljuskällor kan ges en mycket liten utbredning, och kan närmast anses vara punktformiga för praktisk användning, vilket ger både för- och nackdelar. Ofta kombineras ett antal lysdioder till en "modul" för att tillsammans ge önskad ljusavgivning. Lysdioden har inte heller 100 % verkningsgrad, men verkningsgraden är i storleksordningen några tiotals procent, att jämföra med glödlampans enstaka procent, varför en LED-ljuskälla även den blir varm, om än inte lika varm som en glödlampa med jämförbar ljusavgivning. Lysdiodljuskällorna tenderar att vara väldigt kompakta (små), vilket resulterar i att den värmeavgivande ytan blir begränsad, varför temperaturen blir desto högre.

Det säljs idag dels LED-ljuskällor i likvärdiga kapslingar och anslutningar som tidigare glödljuskällor, dels ersättningsrör lika tidigare lysrör (T8-T12), och dels specialbyggda "LED-armaturer", där LED-modulen är fast inbyggd. Olika fabrikat på lysdioder anger lite olika förväntad livslängd, ofta 25 000 h, men vissa tillverkare anger 50 000 h och någon enda till och med 125 000 h. Det måste anmärkas att dessa siffror är starkt beroende av ljuskällans möjligheter att bibehålla avsedd drifttemperatur, eller med andra ord tillgången på kylning. För en effektiv kylning krävs ett tillräckligt luftflöde av lagom temperatur samtidigt som avgivningsytorna inte får vara belagda med smuts eller damm som försvårar värmeavgivningen.

Inte sällan säljs LED-armaturer med argument om "evig livslängd" och att ägandet skall bli mycket smidigare nu när man inte behöver byta ljuskälla, men utan att ange att rengöring av armaturer blir nödvändigt. Erfarenhetsmässigt brukar lysrörsarmaturer behöva rengöras med ungefär samma intervall som ljuskällor byts – c:a 10 000 drifttimmar, varför min logiska slutsats är att rengöring i framtiden kommer att behövas med ungefärligen oförändrat intervall för de flesta armaturer som monterats inomhus. Underlåtenhet att rengöra ljuskällor kan antas påverka såväl livslängd som ljusutbyte (mot slutet av livslängden).

Utvecklingen av LED-ljuskällan är för närvarande stor. Mycket forskningsmedel har skjutits till och resultaten har inte låtit vänta på sig. I slutet av 2014 sedan hade de bästa modulerna på marknaden ett ljusutbyte strax över 100 lm/W, identiskt med T5-lysrör, men idag finns kommersiellt tillgängliga ljuskällor med 130 lm/W.

Lysdioderna matas med lågspänd likström, och för att få stabilt ljus har praxis utvisat att system med "konstant ström" är att föredra. Tillgängliga ljuskällor för separat montage har ofta 350 mA eller 700 mA drivström, och de drivdon som säljs kan mata ut spänning för ett (angivet) antal seriekopplade ljuskällor i exempelvis infällda "spotlights".

Precis som för lysrör finns det idag även på LED-sidan en uppsjö av "ersättningsljuskällor" med integrerade drivdon för diverse matningar, såväl nätspänning som lågspänning. Dessa har idag inget "eget namn" motsvarande benämningen "lågenergilampa" på kompakta lysrör med integrerat drivdon. Ur energisparsynpunkt bör man vara försiktig med belysningslösningar som faktiskt innebär flera drivdon efter varandra, med energiförluster i varje, när det skulle räcka med ett drivdon. Rent konkret är jag alltså tveksam till lågspänningsmatade LED-ljuskällor, där man först har en omriktare från 230 V till 12 V, och sedan ett (ofta integrerat) drivdon från 12 V till 350 mA. Lösningen kan ha sin motivation som energisparåtgärd inom befintliga system och armaturer, men bör definitivt undvikas vid nykonstruktion eller omfattande omkonstruktion.

Det vanligaste "skraddarsydd" LED-armaturerna har fast monterade drivdon och ljuskällor. Vid haveri är ingen av komponenterna utbytbar annat än av elfackman (och eventuellt byte blir då beroende av om tillverkare tillhandahåller utbytesdelar för reparation). Det vanliga blir nog att armaturen byts i sin helhet snarare än renoveras. Risken att i en framtid hamna i det läget att några armaturer i ett bestånd har måst bytas, och att någon utseendemässigt identisk armatur inte längre tillverkas, resulterande i att en belysningsanläggning, som förväntas ha ett enhetligt utseende, har förbytts till en brokig "blandning" av flera olika armaturer och utseenden, kanske även med olika ljusmängd och färgtemperatur.

Under utvecklingen av lysdiodbelysning har forskningen först på senare tid fått fram kraftiga dioder med "vitt" ljus. Vid en granskning av spektra från sådana dioder ser man dock att ljuset består av en stor kortvågig, blå, del, samt "nödvändig mängd" långvågig (röd) för att blanda sig och upplevas som vitt. Denna spektralfördelning riskerar dels att påverka färgåtergivning, och dels finns det vissa farhågor om att människans reglering av vakenhet/sömn kan påverkas. Det är belagt att denna reglering till viss del styrs av just blått ljus (vonSchultz, Nytt ljus över hur LED-ljus påverkar, 2011) (Berson, 2002), och att man kan riskera oönskad vakenhet om en "vit" sänglampa i själva verket är väldigt blå, "med lite tillsatt rött så att man inte ser blåheten"... Denna fråga har på senare tid väckts av vissa forskare i samband med att man diskuterar utbyte av gatubelysning i hela städer till LED-teknik, men några svar eller undersökningar av dessa fenomen har vi ännu inte sett. (vonSchultz, Forskare: Nytt ljus på gatorna risk för sömnen, 2015)

Det måste konstateras att drivdon för LED och drivdon för lysrör med HF-teknik i grunden är mycket likartade konstruktioner, där anordningarna gentemot elnätet (inmatningssidan) är identiska, medan drivningen mot själva ljuskällan skiljer något, varvid LED-tekniken snarast är den enklare av de två. Man kunde därför förvänta sig att de respektive drivdonens uppförande mot elnätet skulle vara identiskt, men dessvärre förefaller en alltför stor andel av dagens LED-drivdon inte bättre än tidigare generationers HF-drivdon, med de egenskaper som idag genom standardarbeten inte längre accepteras.

Det är för mig obegripligt hur somliga tillverkare av LED-drivdon kan nedlåta sig till att producera och sälja utrustningar som riskerar att för lång tid befläcka hela tekniken. Det borde vara en självklarhet att krav på begränsning av störningar från armaturer skall vara de samma oberoende av vilken typ av ljuskälla som armaturerna är bestyckade med. För den som idag önskar bygga en större belysningsanläggning med 100 % LED-belysning är det ännu 2015 nödvändigt att ta hänsyn till övertonerna från drivdonen vid elanläggningens konstruktion och/eller välja drivdon med stor omsorg.

Situationen exemplifieras väl i en utredning som fastighetsbolaget Akademiska Hus AB genomförde i november 2013 inför ett nybyggnadsprojekt i Stockholm (Larsson H. , 2013). Av tilltänkta armaturtyper efterfrågades tillverkarnas uppgifter om övertoner. Det handlade om 18 olika armaturer, 8 av dem med lysrör, 10 med LED. Samtliga lysrörsarmaturer uppfyllde standardkraven, ingen LED-armatur uppfyllde samma krav (där dock 2 av armaturerna inte kunde bedömas eftersom tilltänkt leverantör inte tillhandahöll uppgifter utan betalning!). Det kan konstateras att ett par av LED-armaturerna angav THD på 74 % respektive 84 % (av tillåtna 10 %), men att detta samtidigt är de "svagaste" armaturerna, bara 1,8 W respektive 1,9 W. Man kan fråga sig om det verkligen är rätt väg att driva tekniken med separata drivdon från 230 V till några få volt likström individuellt för varje lysdiod på under 2 W. Kostnaden och omfattningen av filter och skyddskretsar torde vara i det närmaste lika stor för 2 W förbrukning som för 75 W...

Det finns också en intressant utveckling på marknaden som försörjer en komplett belysningsanläggning (med LED-ljuskällor) via "datanätkablage" i lågspänning, varvid man använder förhållandevis exklusiva kabelnät som utvecklats för höga dataöverföringshastigheter ("CAT-7") för att via standarden POE (Power over Ethernet) överföra dels energi och dels styrinformation till enskilda ljuspunkter och/eller ljusregioner som vardera omfattar ett fåtal ljuskällor inom en kontorsbyggnad. Jag är dock lite tveksam även till denna teknik, som jag befarar till viss del ersätter en dyr lösning med en annan dyr lösning. Tanken att samordna belysning med ett datanät "som bara behöver utökas till en marginalkostnad" kan vara god, men den förefaller ändå ha drag av "att gå över ån efter vatten".

Drivdon för LED-belysning kan utföras såväl med som utan möjlighet till reglering, där ljuskällorna i sig dock ger en nedre gräns för möjlig energibesparing. (Den process som startar ljusavgivning kräver en viss grundläggande spänning, varför ett litet "startsteg" måste övervinnas innan något ljus alls erhålls). Givetvis gäller det även för integrerade drivdon att de kan utföras med eller utan möjlighet till styrning, där de senare vanligtvis är billigare.

Lysrörsarmatur med LED-baserad ersättningsljuskälla

Det har tidigare diskuterats möjligheter att konvertera konventionella lysrörsarmaturer genom att ersätta drivdon för lysrör (oavsett vilken typ) med ett drivdon för LED-belysning, samt ersätta ljuskällan med någon form av LED-modul. I debatten har hörts ett antal mer eller mindre relevanta argument av såväl teknisk som juridisk karaktär, men verkligheten är framför allt

ekonomiskt tveksam; kostnaden för att hantverksmässigt demontera armaturer, byta drivdon och ljuskälla, samt troligen även intern ledningsdragning hamnar vanligen över alternativet att köpa nya armaturer från fabriksmässig produktion där såväl automatisering som produktion i låglöneländer uppväger transportkostnad. Självfallet kan operationen komma att vara aktuell i speciella fall – där en äldre armatur genom sin formgivning är en viktig del av arkitekturen kan kostnadsargument ibland betraktas som sekundära.

En annan mycket intressant utveckling som däremot kommit på marknaden på senare tid är ”utbyteslysrör”, en så kallad ”retrofit-lösning”, som är avsedda att monteras i en befintlig lysrörsarmatur utan någon ombyggnad/ändring (annat än samtidigt byte av eventuellt förekommande glimtändare). Åtgärden är alltså likvärdig med att ”byta till ett nytt lysrör”, men i stället monteras ett rör med LED-belysning och integrerat drivdon.

LED-rören av bättre fabrikat tillverkas med den senaste lysdiodtekniken, vilket i sig ger ett ljusutbyte som överglänser T8-lysröret, men dessutom utformas dessa rör till att lysa endast i en riktning, till skillnad mot lysröret som lyser lika starkt radiellt i samtliga riktningar som är rätvinkliga till rörets symmetriaxel. I avancerade belysningsarmaturer utnyttjas ljuset i ”fel riktning” i en reflektor, vilket givetvis inte alls låter sig göras med ett LED-rör, men samtidigt finns det många enkla lysrörsarmaturer som inte har någon reflektor värd namnet, möjligen en vitmålad metalllyta bakom röret. För denna typ av armatur kan alltså ett LED-lysrör erhålla likvärdig styrka på strålningsintensitet av ljus med klart under halva energianvändningen från det konventionella lysröret.

Med likvärdigt ljusutbyte, men där LED-röret endast lyser i en sektor som är 120-150 grader borde energiförbrukningen hos LED-röret vara i storleksordningen 1/3 (120/360) av det runtomstrålande lysröret, men på grund av förluster i drivdonet bör man vara tillfreds med en halvering av förbrukningen.

En nackdel med tekniken är att det konventionella drivdonet finns kvar, och alltså vållar energiförlust utan att fylla något elektriskt syfte, men samtidigt finns det en poäng i att man, särskilt vid ”osäkra fall”, förhållandevis riskfritt kan prova att byta ljuskällor till LED-rör eftersom en återgång till tidigare utförande låter sig göras utan annan kostnad än ett konventionellt ljuskällebyte.

Det finns på marknaden främst ersättningsrör som är avsedda att arbeta med konventionellt kopplade, EM-armaturer (med drossel), av ett flertal fabrikat, exempelvis Valtavalo serie G3+, men även rör avsedda att användas i armaturer med HF-drivning, exempelvis Philips serie ”Instant Fit”. Båda dessa redovisar ljusutbyte i storleksordningen av 125 – 130 lm/W.

På marknaden finns också varianter av LED-rör som fungerar ”lika bra” med drossel inkopplad som utan (exempelvis fabrikatet Valtavalo). För sådant rör kan anläggningsägaren alltså låta en elinstallatör modifiera befintlig armatur genom att kortsluta drosslarna, en åtgärd som i de allra flesta fall kan utföras med armaturen på sin normala plats och en mycket låg tidsåtgång. Om man är säker på att LED-röret kommer att vara fullgott (kanske genom ett föregående prov i delar av ett bestånd) kan en sådan ombyggnad mycket väl tänkas vara lönsam genom kostnadsbesparing av reducerad energiförlust under en avsevärd planerad drifttid med LED-ljuskällan, liksom den kan bidra till reducerad energiförbrukning. För ytterligare diskussion om legaliteten i sådant förfarande, vänligen se rubriken ”CE-märkning”

Räkneexempel på besparing vid bortkopplad drossel: Anta ett lysrör som lyser ”natttid” hela året, c:a 3000 h/år, med 2 W besparing. Detta motsvarar idag c:a 6 kr/år i sparpotential vid ett

elpris av 1 kr/kWh. Med samma antaganden har ett lysrör med "evigt ljus" en besparingspotential av c:a 17 kr/år. Med kostnad för elinstallatör av c:a 500 kr/h och vanligt kommersiellt krav på "pay-off-tid" ej överstigande 3 år är maximalt tillåten arbetstid för omkoppling 2 minuter 9 sekunder respektive 6 minuter 7 sekunder, där åtminstone det senare förefaller högst genomförbart. I denna kalkyl har hänsyn inte tagits till nyttiggörande av förlusten i form av värme, men för en huvuddel av belysningsbeståndet torde lokaluppvärmning idag ske på annat (billigare) sätt än med elvärme, och under alla omständigheter inte under hela året. Om lokalen där ljuskällan placeras rentav är försedd med kylning under hela eller delar av året är den skenbart obetydliga energibesparingen större än den kan förefalla. Beräkning av lönsamhet i ombyggnad av armaturer måste därför utföras i varje specifikt fall med hänsyn till lokalens värmesystem och eventuella kylsystem.

Det måste anmärkas att den här beskrivna typen av ersättningsrör har funnits på marknaden i enklare utföranden åtminstone sedan 2013, men att det inte funnits någon standard för elsäkerhet och utförande av sådana rör, varför försäkringsläget varit tveksamt (eventuell skada som skulle kunna vara orsakad av sådana "ej standardiserade" ljuskällor har sagts ej vara täckt av gängse brandförsäkringar). Elsäkerhetsverket har hållit ett vakande öga, och utfärdat ett antal försäljningsförbud mot olika produkter som inte uppfyllt tillräcklig säkerhet, varav det första 2013-07-09 och det senaste 2015-05-21.

I december 2014 publicerades dock standarden IEC 62776, som följts upp (beslutsfällt) med SS-EN 62776, fastställd 2015-05-13, och kontroll med försäkringsbolagens sakkunniga i frågan (Jan Berggren, verksamhetschef på Elektriska Nämnden) bekräftar att man idag till fullo accepterar ljuskällor som utförts enligt denna standard.

Värt att notera är också att för såväl EM- som HF-kopplingar har retrofit-rören begränsningar. De kan endast användas med armaturtypen "single", det vill säga vid individuell drossel för varje lysrör, respektive vid enkelt HF-don för varje lysrör.

Författaren har hittills endast sett ersättningsljuskällor som INTE lämpar sig för reglering (dimning).

Lysrör och automatsäkringar respektive jordfelsbrytare.

Vid renovering av lokaler är det idag inte ovanligt att befintliga elcentraler med smältsäkringar (typ Diazed) byts ut mot automatsäkringscentraler, vilka medger ett smidigt montage av jordfelsbrytare, styrrelän med mera direkt i samma kapsling som själva säkringselementen. I den mån så sker utan andra ändringar av belysningsinstallationen har det på sina håll visat sig att där man tidigare konstruerat och dimensionerat en belysningsanläggning efter maximal driftström för smältsäkringar är det nödvändigt att för automatsäkringslösningen i stället dimensionera anläggningen efter största förekommande startström, vilket närmast undantagslöst medför att belysningsgrupper måste minskas. Ny (mer) ledning måste alltså ofta dras för att klara av oförförändrad belysning (med samma antal armaturer) vid byte från smältsäkringar till automatsäkringar.

Värst blir förhållandet vid samtidigt armaturbyte till armaturer med HF-don eller LED-drivdon. Alla elektroniska drivdon har kraftiga strömspikar de första perioderna av matningsspänning, alltså direkt efter tillslag.

Som tidigare nämnts inträffar också problem/störningar vid installation av jordfelsbrytare för belysningsanläggning, respektive problem med befintliga jordfelsbrytare vid utbyte av

lysrörsarmaturer från sådana med konventionella (EM-) drivdon till dito med HF-don eller LED-drivdon.

De jordfelsbrytare som föreskrivs för personskydd vid alla anläggningsdelar med "uttag med högsta märkström 20 A som används av lekmän och avsedda för allmänbruk" skall vara utförda att garantera funktion vid en jordfelsström av max 30 mA ("Svensk standard SS 436 4000 utg. 2, §411-3-3"). I praktiken är de flesta fabrikat vid leverans utförda med viss marginal. De träder vanligen i funktion vid ca 20 +/- 5 mA. I såväl HF-don som LED-drivdon uppstår i de nödvändiga och föreskrivna filter mot avgivande av störningar som ingår i donen en läckström i storleksordningen 0,5 - 1 mA, vilket sätter den praktiska gränsen vid ca 20 – 25 HF-don/drivdon per jordfelsbrytare.

Det måste dock i sammanhanget framhållas att elförordningen inte kräver installation av jordfelsbrytare för belysning annat än i speciella lokaler, och att inte heller det vanliga förfarandet med "vägguttag" för anslutning av takarmaturer/pendelarmaturer förändrar den saken. Uttagen i taket anses inte vara anordnade för "allmänbruk", utan specifikt för belysningsändamål, vilket i de allra flesta fall också stämmer med verklig användning.

Teknikernas för- och nackdelar

Generellt ger lysrör i formatet T5 (med HF-don) och moderna LED-baserade armaturer ett ljusutbyte strax över 100 lm/W. Mellan dessa två alternativ kan man idag inte utse någon teknisk segrare, men ett rimligt antagande är att LED-tekniken kommer att fortsätta att utvecklas, och avgå med segern. Antagandet baseras bland annat på den omfattande forskning som fortgår inom LED-området, men som förefaller närmast ha avstannat vad avser lysrörsbelysning, samt att det redan idag finns LED-moduler med ca 123 – 130 lm/W i ljusutbyte, även om de större svenska armaturtillverkarna ännu inte hunnit inkludera sådana i sin produktion.

Vid en förutsättningslös konstruktion/installation idag kan inte antagande om nästa teknik-generation styra valet. Installationen kommer trots allt att utföras med dagens teknik, och med dagens förutsättningar avseende finansiering (ränta), energipris etc. även om anläggningen skall leva och användas långt in i framtiden. Däremot bör man vid större byggprojekt, där inte sällan konstruktionen sker flera år före installationen, vara mycket lyhörd och lägga val av armaturer, ljuskällor etc. så sent som möjligt i konstruktionsprocessen.

Vad avser användning kännetecknas urladdningsrör (såsom lysrör, lågenergilampor och kompakt-lysrör) generellt av ett långsamt startförlopp som är beroende av uppvärmning. Till stor del kompenseras detta av HF-don. Det långsamma startförloppet är ett problem som förvärras vid låga omgivningstemperaturer, varför kombinationen av konventionellt drivna urladdningsrör och rörelsevakt utomhus vintertid är förkastligt.

Vad gäller färgåtergivning, upplevelsen av färgtemperatur med flera subjektiva faktorer, förefaller lysrör eller LED vara så snarlika att någon nämnvärd skillnad inte finns, med undantag för att lysrör med konventionella drivdon kan uppvisa ett visst mått av flimmer, speciellt i samband med nedreglering (dimning). LED-belysning tycks också vara lite begränsad vad gäller de allra varmaste ljusfärgerna, det vill säga "simulerat glödljus", något som dock sällan är efterfrågat i kommersiella lokaler.

Från tillverkarna och samarbetsorganet "Belysningsbranschen" anges att ett lysrör typ T8 med EM-don, för att uppnå av tillverkare angivna data för medellivslängd skall användas enligt

provcykel angiven av IEC 60081 (IEC 60081, 1997,... Amd 4:2010) 165 minuter på, 15 minuter av, upprepat.

Tidigare har det på många håll i belysningsbranschen formulerats som allmänna råd att lysrör:

- Aldrig skall vara tänt kortare tid än 2 h
- Aldrig skall vara släckt kortare tid än 0,5 h
- Inte får dimras under de första 100 h av sin aktiva livstid (så kallad inbränning) (Larsson P. , 2008) (Osram, 2014).

Beklagligt nog har alla undersökta tillverkare idag ändrat sina formuleringar, och några referenser till den gamla rådgivningen har varit svåra att finna. Dagens rekommendationer är brinntid minst 15-20 minuter, och inga restriktioner i "släcktid". Däremot publiceras från de större tillverkarna datablad med angivande av förväntad livslängd som en funktion av längden på operativa cykler. Ett typiskt sådant diagram refereras också på sid 42 i Handbok 9 från Exotronic (som tillverkar styrningar och rekommenderar korta brinntider), där man kan se att ett lysrör med EM-koppling som utsätts för 0,25 h (d.v.s. 15 minuters) driftcykel får förväntad servicetid reducerad från 11 000 h till 4 500 h (Exotronic, 2011). Med Servicetid avses tid till 10 % av ljuskällorna inte längre fungerar. Kostnaden för ljuskälla (d.v.s. inköp och utbyte) ökar till 244 % av "normkostnad".

Dessa krav medför inte sällan att lysrörsbelysning av ekonomiska skäl måste tillåtas lysa för "tomma rum", då kostnaden för ljuskällebyte orsakat av reducerad livslängd skulle överstiga kostnaden för förhöjd elförbrukning. Elenergin användas i praktiken därigenom som bidrag till lokaluppvärmningen (vilket i lokaler med aktiva kylsystem medför ökad elförbrukning vid onödig belysning).

Till viss del kan energimässigt dåliga lösningar avsedda att kompensera för problemet med reducerad livslängd ersättas av installation av styrutrustning, som främst tillgodoser kravet på minsta brinntid genom att reducera belysningen (dimning), och därmed energiförbrukningen, hos lysröret till c:a 20 % av full styrka för enklare drivdon och till c:a 1 % för de bästa drivdonen, under den "efterlysning" som krävs för att komma upp till 20 min belysningstid (enligt Exotronic en timme) innan rören kan tillåtas släckas/börja kallna. Dessa siffror förutsätter dock installation av HF-don (Exotronic, 2011).

Vid såväl nyanläggning (av belysningsanläggning) som vid revision av befintlig anläggning anser jag att LED-ljuskällor med integrerat driftdon ("retro-fit"-rör) bör uppfattas som ett mycket rimligt alternativ. Dessa rör medger vid nyinstallation användning av synnerligen enkla armaturer (av vilka man kan förvänta sig god livslängd), och kan vid renovering användas i befintliga armaturer. Vid eventuellt haveri av ljuskälla eller drivdon byts de ut som en enhet av lekman, exempelvis fastighetsskötare.

Uppgifter från en tillverkare av utbytesrör (Valtavallo) talar om ljusutbyte på 120-130 lm/W kombinerat med livslängd av 125 000 brinntimmar och 5/7 års garanti, siffror som väl överglänser även de bästa T5-lysroren.

Vid en renovering av en befintlig anläggning hamnar frågan om val av ljuskälla i en något annan vinkel. Härvid kan en kalkyl tala för att använda exempelvis lågenergilampor (minilysrör med integrerat driftdon) med ett ljusutbyte av kanske 65 lm/W i stället för att byta såväl armaturer som i värsta fall även ledningar för att kunna åtnjuta ett högre ljusutbyte – speciellt om det gäller lokaler med låg årlig ackumulerad drifttid, exempelvis maskinrum, teknikutrymmen och liknande.

Generellt för samtliga lysrörstyper ger HF-drift möjligheter till bättre styrning och högre ljus-kvalitet (bland annat flimmerfrihet), och de bidrar dessutom till viss inbyggd energibesparing relativt konventionella driftdon med drossel och kondensator, men de kan förväntas ha en kortare livslängd än "enkla" standardarmaturer. Vid modernisering av en befintlig anläggning bör en kalkyl som väger in befintliga armaturers skick, kostnaden för eventuellt armaturbyte, anläggningens förväntade användningstid och livslängd beaktas.

För LED-belysning så som armaturtillverkarna idag föredrar att utforma tekniken finns inga möjligheter att byta komponenter, utan vid haveri byts hela armaturen. Man talar här om brinntider på 25 000 – 50 000h, vilket för ständig belysning endast motsvarar 2,8 – 5,6 år, men för nattbelysning 8 – 16 år. Om man uppför en anläggning med avsikten att hela armaturer skall bytas vart 3:e år bör man vara medveten om att utbytesarmaturer kan komma att vara i annorlunda utförande än de ursprungliga. Erfarenhetsmässigt kommer dock betydande delar av drivdonen i ett armaturbestånd att haverera inom kortare drifttid än 16 år. (Det finns såväl drifts-relaterat åldrande som "rent" åldrande hos komponenter.)

De respektive teknikerna med fasta ljusmoduler och fasta drivdon har alltså påtagliga nackdelar, utöver det faktum att utbyte av samtliga armaturer och ofta även anslutningsledningar vanligtvis är "dyraste lösning" för modernisering.

Jag skulle idag vilja rekommendera den som skall konstruera en nyuppförd och/eller reviderad större belysningsanläggning för kommersiella lokaler att anpassa belysningsval efter lokalt behov:

- På alla platser där frekvent av/på-manöver kan användas i energibesparande syfte, exempelvis WC, hissar, och vissa passageytor, bör man sätta LED-baserad belysning som förstahandsval, men noga utvärdera drivdonens stör- och övertonsegenskaper.
- För korridorer, källare, parkeringsgarage mm kan man också gott överväga LED-baserad belysning. I lokaler med begränsad takhöjd och/eller behov av belysning på väggar/hyllor etc. är det dock troligen nödvändigt att välja lysrör.
- För arbetsytor, kontor mm där mer konventionella armaturval efterfrågas, med höga krav på god jämnhet i belysning, estetisk utformning med mera, är det ännu till viss del en ekonomisk fråga om T5-lysrör eller LED-baserade armaturer är bästa val.

För de första båda behoven ser jag "enkla armaturer" utan drivdon, som bestyckas med "ersättningsrör", alltså ljuskällor med integrerat drivdon, som ett mycket intressanta alternativ.

5. Vilka typer av armaturer och styrningar finns det? Identifiering?

Syftet med denna identifiering är att avgöra om ersättningsrör av LED-typ, så kallat retrofit-rör, kan användas i en befintlig ljusarmatur, och i så fall vilken typ av ersättningsrör som är lämpligt.

För de "gamla" rörstorlekarna gäller uppgifterna i tabellen:

Längd	Effekt	Effekt
	T8 (Ø26 mm)	T12 (Ø 38 mm)
[mm]	[W]	[W]
440	15	17
600	18	20
900	27	30
1200	36	40
1500	58	65

Ersättningsrör måste givetvis vara av rätt längd.

När man önskar identifiera en befintlig armatur med lysrör är första frågan: Elektromekaniskt drivdon eller HF-don? Även den som inte är elyrkesman kan säkert avgöra detta! EM-don har ALLTID en glimtändare (för varje rör), HF-don har ALDRIG någon glimtändare. Glimtändare sitter närmast undantagslöst monterade synligt i anslutning till ljuskällan (ofta vid ena änden, under eller bakom lysröret). Förekomst av utbytbar glimtändare är ett krav för montage av förekommande utbytesrör för EM-system.

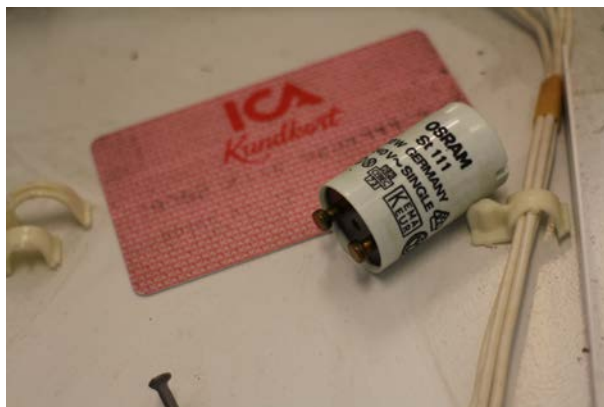


Bild: Glimtändare (lös)

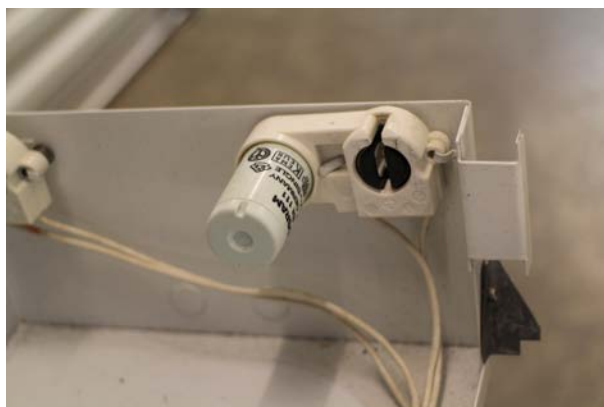


Bild: Monterad Glimtändare hopbyggd med lysrörshållare

Om man identifierat att aktuell armatur har EM-drivdon gäller det för armaturer med mer än ett lysrör att avgöra om armaturen har individuellt drivdon för varje lysrör eller ett gemensamt för flera rör. Om armaturen är av öppen typ så att man med blotta ögat kan se och räkna förekommande drosslar är det enkelt, och då bör man känna till att en drossel alltid är "fyrkantig" men oregelbunden, vanligtvis c:a 10 x 4 x 3 cm stor, aldrig rund eller cylindrisk. Det senare är typiskt för en kondensator, som också är vanligt förekommande i lysrörsarmaturer. Ofta har drosslar idag texten "... Ballast" på sig. Om armaturen har lika många drosslar som lysrör (och dessutom en kondensator) är förutsättningarna för utbytesrör goda.



Bild: Drossel (monterad glimtändare skymtar till höger)



Bild: Kondensator för faskompensering (cirkulärt tvärsnitt)



Bild: Öppnad armatur med två drosslar (EM), och två kondensatorer.

Om man däremot identifierat att armaturen har HF-drivning gäller det att räkna drivdon och lysrör. De idag förekommande ersättningsrören förutsätter att armaturen har ett unikt drivdon för varje lysrör. Drivdon är ofta märkta "...electronic", de har ofta ett helt rektangulärt tvärsnitt, ca 3 x 3 cm, och är inte sällan 25 cm långa.

Om armaturen inte är av öppen typ kan man utan demontering (som bör överlåtas till fackman) trots allt lossa och granska förekommande glimtändare och/eller eventuellt tillgänglig dokumentation för armaturen. Om glimtändarna har texten "Single" tyder det på separata drosslar, har de texten "double" eller "series" tyder det på gemensam drossel. Ett alternativt test är att för en armatur där alla lysrör är tända ta ner ett rör. Om övriga rör i den armaturen fortsätter lysa har det demonterade röret en individuell drossel. Samtliga rör i en armatur måste provas på detta vis.

Om armaturen inte har några glimtändare, och dessutom tänder sig "direkt" (utan blinkning) vid tillslag rör det sig med stor säkerhet om en armatur som utrustats med HF-don. För dessa armaturer bör man definitivt undvika att demontera lysrör under drift, men man kan prova att stänga av armaturen, ta bort ett lysrör och sedan åter tända armaturen. Om alla övriga rör i armaturen tänder sig trots frånvaron av ett lysrör kan man med fog anta att armaturen går att förse med LED-ersättningsrör, men en elinstallatör bör konsulteras för att säkerställa detta.

För att överväga om armaturen är försedd med "avancerad optik", avgör om det finns någon blank reflektor bakom varje lysrör, och hur avancerad form denna har. Om befintlig reflektor är väldigt nedsmutsad (inte ovanligt!) och man ändå är tillfreds med belysningen från armaturen kan man gott och väl överväga ersättningsrör. Om armaturen saknar reflektor är ersättningsrör ett än mer uppenbart alternativ.

Betrakta belyst yta. Ersättningsrören strålar ofta med c:a 120 – 140 graders vinkel på sin avgivna ljuskägla. Behövs det belysning över större vinkel än så? I så fall är ersättningsrören olämpliga. Ett exempel är om "höga hyllor", det vill säga hyllor som kan nå nästan ända upp till samma höjd som belysningen är placerad, skall lysas upp, vilket idag är svårt med LED-rör i enkelrörsarmatur,

men skulle kunna göras med dubbelrörsarmaturer om de två LED-rören kan riktas i "45 graders vinkel" från vertikalaxeln, d.v.s. ett rör snett emot vardera sidan av en hyllkorridor.

Undersök om belysningen är försedd med någon typ av dimmer eller styrning. Tänder och släcker man med enkel strömställare? Finns det någon form av styrning i lokalen? Granska den elcentral som försörjer lokalen, finns det någon utrustning där som har namn/skyltar som talar om belysningsstyrning? Styrning kan vara beroende av tidpunkt, instrålat dagsljus, närvarodetektor eller knappar (eller motsvarande) för att minska bakgrundsbelysning i exempelvis konferensrum och föreläsningssalar.

6. Val av ersättningsljuskälla

LED-baserade ersättningsrör kan i stor utsträckning ersätta befintliga T8 (och T12) lysrör.

Ljuset från de studerade rören, exempelvis Valtavalo G3+, förefaller vara påtagligt likt konventionell lysrörsbelysning, med angivet färgåtergivningsindex $> Ra\ 80$, en färgtemperatur på 4000 K. (Beteckning enligt ILCOS-systemet är följaktligen 840, sådant ljus anges vanligen som "kallvitt") Detta rör är avsett att användas i EM-kopplade armaturer.

Snarlika rör för HF-matade armaturer finns, exempelvis Philips "Instant Fit"-serie, som anger färgåtergivning (Ra) = 83 och tre alternativa ljus temperaturer; 3500 K, 4000 K och 5000 K.

Valtavalo datablad anger en ljusdistribution som säger att ljuset vid 60 graders avvikelse från "bredsida" har ungefärligen 50 % av ljustrycket rakt fram (med samma spridning såväl tvärs som längs rörets huvudaxel). Utanför 60 graders vinkel avtar belysningen påtagligt, och vid ungefär 70 graders vinkel är utstrålad belysning 0 (noll). Motsvarande siffror för Philips-röret är ca 10 grader större, det vill säga 70 grader ger halvt ljus, och 80 grader är gränsen för något ljus alls.

Vid val av ersättningsljuskälla bör därför en beräkning ske av belyst yta. Kan man exempelvis i en källarkorridor tillåta mörka fläckar på golvet, och i så fall hur stora?

Ett räkneexempel med en korridor, 200 cm bred, med armaturer placerade 210 cm över golv, 10 cm från ena väggen, längs med denna vägg visar att maximalt tillåtet armaturavstånd för att undvika fläckar på golvet helt utan belysning är 618 cm (ände – ände) (se Bilaga B).

Vid belysning av arbetsplatser, skrivbord och liknande kan det behövas något större uppmärksamhet vad avser armaturernas placering över bord. I praktiken är det dock så att om arbetsytan får god belysning av ett vanligt lysrör kommer även LED-röret att vara fullgott. Om det vanliga röret ger mindre bra belysning kan dock LED-röret vara direkt otillräckligt, då det har en tämligen distinkt kant i sitt ljusdistributionsdiagram. Härvid kan ersättningslysrör vara olämpligt, eller så bör förhållandet mellan arbetsplatser och armaturer förändras (flyttning av den ena eller andra, eller fler armaturer) oavsett vilken ljuskälla som väljs.

Tillverkarna av LED-ersättningsljuskällor anger att alltför slutna armaturer kan resultera i otillräcklig kylning, med åtföljande reducerad livslängd, varför dessa rör knappast kan vara lämpliga i miljöer med stora mängder fukt/vatten eller damm, såsom vissa verksamhetslokaler (spolhallar, badanläggningar, duschutrymmen, sågverk, kvarnar, djurstallar och liknande).

Vid påtagligt låg armaturplacering bör ersättningsrör med opaliserat glas väljas för att minska risken för bländning från de relativt starka och punktformiga ljuskällorna i LED-röret. Det opaliserande glaset medför en viss förlust i ljusutbyte, exempelvis från 126 lm/W till 117 lm/W för 600 mm långa rör (10W) från Valtavalo.

Valtavalo erbjuder dessa rör i längderna 60 cm, 90 cm, 120 cm och 150 cm för att ersätta de vanligaste T8/T12-lysrören med EM-koppling. Effekten varierar mellan 10 W och 24 W. Ljusutbytet för dessa olika längder varierar mellan 126 lm/W och 133 lm/W för ljuskällor med genomskinligt glas respektive 117 – 124 lm/W för de med mjölkigt glas. Variationen i ljusutbyte torde komma sig av att verkningsgraden hos det integrerade drivdonet blir större samtidigt som inverkan av "tomgångsförluster" minskar med stigande effekt. Livslängden är uppgiven till 125 000 h.

Philips erbjuder sina ersättningsrör "Instant Fit" för HF-matning i längderna 60 cm, 90 cm och 120 cm, med effekter mellan 8,5 W och 16,5 W. Ljusutbytet varierar mellan 121 och 123 lm/W och är något olika för olika färgtemperatur. Livslängden är uppgiven till 40 000 h.

Då dessa ljuskällor drar ungefärligen halva effekten jämfört med konventionella lysrör kommer uppvärmningen av armatur, hållare och drossel att bli påtagligt reducerad, varför armaturens livslängd kan antas öka. Med bakgrund kan det tyckas förvånande att kravet på "öppna armaturer" enligt ovan finns, men sanningen är att konventionella lysrör, av glas med ändar av metall, är mycket tåliga för höga drifttemperaturer, vilket LED-röret i plastmaterial med inbyggda halvledarkomponenter inte alls kan sägas vara.

Valtavallo anger att uttagen ström från elnätet har THD < 10 %, i överensstämmelse med standardkrav för lysrörsbelysningens drivdon, vilket är bra.

Valtavallo anger att dessa ljuskällor inte lämpar sig för steglös belysningsstyrning, varför man vid installation måste försäkra sig om att sådan, eller planer på sådan, inte föreligger.

Vid ombyggnad av armaturer anger Valtavallo att eventuellt förekommande faskompenseringskondensatorer i armaturerna skall kopplas ur, vilket kräver behörighet för att utföra, och vilket samtidigt inverkar på armaturtillverkarens ansvar för armaturens egenskaper. Se vidare diskussion kring detta under rubriken CE-märkning.

Valtavallo har utfärdat ett dokument som mycket tydligt beskriver behovet, och ansvarsfördelningen, vid respektive ändring av armaturer (Valtavallo Ltd, 2015).

7. Funktionella krav vid utvärdering av ersättningsljuskälla

- Är tilltänkt ljuskälla utformad och provad enligt IEC-standard (IEC 62776, 2014)?
- Krävs omkoppling av armatur enligt den tilltänkta ljuskällans tillverkare?
- Krävs omkopplingar och/eller ombyggnad av matande elanläggning vid byte av ljuskälla och/eller armatur (Jordfelsbrytare, Dimensionering av säkringar, ...)
- Ersättningsljuskällorna har ett mer begränsat ljusfält än äkta lysrör. Räcker det begränsade fältet för aktuell applikation?
- Är utvald ersättningsljuskälla det mest energi- och kostnadseffektiva valet? LED-belysning bör idag (maj 2015) ha ett belysningsutbyte av minst 120 lm/W.
- Är vald lösning robust och servicebar under avsedd driftperiod och livslängd?
- Väg installations- och driftkostnad mot förväntad livslängd för såväl oförändrad belysning (fortsatta lysrör) som för ersättningsrör. Glöm inte personalkostnader såsom för montering eller rengöring.
- Sätt ett värde på ökad ljuskvalitet vid LED framför lysrör vad avser blinkning.
- Beakta alternativens miljöaspekter i material- och avfallshänseende. LED-alternativen är kvicksilverfria.
- Beakta om "spillenergi" bidrar till lokalens uppvärmning eller till ett ökat kylbehov.
- Konstatera att ju fler komponenter desto fler felställen. Elektroniska drivdon kan erfarenhetsmässigt förväntas hålla 10–15 år, EM-don 25–30 år. Hur lång förväntad livslängd har armaturerna i sig?

8. Slutsatser

En ersättningsljuskälla med LED är ett intressant belysningsalternativ i många fall där man konventionellt använder lysrör. På marknaden erbjuds ljuskällor för såväl EM-drift som för HF-drift, liksom vissa av de förra även är lämpade för direktdrift, det vill säga drift utan förkopplingsdon.

Ersättningsljuskällorna har integrerade drivdon, varför risken för inkompatibilitet mellan ljuskälla och drivdon är eliminerad.

”Ersättningsljuskällorna” med direktdriven koppling borde vara ett intressant alternativ även vid nykonstruktion.

Ersättningsljuskällorna erbjuder ett intressant alternativ, där lekman enkelt kan byta drivdon tillsammans med ljusmodul. Armaturen är utförd helt utan aktiva komponenter, varför belysningslösningen rimligtvis kan bedömas kunna hålla minst 25 år, där framtida utbyte efter att drivdon eller ljuskälla tjänat ut kommer att kunna ske med då aktuell ”bästa teknik” utan några kostnader för ombyggnad eller byte av armatur.

Ersättningsljuskällorna kan inte till fullo ta platsen för alla lysrör – användningar där lysrörets ”runt-om-strålning” utnyttjas och i viss mån anläggningar i varm omgivning förefaller idag vara två exempel på område som LED-tekniken (ännu?) inte är lämpad för.

Generellt är utvecklingen på området snabb, och nya produkter kommer hela tiden ut. För dagen har jag dock inte kunnat finna någon produkt som direkt, utan ombyggnad av armatur, kan utgöra ersättningsljuskälla för armaturer med seriematade lysrör varken från EM-driftsdon eller lysrör som ”dubbelmatas” från gemensamt HF-don.

För dagen har jag inte kunnat finna något ersättningsrör som kan användas för ljusreglering (dimning).

För de alternativ där ersättningslysror inte är användbara idag förefaller konventionella lysrör i formatet T5 vara ett lämpligt val, men även väl valda lösningar med T8 och HF-don kan ge gott ljusutbyte, och ha den fördelen att man i framtiden, när LED-tekniken utvecklats vidare, troligen kommer att kunna använda LED-ersättningsrör, något som inte är självklart för T5-rör.

För belysningsuppgifter med begränsad årlig brinntid kan ”lågenergilampor” eller motsvarande ersättningsljuskällor med LED-teknik och integrerat drivdon genom sin låga installationskostnad vara det fördelaktigaste alternativet för energiförbättring.

9. Referenser

"Svensk standard SS 436 4000 utg. 2, §411-3-3". (u.d.). *SS 436 4000 utg. 2, §411-3-3* .

Anell, I. A. (2002). *Ljuskällor kompendium 2002*. Stockholm: Anell ljus+form AB.

Berson, D. e. (den 08 02 2002). Phototransduction by Retinal Ganglion Cells That Set the Circadian Clock. *Science* , ss. 1070 - 1073.

Exotronic. (den 05 12 2011). Handbok för Belysningskonsulter och Installatörer. *Handbok 9* , 9, 278. Skogås, Sverige.

FASSBINDER, S. (Ingenieria Illuminatului 21-2008). *SAVING ENERGY AND REDUCING REACTIVE POWER THROUGH OPTIMAL COMBINATION OF FLUORESCENT LAMPS AND MAGNETIC BALLASTS*. Düsseldorf: Deutsches Kupferinstitut.

IEC 60061, ,. 3. (den 01 01 1969,... Amd 51:2014). IEC 60061. *Lamp caps and holders together with gauges for the control of interchangeability and safety*. Geneve, Schweiz: International Electrotechnical Commission.

IEC 60081, ,. 3. (den 18 10 1997,... Amd 4:2010). IEC 60081, Edition 5. *Double-capped fluorescent lamps – Performance specifications* . Geneve, Schweiz: International Electrotechnical Commission.

IEC 60360, ,. 3. (den 10 06 1998). IEC 60360:1998. *Standard method of measurement of lamp cap temperature rise* . Geneve, Schweiz: International Electrotechnical Commission.

IEC 61231, ,. 3. (den 14 01 2010,... Amd1:2013). IEC 61231:2010+AMD1:2013. *International lamp coding system (ILCOS)* . Geneve, Schweiz: International Electrotechnical Commission.

IEC 62776, ,. 3. (den 11 12 2014). IEC 62771:2014. *Double-capped LED lamps designed to retrofit linear fluorescent lamps - Safety specifications* . Geneve, Schweiz: International Electrotechnical Commission.

Khalil, W. (den 11 10 2014). *A Review of Luminaires*. Hämtat från academia.edu:
https://www.academia.edu/8729690/A_Review_of_Luminaires den 24 Jun 2015

Larsson, H. (2013). *Utredning Övertoner, Med fokus på vissa av Biomedicums armaturer*. Stockholm: WSP Group PLC/Akademiska Hus.

Larsson, P. (den 29 05 2008). *Energieffektiv belysning i offentlig upphandling Ljuskällor & Energibesparing*. (Osram, Producent) Hämtat från milou - skånskt kompetenscentrum för miljöanpassad offentlig upphandling: <http://www.milou.hutskane.nu/files/osramperlarsson.pdf> den 24 06 2015

Osram. (den 01 03 2014). *Technical application guide, Double capped fluorescent lamps: T8 ...* Hämtat från Part 1: Products and Technology:
<http://www.osram.se/media/resource/HIRES/349830/7129720/single-and-double-capped-fluorescent-lamps-english-part-1.pdf> den 25 06 2015

Valtavallo Ltd. (2015). Modifying fluorescent luminaires to be compatible with LED tubes. Oulu, Finland.

Wikipedia. (den 18 Jun 2015). *Community*. Hämtat från Wikipedia:
<https://de.wikipedia.org/wiki/ILCOS> den 24 Jun 2015

vonSchultz, C. (den 13 03 2015). Forskare: Nytt ljus på gatorna risk för sömnen. *Ny Teknik*, s.
<http://www.nyteknik.se/tekniknyheter/article3891403.ece>.

vonSchultz, C. (den 16 11 2011). Nytt ljus över hur LED-ljus påverkar. *Ny Teknik*, s.
http://www.nyteknik.se/nyheter/energi_miljo/energi/article3344693.ece.

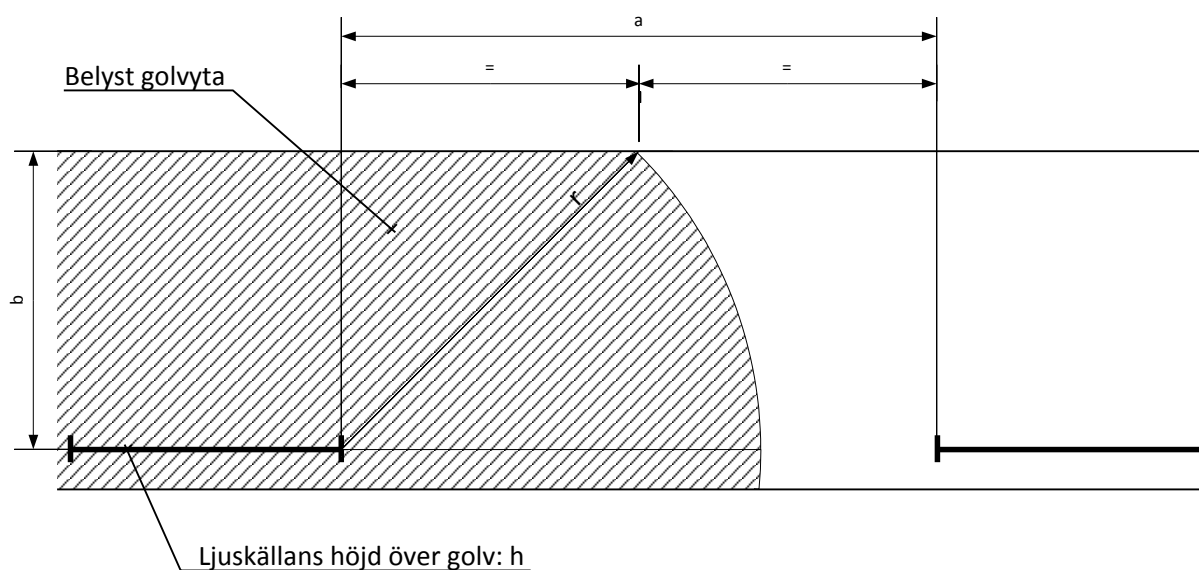
Bilagor

Bilaga A – Använda förkortningar och beteckningar

IEC	International Electrotechnical Commission
ILCOS	International Lamp CODing System, aka IEC/TS 61231
ZVEI	ZentralVerband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie
CELMA	Federation of National Manufacturers Association for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union
EMC	Electromagnetic Compability
LCC	Life-Cycle Cost
THD	Total Harmonisk Distorsion

Bilaga B - Beräkning av maximalt armaturavstånd vid armaturer i rad

För att förhindra svarta fläckar (som helt saknar belysning) på golvet i exempelvis en korridor beräknas maximalt acceptabelt avstånd a mellan ljuskällor, med beteckningar enligt figur:



I figuren betecknar:

- a : maximalt avstånd mellan ljuskällors ändar
- b : avstånd mellan ljuskälla och mest avlägsen vägg
- h : ljuskällans höjd över golv
- r : radie på golvet, gräns för belysning

I kalkylen betecknar v : ljuskällans angivna spridningsvinkel

$$r = h \tan\left(\frac{v}{2}\right)$$

$$a = 2 \sqrt{r^2 - b^2}$$

Exempel: $b = 190$ cm, $h = 210$ cm, $v = 120^\circ$ (Valtavallo LED-rör) $\rightarrow r = 363$ cm, $a = 620$ cm.

Vid en längd på ljuskällan av 120 cm blir alltså max C-C avstånd för armaturerna 740 cm.