

En jämförelse mellan vita LED och lågenergilampor i korridor

– med avseende på effekt och upplevelse



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Avdelningen för Miljöpsykologi

Examensarbete:
Ina Dobshykava

© Copyright Ina Dobshykava

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2010

Sammanfattning

Detta examensarbete har utvecklats utifrån ett förslag från RegionFastigheter (teknisk förvaltning för Region Skåne) som grundades på att ett antal korridorer på Helsingborgs lasarett har genomgått byte av armaturer, från lågenergilampor till vita Light Emitting Diodes (LED). Resultaten visade sig vara goda och ytterligare korridorer i närliggande byggnader genomgick förändringen.

Min roll i det hela blev att undersöka om den nya armaturen var bättre eller sämre i avseenden på ljusstyrka och luminans, kostnadsmissigt med hjälp av Life Cycle Cost kalkyl (LCC-kalkyl) och upplevelsemässigt med enkätundersökningar. Även de nu kända för- och nackdelar med ljuskällan skulle beskrivas.

Resultat av undersökningen visade att trots att vita LED är en ung ljuskälla och fortfarande under utveckling så är de installerade armaturerna lika bra som den utbytta lysrörsarmaturen i ljus tekniska sammanhang (ljusstyrka och luminans). Jämförelse av LCC-kalkyler samt effektmätningar visade att LED var mycket bättre effektmässigt, med upp till 80 % besparing jämfört med lysrörsarmaturen. Investeringen skulle börja återbetala sig efter två år från installationen, en rimlig tid för en investering.

Upplevelsemätningen visade att efter nyinstallation upplevdes ljuset som både ljusare och bättre med en signifikant skillnad från enkätundersökningen före installationen. Resultatet bör dock tolkas med en viss försiktighet då svarsfrekvensen har varit sämre för enkätundersökning efter nyinstallationen. Det skulle vara intressant att följa upp studien ett år efter mätningarna, när effekten av förändringar i inomhusmiljön har avtagit.

Sammantaget är LED-ljuskällan lika bra eller även bättre än den utbytta lågenergiljuskällan i flera avseenden. Förutom de uppmätta aspekterna finns skillnader i teknik, LED är fri från UV- och IR-strålning och kvicksilver och har en livslängd på ca 50 000 h., ca sex år med drift dygnet runt eller nitton år med drifttid i korridoren. Vita LED har dock en del sidor som behöver utvecklas vidare, till exempel ljusstyrka, kylning av ljuschipet (värme i denna förkortar livslängden) och konkurrenskraftigt pris.

Nyckelord: vita LED, light emitting diodes, lysdiod, lågenergilampa, lysrör, upplevelsemätning

Abstract

The project has been developed from a proposal made by RegionService (technical real estate for Region Skåne) and based on the replacement of light fixtures from low energy lamps to white Light Emitting Diodes (LEDs) in some hallways in Helsingborgs Lasarett (The Hospital in Helsingborg). The results turned out to be positive and further replacement were made in nearby buildings as well.

My part in the project was to investigate the new fixtures and their performance in regards to brightness, luminance and whether the upgrade was cost-efficient. This was made with help of Life Cycle Cost (LCC) calculations, customer-experience and public surveys. The known advantages and drawbacks of the source of light were also a factor to be weighed in and used in the project conclusion.

The results of the investigation showed that despite the white LED fixtures being a relatively new source of light and still under development, they were just as good as the previous lamp-fixtures in regards to the technical aspects of brightness and luminance. A comparison of the LCC-calculations and power measurements showed that the LEDs were much more energy-efficient with savings up to 80% more energy in comparison to the previous lamp-fixtures. The drawn conclusion of this was that the investment in new LEDs would have repaid itself after two years from the time of installation and therefore being a reasonable time for an investment.

The customer-experience survey showed that after the installation of the new LEDs people perceived the lights being significantly brighter compared to previous public surveys carried out before the installation of the new lights. Note, however, that the responses from the surveys after the installation were less than the responses before the installation and results should be interpreted with some caution. It would therefore be interesting to do a follow-up study one year after the first survey when the immediate effects of the changes to the environment have worn off.

In conclusion, the LEDs are a good source of light and may be seen as being even better than the replaced lamp-fixtures in several aspects. In addition to the measured differences, there are also differences in the technology, for instance LED is free of UV- and IR-radiation and mercury. It also has a lifespan of around 50 000 h, approximately 6 years constantly or 19 years as they would be operating in accordance with the regular operating-hours in the hospital-hallways. However, white LEDs also have some aspects to them that need further development, for example in the intensity of the light, the cooling

of the chip inside the light (heat in the chip decreases its lifespan), and competitive prices.

Keywords: White LED, Light Emitting Diodes, low energy lamp, fluorescent light, experience measurements

Förord

Detta examensarbete är ett avslutande moment vid ingenjörsprogrammet Byggteknik med arkitektur vid Lunds tekniska högskola, Campus Helsingborg och omfattar 22,5 högskolepoäng. Arbetet grundas på ett förslag från RegionFastigheter (nuvarande Regionservice) och är genomfört under höstterminen 2009. Det har varit en lärorik och spännande tid där mitt intresse för människor och miljö kunde vevas samman med mina tekniska kunskaper.

Att välja att skriva om belysning var inte det självklara valet med tanke på att det inte ingår i undervisningen på byggnadstekniska utbildningen på Campus Helsingborg, ändå kändes det som ett relevant och tidsenligt ämne att skriva en uppsats om. Trots att min kunskap inom området var relativt liten fick jag positiv respons och hittade infallsvinklar som kunde relatera till mina tidigare kunskaper.

Eftersom jag tidigare hade funderingar på att utöka mina kunskaper inom belysning, inomhusmiljö och hur olika denna kunde upplevas med olika belysningslösningar var det också ett intressant område för mig att jobba med och lära mig mer av. Vad som var ännu mer spännande var att arbetet skulle handla om en relativt ny ljuskälla och definitivt ett framsteg inom inomhusbelysning – Light Emitting Diodes (LED).

Jag vill härmed tacka min examinator Thorbjörn Laike, biträdande prefekt vid avdelningen för Miljöpsykologi, LTH, för all värdefull kunskap och det stora engagemanget i mitt projekt. Ett stort tack till Göran Linborg som har varit min handledare och alltid ställt upp med all information och hjälp jag behövde.

Ett speciellt tack vill jag rikta till Ann-Cathrine Karlsson för hjälp med enkätundersökningen och alla som ställde upp och besvarade denna, samt Rikard Swedenborg som har kommit med förslaget till detta arbete. Ett stort tack till min familj och vänner för all stöd och motivation!

Helsingborg, februari 2010

Ina Dobshykava

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Kort om lysdioder	1
1.1.2 Kort om lågenergilampor och lysrör.....	2
1.1.3 Övriga ljuskällor, en översikt	2
1.2 Syfte	2
1.3 Problemformulering	3
1.4 Tillvägagångssätt	3
1.5 Avgränsningar	3
2 Light Emitting Diodes	4
2.1 Historia: utveckling av LED	4
2.2 Teknologi	4
2.3 Framtida utsikter för lysdioder	6
2.4 Specifikationer	6
2.4.1 Ljusutbyte	6
2.4.2 Färgåtergivning	7
2.4.3 Livslängd.....	8
2.4.4 Miljövänlighet	8
2.5 Den aktuella LED-armaturen	9
3 Lysrör och lågenergilampor	10
3.1 Historia: utveckling av lysrör	10
3.2 Teknologi	11
3.3 Specifikationer	11
3.3.1 Ljusutbyte	11
3.3.2 Färgåtergivning	12
3.3.3 Livslängd.....	12
3.3.4 Miljövänlighet	12
3.4 Den aktuella lysrörsarmaturen	13
4 Metod	14
4.1 Ljusmätning	14
4.2 Enkätundersökning	14
4.3 Life Cycle Cost kalkyl	15
5 Resultat	16
5.1 Ljusmätningar i korridoren	16
5.2 Enkätundersökning	16
5.2.1 Bortfallsanalys.....	17
5.2.2 Hawthorne-effekten.....	17
5.2.3 Statistisk utvärdering av resultat	17
5.3 Life Cycle Cost kalkyl	19
5.4 Effektbesparing och totalbesparing	20

6 Slutsats	22
6.1 Tekniska skillnader och likheter	22
6.2 Förbättring med LED	22
6.3 Nackdelar med LED	23
Bildkällor	24
Källförteckning	25
Bilagor	27
Bilaga 1. Ljusmätning, skiss	27
Bilaga 2. Ljusmätning, diagram	28
Bilaga 3. Enkät	29
Bilaga 4. Enkät svar	33
Bilaga 5. Statistiktabel	34
Bilaga 6. Effektmätning före och efter bytet av ljusarmaturer ...	36
Bilaga 7. Life Cycle Cost kalkyl	37

1 Inledning

Lågenergilampor har länge varit det vanligaste och bästa alternativet för energisnål inomhusbelysning men nu utmanas deras starka position av en ny teknik – i form av vita Light Emitting Diodes (LED). En kort presentation av de nämnda ljuskällorna samt jämförelse av tekniska data, undersökningar och enkätstudier kommer att stå som grund för utvärdering av likheter och skillnader mellan dessa.

I texten förekommer benämningarna *lysrör* och *lågenergilampa*. Bägge syftar på den utbytta ljuskällan som är en lågenergilampa som ser ut som ett smalt, kort lysrör. I grunden är lysrör och lågenergilampor uppbyggda på samma sätt och har likvärdiga egenskaper, därav förekomst av båda alternativen.

1.1 Bakgrund

Med EU:s beslut om glödlampans utfasning och förbud år 2012 blir allt fler miljövänliga och energibesparande ljuskällor aktuella, däribland LED.

1.1.1 Kort om lysdioder

Användning av LED-tekniken har verkligen vidgats på senare år – från att ha använts i ficklampor, utomhusbelysning med mera till att ersätta konventionella belysningsarmaturer inomhus. Tekniken är mycket energisnål – vita LED har passerat glödlampans och många andra vanliga ljuskällor i ljusutbytet (hur starkt en ljuskälla lyser vid en watt, *lumen/watt* – ett mått på energieffektivitet) och är på god väg att nå upp till värden av de just nu mest ljuseffektiva – lysrörs/lågenergilamporna. Ljuset är dessutom fritt från värme och UV-strålning, ljuskällan är dimbar och livslängden påverkas inte av antalet tändningar och släckningar. Den pågående utvecklingen gör att LED-armaturerna optimeras även prismässigt, vilket betyder att allt fler företag och offentliga organisationer väljer att satsa på LED när det är dags att byta ut uttjänta armaturer.

Lysdioder för belysningsändamål har dock fortfarande en del problem, till exempel behöver chipet bra kylning för att livslängden och ljusstyrkan inte ska minska drastiskt. Lysdioder kan ännu inte användas i lokaler där högt ljusflöde (mer än 300 lm) krävs. Ljuskällan behöver även utvecklas prismässigt. En debattartikel från belysningsbranschen lyfter också problemet med att det saknas en utarbetad standard för LED-belysning, vilket kan göra det svårt att till exempel välja rätt produkter och räkna på livslängder. En del LED-lampor har anpassats för att passa äldre armaturer, vilket kan skapa problem även med CE-märkning (kontrollmärkning för överensstämmande krav på säkerhet, hälsa och miljö) för de sistnämnda. Det kan vara särskilt allvarligt för

exempelvis äldre utrymningsskyltar då det kan innebära en säkerhetsrisk (Norén 2008).

1.1.2 Kort om lågenergilampor och lysrör

De just nu regerande ljuskällor i kontorslandskapet och de flesta inomhusmiljöer är lågenergilampor och lysrör. Dessa har existerat i ca 70 år och utvecklats i miljövänlighetsavseendet, förbättrade ljusegenskaper och energimässigt till ljuskällor med högt ljusutbyte, över 100 lm/W. Det betyder att det inte behövs så stor effekt för att komma upp i en ljusstyrka som behövs för att tillgodose människans behov av en god belysningsmiljö. (Hjertén, Mattsson, & Westholm 2001)

1.1.3 Övriga ljuskällor, en översikt

Förutom lysrör och lysdioder finns det ett antal andra ljuskällor. Dessa delas in i tre grupper: urladdningslampor, glödljuslampor och induktions- och svavellampor. Till den första gruppen hör bland annat lysrörslampor (se den tekniska beskrivningen längre fram i arbetet) men också metallhalogenlampor, hög- och lågtrycksnatriumlampor. De sistnämnda används som utomhusbelysning och i trafikljus, medan de starka metallhalogenlamporna har bra färgåtergivning och används i inomhusmiljö eller utomhus – i strålkastare.

Glödljuskategorin inkluderar den vanligaste ljuskällan – glödlampan och dess variationer samt halogenlampor, koltrådslampor och kalljuslampor. Alla bygger på att ljuset bildas genom att en tråd glöder inuti lampan. Halogenlampor har förutom den glödande tråden även en gasutfyllnad inuti lampan. Halogen får volframtråden att hålla länge men lampan blir också mycket varm. Kalljuslamporna är halogenlampor som har en glasreflektor där större delen av värmestrålningen riktas bakåt, vilket gör att själva ljuset inte blir lika varmt som med vanlig halogenlampa (Hjertén, Mattsson, & Westholm 2001).

Den sista gruppen, induktions- och svavellampor är starklysande lampor, dock inte lika vanliga som de ovannämnda kategorierna. Ljuset bildas genom att ett magnetfält inuti lampan alstras när strömmen kopplas på, varefter gasen som omger induktionsspolen påverkas att avge ultraviolett strålning. Genom ett omgivande lyspulver omvandlas strålningen till synligt ljus (www.locklight.se 2010).

1.2 Syfte

Syftet med detta dokument är att bistå RF med en undersökning i hur inomhusmiljön påverkas av de nya ljuskällorna, främst hur personer som vistas i dessa miljöer upplever förändringen. Arbetet ska tydligt redovisa likheter och skillnader mellan den utbytta ljuskällan och LED i avseende på

upplevelse, ljusstyrka, luminans och Life Cycle Cost (LCC) och beskriva för- och nackdelar med den nya ljuskällan.

Min förhoppning är att mitt arbete ger större insikt i hur LED-belysning fungerar inomhus och om studien visar goda resultat, också att introduktionen av ljuskällan sker i fler passande inomhusmiljöer.

1.3 Problemformulering

Att undersöka skillnader eller likheter i upplevelse, ljusstyrka, luminans och LCC av LED och lågenergilampor i en referenskorridor.

1.4 Tillvägagångssätt

De tekniska mätningarna ljusstyrka och luminans genomförs med hjälp av en ljusmätare. Ett antal punkter kommer att mätas och därefter jämförs medelvärden av mätvärdena med varandra. En enkät (se Bilaga 3) kommer att användas för att på ett överskådligt sätt mäta upplevelse av ett antal ljusegenskaper på en sjugradig skala. Ett utvalt antal egenskaper med liknande innebörd slås ihop till gemensamma faktorer och presenteras i form av medelvärden i statistiktabeller och diagram. En utförligare beskrivning av tillvägagångssättet finns i kapitel 4, *Metod* (se s. 14).

Informationen om de olika ljuskällorna hämtas till stor del på belysningsbranschens och lamptillverkarnas internethemsidor vilket innebär att informationen inte bör uppfattas som helt opartisk och objektiv. Dock finns det för lite tryckt information om de vita lysdioderna för att hitta tillräcklig information. Till jämförelsen används den information som anges av tillverkare av de två ljuskällorna vilket förhoppningsvis ger en rättvisande bild av jämförbara egenskaper dessa har.

Alla bilder som är gjorda eller tagna för arbetet kommer inte bifogas referens, däremot alla bilder som är hämtade på internet eller ur litteraturen kommer att bifogas en sådan.

1.5 Avgränsningar

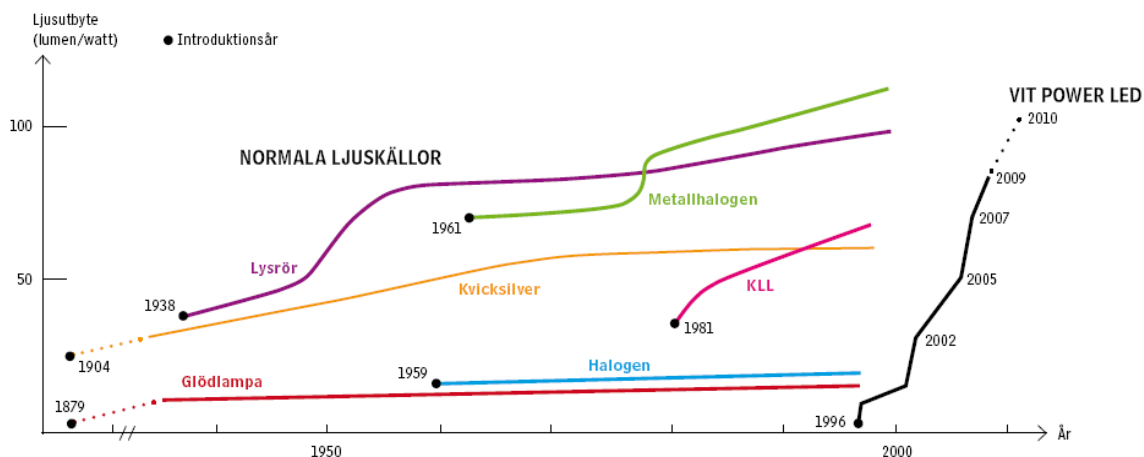
Arbetet utförs under begränsad tidsperiod och därför avgränsas alla mätningar till att utföras i endast en del av kontorsbyggnaden (korridor) där den konventionella belysningsarmaturen kommer att bytas ut mot LED-armaturer. LED jämförs endast med den utbytta ljuskällan (lågenergilampan).

Jämförelse av enkätresultat begränsas till att redovisa viktigaste skillnader i upplevelse av enskilda eller sammanslagna värden. En signifikansanalys genomförs med hjälp av statistikprogrammet SPSS.

2 Light Emitting Diodes

Lysdioder är en ung ljuskälla och behöver därför en ingående beskrivning av dess egenskaper för att visa skillnader mot nuvarande etablerade ljuskällor. En kort historik, uppbyggnad och funktion av en lysdiod, specifikationer och framtida utsikter följer i texten nedan.

2.1 Historia: utveckling av LED



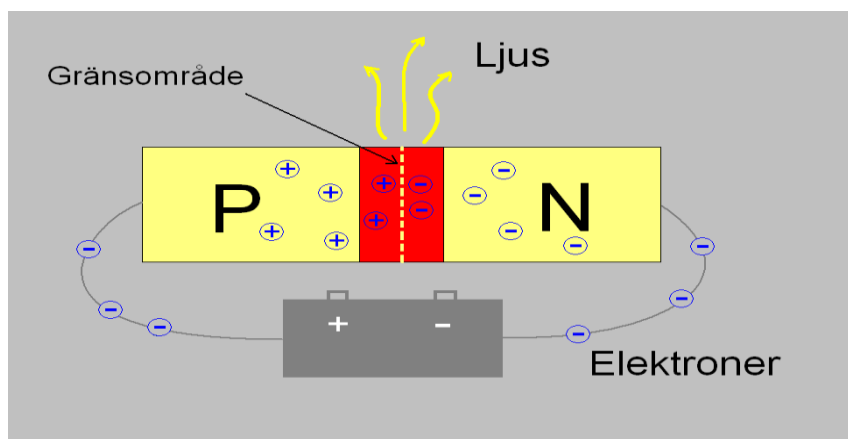
Figur 1. Jämförelse av LED och konventionella ljuskällor med avseende på ljusutbyte (2009-12-09; http://www.ljuskultur.se/files/Teknik_Miljo/Teknik/Vart_att_veta_om_LED.pdf)

Med en tillbakablick i historien är LED en ljuskälla som, sedan vit power LED introducerades, har utvecklats och förbättrats snabbast av alla vanligt förekommande ljuskällor, se Figur 1. Redan 1907 upptäckte engelsmannen Henry Joseph Round de lysande egenskaperna hos en halvledare, dock stannade upptäckten vid en publicerad artikel om fenomenet (www.orc.soton.ac.uk 2009). Det dröjde ända till 1962 då de första lysdioderna började marknadsföras.

De första LED-lamporna lyste rött och användes främst som indikationslampor eller liknande. Under 70- och 80-talet kom de i andra färgvariationer som orange, gul och grön. När den blå dioden uppfanns 1993 fortsatte utvecklingen i snabb takt och efter 1995, då den första LED-modulen med vitt ljus introducerades, öppnades allt fler vägar för användning av LED-tekniken (www.ljuskultur.se 2009).

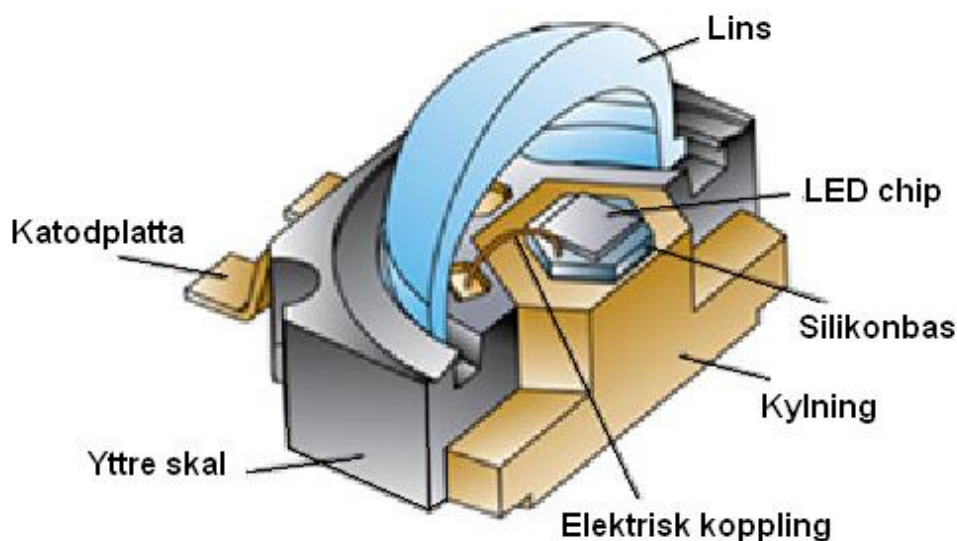
2.2 Teknologi

Ljuset från lysdioder alstras i en halvledare som på elektrisk väg stimuleras att lysa (elektroluminiscens). Fältet P i Figur 2 har underskott på elektroner och i fältet N är det överskott av elektroner. När likström kopplas på i kretsen jämnas under- och överskotten ut och ljus alstras i gränsområdet mellan fälten.



Figur 2. Elektroluminiscens i halvledaren

Ljuset har ett smalbandigt spektra och de olika färgerna som ljusdioderna alstrar skapas med hjälp av olika kemiska sammansättningar av halvledarna samt genom att linsens kemiska sammansättning ändras. Ljus från halvledare är fritt från IR- och UV-strålning.



Figur 3. Uppbyggnad av en lysdiod (2009-12-17; http://www.philipslumileds.com/technology/images/LUXEON-k2_cutaway_mid.jpg)

Dimensioner av en halvledarplatta är högst 1 mm, vilket innebär att lysdioderna kan räknas till de minsta ljuskällorna som finns. Att använda den lilla halvledarplattan som den är fungerar dåligt i praktiken då denna behöver skyddas och kylas för att fungera en längre stund. Därför placeras den i en kompakt ”förpackning” som innehåller både värmeavledare och elektrisk anslutning. En lins ovanpå halvledaren förstärker och sprider ljuset och mellanrummet de emellan fylls ofta med silikon för att stabilisera och

ytterligare skydda halvledaren. En sådan uppbyggnad ger en ljuskälla som är mycket stabil och tålig mot yttre påverkan.

För att få vitt ljus används bland annat samma teknik som i lysrör. En blå lysdiod kombineras med ett lyshölje som konverterar en del av ljusstrålningen till gult ljus och resultatet blir en vit lysdiod. Det vita ljuset kan även skapas genom att dioder med de tre grundfärgerna kombineras. I det fallet kan flera halvledare eller lysdioder (halvledare i ”förpackning”) placeras på ett kretskort och bilda en LED-modul. Beroende på hur kretskortet är uppbyggt kan olika ljuseffekter skapas. Exempelvis kan lysdioder i färgerna rött, grönt och blått bilda flera andra färger utifrån kombinationen av dessa.

Beroende på om LED är av hög eller låg/medium effekt drivs den på olika sätt. Konstantström och seriekoppling gäller för moduler/armaturer med hög effekt (t.ex. inomhusbelysning) och konstantspänning och parallellkoppling för lågeffektiva LED (www.ljuskultur.se 2009).

2.3 Framtida utsikter för lysdioder

Utvecklingen fortsätter mot att få fram flexibla lysande material, så kallade OLED (organiska lysdioder). Så länge är glas det enda lämpliga material för uppbyggnad av dessa, vilket ger begränsningar både i formbarheten och i tjockleken, idag ca 2 mm. Forskningen öppnar dock möjligheter för olika plaster som ett underlag till OLED. Ett exempel på en tänkbar framtida användning av sådana är LED-tapeter med inbyggda ljuspunkter som mönster (www.ljuskultur.se 2009).

2.4 Specifikationer

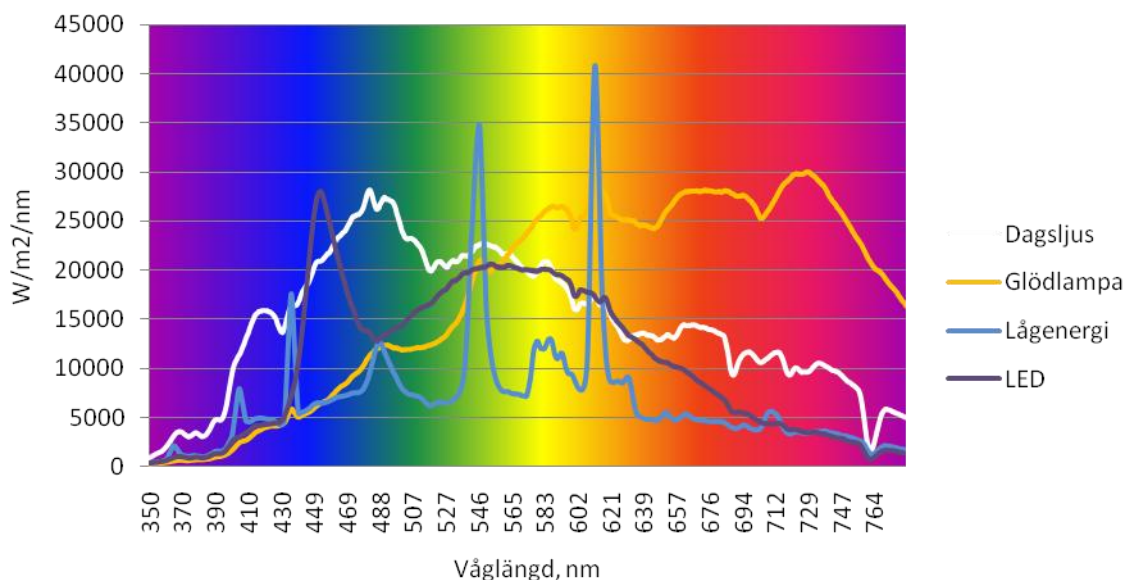
I takt med att de optiska komponenterna utvecklas samt att livslängden förbättras med effektiva kylmetoder blir LED en alltmer prisvärd och energisnål ljuskälla. Nedan beskrivs de huvudsakliga tekniska aspekterna för en vit lysdiod.

2.4.1 Ljusutbyte

LED finns idag i olika ljusstyrkor, allt från ljussvaga till högeffektiva lysdioder med upp till några hundra lumen i ljusflöde. År 2009 uppnår de, i optimala förhållanden, ett ljusutbyte på över 100 lm/W. Det kan jämföras med effektivitet av ett lysrör. Än mer tydlig blir utvecklingen av ljusutbytet hos vit power LED när den jämförs med andra ljuskällor, se Figur 1, s. 4. De flesta lysdioder på marknaden idag uppnår ca 60 lm/W (www.ljuskultur.se 2009). Jämförelse kan göras med en glödlampa som har 12 lm/W (Hjertén, Mattsson, & Westholm 2001).

2.4.2 Färgåtergivning

Färgåtergivning betecknar ljusets förmåga att återge färger och uttrycks i Ra-index (Rendering Average). Skalan är 1-100 där 100 är bästa värdet. Dagsljus och värmestrålande ljuskällor (exempelvis glödlampor) har Ra 100. Indexen grundar sig på en matematisk jämförelse mellan den spektrala effektfördelningen hos ljuskällorna i förhållande till reflexion/absorption hos några grundfärger. Det betyder att rangordningen inte beskriver hur de påverkar upplevelsen av färgen utan hur nära dagsljusets färgåtergivning ljuskällorna ligger. De ljuskällor som har Ra över 90 är ungefär lika bra på att återge färger utan att de förvrängs (blåaktighet, för röda eller dunkla nyanser i färgen) som dagsljuset (Hjertén, Mattsson, & Westholm 2001). Ljuskällor med Ra < 80 ska inte användas i lokaler där människor vistas långvarigt (Ljuskultur 2003).



Figur 4. Exempel på färgspektrum hos de olika ljuskällorna

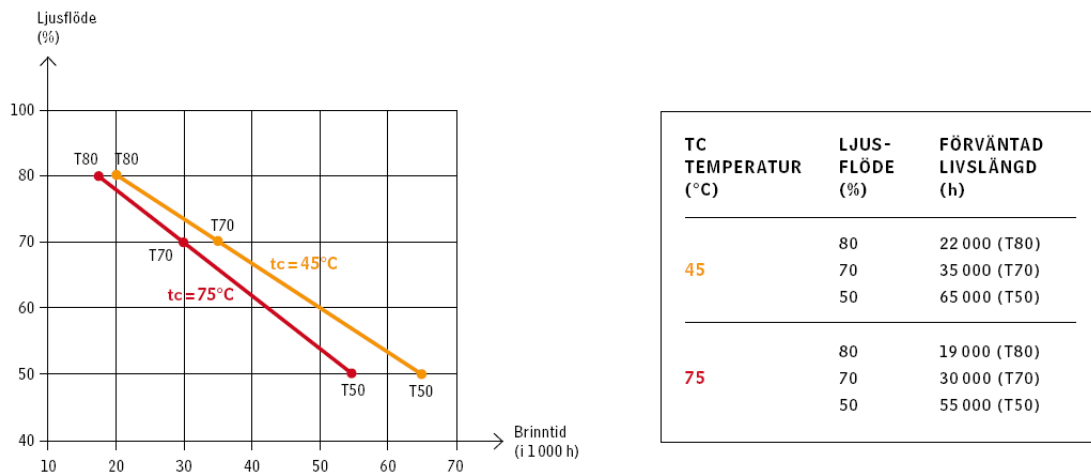
LED finns idag i en mängd olika färger, vit power LED finns i flera olika färgtemperaturer, från kall (>4500K) till en mer varmvit nyans (2700 till 3800 K) hos ljuset. K står för Kelvin, ju kallare ljus desto högre färgtemperatur. Figur 4 visar ett exempel på hur färgspektrum hos olika ljuskällor kan se ut. Dagsljus har ett kontinuerligt färgspektrum och en kall färgtemperatur (5000 K), till skillnad från glödlampans där varma färgnyanser dominerar. Lågenergislampor, eller kompaktlysrör, har ett diskontinuerligt spektrum med stora variationer mellan olika slags lysrör medan LED, som har stora likheter med lysrör, har en topp i det blå fältet men i övrigt ett kontinuerligt spektrum.

Färgåtergivningen varierar stort mellan olika dioder, för de färgade dioderna finns inget färdigt system och ett nytt jämförelsesystem håller på att skapas.

Kvalitativa vita LED är däremot jämförbara med färgåtergivningsindex och har en Ra på > 90, likt lysrör (www.ljuskultur.se 2009).

2.4.3 Livslängd

Lysdioder, olikt någon annan ljuskälla, slutar inte lysa helt utan ljusflödet minskar långsamt med tiden. Därför bör livslängden beskrivas med det antal timmar då en viss procent av det ursprungliga ljusflödet återstår, vanligtvis när ljusflödet har reducerats till 70 procent.



Figur 5. Livslängd beroende på tc (2009-12-09; http://www.ljuskultur.se/files/Teknik_Miljo/Teknik/Vart_att_veta_om_LED.pdf)

Livslängden är temperaturberoende – ju lägre drifts- och omgivningstemperatur desto längre livslängd, upp till 50 000 timmar för de högeffektiva vita lysdioderna. Även ljusflödet påverkas av LED-chipets temperatur. Därför är det viktigt att kretskortet eller ett kylelement avleder värmen effektivt. För att kontrollera det mäter man mätpunktstemperaturen (tc) på av tillverkaren angiven punkt på LED-modulen. Det finns även armaturer där tc inte anges – temperaturen mäts på annat sätt. Figur 5 visar ett exempel på hur en livslängdsangivelse för LED kan se ut (Belysningsbranschen 2009).

2.4.4 Miljövänlighet

Den långa livslängden gör att färre armaturer behöver bytas ut och tas om hand för återvinning, LED-ljuskällor innehåller inte kvicksilver och har låg energianvändning. Dessa kvalifikationer ger fördelar för miljön. Dock måste de ändå lämnas in till miljöstationer för återvinning, liksom andra ljuskällor.

2.5 Den aktuella LED-armaturen

Den nyinstallerade armaturen heter Thorn Base LED 165 MRE och kommer från Thorn Lighting. Ljuskällan är en LED-modul med effekt på 12W. Med ljusflöde av 650 lm motsvarar den ett 18 W kompaktlysrör. Ljusutbytet blir 54 lm/W. Base LED kan ljusregleras till 25 %. Downlightarmaturen har säkerhetsklass IP44 och kan därför användas även i våtrumsmiljöer.

Den installerade armaturen uppges ha färgtemperatur 3500K och Ra 94, mycket god färgåtergivning . För att få den rätta färgtemperaturen blandas ljuset från olika färgade lysdioder (se Figur 7) vilket ska ge en konstant färgtemperatur under hela livslängden. Lysdioderna är samlade på en LED-plattform som byts ut när livslängden är slut. För att maximera värmeavledningen finns det ett flertal kylflänsar i den pressgjutna aluminiumstommen (Thornlighting 2010).

Livslängden anges till 50 000 h varefter 70 % av ljusflödet återstår.

Livslängdsangivelsen gäller för en omgivningstemperatur på 25⁰C . Tc-mät punkten är inbyggd och övervakas av en sensor inuti armaturen (Engdahl 2010). Med en drifttid på 11,5 h och ca 220 arbetsdagar per år blir en armaturs livslängd

$$\frac{50000}{11,5 \times 220} = \frac{50000}{2530} = 19,76 \text{ år.}$$

Ovanstående beräkning utgår från leverantörens angivelse av armaturens livslängd och bör betraktas som approximativ mot verkligt antal timmar.



Figur 6. Snitt (2010-01-26; http://www.thornlighting.se/PDB/Ressource/teaser/SV/TLG_Base_LED.pdf)



Figur 7. LED-plattform (2010-01-26; http://www.thornlighting.se/PDB/Ressource/teaser/SV/TLG_Base_LED.pdf)



Figur 8. Utseende

3 Lysrör och lågenergilampor

Lysrör har funnits i ca 70 år och är för närvarande den vanligaste ljuskällan i offentlig miljö. Det är också det vanligaste lågenergialternativet. Det finns ett flertal utföranden och utformningar av ett lysrör, de mindre kallas då för kompaktlysror eller lågenergilampor. Den senare är en benämning som förmodligen låter mer bekant, det är också denna variant som används i den utbytta armaturen.

3.1 Historia: utveckling av lysrör

Lysrör och lågenergilampor har en lång och intressant historia bakom sig. Den lysande funktionen av en glastub fylld med gas som stimulerades att lysa med hjälp av elektricitet uppfanns av glasblåsaren och fysikern Heinrich Geissler år 1856. Glastuben kallades därefter för Geisslers lysrör men användes inte till belysning. Dock lades grunden till vidareutveckling av lysrör, först som fotolampor och senare för den breda allmänheten (www.ehow.com 2010).

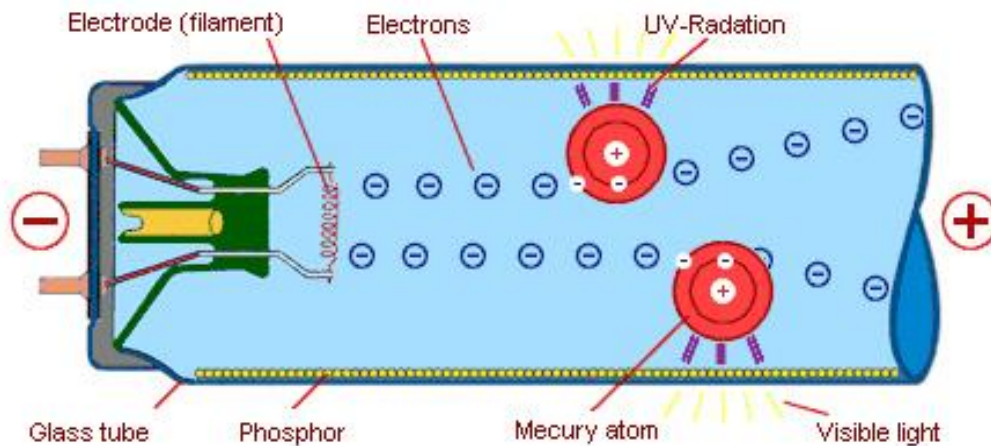
1901 patenterade Peter Cooper Hewitt den första kvicksilverlampan som blev första prototypen till dagens lysrör. Denna var en lågtryckslampa, vilket betydde att den inte var särskilt energieffektiv. Den lyste dock inte längre blågrönt utan hade ett behagligare, vitt ljus tack vare ett fosforlager på insidan som omvandlade strålningen till synligt ljus. Edmund Germer kom ut med ett patent på en högtrycksgaslampan år 1927. När gastrycket i lampan ökades sänktes både energianvändningen och värmeavgivningen. Den började dock inte tillverkas och användas av bredare allmänhet förrän 1938 då George Inman tillsammans med sin General Electric (GE) forskargrupp utvecklade en mer praktiskt användbar variant (www.inventors.about.com 2010).

Den kompakta, spiralformade lågenergilampan utvecklades på 70-talet, också av en GE-ingenjör, Ed Hammer, tack vare oljekrisen som även tvingade privata hushåll att skära ner på energianvändningen (www.ehow.com 2010).

Från första upptäckten har lysröret utvecklats vidare och tillverkats i olika utföranden och energiklasser och finns idag i en uppsjö av olika varianter.

3.2 Teknologi

Uppbyggnad av ett lysrör består av en glastub fylld med gas, elektroder kopplade till denna och en fosforbeläggning (se bild nedan). När strömmen kopplas på sker en urladdning av elektroner som sedan kolliderar med gasens atomer. Dessa uppnår en högre energinivå och vid återgång till den ursprungliga nivån avger de UV-ljus. Detta ljus är inte synligt och måste därför konverteras till synligt ljus med hjälp av ett lager fosfor.



Figur 9. Princip (2010-01-30; http://osram.se/osram_se/Foeretagskund/Allmaenbelysning/Lysroer/Teknik/Lgtrycksurladdning/index.html)

Den vanligaste och mest effektiva gasfyllnaden i lysrör är kvicksilver som förångas vid armaturens drifttemperatur (www.osram.se 2010).

Till skillnad från LED hade äldre lysrörsarmaturer besvärande flimmer på grund av växelströmmens spänningsväxlingar, ca 50 blinkningar/sekund. Hörfrekvensdriftdon (HF-don) kopplat till lysröret gör dock att blinkningarna uppstår flera tusen gånger per sekund, vilket ögat uppfattar som flimmerfritt ljus. Dessa möjliggör också ljusreglering med dimmer (Hjertén, Mattsson, & Westholm 2001).

3.3 Specifikationer

Lysrör och lågenergilampor har varierande ljusutbyte, färgåtergivning och livslängd, dock är det vanligtvis en bra ljuskälla i alla dessa avseenden. Den finns i olika ljusstyrkor, från låga till mycket höga (över 1000 lm), vilket gör den användbar i de flesta miljöer som ställer höga krav på belysning.

3.3.1 Ljusutbyte

Lysrör är de som fortfarande är mest energieffektiva av de befintliga ljuskällorna på marknaden. Ljusutbytet varierar mellan 40 lm/W och 85 lm/W beroende på utförande, den nya generationen av kompaktlysror är än mer

ljuseffektiva. Lysrör och lågenergilampor finns i många olika ljusstyrkor, för närvarande långt högre än LEDs.

3.3.2 Färgåtergivning

Färgåtergivningen varierar beroende på fabrikat men överlag är god och ligger mycket nära glödljus (Ra 100) trots att alla de olika lysrören har ett diskontinuerligt färgspektrum (se Figur 1, s. 4).

3.3.3 Livslängd

Medellivslängden för ett lysrör uppges till mellan 6 000 och 15 000 timmar. Den påverkas av för låga och för höga omgivningstemperaturer, rumstemperatur (max 25⁰ C) är optimal för en lång livslängd.

3.3.4 Miljövänlighet

Lysrör räknas till energieffektiva ljuskällor, tack vare det höga ljusutbytet, låga energiförbrukningen och långa livslängden. Alla lysrör innehåller dock en liten mängd kvicksilver och måste lämnas in till speciella miljöstationer för återvinning (www.ljuskultur.se 2010).

3.4 Den aktuella lysrörsarmaturen

Den ursprungliga ljusarmaturen installerades på plats för ca 20 år sedan och kommer från Tema Lamper som från och med år 2000 anslöt sig till Focus och bildade Focus Lighting AS (www.focus-lighting.dk 2010).



Figur 10. Lysrörsarmaturen

Armaturen av typ B301.109 2x26W TC-DE (informationsetikett på armaturen) ser ut att ha försvunnit ur Tema Lampers sortimentet, därför har muntliga uppgifter använts. Enligt dessa är det en ljusarmatur med HF-don och 2x26 W lysrör (Linborg 2009). Figur 10 ovan visar en 3-D modell skapad utifrån bilder tagna på lysrörsarmaturen. Lysrörslampa som används tillsammans med armaturen heter Philips Master PL-C 26 W. Med ljusflöde av 1800 lm blir ljusutbytet 69 lm/W, ca 30% högre än den aktuella LED-armaturens.



Figur 11. Lysrör
(2010-02-14;
<http://www.lighting.philips.com>)

Den genomsnittliga livslängden anges till 16 000 h, ca sex års brinntid med drifttiden för korridoren. Denna ökar dock vid långa inkopplingstider och sänks efter många kallstarter, därför fungerar ljuskällan bäst i armaturer med HF-varmstartdon. Ljuset är varmvitt, 830 K i färgtemperatur. Kvicksilverinnehållet är endast 1,4 mg, vilket tillsammans med den långa livslängden är en fördel med avseende på miljövänlighet (www.philips.com 2010).

4 Metod

För att kunna undersöka skillnader i upplevelse, ljusstyrka och LCC av LED och lysrörsarmaturerna används en referenskorridor i Olympiahuset. I referenskorridoren har ett byte från lysrörs- till LED-armaturer genomförts under examensarbetets gång. Det ger ett utmärkt tillfälle att studera skillnaderna mellan de olika ljuskällorna med flera olika metoder. Ljusstyrkan och luminansen mäts upp med hjälp av en ljusmätare, enkäter delas ut för att på ett mätbart sätt identifiera skillnader i upplevelse av ljuset. Med hjälp av mätdata från elcentralen kan en jämförelse av energiförbrukning och LCC göras.

4.1 Ljusmätning

Det är viktigt, även i en korridor, att ljusstyrkan (illuminansen) är tillräcklig och luminansen (ytans ljushet) inte är för hög. Värdena för belysning på arbetsplatser återfinns i svensk standard för belysning, SS-EN 12464-1.

För att mäta skillnader i illuminans och luminans i referenskorridoren används en fotometer. För att undersökningsförhållanden ska vara likvärdiga vid båda mätningarna utförs dessa efter nedanstående punktlista.

- Mätningarna genomförs efter solnedgång för att minimera risken för inverkan av solljus
- En och samma höjd, 80 cm från golv, väljs för illuminansmätning och 30-50 cm avstånd från ytan för luminans
- Instrumentet är kalibrerat och kontrolleras så att rätt mätare är aktiv samt att skalan är densamma vid båda mättillfällen
- En skiss över mätområdet med mätpunkter underlättar för att värden blir jämförbara

Vissa rekommendationer för utförande av undersökningen har använts, exempelvis punktlista för dokumentation samt anvisningar för mätningar, Ljuskultur 2003, ss. 97-104.

Platsen för ljusmätning är ett kontor, därför blir tiden begränsad till intervallet mellan solnedgång och stängningsdags för lokalen, ca 2 timmar vintertid. Detta löses med att endast en del av korridoren undersöks då ljusarmaturernas utplacering i denna ser ut att vara jämnt fördelad och därmed likvärdig (se Bilaga 1. *Ljusmätning, skiss*). Mätdata presenteras i stolpdigram.

4.2 Enkätundersökning

Det går att mäta ljuset, men om kraven på mätvärden tillgodoses betyder det att belysningsmiljön är god? Många gånger kan det vara så att reflektionerna

är för starka eller att ljuskällans placering är felaktig och störande för personer som vistas i den belysta miljön. Det är viktigt att ljuskällan är flimmerfri – forskningsrön visar att flimmer kan orsaka stress (Küller & Laike 1998) och till och med vara hälsovådlig för vissa grupper, till exempel epileptiker (Ljuskultur 2003).

För att få en klarhet i hur ljuset påverkar människor som vistas i en konstgjort belyst miljö kan enkätundersökningar ge en ungefärlig beskrivning av upplevelsen. Varje människa har unika krav på ljuset och med åldern ökar behoven av bra belysning med en balans i ljushet och avbländade ljuskällor.

Enkäter behöver alltid testas för att utförandet ska vara anpassat för det område som undersöks. Frågor ska utföras så att de inte väcker tolkningsfrågor utan kan besvaras relativt enkelt. I detta fall används en enkät med en sjugradig skala för ljusets olika egenskaper. Enkäten är utformad vid LTH, avdelning för miljöpsykologi, och har använts vid liknande undersökningar (se Bilaga 3. *Enkät*). Det behövs också ett större antal svarspersoner för att resultatet ska vara rättvisande.

De olika undersökningsmomenten har nämnts ”Enkät före” och ”Enkät efter”. ”Enkät före” står för undersökningen före bytet av armturerna i referenskorridoren, med lysrör som ljuskälla. ”Enkät efter” syftar till undersökningen som genomförs efter bytet till LED armaturer. För att jämföra enkätsvaren används Excel. Därefter, för att undersöka om medelvärdesskillnaderna inte är slumpmässiga analyseras resultaten med hjälp av statistiska test. Härvid används programmet SPSS.

Inför den statistiska analysen läggs liknande ljusegenskaper samman till en gemensam egenskap som blir mer lättolkad. Resultatet av sammanslagningen presenteras som egenskaperna ”behaglig” och ”ljus”. Egenskapen ”behaglig” inkluderar värden som beskriver ett behagligt ljus. I denna ingår egenskaperna som *behagligt, mjukt, naturligt, flimmerfritt, oskarpt* och *bra*. ”Ljus” inkluderar sådana egenskaper som *ljus, starkt, skarpt, lysande* och *bländande*.

4.3 Life Cycle Cost kalkyl

En mall för LCC kalkylering används (www.ljuskultur.se 2010) samtidigt som det genomförs en överslagsberäkning av effektvinst per år. Resultaten presenteras i Bilaga 7. *Life Cycle Cost kalkyl* i form av två Excel tabeller där den första utgår utifrån en tvåårsperiod och den andra sträcker sig över 20 års användning av ljuskällorna. Skillnaden syns i årlig kostnad för investering i varje alternativ. Skillnaden i effektförbrukning presenteras också i ett stapeldiagram på s. 19.

5 Resultat

Här presenteras produkter av alla de tidigare nämnda undersökningsmetoder i samma följdordning som de behandlades i kapitlet *Metod*.

5.1 Ljusmätningar i korridoren

Enligt SS-EN 12464-1 är den minsta tillåtna medelljusstyrka i korridorer 100 lux. Väggytans medelluminans bör normalt inte vara högre än 500 cd/m^2 (Ljuskultur 2003).

Resultat presenteras i Bilaga 2. *Ljusmätning, diagram*, där skillnader i uppmätta värden presenteras i form av stolpdigram. Bilagan visar att nivåer vid varje mätpunkt inte varierar nämnvärt. Att det inte förekommer någon större skillnad mellan ljuskällorna syns tydligt i stolpdigrammen nedanför som innehåller medelvärden för mätningar av ljusstyrka och luminans.

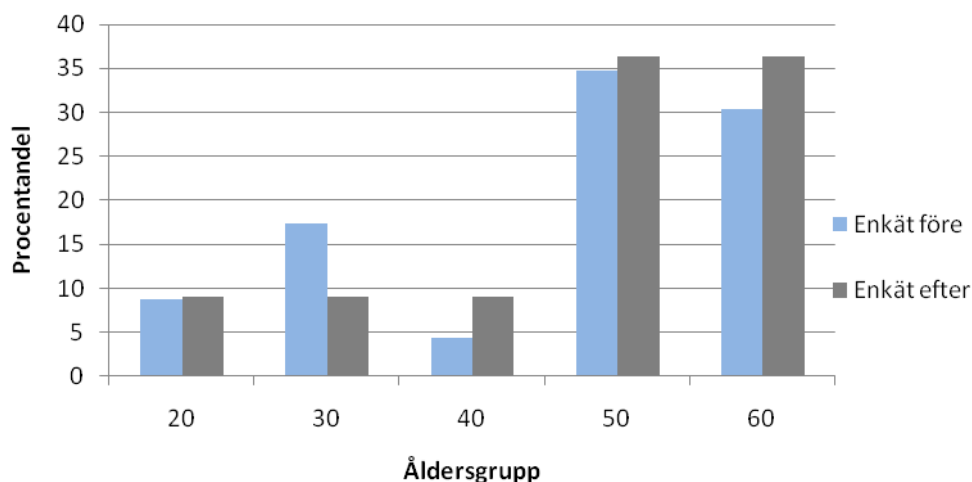


Figur 12. Jämförelse av medelvärden i ljusstyrka och luminans före och efter byte av armaturer

Värden för medelljusstyrka hamnar på något över 100 lux, vilket uppfyller de normativa krav som ställs på belysning i korridorer. Medelluminansen är låg både i tak, golv och väggar och bidrar därmed inte till obehagsbländning (ytor som är märkbart ljusare än övriga rummet och/eller oavskärmade armaturer som stör synfältet).

5.2 Enkätundersökning

I Bilaga 4. *Enkät svar*, presenteras svar från första enkät delen i ett ytdiagram. Den sju gradiga skalan har förenklats till tre intervaller: ”stämmer bra” (6,7 på skalan), ”stämmer” (3,4, 5 på skalan) och ”nej” (1, 2 på skalan) där frekvensen av dessa anges i procent. Sådana egenskaper som t.ex. ”murrigt” och ”färgat” har som synes stora skillnader mellan de olika diagrammen.



Figur 13. Åldersfördelning, procent

Åldersfördelningsdiagrammet ovan redovisar stora likheter mellan de olika undersökningarna. I båda utgör personer i 50 och 60-års ålder största delen av svarsgruppen även om undersökningen ”före” möjligen har fler yngre personer.

5.2.1 Bortfallsanalys

Ett stort antal enkäter har delats ut men svarsfrekvensen har varit varierande. Vid första enkätundersökningen, ”före”, besvarades ca 70 % av enkäterna. När enkäter ”efter” skulle samlas in blev responsen endast en tredjedel mot det antal som delades ut. Mycket berodde på att vid första tillfället fanns det en person som såg till att påminna om att enkäter skulle fyllas i, medan andra gången litade jag på egenvilja hos svarspersonerna. Med så lite som elva svarsenkäter från andra enkätundersökningen bör de redovisade resultaten tolkas med försiktighet.

5.2.2 Hawthorne-effekten

Det finns en faktor som kan vara inverkan på denna undersökning och bör nämnas - den så kallade Hawthorne-effekten. Effekten belyser den psykologiska aspekten, att människor kan ändra beteende när de blir observerade eller uppmärksammade. Den är omdiskuterad och kan inte bevisas eller motbevisas i just denna studie men bör ändå nämnas – en förändring i ljusmiljö kan upplevas som positiv i sig själv.

Det vore intressant att genomföra ytterligare en enkätstudie efter en längre tidsperiod, exempelvis ett år efter nyinstallationen, för att se om resultaten som detta arbete presenterar är tillfälliga eller långvariga.

5.2.3 Statistisk utvärdering av resultat

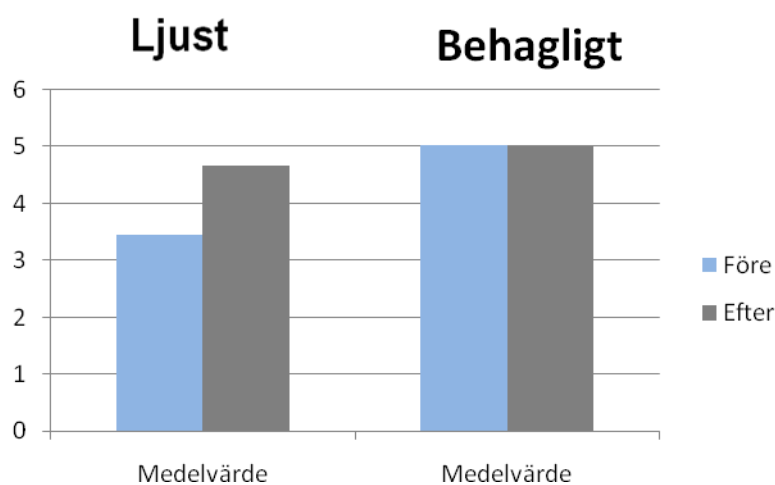
För att inte ha alltför många värden att jämföra emellan valdes faktorerna ”murrigt”, ”bra”, ”behagligt” och ”ljus”. De sistnämnda faktorerna är resultat av sammanslagningar av flera andra faktorer (se s. 15).

Medelvärdestabellen i Figur 14 presenterar några olika värden för faktorerna som listas i första kolumnen. Vidare står kolumn *N* för antalet svar och *Mean* betecknar medelvärdet. Nästsista kolumn beskriver *standardavvikelse* (hur mycket de uppmätta värdena skiljer sig från medelvärdet) och den sista står för *medelfel* (medelvärdenas standardavvikelse). Inget av värden i de två sista kolumnerna används i analysen men de kan vara intressanta att ha med.

	Tidpunkt	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Ljust	Före byte	23	3,46	1,06	0,22
	Efter byte	11	4,67	0,79	0,24
Behagligt	Före byte	23	5,04	1,05	0,22
	Efter byte	11	5,00	1,00	0,30
Murrigt	Före byte	23	3,83	1,53	0,32
	Efter byte	11	1,91	0,70	0,21
Bra	Före byte	23	5,09	1,76	0,37
	Efter byte	11	6,36	0,92	0,28

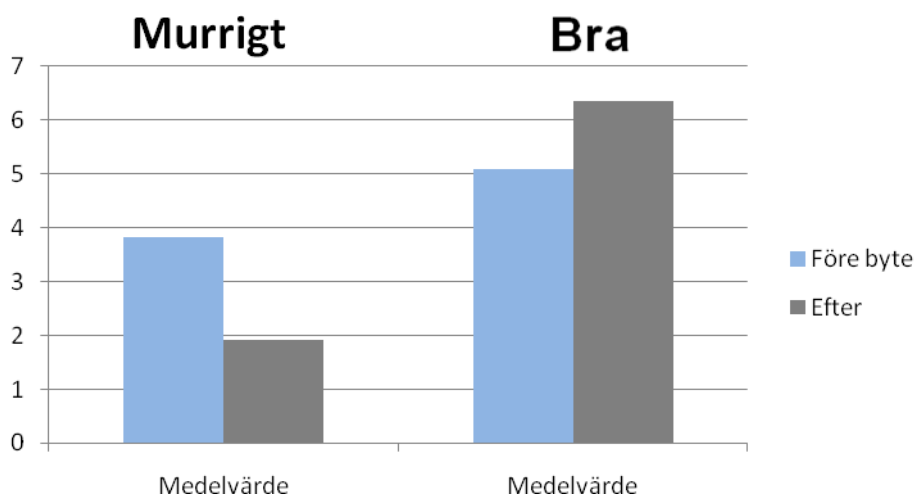
Figur 14. Medelvärdestabell

Undersökning av signifikansen (statistisk angivelse av slumpmässighet i svaren) för medelvärden av dessa finns som två tabeller i Bilaga 5. *Statistiktabeller*. De värden som ska uppmärksammas i tabellerna är värden för *t* (i andra kolumnen) vilket står för t-test. Detta värde, liksom signifikans (*sig.*), används för att se om skillnaden mellan de jämförda medelvärdena är slumpmässig eller inte. Om T-test är en siffra skild från noll visar det att skillnaden mellan medelvärden finns och är så stor att den inte kan förklaras av slumpen. Signifikansen är egentligen angivelse av procent. Om den är nära värde 1 visar den att skillnaden är nära 100 % slumpmässig (dvs. att det är nästan ingen skillnad mellan värdena) och vice versa.



Figur 15. Ljusare och lika behagligt som innan

Stapeldiagrammet i Figur 15 på föregående sida visar medelvärdena för faktorerna ”ljus” och ”behagligt”. Det syns tydligt att det är en större skillnad mellan de första två staplarna. Tillbaka i Bilaga 5 och statistiktabellerna ser man att statistiskt sett är skillnaden signifikant, sig=0,002 (sannolikheten för att skillnaden skulle vara slumpmässig är 0,2 %). T-test visar skillnaden på -3,371 (negativ för att skillnaden mellan medelvärde ”före” och ”efter” är negativ) som även den berättar att skillnaden är så stor att den inte kan vara slumpmässig. Faktorn ”Behaglig” har ingen signifikant skillnad, sig=0,924, t-test t=0,096. Dessa resultat kan tolkas som att generellt upplevdes korridoren ljusare efter byte till vita LED, ljuset upplevs lika behagligt som innan.



Figur 16. Klarare och bättre ljusupplevelse

Skillnaden i murrighet är mycket tydlig, signifikansen är 0 % och t=3,945.

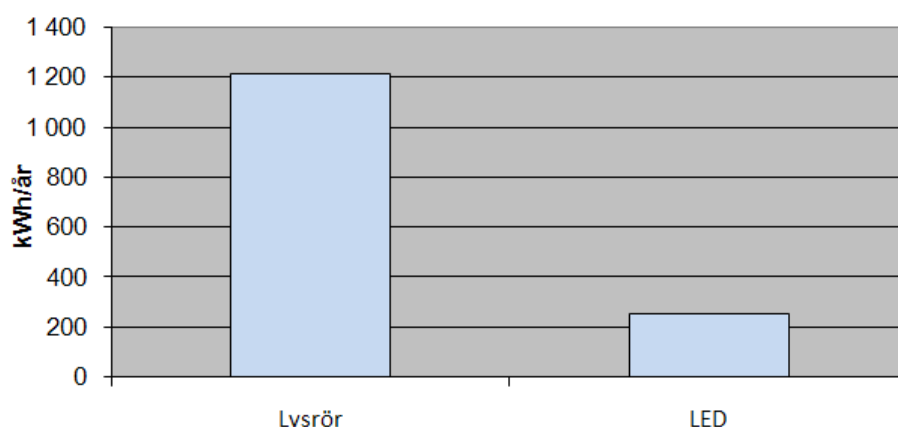
Detsamma gäller faktorn ”bra” där sig=0,031 och t-test t=-2,254.

Medelvärdesskillnaden för dessa syns i stapeldiagrammet ovan. Den tydliga skillnaden för faktorn ”murrigt” berättar att ljuset upplevs som mycket klarare (eller mindre murrigt) efter bytet. Generellt tycks också upplevelsen av hur bra ljuset är ha förbättrats.

5.3 Life Cycle Cost kalkyl

I Bilaga 7. *Life Cycle Cost kalkyl*, finns ett excelblad med indata. Vissa värden fanns redan tillgängliga, såsom realränta och energiprisändring, och fick vara de som föreslogs i exemplet. Kostnader för byte antogs till ett visst värde, där kostnad för byte av LED-plattformen rimligtvis skulle vara högre än för lysrör. Underhållskostnaden antogs vara densamma för bägge ljuskällor. Medeleffekten avlästes ur Bilaga 6. *Effektmätning före och efter bytet av ljusarmaturer*, och drifttid per år räknades ut utefter drifttiden under en arbetsvecka (resten av tiden tänds lamporna av rörelsedetektorer). Antalet ljuskällor var känt och livslängden antogs till den längsta möjliga för varje ljuskälla.

Elanvändning för belysning per år



Figur 17. Sänkt årlig energianvändning

Resultaten av de inmatade värdena visade att för en antagen investering på 3 000 kr per LED-armatur kommer nyinstallationen vara lönsam efter två år. Vinst i effektanvändning räknades ut genom samma Excel blad och presenteras i ett stolpdigram ovan, Figur 17.

5.4 Effektbesparing och totalbesparing

Kostnaden för energivinsten för hela utbytet i Olympiahuset (130 armaturer) kan räknas ut med de siffror som finns tillgängliga.

Drifttiden vardagar: 6:30-18:00, 11,5 timmar.

Gamla armaturen kräver 56 W (2x26 Watt + förkopplingsdon, ca 4 Watt):

$$130 \times 56 \text{ W} \times 11,5 \text{ h} = 83720 \text{ W} = 83,72 \text{ kWh/dygn}$$

$$83,72 \times 220 \text{ dagar} = 18\,418 \text{ kWh/år}$$

Nya armaturen, endast 12 W (1x12W):

$$130 \times 12 \text{ W} \times 11,5 \text{ h} \times 220 \text{ dagar} = 3\,946,8 \text{ kWh/år}$$

Skillnaden: $18\,418 - 3\,946,8 \approx 14\,471 \text{ kWh/år}$. Med elpris på 98 öre/kWh blir vinsten ungefär 14 000kr/år – i energi.

I Bilaga 6. *Effektmätning före och efter bytet av ljusarmaturer*, finns ett inskannat blad med effektmätningar före och efter utbytet. Den sista tabellen som heter *Totalt* beskriver den totala mängd energi/effekt som gick åt före och efter nyinstallationen. Första kolumnen innehåller en rad energienheter, som Amper och kiloWatt (de två översta). *Totalt sparat* heter den sista kolumnen och redovisar skillnaden i antalet förbrukade energienheter. Det som är mest intressant är den totala effektbesparingen i procent, den ger en siffra som är

lättare att relatera till. Nedanför *Totalt*-tabellen finns den redovisad, 79 % i effektbesparing.

Notera den totala energibesparingen, 953,8 kWh, som återfinns i LCC-kalkylen i raden *Minskad energianvändning per år*: 961kWh/år. Då det i kalkylen användes framräknad drifttid på 11,5 h vardag men årsmedeleffekten är hämtad ur verkligheten (Bilaga 6. *Effektmätning före och efter bytet av ljusarmaturer*, mätning från elcentral) visar denna överensstämmelse att den framräknade drifttiden stämmer bra överens med verklig drifttid. Alltså stämmer även beräkning av totalbesparingen väl överens med verkligheten.

6 Slutsats

Det finns några överraskande moment som kom efter att undersökningarna var klara, framförallt upplevelsen av ljuset. För att slutsatsen ska motsvara målformuleringen i syftet för detta arbete delas sammanfattningar och reflektioner över resultaten i några olika rubriker. Den sammanfattade slutsatsen för den aktuella LED-armaturen är att den motsvarar den utbytta lysrörslampan i full grad samtidigt som de medför en bättre ljusmiljö och är energisnålare än den sistnämnda. Dock har lysdioder överlag en del problem: lysdioder som finns på marknaden behöver standardiseras och förbättras vad gäller ljusflöde och värmekylning för LED-chipet och bli konkurrenskraftigare prismässigt. Med tillbakablick på den hittills snabba utvecklingen är det dock fullt möjligt att lysdioder kommer att nå samma eller högre standarder än lysrörslampor.

6.1 Tekniska skillnader och likheter

En tekniskt stor skillnad mellan lysdioder och lysrör är att LED-ljus är fritt från UV-strålning vilket är en del av lysrörsljuset. Lysrör innehåller en liten mängd kvicksilver, lysdioder är däremot uppbyggda av andra material. Dock är tekniken för att få ett vitt ljus densamma för båda ljuskällorna, lyspulver i höljet, vanligtvis fosfor (finns även andra sätt för lysdioderna). Den gemensamma egenskapen är att varken lysrör eller lysdioder alstrar någon värme i ljusriktningen. Avsaknaden av både UV- och värmeinstrålning ger goda möjligheter att använda lysdioderna för belysning av känsliga föremål. Färgåtergivning är ungefär likvärdig för de två jämförda ljuskällorna. Ljusutbytet är något högre för lysrörslampan. Bägge armaturerna tillåter att ljuset dimmas.

6.2 Förbättring med LED

LED har en del fördelar, generellt och även påvisat i de genomförda undersökningarna. Både i ljusmätningar och i enkätundersökningen visade sig de installerade LED-armaturer vara lika bra eller något bättre än de utbytta lysrörsarmaturerna.

Ljusmätningen visar att den nyinstallerade ljuskällan är lika ljusstark som sin föregångare och motsvarar de ställda normkraven för belysning i korridorer. De med hjälp av enkäter framtagna värdena visar dock på signifikanta skillnader i upplevelsen. Den nya ljuskällan upplevs överlag både ljusare, klarare och bättre än den utbytta, trots att de är lika ljusstarka. Undersökningen bör dock tolkas med försiktighet då svarsfrekvensen var ganska låg. Detta skulle vara intressant att följa upp efter en längre tid, både

för bättre respons och för att påverkan av förändring i inomhusmiljö, så kallade Hawthorne-effekten, förmodligen har avtagit.

Från energisidan syns en klar förbättring efter installation av LED, ca 80 % i effektbesparing. Mot bakgrunden att föregående ljuskälla redan var bra och energieffektiv kan det betyda att LED är värt att välja som ett alternativ om inomhusmiljön tillåter det (det vill säga att det är normal inomhustemperatur och inga större behov av hög ljusstyrka). Den av tillverkaren angivna livslängden med drift dygnet runt, varje dag, räcker ca sex år fram till att ljusstyrkan sänks till 70% eller mindre. Med hjälp av en LCC-kalkyl kan man se att installationen börjar återbetala sig efter två år, en rimlig tid att räkna med, trots att LED-armaturer kan vara dyra i inköp. Summan av de uppräknade faktorerna leder till att energianvändningen sänks över en lång tid från ljuskällans installation, ljuskällan hinner återbetala sig efter mindre än halva sin livstid räknat med drift dygnet runt.

Miljövänlighetsmässigt är LED bättre, både på grund av den långa livslängden och att de inte innehåller kvicksilver. Lysrör är dock ett beprövat alternativ, de nyaste lysrörslampor har en mycket låg kvicksilverhalt och återvinningen av uttjänta lysrör är mycket hög. Sett till tidsperspektivet är det dock bättre med en ljuskälla som inte behöver bytas så ofta – då minskar också avfallet och behov av återvinning.

6.3 Nackdelar med LED

LED-armaturen i detta fall lämpar sig bra för inomhusmiljön och ger en bra upplevelse. Generellt gäller det dock att LED fortfarande är kostsam att köpa in, den är ännu inte så ljusstark att den kan användas i de flesta inomhusmiljöer, samt att den inte är särskilt användbar i miljöer med hög temperatur. En utarbetad standard saknas fortfarande för lysdioderna, vilket kan göra det svårt att navigera på LED-marknaden och välja rätt produkter till rätt ändamål.

Bildkällor

Namn	Källa	Hämtad
Figur 1	http://www.ljuskultur.se/files/Teknik_Miljo/Teknik/Vart_att_veta_om_LED.pdf Ina Dobshykava	2009-12-09 2010-02-15
Figur 2		
Figur 3	http://www.philipslumileds.com/technology/images/LUXEON-k2_cutaway_mid.jpg	2009-12-17
Figur 4	Avdelning för miljöpsykologi, LTH	2010-01-21
Figur 5	http://www.ljuskultur.se/files/Teknik_Miljo/Teknik/Vart_att_veta_om_LED.pdf	2009-12-09
Figur 6	http://www.thornlighting.se/PDB/Ressource/teaser/SV/TLG_BaseLED.pdf	2010-01-26
Figur 7	http://www.thornlighting.se/PDB/Ressource/teaser/SV/TLG_BaseLED.pdf	2010-01-26
Figur 8	Ina Dobshykava	2009-10-26
Figur 9	http://osram.se/osram_se/Foeretagskund/Allmaenbelysning/Lysroer/Teknik/Lgtrycksurladdning/index.html	2010-01-30
Figur 10	Ina Dobshykava	2010-02-15
Figur 11	http://www.lighting.philips.com	2010-02-14
Figur 12	Ina Dobshykava	2010-01-30
Figur 13	Ina Dobshykava	2010-01-30
Figur 14	Ina Dobshykava	2010-02-03
Figur 15	Ina Dobshykava	2010-02-03
Figur 16	Ina Dobshykava	2010-02-03
Figur 17	Ina Dobshykava	2010-01-26

Källförteckning

Litteratur

Hjertén, R., Mattsson, I., & Westholm, H. (2001). *Ljus inomhus*. Laholm: Författarna och Arkus.

Küller, R., & Laike, T. (1998). *The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal*. Ergonomics.

Ljuskultur. (2003). *Ljus&Rum, planeringsguide för belysning inomhus*. Laholm: Ruter media group.

Internet

About, *Information, lysrörets historia*, http://inventors.about.com/library/inventors/bl_fluorescent.htm (2010-04-28)

Belysningsbranschen, *Livslängs- och ljusutbytesangivelser LED*, http://www.ljuskultur.se/files/Teknik_Miljo/Teknik/Rekommendationer_kring_livslangds-_coh_ljusutbytesangivelser_for_LED-moduler.pdf (2009-12-09)

Ehow, *Information, lysrörets historia*, http://www.ehow.com/about_5089197_history-fluorescent-lighting.html (2010-04-28)

Focus Lighting, *Information lysrörsarmaturer*, <http://www.focus-lighting.dk/focus/uk> (2010-01-11)

Ljuskultur, *Information om lysdioder*, http://www.ljuskultur.se/files/Teknik_Miljo/Teknik/Vart_att_veta_om_LED.pdf (2009-12-09)

http://www.ljuskultur.se/files/Teknik_Miljo/Teknik/Att_tanka_pa_vid_proj_o_inst_av_LED.pdf (2009-12-09)

Ljuskultur, *Information om lysrör*, <http://ljuskultur.se/fakta-och-miljo/teknik/ljuskallor/kompaktlysrör-och-lagenergilampor/> (2010-01-30)

Ljuskultur, *LCC-beräkning excelblad*, http://ljuskultur.se/files/Teknik_Miljo/Energieffektivitet/LCC-kalkyler.xls (2010-01-16)

Locklight AB, *Beskrivning av teknologi bakom induktionslampa*, <http://www.locklight.se/pdf/LVD-%20prodblad3.pdf> (2010-02-14)

Osram, *Uppbyggnad av lysrör*, http://osram.se/osram_se/Om_OSRAM/Miljoe_och_samhaelle/Kvicksilver/Varfoer_kvicksilver/index.html (2010-01-30)

Philips, *Produktblad Philips lågenergilampa*, http://www.prismaecat.lighting.philips.com/FredhopperPDFWebServiceInterdocts/f9269f87-214a-4cde-a773-3222e769aead/MASTER_PL_C_26W_830_2P_1CT.pdf (2010-02-14)

Thorn, *Base LED produktblad/information*, http://www.thornlighting.se/se/sv/products_new_products_f.htm (Base LED, Base LED i elektroniska katalogen eller Base LED pdf) (2010-01-11)

U.S. Department of Energy, EERE, *LED informationsblad*, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/led_basics.pdf (2009-12-17)

Artiklar

Norén, L. (2008 dec.). Varning för adaptrar med lysdioder som ersätter T8 och T5 lysrör. *Ljuskultur*, s. 34.

Zheludev, N. (2007 apr.). The life and times of the LED – a 100-year history. *Nature Photonics*, vol 1, s. 189

Enkät

Upplevelsemätning, skapad vid avdelning för Miljöpsykologi, LTH (2000)

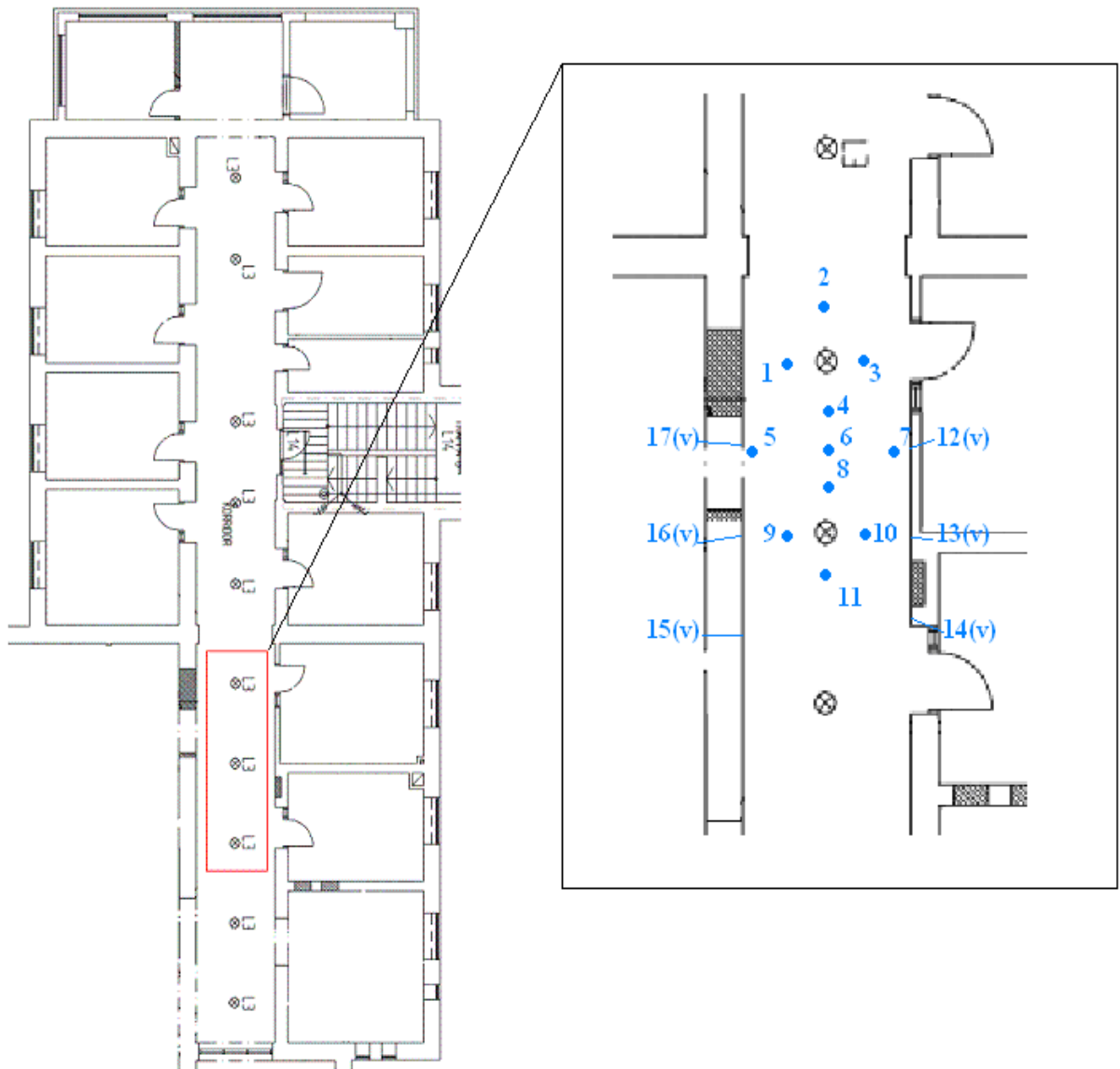
Muntliga

Engdahl, F., Thorn informationsavdelning, 2010-02-01, mailkontakt.

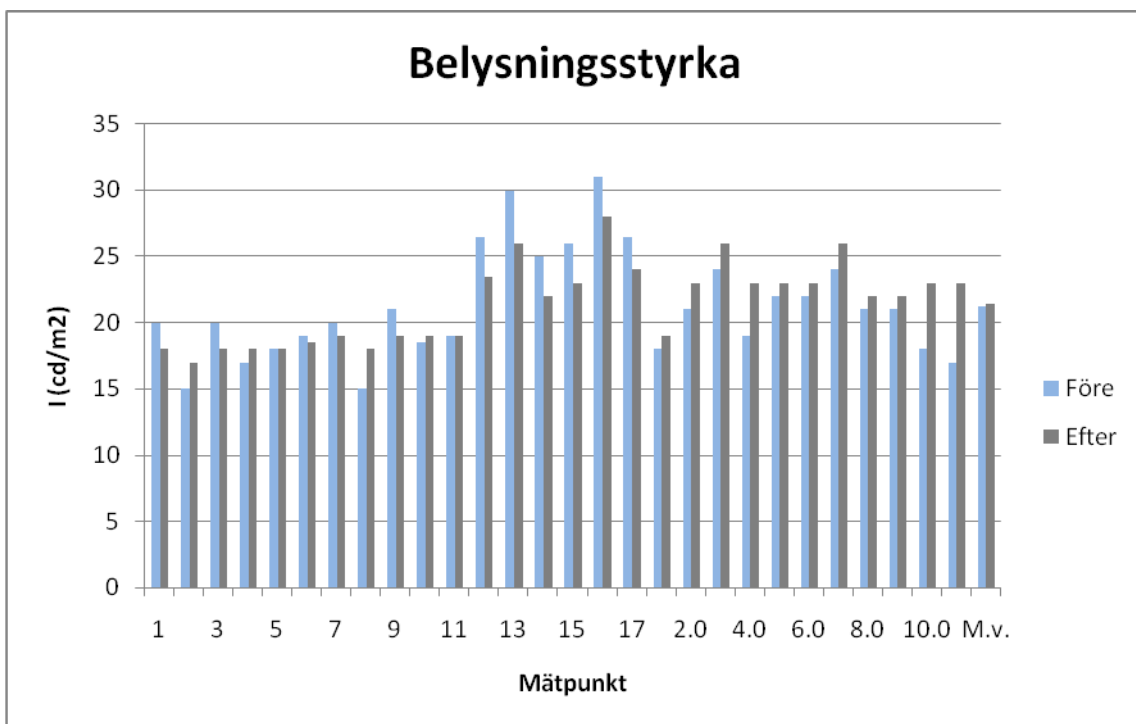
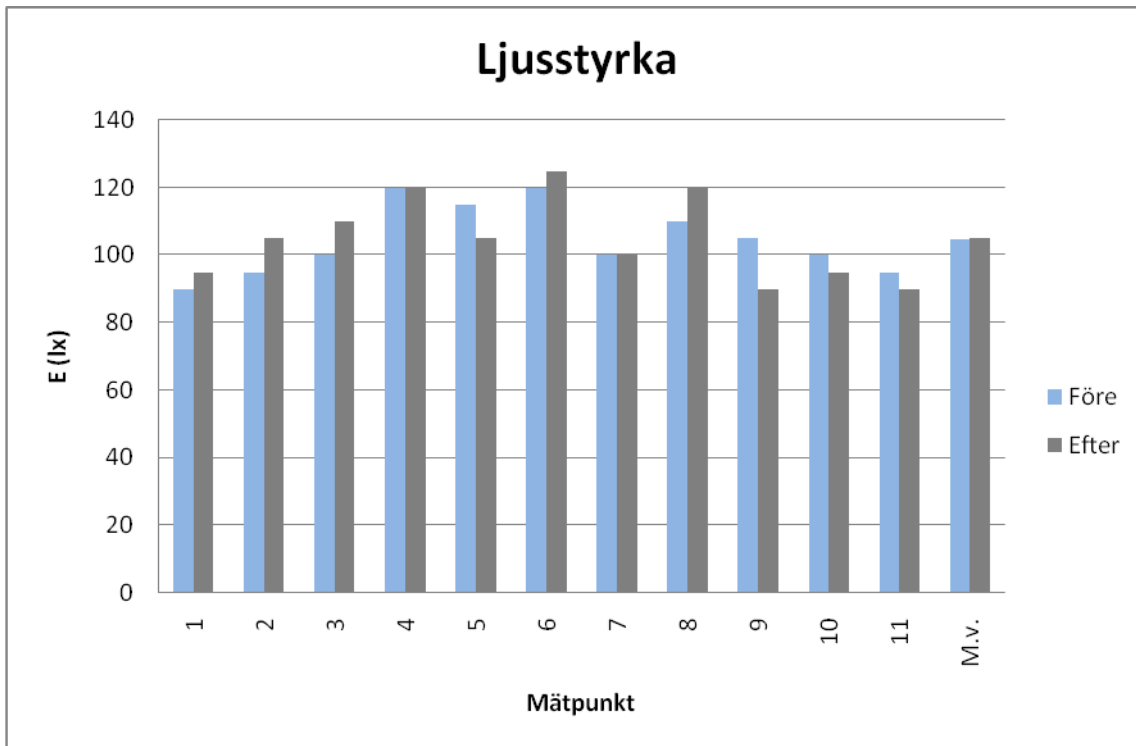
Linborg, G., elektriker, regelbunden kontakt genom hela arbetet.

Bilagor

Bilaga 1. Ljussmätning, skiss



Bilaga 2. Ljusmätning, diagram



Bilaga 3. *Enkät*

DEL 1

Denna enkät del handlar om ljusupplevelsen i rummet. För en korrekt bedömning är det därför viktigt att befinna sig där ljuskällan är, i vårt fall korridoren.

HUR UPPLEVER DU LJUSET I KORRIDOREN?

Markera genom att sätta kryss i nedanstående skalor.

mörkt ljus

behagligt obehagligt

ofärgat färgat

starkt svagt

utspritt koncentrerat

varmt kallt

ojämt jämt
fördelat fördelat

hårt mjukt

diffust fokuserat

naturligt onaturligt

flimrande flimmerfritt

klart murrigt

varierat enformigt

milt skarpt

bländande avbländat

dämpat lysande

HUR BRA TYCKER DU DET GÅR ATT SE I DEN HÄR BELYSNINGEN?

mycket dåligt mycket bra

DEL 2

Denna enkät del handlar om fysiska förutsättningar för att uppleva ljuset.

Var vänlig och fyll i:

Ålder: _____

Kön: _____

Utbildning/yrke: _____

Glasögon (stryk under): _____ ja / nej

Har Du just nu något eller några av följande ögonbesvär?

Om JA på något besvär, försätt då med att bedöma svårighetsgraden

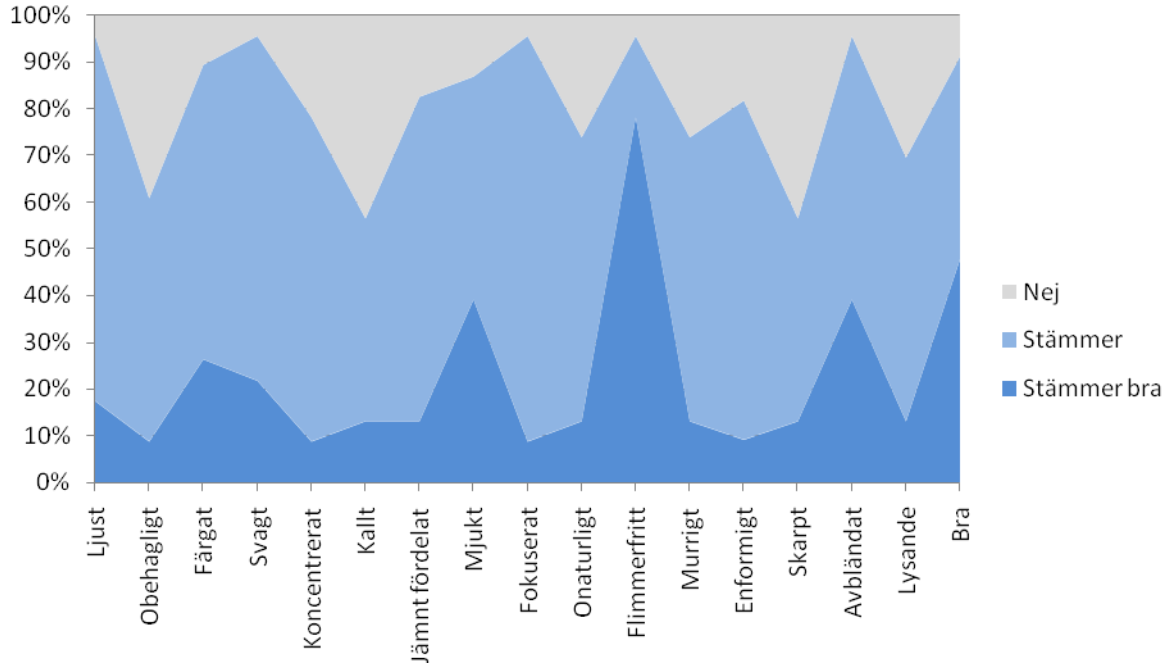
	Förekomst		Svårighetsgrad		
	Ja	Nej	Obetydliga besvär (1)	Måttliga besvär (2)	Uttalade besvär (3)
Sveda i ögonen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ögonklåda	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gruskänsla	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ögonvärk	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ljuskänslighet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rödögdhet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tårögdhet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Torrhet i ögonen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

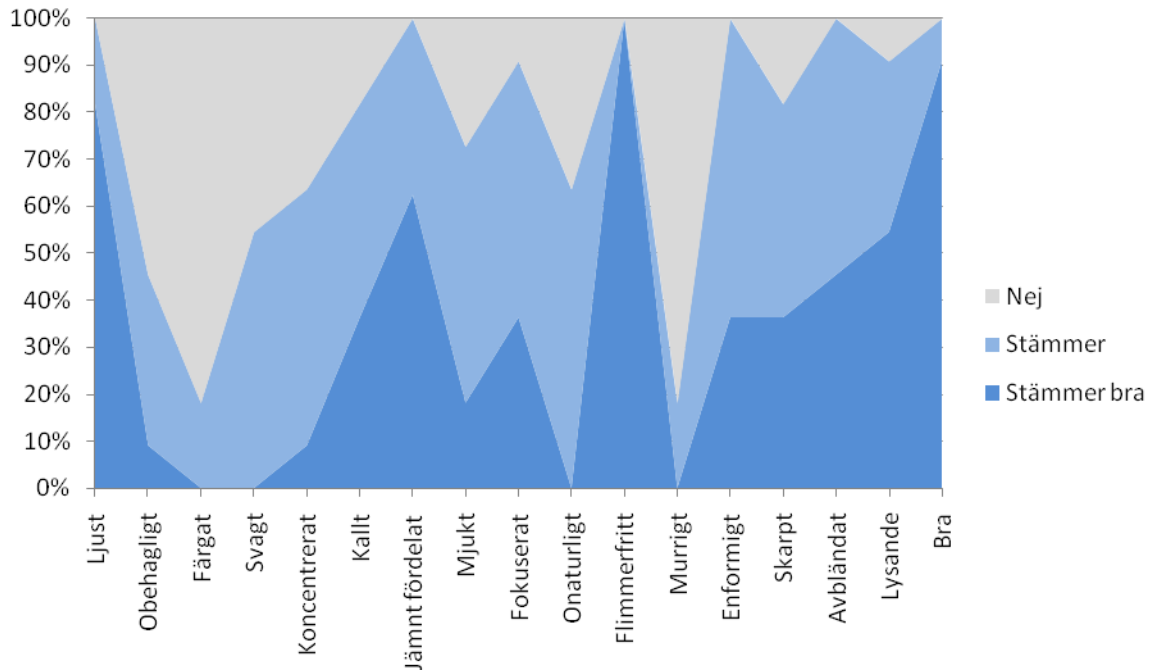
(Efter Knave & Wibom, 1985)

Bilaga 4. Enkät svar

Enkät före



Enkät efter



Bilaga 5. Statistiktabeller

Statistisk värdetabell för variabeln ”Ljust” och ”Behagligt”

Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Ljust	Equal variances assumed	,495	,487	-3,371	32	,002	-1,21186	,35951	-1,94416	-,47955
	Equal variances not assumed			-3,733	25,778	,001	-1,21186	,32461	-1,87939	-,54433
Behagligt	Equal variances assumed	,489	,490	,096	32	,924	,03623	,37847	-,73470	,80716
	Equal variances not assumed			,097	20,651	,923	,03623	,37223	-,73866	,81112

Statistisk värdetabell för variabeln ”Murrigt” och ”Bra”

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Murrigt	Equal variances assumed	5,284	,028	3,945	32	,000	1,91700	,48587	,92730	2,90669
	Equal variances not assumed			5,017	31,993	,000	1,91700	,92730	1,13862	2,69537
Bra	Equal variances assumed	4,446	,043	-2,254	32	,031	-1,27668	,56633	-2,43026	-,12310
	Equal variances not assumed			-2,775	31,565	,009	-1,27668	,46014	-2,21446	-,33890

Bilaga 6. Effektmätning före och efter bytet av ljusarmaturer

Olympia huset Kou. Plan 2

Mätning central 04.IV-K2-1 gr1

Mätning utförd den 2009-06-01

	L1	L2	L3
A	0,91	0,72	0,6
KW	0,21	0,16	0,11
KVA	0,21	0,16	0,13
KVAR	0,03	0,03	0,08
COS Q	0,99	0,99	0,83
PF	0,99	0,98	0,82

Mätning utförd den 2009-07-29

	L1	L2	L3
A	0,18	0,15	0,25
KW	0,03	0,03	0,04
KVA	0,03	0,03	0,06
KVAR	0	0,02	0,04
COS Q	1	0,81	0,66
PF	0,99	0,85	0,7

Totalt före efter totalt sparad

	L	L	L
A	2,23	0,58	1,65
KW	0,48	0,1	0,38
KVA	0,14	0,12	0,02
KVAR	0,14	0,06	0,08

Effektbesparing 79%

13 st

Totalt effektbesparing 79,00%

Totalenergibesparing per år 953,8KWH

Bilaga 7. Life Cycle Cost kalkyl

Ekonomisk utvärdering av belysning

Statens Energimyndighet och OPET Sweden

PROJEKT:			
DATUM/HANDLÄGGARE:			
FÖRUTSÄTTNINGAR			
Tid kalkylen omfattar	år	2	2
Årlig real ränta		0,05	
Årlig energiprisändring jmf med inflationen		0,02	
Namn på alternativ. Obligatorisk ruta!		Befintlig	Ny 1
DRIFTKOSTNADER		Lysrör	LED
El		Befintlig	Ny 1
Medeleffekt under året	W	480	100
Drifttid per år	h/år	2 530	2 530
Elanvändning per år	kWh/år	1 214	253
Elpris	öre/kWh	98	98
Elkostnad per år	kr/år	1 190	248
Beräkningsfaktor el		1,97	1,97
Totala elkostnader	kr	2 346	489
Ljuskälla 1			
Ljuskällans livslängd	h	16 000	50 000
Antal ljuskällor		2	1
Kostnad för byte (arbete + ljuskällor) per tillfälle	kr	200	600
Beräkningsfaktor ljuskällor		0,00	0,00
Totala ljuskällekostnader, ljuskälla 1	kr	0	0
Kyla		Befintlig	Ny 1
Energianvändning (kyla) per år	kWh	Om kostnad för ny investering understiger "Investeringsutrymme" är det lönsamt att bygga uppskatta kostnader för ny anläggning används egna referensdata från nyinstallationer eller leverantörer. Priserna ska vara totalkostnader, dvs både armaturer, övrig utrustning samt in Om samma kalkyltid används för alla alternativ används resultatet i de gula rutorna "Investe kalkyltider används för olika alternativ används resultatet i de gröna rutorna "Investeringsut annuiterberäknande investeringen (med samma ränta och kalkyltid som används i LCC-kalk investeringsutrymmets årliga kostnad så är det lönsamt att genomföra investeringen. För se nedan.	
Energikostnad kyla per kWh	öre/kWh		
Kostnad för kyla per år	kr/år		
Beräkningsfaktor kyla			
Totala kostnader för kyla			
Underhåll		Befintlig	Ny 1
Underhållskostnad per tillfälle	kr	Information/frågor: Behöver du hjälp med att fylla i LCC-kalkylen så ring: Lotta Bångens, 08-747 86 98, 070-343 92 12	
Underhållsintervall	år	Anvisningar: Fyll endast i gråmarkerade rutor! Rutor med röda markeringar innehåller förklaringar. Om du ställer dig med märkören på rutan så visas	
Beräkningsfaktor underhåll			0,00
Totala underhållskostnader	kr	0	0
S:A DRIFTSKOSTNADER	kr	2 815	587
RESULTAT			
		Bef jmf Ny 1	
INVESTERINGSUTRYMME	kr		2 229
Investeringsutrymme årlig kostnad	kr		1 142
Minskad energianvändning per år	kWh/år		961

Beräkning av årlig kostnad för investering

Investering	Årskostnad
3 000	1 537 kr

Ekonomisk utvärdering av belysning

Statens Energimyndighet och OPET Sweden

PROJEKT:			
DATUM/HANDLÄGGARE:			
FÖRUTSÄTTNINGAR			
Tid kalkylen omfattar	år	20	20
Årlig real ränta		0,05	
Årlig energiprisändring jmf med inflationen		0,02	
Namn på alternativ. Obligatorisk ruta!		Befintlig	Ny 1
DRIFTKOSTNADER		Lysrör	LED
El		Befintlig	Ny 1
Medeleffekt under året	W	480	100
Drifttid per år	h/år	2 530	2 530
Elanvändning per år	kWh/år	1 214	253
Elpris	öre/kWh	98	98
Elkostnad per år	kr/år	1 190	248
Beräkningsfaktor el		15,40	15,40
Totala elkostnader	kr	18 326	3 818
Ljuskälla 1			
Ljuskällans livslängd	h	16 000	50 000
Antal ljuskällor		2	1
Kostnad för byte (arbete + ljuskällor) per tillfälle	kr	200	600
Beräkningsfaktor ljuskällor		1,67	0,38
Totala ljuskälleknader, ljuskälla 1	kr	668	229
Kyla		Befintlig	Ny 1
Energianvändning (kyla) per år	kWh/år	243	51
Energikostnad kyla per kWh	öre/kWh	98	98
Kostnad för kyla per år	kr/år	238	50
Beräkningsfaktor kyla		15,40	15,40
Totala kostnader för kyla		3 665	764
Underhåll		Befintlig	Ny 1
Underhållskostnad per tillfälle	kr	500	500
Underhållsintervall	år	2	2
Beräkningsfaktor underhåll		5,70	5,70
Totala underhållskostnader	kr	2 851	2 851
S:A DRIFTKOSTNADER	kr	25 511	7 661
RESULTAT		Bef jmf Ny 1	
INVESTERINGSUTRYMME	kr		17 849
Investeringsutrymme årlig kostnad	kr		1 364
Minskad energianvändning per år	kWh/år		961

Beräkning av årlig kostnad för investering

Investering	Årskostnad
3 000	229 kr