



Energieffektiv belysning, oplevelse och komfort





Energieffektiv belysning, upplevelse och komfort

Matilda Liinanki, RISE
Francesco Sacco, RISE



Förord

E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende är ett program där akademi och näringsliv samverkar för att utveckla ny kunskap, teknik, produkter och tjänster.

I Sverige står bebyggelsen för cirka 35 procent av energianvändningen och det är en samhällsutmaning att åstadkomma verklig energieffektivisering så att vi ska kunna nå våra nationella mål inom klimat och miljö. I E2B2 bidrar vi till energieffektivisering inom byggande och boende på flera sätt. Vi säkerställer långsiktig kompetensförsörjning i form av kunniga människor. Vi bygger ny kunskap i form av nyskapande forskningsprojekt. Vi utvecklar teknik, produkter och tjänster och vi visar att de fungerar i verkligheten.

I programmet samverkar över 200 byggherren, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknik konsulter, arkitekter etcetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

Energieffektiv belysning, upplevelse och komfort är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av *RISE Research Institutes of Sweden* och har genomförts i samverkan med *Wihlborgs Fastigheter AB* och *Thorn Lighting Aktiebolag*.

Projektet har undersökt hur framtidens energieffektiva kontorsbelysning ska utformas utifrån människors behov och välbefinnande. Idag finns en risk att omställningen till mer energieffektiv belysning för kontor görs för att uppnå belysningsstandarderna utan att hänsyn tas till belysningskomfort. Upplevelsen av energieffektiviseringen blir därför negativ. Studien har utvärderat strategier för att förbättra upplevelsen av ny belysning genom att variera färgtemperatur, intensitet och sätt att belysa rummet för att ta reda på hur människor upplever skillnaderna.

Stockholm, 11 december 2017

Anne Grete Hestnes,

Ordförande i E2B2

Professor vid Tekniskt-Naturvetenskapliga Universitet i Trondheim, Norge

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.



Sammanfattning

Vid energieffektivisering i kontorsmiljö representerar belysning en viktig del. LED-belysningen tillåter stora energibesparingar men om de konventionella lamporna bara ersätts med nya LED-armaturer, utan att omdesigna systemet, uppstår ofta komfortproblem. Detta har hämmat spridningen av LED-belysning i kontorsmiljöer. Detta projekt har undersökt hur bytet från standard- till ny LED-belysning i två konferensrum i kontorsmiljö i Lund har påverkat energikonsumtionen och den visuella komforten.

Två olika system har testats: en med pendlade armaturer och downlights, och en med infällda armaturer. Den nya belysningen har testats i två inställningar, dels med konstant och dels med varierande ljusstemperatur under dagen (mellan 3000 och 6500 Kelvin för att härma dagsljuset). Ljusbemätningar och en enkätundersökning har genomförts för att utforska hur ljuset upplevdes av mötesdeltagarna i konferensrummen.

Inom ramen för projektet har en effektbesparing på 35 eller 46% (beroende på belysningsystemet) nåtts. Mätningarna visade att flimmer uppstod vid bytet, även om det inte har påpekats av deltagarna i studien. Reaktionerna på den nya belysningen var mestadels positiva till väldigt positiva, även om ett par deltagare inte alls tyckte om det blåare ljuset vid den dynamiska inställningen. Deltagarna rapporterade också att även om ljuset upplevdes som hårdare, kallare och mindre behagligt så gick det att se betydligt bättre i rummen efter bytet av armaturer. Vidare studier om byte till LED belysning i kontorsmiljö måste genomföras under längre tid för att ge fördjupat statistiskt underlag.

Nyckelord: LED – kontorsmiljö – ljusstemperatur – ljusfärg – energieffektivisering – belysning





Summary

LED lighting is an important part of making an office environment more energy efficient, since it allows for energy savings. If when switching to a LED lighting system, the standard lighting systems are replaced with LED ones without redesigning the system, it often results in comfort problems. This is a main barrier for LED technology spread and a reason why LED technology has not been widely spread in offices. This project has investigated how the replacement of a standard lighting system with LED in two conference rooms in Lund affected the energy consumption and the visual comfort.

Two different systems were tested: one with hanging fittings and downlights and one with recessed lighting. The new lighting has been tested in two configurations, with constant and variable light temperature (between 3000 and 6500 degrees Kelvin under the day to imitate daylight). Light measurements and a questionnaire were used to investigate how the new light conditions were perceived by meeting participants.

Power savings of 35 and 46% (depending on the system) have been reached. The measurements showed that the LED light flickered, even though it was not noted by the participants. The reactions to the new system were mostly positive or very positive, even though a couple of participants did not at all like the cold light of the dynamic settings. Although the light was perceived as harder, colder and less pleasant, the participants noted a better lighting situation. Further studies in this direction for a longer time are necessary to give statistical relevance since the participation in the questionnaire was low.

Key words: LED – office – light temperature – light colour – energy efficiency – lighting





INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
2	GENOMFÖRANDE	9
3	RESULTAT	12
3.1	EFFEKTBESPARING	12
3.2	LJUSMÄTNINGAR	12
3.3	ENKÄTSTUDIE	15
4	DISKUSSION	16
5	REFERENSER	18
	BILAGOR	19





- Anders Grönvall (Wihlborgs) – förvaltning av lokalerna och kontakt med hyresgästerna

Enkäterna som använts i studien har tagits fram av Thorbjörn Laike, avdelningen för Miljöpsykologi vid Lunds Tekniska Högskola.





2 Genomförande

I projektet har två identiska konferensrum på Ideon i Lund studerats. Konferensrummen, som förvaltas av Whilborgs, har utrustats med två olika LED-belysningssystem, designade och programmerade av Zumtobels tekniker. Ljutförhållandena har mätts före och efter installationen av den nya tekniken och mötesdeltagarnas upplevelse har mätts genom att de fyllde i enkäter som fanns i rummen. De installerade armaturerna är dimbara och kan ändra färgtemperatur. Armaturerna programmerades på ett sätt så att det var möjligt för användaren att välja bland tre scenarier med olika ljusintensitet och själv reglera ljusstyrkan om det önskades. De nya belysningssystemen har testats både med statisk och dynamisk färgtemperatur, dvs. med blåare ljus i mitten av dagen för att härma färgtemperatursändring i dagsljuset.

Projektet har genomförts som följande:

1. **Val av rum på Ideon.** Två konferensrum på Ideons lokaler i Lund hade identifierats som lämpliga för projektet. De har en glaserad sida som vetter mot en korridor där kontor finns med delvis glasade väggar. De här konferensrummen har liten tillgång till dagsljus och bedömdes därför som passande till studien. Minimal påverkan av dagsljus behövs för att korrekt utvärdera belysningssystemet.
2. **Framtagning av enkäterna.** En enkät för utvärderingen av ljutförhållanden har tagits fram av avdelningen Miljöpsykologi vid Lunds Tekniska Högskola, där det finns lång erfarenhet av liknande projekt för belysning. Enkäten består av 17 enkla frågor i ett strukturerat frågeschema om hur belysningen uppfattas och det tar kort tid att fylla i (ungefär en minut). Både anställda och gäster tillfrågades i studien. Samma person hade möjlighet att delta flera gånger.
3. **Design av belysningssystemet.** Efter att ha besökt lokalerna kunde de nya belysningssystemen designas av Sebastian Bengtsson från Thorn Lighting, som är en del av Zumtobel group, en av de internationellt ledande leverantörerna av helhetslösningar inom belysning. Två olika konfigurationer valdes för att kunna testa olika belysningsarmaturer (bilaga 1). I båda fallen är det LED-belysning, "tunable white". Med den är det möjligt att ändra ljstemperaturen, från varmt till kallt ljus (mellan 2700 och 6500 Kelvin), som var avgörande för att kunna ha varierande ljutförhållanden under dagen i den andra fasen av testet. Det utfördes även simulering i programmet DIALux, test av armaturerna i Zumtobels anläggningar och kontroll av installationsmöjligheterna i lokalerna (layout av ventilationssystemet, avstånd mellan taket och undertaket, ev. skuggning).
4. **Mätning av ljutförhållanden före installation av armaturer.** Mätningen genomfördes i båda rummen av Maria Nilsson Tengelin, en erfaren RISE tekniker inom området belysning. Belysningen i rummen kontrollerades med avseende på bländning (besvärande luminanser),





belysningsstyrka, spektrum, färgtemperatur och optiskt flimmer. Rapporten i sin helhet går att läsa som bilaga 3.

- Information till medarbetare på Ideon.** Wihlborgs bjöd vid början av projektet in till möte för att informera de anställda om utförandet och enkätundersökningarna. Deltagandet var stort, nästan alla anställda (ungefär 30st) deltog och vid detta tillfälle medverkade Francesco Sacco (RISE) och Sebastian Bengtsson (Zumtobel) för att informera om projektet. Från den här tidpunkten var det möjligt för personalen och gästerna att fylla i enkäterna, som lagts ut i rummen: vid dörren fanns en påminnelse om att fylla i formulären.
- Installation av armaturer och nätverk.** Wihlborgs elmontörer samarbetade med Zumtobel vid leverans och installation av armaturerna. För att kunna styra armaturerna och implementera olika ljusscenarier, var det nödvändigt att installera också ett nätverk (kabel) i båda konferensrummen.
- Programmering av belysningsystemen.** Zumtobels tekniker programmerade belysningsystemen för att ha tre olika scenarier i varje rum, med olika ljusfördelningar och intensitet. Istället för att ha en vanlig strömbrytare fanns det ett gränssnitt där man kunde välja mellan tre inställningar eller att dimma belysningen om det önskades.
- Mätning av de nya ljusförhållandena.** Den genomfördes på samma sätt som under punkt 4 och enligt samma metod.
- Genomförande av försöken.** Det nya belysningsystemet var redo att användas i mitten av juni. Enkätutvärderingen med det statiska scenariot pågick till slutet av september eftersom det var låg närvaro på kontoret under sommarmånaderna. Sen ändrades belysningen till det dynamiska scenariot i början av oktober och pågick till början av november. "Dynamiskt scenario" betyder att det var samma scenarier som de statiska, med skillnaden att ljustemperaturen varierar under dagen för att härma dagsljuset.
- Insamling och analys av enkäter.** Enkäterna samlades in i början av november och analyserades tillsammans med mätningarna för att få resultatet till försöken.

Rummen hade utrustats som följande:

Röda rummet:

- 6st downlight Panos 60813831 (1089 lm, 22 W)
- 2st pendlade LFE 42182193 (4720 lm, 61 W)
- 4st spotlights/tavelbelysning Arcos 60712333 (751 lm, 28 W)

Lila rummet:

- 6st infällda LFE 42182181 (4900 lm, 52 W)





- 4st spotlights/tavelbelysning Arcos 60712333 (751 lm, 28 W)

Scenarierna:

Här finns en kort beskrivning av de olika ljusscenarierna, som finns bifogade som bilaga 2. Procent i beskrivningen betyder andel maximal ljusstyrka.

Röda rummet

- 1: alla ljus på, downlights 60%
- 2: downlights 100%, whiteboard släckt
- 3: svagare ljus åt sidan med två downlights släckta (de närmast whiteboarden) och de andra på 25%, whiteboard släckt, pendlade dimmade till 15%

Lila rummet

- 1: alla ljus på, 50%
- 2: alla ljus, whiteboardbelysning dimmad till 15%
- 3: 4 av 6 infällda ljus på, övriga dimmade till 23%, whiteboard släckt

När belysningen ändrades till den dynamiska konfigurationen, var ljustemperaturen schemalagd efter följande upplägg: 3000 K fram till kl. 8 på morgonen (och innan dess), 6500 K kl. 13 och sen tillbaka på 3000 K från kl. 17. Ljustemperaturen går upp och ner på ett nästan linjärt sätt.





3 Resultat

3.1 Effektbesparing

Energikonsumtionen är beräknad utan att ta hänsyn till whiteboarden eftersom den inte fanns tidigare. Effektbehovet för styrsystemet (20 W) är också inkluderat i beräkningen.

Tabell 1. Energikonsumtionen för de nya och gamla belysningsystemen.

	Konventionell belysning	Effekt	Ny belysning	Effekt	Effektbesparing
Röda rummet	8 st. downlights, 2x32 W compact fluorescent lights	512 W	6 st LED downlights, 22 W 2 st pendlade, 61 W	274 W	238 W (46%)
Lila rummet	8 st downlights, 2x32 W compact fluorescent lights	512 W	6 st infällda LEDplattor, 52 W	332 W	180 W (35%)

3.2 Ljusbemätningar

Mätningarna utfördes vid två tillfällen före respektive och efter byte av armaturerna. Mätningar av ljusmiljö har skett enligt gängse metoder. Som grund ligger SS-EN 12464-1:2011 och SP:s P-märkningsdokument avseende inomhusmiljö, SPCR 114 (SP, 2015). Funktionskraven i SPCR 114 utgår från gällande svenska regelverk, rekommendationer och branschstandarder. De statiska och dynamiska scenarierna skiljer sig bara i termer av ljusintensitet och därför har bara en mätning genomförts (vid det dynamiska upplägget). Datum för mätningarnas genomförande var 2016-12-09 (konventionell belysning) och 2017-10-18 (LED belysning), bara vid ett klockslag (kl. 14). Vädret var mulet vid mätningstillfällena. Mätningsrapporten är bifogad som bilaga 3.

Belysningsstyrka, såväl allmän som arbetsbelysning, är godkänd enligt standarderna både före och efter armaturbytet i båda rummen. I det lila rummet var dock arbetsbelysningen (den horisontella belysningsstyrkan på bordsytan) ojämnt fördelad över mätningssytan före bytet, dvs. belysningsstyrkan var inte konstant över mätningssytan. Med den nya LED-belysningen blev den i stället väldigt jämn.

I båda rummen är reflektansfaktorn på mattan väldigt låg (0,07 respektive 0,06) där rekommendationen enligt kravet är att ligga mellan 0,20 och 0,40. Man har också en något hög reflektansfaktor på bordet (0,84) mot rekommenderade 0,20-0,70. Detta blir mer tydligt i det röda rummet där man har pendlade armaturer rakt över det stora bordet i mitten av rummet.

Med lågenergilamporna före bytet fanns inget mätbart optiskt flimmer, men efter bytet till LED-lampor har man ett kraftigt flimmer med en hög modulationsgrad vid en frekvens på 100 Hz. Detta är för de flesta inte synligt direkt med blotta ögat, men är väldigt tydligt i form av stroboskopiska effekter när man observerar rörliga objekt eller när man flyttar ögonen över en text.





Tabell 2. Uppmätta värden för det lila rummet.

PARAMETRAR	UPPMÄTTA VÄRDEN		KRAV enligt SPCR114
	Tidigare belysning	Ny belysning	
Belysningsstyrka Allmän			
Medel	455 lux	350 lux	≥ 300 lux
Min-max	280-600 lux	180-530 lux	≥ 300 lux
Belysningsstyrka Konferensbord			
Medel	560 lux	780 lux	≥ 500 lux
Min-max	475 - 640 lux	650-880 lux	≥ 500 lux
Jämnhet, U ₀	0,84	0,84	≥0,60
Luminanser			
Normalt synfält undantag armaturraster	60-80 cd/m ²	50-100 cd/m ²	≤ 1500 cd/m ²
Maximal luminans mot armaturraster i synfält	- cd/m ²	6200 cd/m ²	≤ 3500 cd/m ²
Reflektansfaktor			Rekommendation
Vägg vitmålad	0,95	0,95	0,50-0,80
Vitt bord	0,84	0,84	0,20-0,70
Golv röd matta	0,07	0,07	0,20-0,40
Flimmer			
Flimmer-index	0,00	0,30-0,36	Flimmer och stroboskopiska effekter bör undvikas
% flimmer	0 %	83-95 %	
Spektrum			
Färgåtergivning (R _A)	83,1	85,7	80,0
Korrelerad färgtemperatur (CCT)	2865 K	4725 K	-
Färgkoordinater	x=0,4506; y=0,4145	x=0,3532; y=0,3572	-

Den nya belysningen är lika jämn som den tidigare. Rummet är upplyst mindre men belysningen är koncentrerad till bordsytan.





Tabell 3. Uppmätta värden för det röda rummet.

PARAMETRAR	UPPMÄTTA VÄRDEN		KRAV enligt SPCR114
	Tidigare belysning	Ny belysning	
Belysningsstyrka Allmän			
Medel	465 lux	530 lux	≥ 300 lux
Min-max	280-600 lux	200-760 lux	≥ 300 lux
Belysningsstyrka Konferensbord			
Medel	490 lux	780 lux	≥ 500 lux
Min-max	330-650 lux	650-880 lux	≥ 500 lux
Jämnhet, U ₀	0,67	0,96	≥0,60
Luminanser			
Normalt synfält undantag armaturraster	20-60 cd/m ²	50-100 cd/m ²	≤ 1500 cd/m ²
Maximal luminans mot armaturraster i synfält	- cd/m ²	1100 cd/m ²	≤ 3500 cd/m ²
Reflektansfaktor			Rekommendation
Vägg vitmålad	0,95	0,95	0,50-0,80
Vitt bord	0,84	0,84	0,20-0,70
Golv lila matta	0,06	0,06	0,20-0,40
Flimmer			
Flimmer-index	0,00	0,16-0,52	Flimmer och stroboskopiska effekter bör undvikas
% flimmer	0 %	75-98 %	
Spektrum			
Färgåtergivning (R _A)	82,1	85,6	80,0
Korrelerad färgtemperatur (CCT)	2906 K	4820 K	-
Färgkoordinater	x=0,4494; y=0,4175	x=0,3501; y=0,3536	-

Rummet har blivit ljusare med det nya belysningsystemet i jämförelse med det tidigare. Den tydligaste förbättringen går att se på konferensbordet, där illumineringen har blivit bättre och jämnare.





3.3 Enkätstudie

Resultatet av enkätstudie visas i Tabell 4. För varje punkt i enkäten skulle deltagarna kryssa i en sjugradig skala mellan två motsatta beskrivningar av belysningssegenskaperna, som i Figur 1. Den grundläggande frågan är "Hur upplever du ljuset i det här rummet? Markera genom att sätta kryss i nedanstående skalor". Enkäten finns som bilaga 4.

mörkt ljus

Figur 1. Exempel på fråga i enkäten.

Svaret registrerades numeriskt i en Excel fil: ett kryss längst åt vänster räknades som 1 och längst åt höger som 7. Bara belysning scenariot 1 har tagit med i resultaten eftersom det var alltför få enkäter som märktes med de andra scenarierna. Siffrorna i tabellen visar medelvärden.

Tabell 4. Resultat av enkätstudien.

	Tidigare belysning Både rummen	Statisk LED		Dynamisk LED	
		Lila	Röda	Lila	Röda
<i>Antal enkäter</i>	20	6	7	10	8
<i>Egenskap</i>					
Mörkt (Ljust)	3,4	5,7	5,9	5,9	6,1
Behagligt (Obehagligt)	3,7	5,2	2,1	2,6	3,8
Ofärgat (Färgat)	5,4	4,5	4,1	2,8	3,6
Starkt (Svagt)	5,7	3,8	4,3	2,3	2,4
Utspritt (Koncentrerat)	4,1	4,7	2,9	4,3	3,5
Varmt (Kallt)	2,5	4,2	2,9	4,6	5,1
Ojämt fördelat (Jämt)	2,9	5,7	3,4	4,9	6,3
Hårt (Mjukt)	5,7	3,2	4,4	3,6	3,5
Diffust (Fokuserat)	3,4	5,2	4,0	5,4	4,5
Naturligt (Onaturligt)	4,3	6,2	3,9	3,1	4,3
Flimrande (Flimmerfritt)	5,1	5,8	7,0	5,9	6,8
Klart (Murrigt)	5,0	1,8	2,1	1,7	1,4
Varierat (Enformigt)	5,4	6,5	4,0	4,4	4,9
Milt (Skarpt)	2,3	5,5	3,3	5,3	4,8
Bländande (Avbländat)	5,6	2,3	5,0	5,2	5,3
Dämpat (Lysande)	2,8	6,0	4,6	5,5	6,4
<i>Hur går det att se?</i>					
Mycket dåligt (Mycket bra)	3,8	6,8	6,4	5,8	5,5



4 Diskussion

Det här projektet har utforskat hur bytet från standardbelysning- till ny LED-belysning i två konferensrum i kontorsmiljö i Lund har påverkat effektbehovet och den visuella komforten.

Inom ramen för projektet, uppnåddes ett effektbehov om 35–46% (beroende på belysningsystemet) genom att byta den nuvarande belysningen (compact fluorescent) till LED. Eftersom det nya systemet uppfyller gällande arbetsmiljökrav (såsom den gamla) och samtidigt ger större mängd belysning i rummet, speciellt på arbetsytan, tycks det vara möjligt att nå ännu högre energibesparingar genom att designa ett system fokuserat på att optimera illuminering på konferensbordet utan att överstiga kravet lika mycket.

Mätningarna har visat att både belysningsstyrka, såväl allmän som arbetsbelysning, är godkänd enligt kravet både före och efter armaturbytet i båda rummen. Belysningen har blivit jämnare efter installationen men det har också uppstått större luminanser och flimmar. Maximal luminans mot armaturraster i synfält uppfyller inte kravet SS-EN 12464-1:2011 i rummet med pendlade armaturerna, och ett kraftigt flimmar med en hög modulationsgrad observeras i båda rummen. Vid tidigare mätning var den gamla belysningen flimmarfri. Det bör dock noteras att enligt enkäterna har LED-ljuset uppfattats som mindre flimrande än standardbelysningen.

För att ytterligare förbättra belysningskomfort bör man ta hänsyn till reflektansfaktorer av matt, vägg och konferensbord för att se till att värdena ligger i linje med kravets rekommendation: i de studerade fallen har väggarna och borden för hög reflektans samtidigt som mattorna har för låg. Den visuella komforten som åstadkommits med det nya belysningsystemet var därför något sämre än den om man installerade samma system och samtidigt bytte inredning för att nå den optimala reflektansen. Planeringen av belysningsystemet borde därför göras tillsammans med en studie över ytornas reflektans för att se om det blir nödvändigt att måla om rummet eller att byta mattor, inredning osv. för att maximera den visuella komforten.

Den nya LED-belysningen har mottagits positivt av de flesta medarbetarna på Ideon, men ett visst missnöje har uttryckts från ett par deltagare i enkätundersökningen angående de dynamiska inställningarna: det blåare ljuset som uppstår vid högre ljstemperaturen upplevs som onaturligt och "sjukhusliknande". Deltagarna angav att även om ljuset upplevs som hårdare, kallare och mindre behagligt, så gick det att se betydligt bättre i rummen efter bytet av belysningen (både de statiska och dynamiska inställningarna). Den mest omtyckta konfigurationen var den med statisk färgtemperatur. Det är också värt att notera att belysningen från den dynamiska LED uppfattas som mer naturlig än ljuset från den statiska.

Projektet har försenats redan vid uppstartsfas eftersom projektledaren slutade och fick ersättas: det tog tid för den nya projektledaren att fördjupa sig i uppdraget. Det var också personalförändring vid medfinansierarna, som i sin tur menade att nästan ingen av de ursprungliga projektdeltagarna var kvar med följaktiga förseningar på aktiviteterna. Ytterligare problem kom vid beställning av armaturerna: två gånger kom det sent besked över otillgänglighet av vissa armaturer, som gjorde att belysningsystemet fick omprojekteras mer än en gång. Till slut förlängdes projektet två gånger till totalt 29 månader.





Detta har påverkat enkätstudien, eftersom istället för de tre planerade månader för mätningen av de statiska inställningarna plus tre för de dynamiska, har tidslinjen krympt till tre månader för den statiska (sommarmånaderna plus september) och fem veckor för de dynamiska, därav det låga deltagandet och den låga svarsfrekvensen.

Nästa steg i den här forskningen skulle därför vara att testa upplevelse av LED-belysningen under längre tid för att få statistiskt relevant respons, och att engagera deltagarna mer. Det vore också önskvärt att logga belysningspreferenser och att utforma belysningen så att det blir möjligt att påverka både direkt och indirekt ljus. De nuvarande scenarierna handlade bara om olika nivå av ljusintensitet. Eftersom uppfattning av ljusstemperatur varierar kraftigt mellan individer vore det också intressant att testa scenarier med olika ljusstemperaturer.





5 Referenser

- Dubois, M.-C., & Blomsterberg, Å. (2011). Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review. *Energy and Buildings* 43, 2572-2582.
- Galasiu, A., & Veitch, J. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review,. *Energy and Buildings* 38, 728-742.
- Iskra-Golec, I., Wazna, A., & Smith, L. (2012). Effects of blue-enriched light on the daily course of mood, sleepiness and light perception: A field experiment. *Lighting Research and Technology* 44, 506.
- SP. (2015). *P-märkning avseende inomhusmiljö och energianvändning*. Borås.
- Sust, C. A., Dehoff, P., Lang, D., & Lorenz, D. (2012). *Improved quality of life for resident dementia patients: St. Katharina research project in Vienna*. . Dornbirn, Österrike: Zumtobel Research.
- van Bommel, W. J. (2006). Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work. . *Applied Ergonomics* 37 , 461-466.





Bilaga 1

RISE-rapport om ljusmätningarna



SB605202

Wihlborgs & SP

Förslag på Rum 223 & 275 Ideon Beta 5

Slutgiltigt förslag.

Företag: Zumtobel group
Ljusdesigner: Sebastian Bengtsson: Sebastian Bengtsson
E-post: sebastian.bengtsson@zumbelgroup.com
Tele: +46 (0)40 649 20 71

Datum: 08.11.2016
Handläggare:

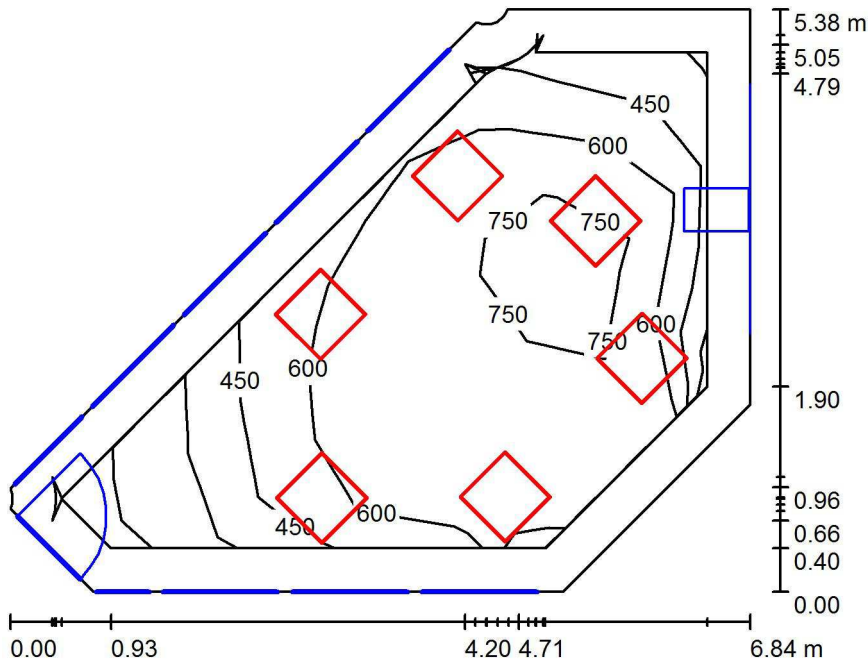
Handläggare
Telefon
Fax
e-post

Innehållsförteckning

SB605202	
Titelsida	1
Innehållsförteckning	2
Slutgiltigt förslag 1	
Sammanfattning	3
3D återgivning	4
Intensitet återges med färgvariationer	5
Objektytor	
Whiteboard Höger	
Whiteboard	
Isokurvor (E)	6
Slutgiltigt förslag 2	
Sammanfattning	7
3D återgivning	8
Intensitet återges med färgvariationer	9
Objektytor	
Whiteboard Höger	
Whiteboard	
Isokurvor (E)	10

Handläggare
Telefon
Fax
e-post

Slutgiltigt förslag 1 / Sammanfattning



Rumshöjd: 2.700 m, Underhållsfaktor: 0.80

Värden i Lux, Skala 1:70

Yta	ρ [%]	E_{med} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{med}
Beräkningsplan	/	608	104	834	0.171
Golv	29	452	105	654	0.232
Tak	85	129	56	382	0.432
Väggar (23)	60	212	9.73	588	/

Beräkningsplan:

Höjd: 0.850 m
Rutssystem: 11 x 5 Punkter
Gränsyta: 0.400 m

Dellista armaturer

Nr.	Antal	Beteckning (Korrektionsfaktor)	Φ (Armatur) [lm]	Φ (Ljuskälla) [lm]	P [W]
1	6	Zumtobel 42182181 LFE E LED5000-830-60 M600Q LDE KA SRE (Typ 1)* (1.000)	3000	3000	52.0
2	1	Zumtobel 60714568 ARC WW 1/14W LED940 LDO 3CD WHM [STD] (Typ 1)* (1.000)	1000	1000	1.\$
3	1	Zumtobel 60714568 ARC WW 1/14W LED940 LDO 3CD WHM [STD] (Typ 2)* (1.000)	1000	1000	1.\$
*Ändrad teknisk data			Totalt: 20000	Totalt: 20000	1.\$

Effektförbrukning: 1.#R W/m² = 1.#R W/m²/100 lx (Yta: 25.20 m²)

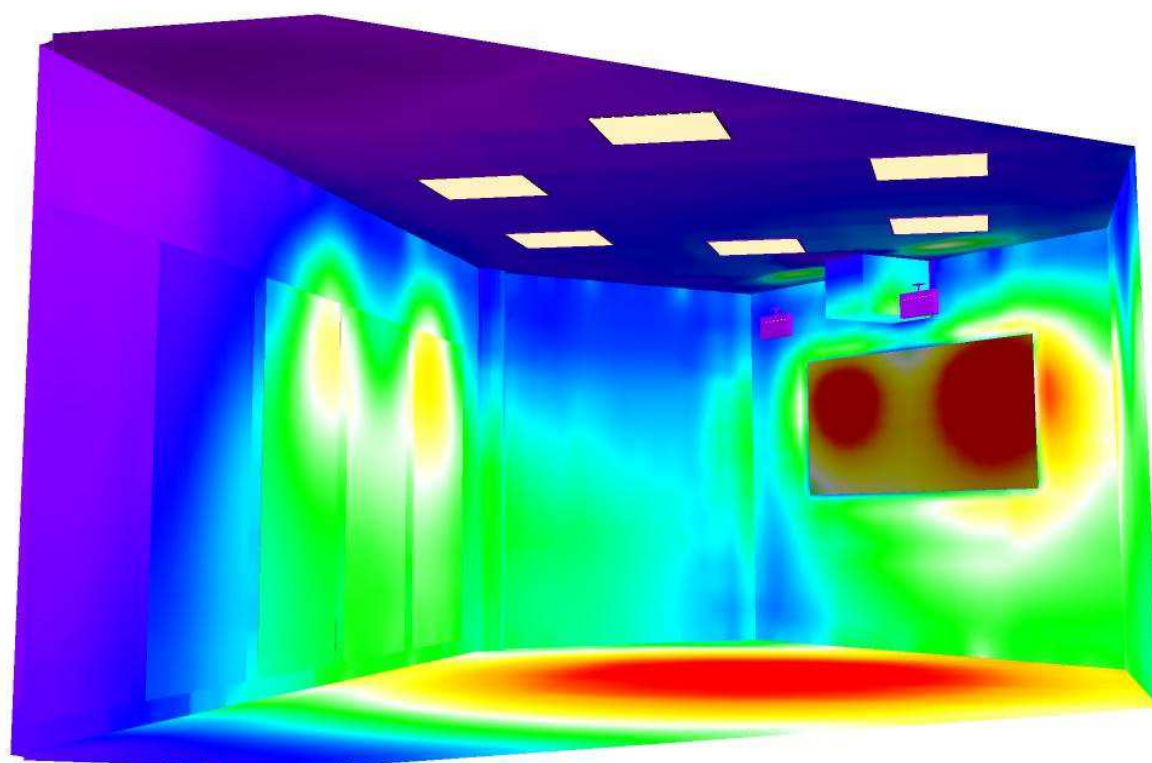
Handläggare
Telefon
Fax
e-post

Slutgiltigt förslag 1 / 3D återgivning



Handläggare
Telefon
Fax
e-post

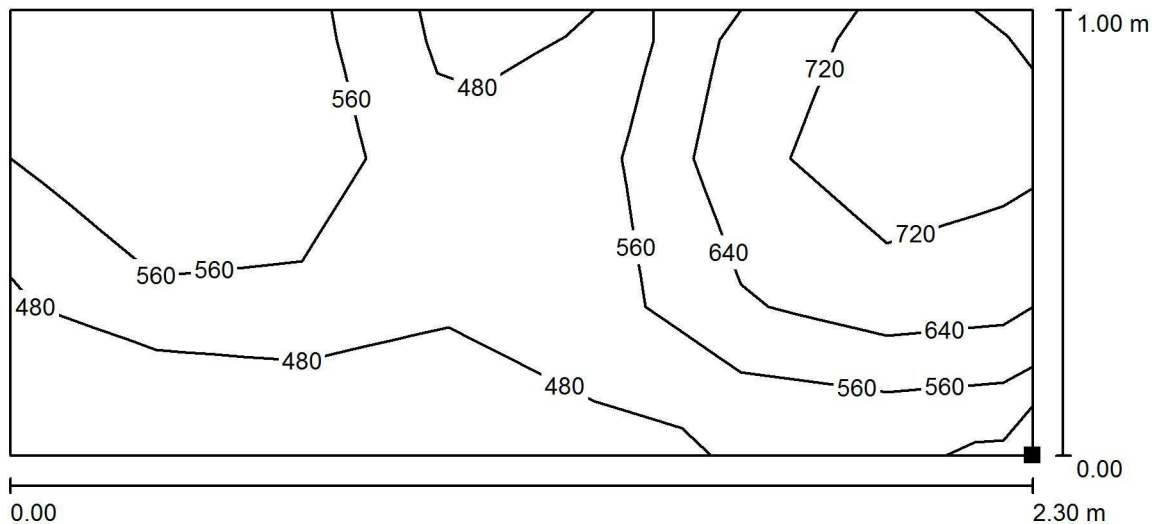
Slutgiltigt förslag 1 / Intensitet återges med färgvariationer



0 75 150 225 300 375 450 525 600 lx

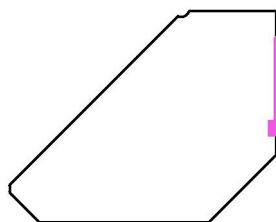
Handläggare
 Telefon
 Fax
 e-post

Slutgiltigt förslag 1 / Whiteboard Höger / Whiteboard / Isokurvor (E)



Värden i Lux, Skala 1 : 17

Ytans läge i rummet:
 Markerad punkt:
 (20.705 m, 39.850 m, 1.100 m)

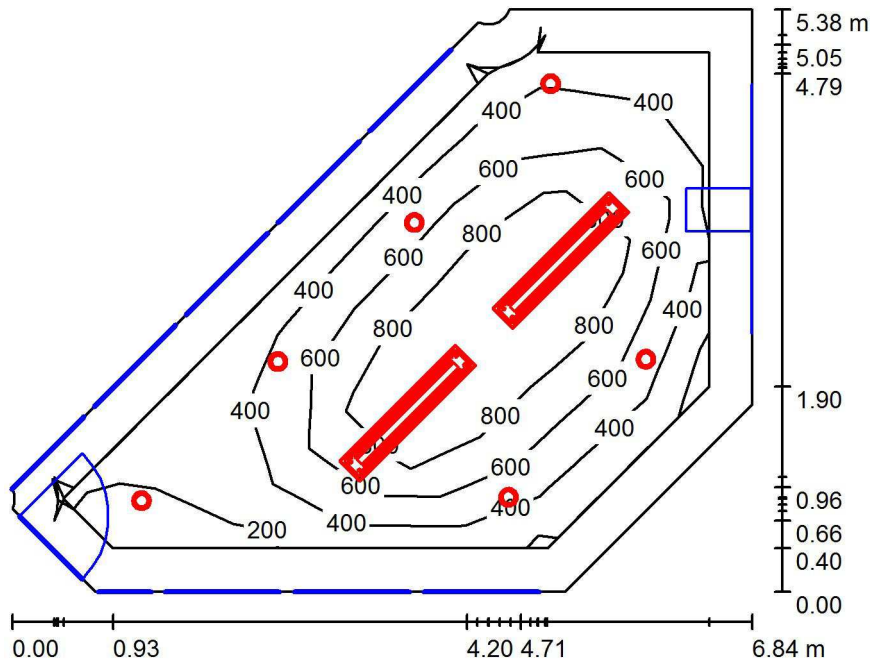


Rutssystem: 3 x 7 Punkter

E_{med} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{med}	E_{min} / E_{max}
587	410	808	0.700	0.508

Handläggare
Telefon
Fax
e-post

Slutgiltigt förslag 2 / Sammanfattning



Rumshöjd: 2.700 m, Underhållsfaktor: 0.80

Värden i Lux, Skala 1:70

Yta	ρ [%]	E_{med} [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_{med}
Beräkningsplan	/	592	194	1183	0.327
Golv	29	420	122	732	0.290
Tak	85	171	49	492	0.286
Väggar (23)	60	183	8.80	481	/

Beräkningsplan:

Höjd: 0.850 m
Rutssystem: 11 x 5 Punkter
Gränsyta: 0.400 m

Dellista armaturer

Nr.	Antal	Beteckning (Korrektionsfaktor)	Φ (Armatur) [lm]	Φ (Ljuskälla) [lm]	P [W]
1	2	Zumtobel 42182193 LFE DI LED4800-830-60 L15 LDE ASH1 SRE [STD] (1.000)	4720	4720	61.0
2	1	Zumtobel 60714568 ARC WW 1/14W LED940 LDO 3CD WHM [STD] (Typ 1)* (1.000)	1000	1000	1.\$
3	1	Zumtobel 60714568 ARC WW 1/14W LED940 LDO 3CD WHM [STD] (Typ 2)* (1.000)	1000	1000	1.\$
4	6	Zumtobel 60813831 PANOS INF E150LL 22W LED927-65 LDE WH [STD] (1.000)	1089	1089	22.0

*Ändrad teknisk data

Totalt: 17974 Totalt: 17974 1.\$

Effektförbrukning: 1.#R W/m² = 1.#R W/m²/100 lx (Yta: 25.20 m²)

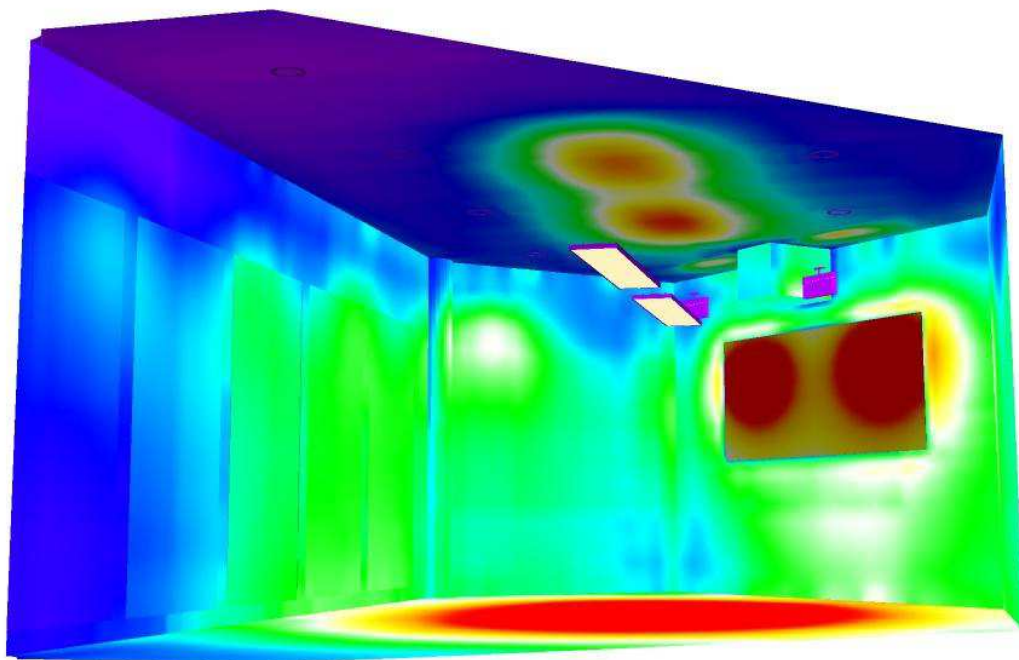
Handläggare
Telefon
Fax
e-post

Slutgiltigt förslag 2 / 3D återgivning



Handläggare
Telefon
Fax
e-post

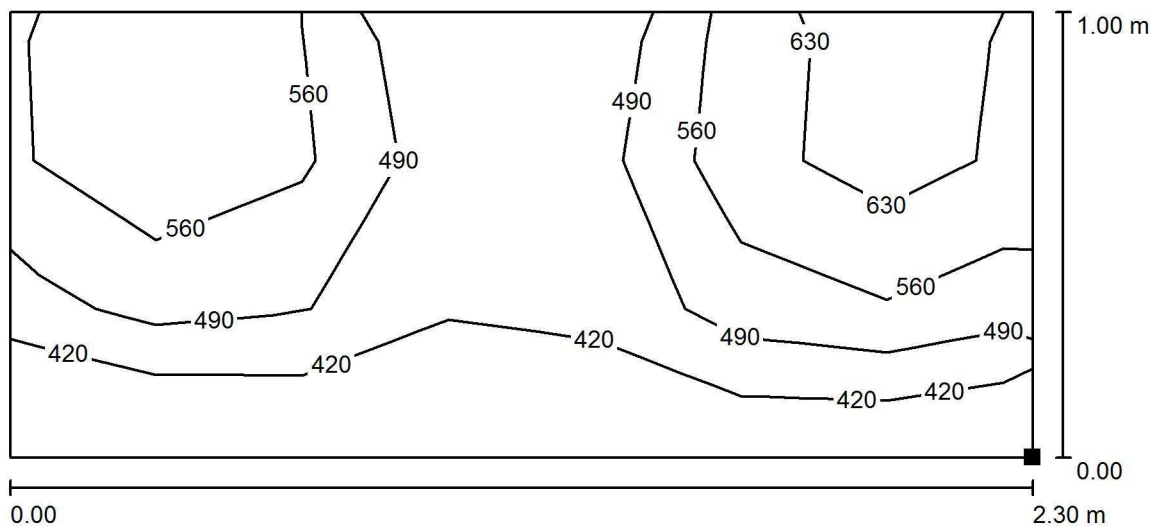
Slutgiltigt förslag 2 / Intensitet återges med färgvariationer



lx

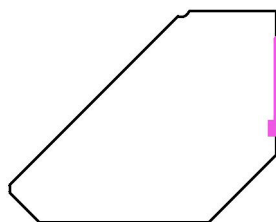
Handläggare
 Telefon
 Fax
 e-post

Slutgiltigt förslag 2 / Whiteboard Höger / Whiteboard / Isokurvor (E)



Värden i Lux, Skala 1 : 17

Ytans läge i rummet:
 Markerad punkt:
 (20.704 m, 39.850 m, 1.100 m)



Rutssystem: 3 x 7 Punkter

E_{med} [lx]
 521

E_{min} [lx]
 373

E_{max} [lx]
 704

E_{min} / E_{med}
 0.716

E_{min} / E_{max}
 0.530



Bilaga 2

Dialux-simuleringar om belysningen (Zumtobel)



Ark1

Room name	Group name	Device name	Type	SC0	SC1	SC2	SC3	SC4
Konferens 1	<All groups>	Konf1 ED-LCC-CXX - 6421650864	Cxx	OFF	ON			
Konferens 1	<All groups>	Konf1 SENS1 - 6421650884	AWS					
Konferens 1	<All groups>	Konf1 SENS2 - 64216508A4	AWS					
Konferens 1	Infälld	LI6 - 6421650024	TW	0	50	50	23	100
Konferens 1	Infälld	LI5 - 6421650084	TW	0	50	50	23	100
Konferens 1	Infälld	LI3 - 64216501C4	TW	0	50	50	23	100
Konferens 1	Infälld	LI4 - 6421650224	TW	0	50	50	23	100
Konferens 1	Infälld	LI1 - 6421650284	TW	0	50	50	0	100
Konferens 1	Infälld	LM-LCC (ICT) - 64216502C4	TW	0	50	50	23	100
Konferens 1	Spotlights	LS1 - 64216500A4	TW	0	50	15	0	100
Konferens 1	Spotlights	LS2 - 6421650104	TW	0	50	15	0	100
Konferens 1	Spotlights	LS4 - 6421650124	TW	0	50	15	0	100
Konferens 1	Spotlights	LS3 - 6421650204	TW	0	50	15	0	100
Konferens 2	<All groups>	Konf2 ED-LCC-CXX - 6421650804	Cxx	OFF	ON			
Konferens 2	<All groups>	Konf2 SENS1 - 6421650824	AWS					
Konferens 2	<All groups>	Konf2 SENS2 - 6421650844	AWS					
Konferens 2	Downlights	LI2 - 6421650004	TW	0	60	100	0	100
Konferens 2	Downlights	LI4 - 6421650064	TW	0	60	100	25	100
Konferens 2	Downlights	LI6 - 64216500C4	TW	0	60	100	25	100
Konferens 2	Downlights	LI1 - 6421650144	TW	0	60	100	0	100
Konferens 2	Downlights	LI3 - 6421650164	TW	0	60	100	25	100
Konferens 2	Downlights	LI5 - 6421650264	TW	0	60	100	25	100
Konferens 2	Spotlights	LS1 - 6421650044	TW	0	50	0	0	100
Konferens 2	Spotlights	LS2 - 6421650184	TW	0	50	0	0	100
Konferens 2	Spotlights	LS3 - 64216501E4	TW	0	50	0	0	100
Konferens 2	Spotlights	LS4 - 6421650244	TW	0	50	0	0	100
Konferens 2	Pendlad	LP2 - 64216501A4	TW	0	60	60	15	100
Konferens 2	Pendlad	LP1 - 64216502A4	TW	0	60	60	15	100

Ark1_2

used in room	Scene	Run-On-Time	Ref-Room	Ref-Sc	FadeTime	DeadTime	P/T	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su	BeginTime	EndTime	Presence-Sensors
Konferens 1		1200s	Konferens 1		00s		0P	X	X	X	X	X	X	X	00:00:00	00:00:00	Konf1 SENS1 - 6421650884,Konf1 SENS2 - 64216508A4
Konferens 2		1200s	Konferens 2		00s		0P	X	X	X	X	X	X	X	00:00:00	00:00:00	Konf2 SENS1 - 6421650824,Konf2 SENS2 - 6421650844



Bilaga 3

Enkät om belysningsupplevelse



Utvärdering av belysning i två konferensrum före och efter byte av belysning.

(1 bilaga)

Identifiering

Er referens:	Francesco Sacco
Lokalernas tillstånd	Lokalerna är i bruk med befintliga armaturer och ljusinställningar.
Mätningssort	Lund
Mätdatum	2016-12-09 samt 2017-10-18

Mätförutsättningar

Belysningen i rummen kontrollerades med avseende på bländning (besvärande luminanser), belysningsstyrka, spektrum, färgtemperatur och optiskt flimmer. Mätningar utfördes vid två olika tillfällen. Efter första mättillfället byttes belysningen ut och den nya belysningen utvärderades vid det andra mättillfället. Mätningarna är utförda på eftermiddagen mellan 13.00 och 15.00. Vädret var mulet. Den nya LED-belysningen är programmerad att variera i färgtemperatur över dagen, men mätningarna gjordes bara vid ett klockslag.

Mätredovisning

Mätresultat presenteras för de båda konferensrummen tillsammans med beskrivning av respektive belysningsanläggning före och efter armaturbyte i följande bilagor. Belysningsstyrka anges i lux. Här anges medelvärde, relation mellan maxvärde och minvärde. Luminans i cd/m^2 som tak, golv och väggluminans. Maximala luminanser fås i allmänhet mot armaturraster. Reflektioner från väggar och golv och är också angivna. Flutter presenteras som flimmerindex och procent flimmer.

Mätmetod

Se SP-metoder nr 2520 i tillämpliga delar. Mätningar av ljusmiljö har skett enligt gängse metoder. Som grund ligger SS-EN 12464-1:2011 och SP's P-märkningsdokument, SPCR114. Mätinstrumentens grundläggande kvalitet bygger på CIEs publikationer för belysnings- och luminansmätare. Belysningsstyrka har uppmätts med en $V(\lambda)$ korrigerad detektor med en cirkulär mätarea av $\varnothing 10$ mm. Optiskt flimmer har uppmätts enligt SP-metod nr 5340.

RISE Research Institutes of Sweden AB

Postadress	Besöksadress	Tfn / Fax / E-post
Box 857	Brinellgatan 4	010-516 50 00
501 15 BORÅS	504 62 BORÅS	033-13 55 02
		info@ri.se

Laboratorier ackrediteras av Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll (SWEDAC) enligt svensk lag. Denna rapport får endast återges i sin helhet, om inte utfärdande laboratorium i förväg skriftligen godkänt annat.

Mätosäkerhet

Belysningsstyrka: ± 5 %

Luminans: ± 10 %

Flimmar: ± 10 %

Den angivna utvidgade mätosäkerheten är produkten av standardmätosäkerheten och täckningsfaktorn $k=2$, vilket för en normalfördelning svarar mot en täcknings-sannolikhet av ungefär 95 %. Standardmätosäkerheten har bestämts i enlighet med EA:s publikation EA-4/02.

Spårbarhet

RISE är i enlighet med regeringens uppdrag riksmätplats och därmed nationellt laboratorium för fotometriska och radiometriska storheter. Storheterna illuminans, luminans och ljusstyrka realiserar genom en grupp ljusstyrkenormaler som kalibreras regelbundet med en väl validerad absolutmetod.

Utrustning

Hagner Universal photometer S4, instr. No. S404096, Inv. Nr. SP 901737.

Spektrometer Mettler SIM-2 Plus, s/n M134672CD13411158

USB-oscilloskop: Picoscope 2204, AT954/033

Sammanfattande bedömning

Ljussmiljön i de båda konferensrummen har utvärderats före och efter armaturbyte. I båda konferensrummen hade man downlights med compact fluorescent (CFL)-lampor före bytet. Med den nya belysningen har man 60x60-plattor (LED) i det ena rummet (med röd matta) och downlights (LED) samt två pendlade LED-armaturer i det andra rummet (med lila matta). Den nya LED-belysningen är programmerad att variera i färgtemperatur över dagen, men mätningen gjordes bara vid ett klockslag (ca kl 14:00).

Belysningsstyrka, såväl allmän som arbetsbelysning, är godkänd både före och efter armaturbytet i båda rummen. I rummet med den lila mattan var dock arbetsbelysningen (den horisontella belysningsstyrkan på bordsytan) lite ojämn före bytet. Med den nya LED-belysningen blev den i stället väldigt jämn.

I båda rummen är reflektansfaktorn på mattan väldigt låg (0,07 resp 0,06) där rekommendationen är att ligga mellan 0,20 och 0,40. Man har också en något hög reflektansfaktor på bordet (0,84) mot rekommenderade 0,20-0,70. Detta blir mer tydligt i rummet med den röda mattan där man har pendlade armaturer rakt över det stora bordet.

Med lågenergi-lamporna före bytet fanns inget mätbart optiskt flimmer, men efter bytet till LED-lampor har man ett kraftigt flimmer med en hög modulationsgrad vid en frekvens på 100 Hz. Detta är för de flesta inte synligt direkt med blotta ögat, men är väldigt tydligt i form av stroboskopiska effekter när man observerar rörliga objekt eller när man flyttar ögonen över en text.

Anmärkning

Uppmätta resultat gäller endast de lokaler med aktuell belysningsanläggning i funktion vid mättillfället.

RISE Research Institutes of Sweden AB
Mätteknik - Tid och optik

Utfört av

Maria Nilsson Tengelin

Bilaga

Resultat med bilder

Bilaga 1

Konferensrum 1 (röda rummet)

Storlek: ca 27 m².

Allmän beskrivning: Rummet är möblerat med ett vitt konferensbord och stolar. Rummet saknar direkt dagsljusinsläpp. Längs två av väggarna är det glas med tunn gardin framför. Taket och väggarna är vita och golvet har en röd matta. Tydliga stroboskopiska effekter. I det neddimmade ljusscenariot är illuminansen mitt på bordet 200 lux.

Armaturer 2016-12-09: 8 st downlights (Compact Fluorescent) i taket.

Armaturer 2017-10-18: 6 st downlights (LED) och två pendlade armaturer över bordet.

PARAMETRAR	UPPMÄTTA VÄRDEN		KRAV enligt SPCR114
	2016-12-09	2017-10-18	
Belysningsstyrka Allmän			
Medel	455 lux	350 lux	≥ 300 lux
Min-max	280-600 lux	180-530 lux	≥ 300 lux
Belysningsstyrka Konferensbord			
Medel	560 lux	780 lux	≥ 500 lux
Min-max	475 - 640 lux	650-880 lux	≥ 500 lux
Jämnhet, U ₀	0,84	0,84	≥0,60
Luminanser			
Normalt synfält undantag armaturraster	60-80 cd/m ²	50-100 cd/m ²	≤ 1500 cd/m ²
Maximal luminans mot armaturraster i synfält	- cd/m ²	6200 cd/m ²	≤ 3500 cd/m ²
Reflektansfaktor			Rekommendation
Vägg vitmålad	0,95	0,95	0,50-0,80
Vitt bord	0,84	0,84	0,20-0,70
Golv röd matta	0,07	0,07	0,20-0,40
Flimmer			
Flimmer-index	0,00	0,30-0,36	Flimmer och stroboskopiska effekter bör undvikas
% flimmer	0 %	83-95 %	
Spektrum			
Färgåtergivning (R _A)	83,1	85,7	80,0
Korrelerad färgtemperatur (CCT)	2865 K	4725 K	-
Färgkoordinater	x=0,4506; y=0,4145	x=0,3532; y=0,3572	-

Bilaga 1



Figur 1: Konferens rum 1 (röda rummet). Belysning före bytet till vänster och belysning efter till höger i bild.

Bilaga 1

Konferensrum 2 (lila rummet)

Storlek: ca 27 m².

Allmän beskrivning: Rummet är möblerat med ett vitt konferensbord och stolar. Rummet saknar direkt dagsljusinsläpp. Längs två av väggarna är det glas med tunn gardin framför. Taket och väggarna är vita och golvet har en lila matta. Tydliga stroboskopiska effekter. I det neddimmade ljusscenariot är illuminansen mitt på bordet 310 lux.

Armaturer 2016-12-09: 7 st fungerande och 1 st trasig downlight (Compact Fluorescent) i taket.

Armaturer 2017-10-18: 6 st 60x60 LED-plattor i taket.

PARAMETRAR	UPPMÄTTA VÄRDEN		KRAV enligt SPCR114
	2016-12-09	2017-10-18	
Belysningsstyrka Allmän			
Medel	465 lux	530 lux	≥ 300 lux
Min-max	280-660 lux	200-760 lux	≥ 300 lux
Belysningsstyrka Konferensbord			
Medel	490 lux	780 lux	≥ 500 lux
Min-max	330 - 650 lux	650-880 lux	≥ 500 lux
Jämnhet, U ₀	0,67	0,96	≥0,60
Luminanser			
Normalt synfält undantag armaturraster	20-60 cd/m ²	50-100 cd/m ²	≤ 1500 cd/m ²
Maximal luminans mot armaturraster i synfält	- cd/m ²	1100 cd/m ²	≤ 3500 cd/m ²
Reflektansfaktor			Rekommendation
Vägg vitmålad	0,95	0,95	0,50-0,80
Vitt bord	0,84	0,84	0,20-0,70
Golv lila matta	0,06	0,06	0,20-0,40
Flimmer			
Flimmer-index	0,00	0,16-0,52	Flimmer och stroboskopiska effekter bör undvikas
% flimmer	0 %	75-98%	
Spektrum			
Färgåtergivning (R _A)	82,1	85,6	80
Korrelerad färgtemperatur (CCT)	2906 K	4820 K	-
Färgkoordinater	x=0,4494; y=0,4175	x=0,3501; y=0,3536	-

Bilaga 1



Figur 2: Konferens rum 2 (lila rummet). Belysning före bytet till vänster och belysning efter till höger i bild.



Bilaga 4

Inställningar av belysningsscenarier



HUR UPPLIVER DU LJUSET I DET HÄR RUMMET?

Markera genom att sätta kryss i nedanstående skalor.

mörkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ljus
behagligt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	obehagligt
ofärgat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	färgat
starkt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	svagt
utspritt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	koncentrerat
varmt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	kallt
ojämnt fördelat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	jämt fördelat
hårt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mjukt
diffust	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	fokuserat

Var god vänd blad och fortsätt

naturligt

onaturligt

flimrande

flimmerfritt

klart

murrtigt

varierat

enformigt

milt

skarpt

bländande

avbländat

dämpat

lysande

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

mycket dåligt

mycket bra

Tack!



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

E2B2 genomförs i samverkan mellan IQ Samhällsbyggnad och Energimyndigheten åren 2013–2017. Läs mer på www.E2B2.se.

