

MODELL FÖR OPTIMERAD ENERGIEFFEKTIVITET I BELYSNINGSANLÄGGNINGAR FÖR CELLKONTOR OCH KONTORSLANDSKAP

Utveckling av grundprinciper för synkronisering av dagsljus och kompletterande belysning och en ljusdesignprocess som ger hög måluppfyllelse för god rumsutformning, ljusrelaterad hälsa, visuell komfort och energieffektivitet



Monica Säter

Avdelningen för Arkitektur

CHALMERS

Post doc. projekt genomfört i samarbete med

Kristoffer Johnsson, JLT och Berndt Johansson, FRANMAN.

Abstrakt

Projektets resultat visar att en erfaren belysningsplanerare som använder modern ljus teknik på ett kreativt sätt, kan med hjälp av energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) utvecklad i projektet, skapa en mycket energieffektiv belysningsanläggning samtidigt som brukarnas ljusmiljö förbättras. Projektet vilar i den interaktionstanke om samband mellan människa, ljus, färg och rum (MLFR) som utvecklats i den avhandling som föregår post dok projektet.

I projektet uppvisas vad en förbättring av interaktionen MLFR för inomhusmiljö kan ge vad gäller rumsutformning, brukarstöd och energibesparing. Förhållningssättet är inom belysningsplanering en ny och anorlunda infallsvinkel. E-LDP kan användas omgående. Avgörande för hur snabbt E-LDP kan etableras som planeringsmetod är beroende på hur snabbt marknadens aktörer kan ställa om och utveckla tankesätt och praxis.

Belysningsplanering med E-LDP har stor potential att bli det verktyg som politiker och myndigheter behöver, för att nå belysningsområdets ambitiösa mål inom miljö- och energibesparing bl.a. näranollenergi-byggnader (NNEB). E-LDP kan tillämpas direkt, samtidigt som omställningsprocessen mot mer energieffektiva belysningsanläggningar påskyndas och sysselsättning skapas i värdekedjan. Projektet mätexempel utgår från rimligt goda dagsljusförhållanden. Mätningarna utfördes under 23 mät dagar 2013 nära Uppsala, fördelade på årets 12 månader under 11 timmar med 10 observationstillfällen mellan 8-19.

Vid jämförelse mot alternativa modeller för belysningsplanering beräknade med datorbaserad ljusdesignprocess (D-LDP) har det mätexempel som utformats med E-LDP, lägst energianvändning. Modellen i studien är prövad såväl mot goda dagsljusförhållanden som mot mörker. Principiellt bygger E-LDP på maximalt utnyttjande av dagsljuset, ljuskällor med högt lumental/W och låg effekt, som används kort tid av dagen och enbart i de delar av rummet där det behövs. Dessutom används i belysningsplaneringen styrkriterier utifrån en rumslig, mänsklig och ergonomisk utgångspunkt. Anläggningens energibesparing uppnås med dynamiska styrkriterier, lägre nivåer för allmänljus (ca 40 Lux på vägg), och dagsljusstyrning.

Teoretiskt kommer ca 50 % av besparingspotentialen från minskad tid och ca 50 % från minskad effekt. Ett förslag till styrkriterier baserat på dagsljuskvot har utvecklats för styrning av den kompletterande belysningen. Mätexemplet visar att samtidigt som brukarnas ljusmiljö förbättras med den planering som genomförts med hjälp av E-LDP, minskas användningen av elenergi till 0,55 (W/ m²&h) dvs. med ca 20-22 ggr (teoretiskt typvärde 16 ggr), motsvarande en besparingspotential på ca - 95 %, jämfört med referensalternativet på (12,4 W/ m²&h, STIL2) som ligger nära mätexemplet och nuläget i svenskt kontorsbestånd. E-LDP är generell tillämpbar.

Det är därför fullt rimligt att belysningsplanering med E-LDP representerar en potential på > 10 ggr eller > 90 % energibesparing. Dagens svenska elanvändning för belysning kan därför åtminstone teoretiskt minskas med E-LDP, från dagens 14 TWh idag till ca.1-2 TWh. En sänkning från 10 % av total elanvändning till ca 1-2 %. Motsvarande siffror för elanvändning för kontorbelysning är ca.6,5 TWh (uppskattning från EU statistik) vilket skulle kunna minskas till ca.0,5 TWh dvs. en sänkning från ca.45 % till ca 5-10 % av kontorens elanvändning för belysning.

Nyckelord: Energibesparande ljusdesign process; E-LDP

Förord

Projektet är en del av Energimyndighetens satsning på utveckling av området energieffektiv belysning. Projektet är finansierat med medel från Energimyndigheten och Bertil och Britt Svenssons Stiftelse för Belysningsteknik. Inom projektet utvecklats grundprinciper och en modell för utformning av energieffektiv belysning för kontorsmiljö och cellkontor. Projektet genomfördes som ett post dok. projekt på Chalmers, Avdelningen för Arkitektur med Inga Malmqvist som mentor.

Samarbete mellan utveckling av design för hög måluppfyllelse, teknik och marknadsanalys

Projektet är genomfört som ett samarbete mellan Monica Säter, Kristoffer Johnsson, JLT och Berndt Johansson, FRANMAN. I ett första steg utvecklade Monica Säter belysningsanläggningen. Dagsljuset mättes upp två gånger per månad för att ta fram ett mönster under året av när dagsljus var tillräckligt som allmänljus. Manuellt kopplades den kompletterande belysningen in vid behov och kritiska värden registrerades. Kristoffer Johnsson utvecklade en tekniklösning baserad på det sätt anläggningen kördes manuellt i studien och skisserade en framtida mer avancerad lösning. Berndt Johansson bidrog med att utvärdera besparingspotentialen i den modell som utvecklats i studien och genomförde jämförelser med andra typfall. Han bidrog även med att beskriva hur anläggningen använts i projektet och hur den styrdes utifrån belysningstekniska mätvärden och av Monica Säter, i studien, framtagna relationstal. Han analyserade även systemets potential för branschaktörer och studerade energieffektivisering inom belysning nationellt och utifrån ett Europaperspektiv samt med global utblick.

Energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP)

I projektet utformades energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) med hög måluppfyllelse för ett gott rum, ett bra brukarstöd psykologiskt, fysiologiskt, visuellt (PFV) samt för energieffektivitet.

Tack för hjälp med genomförandet av projektet

Jag tackar varmt alla som bidragit till projektets genomförande, programrådet vid Energimyndigheten som tillsatte medel, Inga Malmqvist, Kristoffer och Berndt. Med er hjälp har projektet varit möjligt att genomföra. Jag tackar lika varmt Lena Gustafsson, dotter till grundarna av Bertil och Britt Svenssons stiftelse för Belysningsteknik och stiftelsens nuvarande ordförande, för hennes stora insatser för att utveckla mer kunskaper på Belysningsområdet till nytta för branschen och samhället.

Bladåkers by den 31 december 2013

Monica Säter

Förkortningar använda i texten

AML-Arbetssmiljölagen

BCLDP- Brukarcentrerad ljusdesignprocess

BPL- Belysningsplanerare

D-LDP- Datorbaserad ljusdesignprocess

DTF- Dynamisk fototerapi

EMS- Elektromagnetisk strålning

E-LDP- Energibesparande ljusdesign process

FH- Folkhälsa

ISO- Internationella standardiseringskommissionen

LDP- Ljusdesignprocess

LRH- Ljusrelaterad hälsa

NNEB- Nära noll energibyggnader

NZEB- Near zero energy buildings

PEB- Plus energi byggnader

PFV- psykologiskt, fysiologiskt, visuellt

TAR- Transmission, absorption och reflektion

VK- Visuell komfort

Innehållsförteckning

Abstrakt.....	2
Förord.....	3
Förkortningar.....	4
Innehållsförteckning.....	5
KAPITEL 1. Projektupplägg och forskningsfrågor.....	9
1.1 Upplägg av projektet.....	11
1.2 Bakgrund till projektet.....	11
1.3 Omvärldsanalys.....	12
1.4 Andra aspekter på bakgrund till projektet.....	13
1.5 Olika utgångspunkter för projektet.....	16
1.6 Ämnesteoretisk bakgrund till projektet.....	17
1.7 Beskrivning av problemområdet.....	19
1.8 Uppbyggnad av marknad för belysning.....	21
1.9 Om att leva med energieffektiv belysning.....	26
1.10 Ambition med projektet och forskningsfrågeställningar.....	36
1.11 Förhållningssätt till forskningen.....	39
1.12 Litteraturstudie i energieffektiv belysning.....	39
KAPITEL 2. Litteratursökning.....	41
2.1 Arbetsmoment i ljusdesign.....	43
2.2 Olika vägar att optimera en anläggnings energieffektivitet.....	44
2.3 Teoretiska interaktionsmodeller.....	44
2.4 Litteratur som illustrerar planeringsmodell 1.....	46
2.5 Litteratur som illustrerar planeringsmodell 2.....	48
2.6 Litteratur som illustrerar planeringsmodell 3.....	49
2.7 Hinder.....	49
2.8 Grundprinciper för energieffektiv belysning.....	51
2.9 Fortsatt litteraturstudie.....	52
KAPITEL 3. Metoder.....	53
3.1 Upplägg av studier i projektet.....	55
3.2 Arbete med potentialjämförelser, etapp 9.....	56
3.3 Utformning av studien.....	57
3.4 Beskrivning av moment genomförda i projektet.....	58
3.5 Utformning av anläggningen.....	59
3.6 Mätpunkter vertikal belysningsstyrka på vägg.....	65
3.7 Byggnaden.....	67

3.8 Grundprinciper för belysning.....	69
3.9 Utveckling av energibesparande ljusdesignprocess E-LDP.....	70
3.10 Utformning av mål för design av en ljusmiljö som ger god rumsutformning, ljusrelaterad hälsa, visuell komfort och energieffektivitet.....	75
3.11 Modeller till grund för potentialberäkningar.....	76
3.12 Uppbyggnaden av grundprinciper för energieffektiv belysning för kontor och cellkontor...76	76
3.13 Om litteraturstudien.....	76
3.14 Mätmetoder.....	76
KAPITEL 4. Resultat	79
4.1 Forskningsfråga 1 delfråga 1.....	81
4.2 Forskningsfråga 1 delfråga 2.....	85
4.3 Forskningsfråga 1 delfråga 3.....	86
4.4 Forskningsfråga 1 delfråga 4.....	87
4.5 Forskningsfråga 1 delfråga 5.....	89
4.6 Forskningsfråga 1 delfråga 6.....	90
4.7 Forskningsfråga 1 delfråga 7.....	90
4.8 Forskningsfråga 1 delfråga 8.....	90
4.9 Forskningsfråga 1 delfråga 9.....	90
4.10 Forskningsfråga 1 delfråga 10.....	91
4.11 Forskningsfråga 1 delfråga 11.....	91
4.12 Forskningsfråga 1 delfråga 12.....	93
4.13 Forskningsfråga 2.....	99
4.14 Forskningsfråga 2 delfråga 1.....	101
4.15 Forskningsfråga 2 delfråga 2.....	102
4.16 Forskningsfråga 2 delfråga 3.....	103
4.17 Forskningsfråga 2 delfråga 4.....	103
4.18 Forskningsfråga 2 delfråga 5.....	104
4.19 Forskningsfråga 2 delfråga 6.....	104
4.20 Forskningsfråga 2 delfråga 7.....	105
4.21 Forskningsfråga 2 delfråga 8.....	106
4.22 Forskningsfråga 2 delfråga 9.....	109
4.23 Forskningsfråga 3 delfråga 1.....	116
4.24 Forskningsfråga 4.....	117
4.25 Sammanfattning resultat forskningsfråga 1.....	124
4.26 Sammanfattning resultat forskningsfråga 2.....	125
4.27 Sammanfattning resultat forskningsfråga 3.....	129
4.28 Sammanfattning resultat forskningsfråga 4.....	130
4.29 Resultat ambition med projektet.....	130
4.30 Resultat litteraturstudie kring olika vägar att optimera en anläggnings energieffektivitet..	130
4.31 Resultat hinder i praktiken.....	131
4.33 Resultat grundprinciper för energieffektiv belysning.....	132

KAPITEL 5. Diskussion, slutledning och framtida frågeställningar	133
5.1 Allmän diskussion kring projektet.....	135
5.2 Diskussion kring forskningsfråga 1.....	135
5.3 Diskussion kring forskningsfråga 2.....	138
5.4 Diskussion kring energibesparingspotentialmatrisen.....	138
5.5 Diskussion kring forskningsfråga 3.....	141
5.6 Diskussion kring forskningsfråga 4.....	143
5.7 Diskussion kring hinder i praktiken.....	143
5.8 Diskussion om litteraturstudien.....	146
5.9 Diskussion kring grundprinciper för utformning av energieffektiv belysning.....	146
5.10 Diskussion kring planeringsmodell 1, steg 4 i LDP.....	147
5.11 Diskussion om planeringsmodell 2, steg 1-4 i LDP.....	147
5.12 Diskussion om planeringsmodell 3, steg 1-4 i LDP.....	147
5.13 Diskussion om metoder/studera brukarens upplevelse.....	148
5.14 Diskussion om studiens principlösning för dagsljusstyrning av tekniska system.....	150
5.15 Slutsatser.....	151
5.15.1 Om att planera energieffektiv belysning.....	151
5.15.2 Om elenergiebesparing relaterad till användandet av belysning	153
5.16 Slutsatser forskningsfråga 1.....	154
5.16.1 Slutsatser FO-fråga 2.....	155
5.16.2 Slutsatser FO-fråga 3.....	157
5.16.3 Slutsatser FO-fråga 4.....	158
5.17 Slutsatser litteraturstudien.....	158
5.18 Slutsatser potentialbedömningar.....	158
5.19 Framtida forskningsfrågeställningar	159
5.19.1 Planeringsforskning.....	159
5.19.2 Forskning kring marknadens aktörer med avseende på fastighetsägare, armaturtillverkare, fönstertillverkare.....	160
5.19.3 Forskning med fokus politikernas och myndigheters ljusrelaterade ansvarsområden	161
5.19.4 Forskning kring marknadstransformering med särskild fokus mot ökad energieffektivitet och ökad självförsörjning av energi inom Horizon 2020.....	161
Referenser.....	163
Appendix A. Mönster av synkroniserade fotonflöden 2013.....	169
Appendix B. Översikt över värden utvärderade som för låga jan – dec 2013.....	179
Appendix C. Belysningstekniska mätvärden 2013.....	187
Appendix D. Matrisöversikt – Indikation av energibesparingspotential.....	239

Kapitel 1. Projektupplägg och forskningsfrågor

1. Introduktion till projektet

Detta projekt har genomförts som ett post dok projekt på Avdelningen för Arkitektur på Chalmers. I projektet har ett brett spektrum av teoretiska och praktiska kunskaper i belysningsplanering tillämpats. Dessa har omfattat ljusanalys, rumsutformning färgsättning, brukarstöd PFV och ljusdesign. Belysningsplaneringskunskaper har vägts samman med kunnande i utformning av anläggningar tekniskt samt kunnande i bedömningar av besparingspotentialen hos olika typiska belysningsfall som simulerats med representativa typkriterier för styrning av belysning.

1.1.Upplägg av projektet

Kapitel 1, bakgrund till projektet, projektupplägg och forskningsfrågor; Kapitel 2, litteratursökning; Kapitel 3, metod; Kapitel 4, resultat; Kapitel 5, diskussion, slutledning och framtida frågeställningar. I Appendix A, B, C, och D finns samlat potentialberäkningar för energieffektivitet, samt mätvärden och analyser av planeringsmodeller.

1.2.Bakgrund till projektet

Bakgrunden till projektet berör som introduktionen antyder allt från belysningsplanering teoretiskt och praktiskt, mer specifikt, ljusanalys, rumsutformning färgsättning, brukarstöd PFV och ljusgestaltning. På tekniksidan gäller bakgrunden användning av sensorer för styrning. Bakgrund för energibesparing är potentialbedömningar för olika styrkriterier för utformning och användning av belysning samt marknadsanknuten strategisk bedömning av utfall för belysningsplanering. I denna del av post dok. projektet fokuserar bakgrundsbeskrivningen på styrkriterier för planering och användning av belysning samt nationella, Europeiska och globala miljömål. Bedömningarna omfattar även strategisk analys av innebörd av indikerad potential för olika marknadsaktörer.

En multidisciplinär bakgrund

Min bakgrund som professionell gestaltare och lärare i ljusdesign i kombination med att jag idag är Teknologie Dr. i Belysningsvetenskap är min grund i arbetet som forskare i detta projekt. Många timmar av träning i gestaltning, rumsutformning, ljusanalys, ständiga utvärdering av anläggningar, ligger bakom arbetet med E-LDP. Det förslag som här presenteras vilar på ett helt liv av ansträngningar i att förstå gestaltning och forma vackra rum som är trevliga att vistas i. Den praktiska och teoretiska kunskap i Belysningsvetenskap som jag idag erövat vill jag använda för att bidra till att utveckla den bästa tänkbara ljusmiljö för brukarna på landets arbetsplatser.

Varför arbeta med kontor

De som arbetar på kontor vistas ofta på sin arbetsplats under lång tid och är då hårt utsatta för de val vad gäller rummets utformning som gjorts vid ny eller ombyggnad. Samtidigt har de som arbetar på kontor små möjligheter att ändra på arbetsplatsens utformning. Ett kontinuerligt förbättringsarbete är lagstadgat och gäller även utformning av belysning. Än är inte vad ett psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) stöd från belysning är på ett detaljerat sätt beskrivet i

författningssamlingar. Därför anges inte för planeraren vad ett belysningsrelaterat stöd betyder i praktiken.

Vanliga problem relaterade till kontorsbelysning som kan ses beskrivna i litteraturen är

- *För hög ljusnivå utan möjlighet till individuell anpassning:* detta medför ögonansträngning, ögonsveda och huvudvärk. Försvåras av att platsbelysningen ofta är integrerad i allmänljuset utan möjlighet till individuell reglering på brukarens arbetsplats. Många kan inte avskärma sin arbetsplats bra nog för att utföra sina arbetsuppgifter utan att anstränga ögonen eller inta olämpliga arbetsställningar.

E-LDP avser att lösa problemet med hjälp av en separat platsbelysning och låga allmänljusnivåer.

- *För låg ljusnivå utan möjlighet till individuell anpassning* medför ögonansträngning, ögonsveda och huvudvärk. Också vanligt liksom ovan. Många ser inte nog bra för att utföra sina arbetsuppgifter utan att anstränga ögonen eller inta olämpliga arbetsställningar. Belysningen bör vara anpassad till arbetets art.

E-LDP avser att lösa problemet med hjälp av breda spann på platsbelysning 0-2000 Lux. Vid önskan om högre ljusnivåer för god synprestation används 2 platsarmaturer av samma typ.

- *Direktbländning ger huvudvärk.* Orsakas av väggreflektioner, otillräckligt avbländade armaturer eller reflexbländning i bildskärmar eller för starkt dagsljus utan möjlighet till solavskärmning/dagsljusavläkning.

E-LDP- avser att lösa problemet med hjälp av solavskärmning och goda val av platsarmaturer.

Energieffektiv belysning som löser problem för brukaren

När mer energieffektiv belysning introduceras bör det verifieras att denna typ av brukarproblem inte ökar.

1.3. Omvärldsanalys

Studien ur ett globalt perspektiv

I arbetet med att minska världens energianvändning pekar UNEP på att belysning har en särställning som en stor möjlighet att kunna förverkliga en global vision om såväl minskad energianvändning som att uppnå högt ställda miljömål. UNEP pekar på att världen behov av elenergi för belysning på sikt bör kunna minskas med 40 % bara genom att fasa ut användning av äldre mindre energieffektiva ljuskällor och ersätta med mer energieffektiva.

Globalt uppskattas energianvändningen för el till belysning uppgå till 2650 TWh/år (Källa: IEA 2006 och UNEP 2013) motsvarande ca 19 % av världens elanvändning. Av denna användning uppskattas ca 43 % eller 1133 TWh/år användas inom kommersiella byggnader och tjänstesektorn.

Studien ur ett europeiskt perspektiv

I Europa satsas 870 miljarder Skr. inom Horizon 2020, som är EU:s nya ramprogram för forskning och innovation (2014-2020). Syftet är bland annat att med stöd av forskningen halvera energianvändningen i Europas byggnader till 2020.

Inom EU:s Eco-design preparatory studies for office and public lighting, the EU-27 (TIC 2007) uppskattas el till belysning uppgå till 760 TWh motsvarande ca 14 % av EU:s elförbrukning. Kontorsbelysning uppskattas utgöra ca 21,5 %, eller 164TWh/år.

Studien ur svenskt perspektiv

Post dok projektet speglas mot denna globala och Europeiska bakgrund. Projektet har ambitionen att ta fram direkt användbar kunskap om hur belysning kan bidra till att reducera den energi som idag används för belysning i byggnader med 50 % och på sikt nå noll i energi användning för byggnader (NNEB).

Den svenska energianvändningen för el till belysning uppgå till 14 TWh (Källa: Belysningsbranschen) motsvarande ca 10 % av Sveriges elförbrukning, varav den största andelen används av företag och offentlig verksamhet.

Om den svenska förbrukningen antas ungefär vara lika stor som det europeiska snittet utgör kontorsbelysning 21,5 % av 30,2 TWh/år (Eurostat/JRC 2007 Electricity consumption and efficiency trends in European Union 2007) dvs. 6,5 TWh/år eller 46 % av den svenska elförbrukningen för belysning.

Enligt Energimyndigheten har ca 45 % av företagen äldre belysningsanläggningar med onödigt hög elförbrukning samtidigt som Belysningsbranschen uppskattar utbytestakten till ca 3 %, dvs. anläggningarnas livcykel är idag ca 30-35 år. De anläggningar som byts idag installerades alltså ca 1980 och förbrukar enligt Belysningsbranschen ofta 4-5 ggr mer än moderna belysningsanläggningar.

1.4. Andra aspekter på bakgrund till projektet

Från ett statiskt och generellt förhållningssätt till ett dynamiskt och individuellt

I projektet undersöks besparingspotentialen vad gäller minskad energianvändning för belysning om dagens statiska, generell utgångspunkt dimensionerad med utgångspunkt från mörkerförhållanden förändras mot en mer individuell och dynamiskt utgångspunkt som relateras till dagsljusets förändring under dagen.

Studien prövar förhållandet att energibesparingspotentialen markant ökar när brukarnas behov tolkas ur belysningsplanerarens rumsliga, mänskliga och ergonomiska perspektiv. Studien utgår från den faktiska verkligheten vad gäller dagsljus, rum och brukarens behov av platsbelysning till skillnad från ett ofta förekommande mer idealiserat teoretiskt planeringsperspektiv.

Verktygen finns för att nå målet NNEB

Studien visar att de verktyg som krävs för att komma avsevärt närmare målen för näranollenergi-byggnader (NNEB) och plusenergibyggnadsvisionen (PEB) redan existerar inom belysningsområdet. Därför bör utvecklingen praktiskt och teoretiskt uppmuntras. Samtidigt kan dagens lagtolkningar med fördel skärpas för att påskynda en snabb omställning mot markant lägre energi-användning, såväl inom belysning för kontor som inom andra belysningsområden.

Styrkriterier för utformning och användning av belysning

Utifrån samma teknikval bestäms en belysningsanläggnings energianvändning både av de styrkriterier som anläggningen utformas utifrån och av hur anläggningen används över tiden.

Om tolkningen av lagtexter tillämpliga på belysningsområdet utgår ifrån belysningsplanerarens mänskliga, individuella och ergonomiska perspektiv kommer miljö- och energimedvetna beställare få stöd i utformning av belysningsanläggningar i linje med samhällets ambitioner på energiområdet och kunna erbjuda framtida förvaltare och hyresgäster att vistas i byggnader med trivsam energieffektiv belysning.

Ljus för förbättrad folkhälsa och olika myndigheters ansvar för belysning

Belysning berör genomgripande människans liv och det är svårt att hitta ett mänskligt sammanhang som inte har koppling till belysning. Med detta följer att olika myndigheter med olika relation till belysningsområdet är ansvariga för motstridiga samhälleliga önskemål. I arbetet med att uppfylla lagstadgade ambitioner och möta utsatta globala, Europeiska och Nationella miljömål finns ett behov att förtydliga processer, manualer, riktlinjer och gränsvärden inom belysningsområdet. Särskilt bör styrkriterier för belysningsplanering utvärderas och omformuleras för att uppnå lägsta möjliga medelenergianvändning.

Utformning av belysning utifrån verkliga förhållanden

Varje brukare har sitt behov av platsbelysning. Varje rum har sitt behov av kompletterande belysning.

Ta vara på dagsljuset och solens energi

Att omsorgsfullt ta vara på dagsljuset utifrån varje rums förutsättningar och synkronisera den kompletterande belysningen så nära det går med dagsljuset är en enkel planeringsåtgärd och ett komplement till tekniska åtgärder för energieffektivisering. I studien visar denna synkronisering sig ha oväntat stor potential för att minska antalet timmar som den kompletterande belysningen är i drift.

Rekommendation om statisk och generell lösning

Belysning har fram till idag i stor utsträckning utformats via rekommendation från ISO som en statisk och generell lösning, lika för alla kontorsrum och lika för alla brukare. Det statiska och generella förhållningssättet är inte förenligt med hög måluppfyllelse för en god rumsutformning, brukarstöd eller energieffektivitet. Det omvända förhållningssättet, att utforma utifrån det specifika rummet, brukaren och för synkronisering av dagsljus och kompletterande belysning utgår från verkliga förhållanden och utformas i kontakt med rummet, brukarens sinnen och med dagsljus på platsen där brukaren bor. Att utgå från verkliga förhållanden är en förutsättning för att få hög måluppfyllelse vad gäller god rumsutformning, ett gott brukarstöd och ett lågt användande av kompletterande belysning.

Belysning en aktiv del av förverkligandet av NNEB

För att finna hur belysning bör utformas för att vara en aktiv del av förverkligandet av nära noll energi byggnader/ plusbyggnader (NNEB/PEB) behöver grundprinciper för energieffektiv belysning utvecklas som sen kan ligga till grund för att ingå i det paket av lösningar som förverkligar visionen om NNEB till 2020 och på sikt plus energi byggnader (PEB).

Grundprinciper för energieffektiv belysning ett första steg mot NNEB

I utvecklingen av grundprinciper för energieffektiv belysning som bygger på verkliga rums och brukarförhållanden behöver man utgå från rummets kontrastsituation och människans individuella relation till fotonflöden psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV).

Balansera motstridiga krav

Genom att balansera motstridiga krav på dagsljus och kompletterande belysning formas väl fungerande grundprinciper för energieffektiv belysning. En tidigare studie (Säter 2012) verifierar att den utformning som användes som interaktionsmodell i projektet var den som uppskattades mest av försökspersonerna när de ställdes inför tre olika alternativa ljus och rumsutformningar i tre likartade rum [Säter, paper VI, 2012].

Upplevelsen av visuell komfort

En studie [Säter 2012] baserad på 318 personers upplevelse av visuell komfort visade att alla fp. utan undantag upplevde att ha högre ljushet på bordet framför sej än på ytor i rummet omkring sig, som mest visuellt komfortabelt. Ingen fp. i studien valde det omvända förhållandet.

Använda alla befintliga verktyg för att uppnå en energieffektiv belysning

Vi har de rum vi har, Sverige är i stor utsträckning färdigbyggt. Stora skillnader finns i förutsättningarna för att använda dagsljus i rum. Det är därför viktigt att använda alla verktyg som står till buds för att minska energianvändningen för belysning i alla rum. På samma sätt är det viktigt att visa att det är förenligt med att forma rum som bidrar till högre livskvalitet än den vi har idag.

Belysningsplanerarna i strålkastarljuset

Lite oväntat står ett akademiskt ämne som bara är i sin början och där yrkeskåren byggts upp på 2000-talet, mitt i strålkastarljuset för att bidra med sin del av åtgärder för att radikalt minska miljöbelastning genererad av användningen av el för belysning.

Belysningsplanerarens fackkunskap en viktig resurs i arbetet med energieffektivisering

Ett stort ansvar vilar på den erfarna belysningsplaneraren att använda sin omfattande detaljkunskap för att forma energieffektiva men samtidigt för brukaren väl fungerande anläggningar.

Byggprocessens ansvar

Samtidigt vilar ett stort ansvar på de som leder byggprocessen att fördela resurserna inom olika om och nybyggnadsprojekt på ett sådant sätt att planering av dagsljus och kompletterande belysning får de resurser som behövs för att åstadkomma verkligt energieffektiva belysningsanläggningar som kan bidra till att förverkliga näranollenergibyggnader.

Fokus på belysning globalt

Globalt finns idag ett fokus på belysning och dess goda förutsättningar för att med bättre teknik bidra till en minskning av elenergianvändningen nationellt, på Europa nivå och globalt. Denna särställning vad gäller att åstadkomma en minskning av el- energianvändningen behöver för klimatets skull, snabbt användas fullt ut. Att använda belysningsplanering, ökar dramatiskt, den energibesparingspotential som finns i övergången från mindre till mer energieffektiv belysning.

Byta ljuskälla en första åtgärd

Att byta till mer energieffektiva ljuskällor är ett första steg i omställningen mot mer energieffektiv belysning. När dagsljus utnyttjas fullt ut, den kompletterande belysningen (med en energieffektiv ljuskälla) bara används när den verkligen behövs, där den behövs i rummet och på en nivå relaterad till dagsljusbelysta ytor i synfältet, formas en verkligt energisnål anläggning. Om allmänljuset åtskiljs från platsbelysningen och allmänljuset upprätthålls på lägsta trivselnivå åtgår ytterst lite energi för att erbjuda säker visuell orientering. Utformas landets anläggningar på samma omsorgsfulla sätt kan den mängd energi som åtgår för att driva landets anläggningar minska. Denna minskning går över, det som enbart byte av ljuskällan bidrar med.

1.5. Olika utgångspunkter för projektet

Projektet vilar vetenskapligt på att energieffektiv belysning bör formas på ett sätt som är stödjande för dygnsrytmen i enlighet med upptäckten av ipRGC [Berson et al. 2001].

Belysning bör känsligt fogas in i människans miljö

Belysning bör inte ses som en teknisk applikation isolerad från rummets kontrast situation och den individuella brukarens sinnen. Istället bör anläggningen utformas i samverkan med ipRGC och känsligt infogas i rummet och i människans liv på ett sätt som dels ger stöd för dygnsrytmen och samtidigt ger brukaren möjlighet att individuellt uppleva visuell komfort.

Planera med ljusdesignprocess för energieffektiv belysning

Genom att planera med energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) och utöver att använda de mest energieffektiva ljuskällorna på marknaden, även synkronisera dagsljus och kompletterande belysning på ett väl fungerande sätt, bara komplettera med belysning när det behövs och bara i de delar av rummet som behöver det, åstadkoms en mycket energieffektiv belysningsanläggning.

1.6. Ämnesteoretisk bakgrund till projektet

En svensk ämnesteoretisk bakgrund till post doc. projektet kan relateras till den i Sverige första professuren i Belysning på KTH i Stockholm som tilldelades arkitekt Anders Liljefors på 60-talet.

Anders Liljefors kom att utveckla teoretisk och praktisk kunskap kring utformning av belysning fokuserad på brukarupplevelse, design och samband människa, ljus, färg och rum under 15 år på KTH Arkitektur.

Docent Bo Persson

Med Docenten i Belysningslära, Bo Persson kom den första avhandlingen i landet som vilade på Anders Liljefors arbete med ämnet. Vid Bo Perssons bortgång 2002 föll ansvaret för fortsatt teoretisk utveckling på mig, Monica Säter som aktiv ämnesföreträdare och efter två år av sökande efter finansiering startade mitt avhandlingsprojekt 2004. Det kom att genomföras på 50 % av heltid och avslutades i dec. 2012. Avhandlingsarbetet genomfördes som en del av mitt arbete som programledare och Avdelningschef på JTH och finansierades helt av Bertil och Britt Svenssons stiftelse för Belysningsteknik.

Avsaknad av ämnesteori

Att få fram akademiker som har en bra grund i ämnet, är disputerade och producerar ämnesteori är avgörande för att få en positiv utveckling i Belysningsvetenskap och i ämnets delområde, energieffektiv belysning.

Detaljerad kunskap om människa, ljus, färg och rum utvecklad under 30 år

Det är i den detaljerade kunskapen om samband mellan människa, ljus, färg och rum som svaret på hur framtidens mer energieffektiva anläggning bör utformas, kan hämtas. I avsaknad av ämneslitteratur eller nedskrivna fackkunskap inom belysningsplanering finns denna kunskap fortfarande på några få initierade personers händer och är inte tillgänglig för personer utanför denna krets.

Viktigt att beskriva ämnet

Ett viktigt mål är därför att beskriva ämnet och den kunskap om interaktionen mellan människa, ljus, färg och rum, som finns inom det 30 åriga utvecklingsarbetet som initierats av professor emeritus Anders Liljefors [Liljefors 1999, 2010].

Anders Liljefors pekar på hinder i praktiken

En annan svårighet på området är existerande hinder i praktiken. En förutsättning för att forskningsresultat gällande utformning av energieffektiv effektiv belysning ska kunna få ett snabbt genomslag är att hinder i det dagliga arbetet med att utforma ljusmiljöer undanröjs.

Anders Liljefors

I Sverige finns en stor förståelse för belysningsplanering som görs utifrån en komplex utgångspunkt och det är Anders Liljefors som mer än någon annan undervisat i systematisk ljusanalys och i att utforma ljus för människors trivsel. Bo Persson [Persson 1996] arbetade vidare med ämnet utifrån den grund Anders Liljefors skapade och tar i sina artiklar upp teoretiska frågeställningar om belysning, relaterade till belysningskvalitet och visuell komfort. Mitt arbete i post dok. projektet vilar på den svenska teoretiska belysningstradition som representeras av Anders Liljefors och Bo Persson.

Belysningslära/ Belysningsvetenskap

Utvecklingen i Belysningslära/ Belysningsvetenskap är resultatet av en framsynt satsning av tekniska direktören vid Byggnadsstyrelsen Olle Eriksson som i rollen som delegat i Bygghörsningsrådet tog initiativet till att frågan utreddes och utredningen ledde senare till att en professur i ämnet Belysningslära inrättades på KTH och förlades till formlära. Anders Liljefors utsågs till professor i ämnet. Tjänsten blev en egen professur efter något år. En annan lika framsynt satsning är det stöd för uppbyggnad av utbildning och forskning i ämnet Belysningsvetenskap som genomförts av Bertil och Britt Svenssons Stiftelse för Belysningsteknik under många år. Stiftelsen leds numera av grundarna, Bertil och Britt Svenssons dotter, Lena Gustafsson. Stiftelsens satsning förlades till Högskolan i Jönköping och Anders Liljefors, professor på KTH utnämndes även till professor på JTH. Det avhandlingsarbete som föregår post dok. projektet startades för att bidra till uppbyggnaden av lärarkrafter på Avdelningen för Belysningsvetenskap på JTH.

Fortsatt utveckling i ämnet

Det utvecklingsarbete inom ämnet Belysningsvetenskap på Högskolan som pågått i 30 år och genomförts av Professor Emeritus i Belysningslära Anders Liljefors och där SIR, SID Håkan Fransson och jag, Monica Säter bidragit med insatser i 15 år har efter februari 2011 fortsatt utanför JTH. Nu sammanställs utvecklingsarbetet och fungerar som underlag för fortsatt forskning.

Belysningsvetenskap

Belysningsvetenskap hanterar belysningsfrågor utifrån ett helhetsperspektiv som bygger på dagsljusets och den kompletterande belysningens interaktion med människors, djurs och växters liv och den betydelse interaktionen har för ekosystem. Med denna utgångspunkt kommer belysning utformas utifrån den verklighet människor, djur och växter lever i och utifrån miljömedvetenhet. Energieffektiv belysning som utformas utifrån denna grund ger stöd för brukaren psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) och ger en begränsad negativ påverkan på djur, växter och ekosystem.

Samhället har mycket att vinna på att ämnet Belysningsvetenskap utvecklas

Ämnet Belysningsvetenskap bidrar till en breddning av ett mer renodlat tekniskt förhållningssätt till utformning av belysning. En teori som saknar kopplingar till eller har svaga kopplingar till rummet, brukaren psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) eller den elektromagnetiska strålningens roll för människa, djur, växter och ekosystem, leder fel i utformning av praktisk belysningsapplikation. Samhället har mycket att vinna på att ämnet Belysningsvetenskap utvecklas och fungerar som vägvisare för användningen av dagsljus och kompletterande belysning som allmänljus och platsbelysning i inne och utemiljö, i framtiden.

En förbättrad interaktion

Ytterst berör detta projekt hur en förbättring av interaktionen mellan människa, ljus, färg och rum ska kunna genomföras på belysningsområdet. Energieffektiviseringen kommer som ett resultat av optimeringen av interaktionen.

Ämnesbakgrund i Belysningslära

Med här redovisad teoretisk bakgrund till projektet, är ett holistiskt perspektiv som sätter brukaren i centrum en självklarhet. Att utveckla teori om en ljusdesignprocess som leder till en anläggning med hög måluppfyllelse för visuell komfort, ljusrelaterad hälsa och energieffektivitet är helt i linje med den teoretiska tradition som post dok. projektet är sprunget ur.

Miljömedvetet, rumsligt, och brukarcentrerat perspektiv på belysning

Ämnet Belysningslära är utvecklat utifrån en ambition att hantera verkligheten så som den är och utifrån hur människan fungerar visuellt. Belysningslära implementerar ett miljömedvetet, rumsligt och brukarcentrerat perspektiv. Ämnet Belysningsvetenskap i Sverige bygger teoretiskt på ämnet belysningslära som skrevs in på KTH i samband med utlysningen av landets första professur i belysning. Ämnet Belysningsvetenskap har kommit att bredda Belysningslärans rumsliga, mänskliga och visuella utgångspunkt till att omfatta utformningen av interaktionen mellan människa ljus färg och rum psykologiskt, fysiologiskt och visuellt samt till stöd för brukarens upplevelse av visuell komfort, ljusrelaterad hälsa. Samma interaktion med fotonflöden kan ses för djur, växter samt ekosystem.

1.7. Beskrivning av problemområdet

Belysning är ett av Energimyndighetens prioriterade områden och kopplat till samhällets mål om minskad förbrukning av ändliga råvaror samt miljöbelastning vid energiproduktion.

Placera belysning i sin historiska kontext

När området energieffektiv belysning studeras bör frågan inte enbart ses utifrån en teknisk utgångspunkt. Istället bör man börja med att placera användandet av belysning i sin historiska kontext. De stora stråken i utvecklingen av användandet av kompletterande belysning bör lyftas fram. Forskaren bör även ringa in vilken roll belysning har haft, vilken roll den har i samhället idag och vilken den borde ha i morgon.

Positiva och negativa effekter av användandet av belysning

Belysning är inte självklart liktydigt med enbart positiva effekter trots att dessa är uppenbara vad gäller brukarens upplevelse av livskvalitet, effektivitet och säkerhet. Det är forskarens skyldighet att delge samhället vilken negativ påverkan på människa, djur, växter och ekosystem som användandet av kompletterande belysning har. Negativa och positiva effekter av användandet av kompletterande belysning behöver balanseras mot varandra. Utifrån ett vetenskapligt verifierat underlag kan en miljömedveten och klok användning av kompletterande belysning formas för framtiden.

Anläggningar behöver rustas upp

Många av de belysningsanläggningar som finns i landet är gamla och primitivt utformade vad gäller anpassning till rummet, till brukaren, vad gäller design av och samverkan mellan dagsljus och kompletterande belysning samt teknik.

En ljusmiljö som samverkar med människan psykologiskt, fysiologiskt och visuellt

De anläggningar som är planerade före år 2000 är utformade utan kunskap om ipRGC. Med kunskap om melanopsin och ipRGC är det inte svårt att se att dagsljus i naturen är den interaktionsmodell som utformningen av den kompletterande belysningen bör baseras på och att den bör utformas för att fylla i dagsljuset utifrån människans behov av att leva i dagsljusets växlande spektralkvalitet och rytm. Vi är samtidigt moderna människor som behöver forma en ljusmiljö där antalet ljusa timmar utökas under vintern för att minska skillnaderna i dagens längd mellan vinter och sommar. Men att utöka de ljusa timmarna innebär inte att man bör vända natt till dag.

Metod för utformning

Många anläggningar utformas enbart mot ett statistiskt belysningstekniskt rekommenderat värde för horisontell belysningsstyrka på arbetsytan alternativt för golv och använder då bara ett av många befintliga instrument för planering av energieffektiv belysning. När planering genomförs med en metod som inte baseras på de parametrar som bidrar till väl fungerande rumsutformning, ett gott brukarstöd eller synkronisering av fotonflöden för energieffektivisering, erhålls som en naturlig följd av detta, en låg måluppfyllelse.

Mål för belysning

Hur vi utformar landets belysningsanläggningar har en överraskande stark koppling till angelägna samhälleliga mål som arbetsplatsens utformning, visuell komfort, ljusrelaterad hälsa och miljövård. Energimyndighetens uppdrag att minska användningen av elenergi vid drift av landets belysningsanläggningar hänger oupplösligt samman med upplevelsen av just visuell komfort och stöd för ljusrelaterad hälsa samt med miljövård.

Hälsa ett övergripande mål för belysning

Den teoretiska utvecklingen inom ämnesområdet energieffektiv belysning bör vägleda utvecklingen av belysningsanläggningar så den uppfyller lagstadgade mål om en hälsosam arbetsmiljö

och inte utvecklas i strid med Arbetsmiljölagens intentioner eller med Svensk eller Europeisk lagstiftning på området. Hälsa är ett övergripande samhällsligt mål och svenska grundlagen ger samtliga svenska Myndigheter uppdraget att verka för hälsa. Teoretiska grundprinciper för energieffektiv belysning bör utvecklas på området som visar på hur praktisk energieffektiv applikation kan utformas för att samtidigt uppfylla mål om visuell komfort, ljusrelaterad hälsa och energieffektivitet.

1.8. Uppbyggnad av en marknad för belysning

Utvecklingen av belysning för inne och utemiljö möjliggjordes av den tekniska innovation som glödlampan innebar. I takt med att belysning kom att finnas i var mans hem, på husknutar och på torg växte den bransch fram som tillhandahöll ljuskällor och armaturer på en nationell så väl som global marknad. Belysningsbranschen kom att organisera sig internationellt och verka för att utveckla standarder på belysningsområdet.

ISO

Arbetet med standarder sker parallellt med att utveckla marknadens strategi. Att utveckla globala standarder kräver en standardiserad terminologi. ISO den internationella standardiseringskommissionen startade 1946 när delegater från 25 länder möttes för att skapa en ny internationell organisation. Idag har ISO 163 medlemsländer. Fram till idag har 19 500 standarder skapats. ISO samverkar nära Internationella elektrotekniska kommissionen (IEC) som ansvarar för standardisering av elektrisk utrustning.



Bild 1. Founders of ISO, London 1946 (från ISO: hemsida 20130528)

International Standards are strategic tools and guidelines to help companies tackle some of the most demanding challenges of modern business. They ensure that business operations are as efficient as possible, increase productivity and help companies' access new markets Homepage of ISO 20130528.

Benefits include:

Cost savings - International Standards help optimize operations and therefore improve the bottom line

Enhanced customer satisfaction - International Standards help improve quality, enhance customer satisfaction and increase sales

Access to new markets - International Standards help prevent trade barriers and open up global markets

Increased market share - International Standards help increase productivity and competitive advantage

Environmental benefits - International Standards help reduce negative impacts on the environment. Homepage of ISO 2013-05-28.

Internationell organisation för elektroteknik: Den internationella organisationen IEC är primärt driven av att generera ekonomiska fördelar för medlemmarna.

Governments need to develop and maintain a healthy economy, and defend national business interests while stimulating export. They need to pass and enforce legislation and regulations to protect populations from unsafe products and domestic, industrial, environmental and health hazards. Increasingly they participate in international or regional organizations – as a member or observer – to tackle global issues related to safety, energy supply and the environment. This section explains how International Standards and conformity assessment can help governments in these efforts. Homepage of IEC. Accessed 20130528

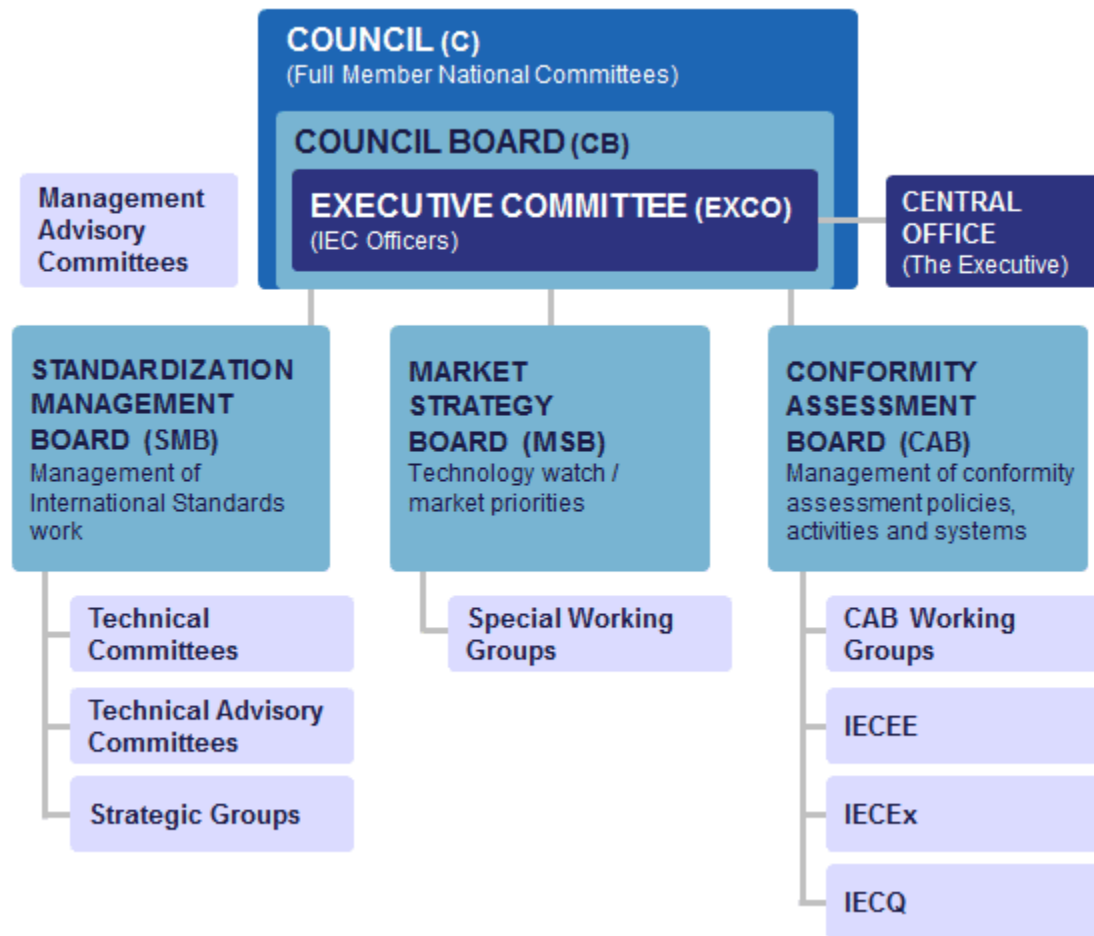


Bild 2. ISO (från ISO:s hemsida 2013 0528)

International Electrotechnical Commission kom att ge CIE i uppdrag att utveckla en internationell vokabulär för belysningsområdet. Vokabuläret behöver fungera i ett tvärvetenskapligt sammanhang och behöver uppdateras vetenskapligt utifrån den utgångspunkten [Liljefors, 2010].

CIE Internationell organisation inom belysning

CIE (initialförkortning av fr. Commission Internationale de l'Éclairage, sv. Internationella kommissionen för belysning eller Internationella belysningskommissionen), är en sammanslutning av belysnings- och ljuse experter. CIE har accepterats av ISO (International Organization for Standardization) som expertorgan inom detta område. Man publicerar standarder, tekniska rapporter och forskningsöversikter inom belysningsområdet. CIE har (tillsammans med IEC (International Electrotechnical Commission)) publicerat International Lighting Vocabulary (CIE 17.4-1987; IEC Publ. 50 (845)) – en ordlista inom belysningsområdet. En ny utgåva utkom 2011. WIKIPEDIA Accessed 130528

Samverkan kring standarder med inriktning på belysningsområdet

För organisationer som i likhet med ISO och IEC lever på medlemsintäkter och verkar för att utveckla sina medlemmars kommersiella verksamhet och bidra till ökade intäkter kan det vara problematiskt att hantera miljöskäl som motiverar åtgärder som istället för att öka, begränsar

medlemmarnas verksamhet. CIE med status som vetenskaplig organisation på belysningsområdet i världen utvecklas allt mer mot att arbeta med utvecklingen av nya standarder.

ISO, IEC, CIE, CEN

Inom CIE: s tekniska kommittéer har under åren utvecklats grundteori om belysning som underlag för standarder på belysningsområdet.

Standard för belysning

Bakgrunden till att man utvecklat en standard för belysning är säkerhet. Ingen som arbetar på en arbetsplats ska skada sig därför att man inte ser ett hinder, upptäcker en fara eller har svårt att se sina arbetsuppgifter.

Standard och det individuella behovet av allmänljus och platsbelysning

Belysning är en av få tekniska produkter där användningen anges i en standard. Bakgrunden är lika med nödbelysning. Till säkerhetskravet har lagts till generell stöd för synprestation. Verkligheten där människors behov av ljus varierar, behöver utformas synkroniserat med dagsljusets ständiga föränderlighet och där rum har olika kontrastsituation, gör det svårt att ha en standard på området. Det fungerar inte väl när man på ett fiktivt sätt och utan kontakt med rummet eller brukarens sinnen planerar ljus, lika för alla rum och brukare, och har samma belysning hela tiden. Det helt omvända att det fungerar bättre att anpassa mot verkligheten är fullt logiskt.

Förslag till en ny standard

Det kan ifrågasättas om användningen av teknik kan standardiseras. Försök att standardisera användningen av annan teknik på marknaden har förmodligen små möjligheter att få ett genomslag. Det är ett säkerhetstänkande som drivit fram rekommendationer och standard vad gäller nödbelysning och allmänbelysning i lokaler. Denna rekommendation som formuleras i standarden är enbart tvingande vad gäller att endast en standard får finnas i taget.

Standardens rekommendation står i konflikt med lagen vad gäller utformning av arbetsmiljö som tydligt anger att arbetsmiljön ska utformas så den stämmer överens med individens fysiska förutsättningar. Seendet skiljer stort mellan olika människor liksom känslighet för att betrakta belysta ytor.

Att låsa fast fördefinierade ljusnivåer utan kontakt med brukaren eller rummet ger inte god måluppfyllelse för trivsel, ljusrelaterad hälsa eller visuell komfort. Om istället standarden utformades så att den angav att anläggningen ska tekniskt klara de ljusvillkor som finns ute på en specifik plats eller inne i en specifik byggnad, och möta rummets utformning och individens växlande behov av belysning på ett flexibelt sätt och med ett spann som omfattar minst upp till och lägst ner till ett fördefinierat mätvärde, kommer anläggningen bättre klara att hantera de krav verkligheten ställer på anläggningen och att skapa en visuellt komfortabel anläggning. Här sätts då fokus på vad tekniken ska klara snarare än hur den ska användas.

Nya ljusnivåer för säkerhet bör utformas och individen bör som lagen stipulerar tillförsäkras den ljusnivå den utifrån sina fysiska förutsättningar behöver.

Ökad omsorg om belysningsanläggningar gynnar brukaren och marknadens aktörer

Den ökande omsorgen innebär att belysning får den komplexa utformning som den i förhållande till sin viktiga roll i människans liv, behöver ha. Det är viktigt att de myndigheter som på olika sätt har belysning inom sitt ansvarsområde bygger upp egen akademisk kompetens på området som via formuleringar i författningssamlingar kan förverkliga en ökad omsorg om brukaren och miljön i praktiken.

Modifierade kriterier för belysningsplanering gynnar såväl brukarna som övriga marknadsaktörer.

Samtidigt behöver en ökad omsorg om anläggningarna inte vara negativ för branschen. Bejakandet av ett ökat brukarfokus innebär många nya möjligheter för branschen inte minst med avseende på möjligheter att sysselsätta fler människor inom såväl produktutveckling som ett utökat tjänsterbjudande.

En standard löser och skapar problem

En standard löser ett problem dvs. alla bör ha samma tillgång till ett säkert ljus. Men användandet av en standard skapar nya problem. Dagsljus varierar vilket gör att behovet av kompletterande belysning varierar i nivå och vad gäller fördelning i rummet. Människans seende är olika mellan brukare och ljusnivå uppfattas relativt, vilket gör att upplevelsen av ljusnivå varierar mellan individer och under dagen. Varje rum har sina förutsättningar för transmission, absorption och reflektion (TAR) vilket gör att ett fördefinierat värde för dimensionering av fotonflöden inte är optimalt utifrån TAR.

Avsaknad av belysningsplanerarens perspektiv

Utvecklingen av rekommendationer på belysningsområdet är negativt påverkade av att belysningsplaneringskompetens inte varit vägledande i arbetet. Belysningsplanerarnas branschorganisation behövs för att bidra med detta perspektiv och utveckla rekommendationer om hur brukaren kan tillförsäkras trivsel, en väl fungerande dygnsrytm, väl fungerande synprestation och säker visuell orientering.

Konsekvenser av att inte anpassa belysningen för en specifik plats

När fotonflödet inte anpassas på plats kan det ge problem med hur trivsamt rummet är, vilket stöd för dygnsrytmen den kompletterande belysningen bidrar med, hur visuellt komfortabel belysningen är. En dimensionering som är gjord utan kontakt med dagsljuset, rummets kontrastsituation och brukares ljuspreferenser kan innebära att mer energi än nödvändigt åtgår för kompletterande belysning. Det kan även innebära att den belysning som används ligger långt ifrån det behov av ljus olika brukare har.

Skilj mellan allmänljus och platsbelysning

De belysningsanläggningar som i dag utformas för att vara energieffektiva utnyttjar sällan den potential som det innebär att använda en väl fungerande planeringsmetod. När en datorbaserad ljusdesignprocess (D-LDP) används mot ett fördefinierat värde, dimensioneras ljusnivån utan hänsyn till rummets kontrastsituation eller brukarens behov. Det kan i arbetet mot ett fördefinierat värde bli en olycklig sammanblandning mellan allmänljus och platsbelysning. Det fördefinierade värdet är då inte optimerat mot rummets kontrastsituation eller brukarens preferenser för arbetsljus.

1.9. Om att leva med energieffektiv belysning

Vi behöver leva i kontakt med dagsljus

Vi behöver alla leva i dagsljusets rytm och varje individ skiljer stort i preferens för ljusnivå i arbetet [Säter 2011]. Om utformningen av belysning fokuserar på den ljusnivå allmänljuset inte bör understiga på vägg i ögonhöjd, bidrar detta bättre till ett visuellt väl fungerande rum och låser inte upp ett visst värde för platsbelysning.

Platsbelysning utformad enlighet med lagen

Belysning är en viktig del av utrustningen på en arbetsplats att det bör bevakas att den utformas utifrån gällande lagstiftning på området. Den bör för att uppfylla lagens intentioner utformas nära brukarens behov genom att se till att alla platsarmaturer är helt bländfria och har ett brett spann för ljusnivå.

Brukaren avgör sin ljusnivå

I projektet fokuseras på allmänljuset och lämnas över åt brukaren att själv avgöra vilken komplettering som behövs med platsbelysning. När vi lever i dagsljusets rytm kan brukaren behöva modifiera nivå på platsbelysning under dagen och året. Det är bara brukaren som känner sitt individuella behov av stöd för visuella synprestationer. På samma sätt känner bara brukaren sin känslighet för stunden vad gäller bländning. Med ett spann mellan 0- 2000 Lux i ljusnivåer för platsbelysning kan de flesta brukare hitta den nivå de prefererar för upplevelsen av visuell komfort.

Mönster av energianvändning

Varje rum har sitt mönster av energianvändning för kompletterande belysning, använt som allmänljus under året. Rum med goda dagsljusförhållanden använder lite energi och behöver bara en begränsad komplettering. Rum med sämre dagsljusförhållanden använder kompletterande belysning i högre omfattning. Goda dagsljusförhållanden minimerar samtidigt behovet av platsbelysning.

Brukarens behov av platsbelysning

Hur mycket energi som åtgår för platsbelysning avgörs av brukarens behov. Genom att optimera synkroniseringen av dagsljus och kompletterande belysning för allmänljuset, och bara använda

kompletteringen när dagsljuset inte håller ett acceptabelt relationstal mellan horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda och vertikalt på väggen, när dagsljus finns i synfältet, och 40 (30-50) Lux vertikalt när inget dagsljus finns i synfältet, formas en energieffektiv anläggning. Brukaren kompenserar sig aktivt för att uppnå visuell komfort.

Se över rummets kontrasituation och balansera ljusheter i synfältet

Om mycket speciella kontrastförhållanden råder i en lokal kan en översyn av färger och material på rummets ytor motiveras. Ljusnivåer och färg kan då behöva optimeras mot varandra. När detta behöver genomföras får avgöras från fall till fall. Att balansera ljusheter i synfältet är ett grundläggande moment i hantverket ljusdesign.

Möta verklighetens ljusförhållanden

När belysning utformas utifrån rekommendation mot i förväg uppsatta belysningstekniska mätvärden utformas anläggningen inte för att bemästra verklighetens ljusförhållanden eller för att möta den faktiska brukarens behov av platsbelysning för stunden.

Möta verklighetens ljusförhållanden med flexibilitet

Utformandet av en flexibel belysningslösning som ger brukaren en möjlighet att ställa in egna önskade nivåer för platsbelysning och till att ändra spann för kompletterande allmänbelysning mot upplevelsen av visuell komfort, ger hög måluppfyllelse för ett i samhället starkt förankrat krav på belysning som individens verktyg i arbetet.

Solitära tekniska system

Belysningssystem, som utformas som solitära tekniska system utifrån en fördefinierad mall kan ställas mot anläggningar som utformas mot att skärma av och fylla i dagsljus för att bidra till ett väl fungerande allmänljus. Platsbelysningen utformas då fristående från allmänljuset och mot brukarens önskemål utifrån gällande lagstiftning. Det solitära systemet utan kontakt med rummets kontrasituation eller brukarens sinnen ställs här mot en omsorgsfullt utformad anläggning för en specifik miljö och utformad med målet att komma nära brukarens upplevelse av trivsel, behov av stöd fysiologiskt samt behov av säker visuell orientering och platsbelysning.

Belysning i ständig interaktion med brukaren

En belysningsanläggning för innemiljö bestående av dagsljus och kompletterande belysning står i ständig interaktion med den enskilde brukaren psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV).

Emitterad elektromagnetisk strålning (EMS) kontrollerar kraftfullt människans dygnsrytm och påverkar därmed beteenden och vävnader [Brainard & Hanifin 2005].

Energieffektiv belysning mer än en rent teknisk lösning

Att se energieffektiv belysning som en rent teknisk åtgärd där mer energieffektiva ljuskällor ersätter mindre och som formas mot förutbestämda krav för ute och innemiljö försämrar måluppfyllelsen för i samhället starkt förankrade ambitioner gällande en visuellt komfortabel ljusmiljö,

ljusrelaterad hälsa och naturvård. Med användningen av fördefinierade ljusnivåer används inte planering fullt ut som verktyg för att åstadkomma en optimerat energieffektiv anläggning.

Utnyttja dagsljuset fullt ut

För att åstadkomma för brukaren väl fungerande belysning krävs att dagsljuset och kompletterande belysning relateras till rummets förutsättningar vad gäller hur dagsljuset uppträder i rummet (riktning och väderstreck), ytornas transmission, absorption och reflektion (TAR) och i förhållande till rummets kontrastsituation. Genom att forma den kompletterande belysningen så att det fyller i dagsljuset vid ett kritiskt lägsta värde utnyttjas dagsljuset fullt ut. Dagsljuset kan då användas med minsta möjliga komplettering under så många som möjligt av dygnets timmar.

Omsorgsfull planering av ljusnivåer

Omsorgsfullt planerad kompletterande belysning bidrar till en visuellt väl fungerande ljusmiljö. Genom en omsorgsfull utformning av det tekniska systemet där det infogas på ett stödjande sätt i rummet, minimeras ljusrelaterade problem för brukaren psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) samtidigt som systemet optimeras vad gäller energieffektivitet. Den omsorgsfulla planeringen kan möjliggöra att belysningen inverkar positivt på brukarens upplevelse av visuell komfort, ger bidrag till ljusrelaterad hälsa och minskar miljöbelastningen på djur, växter, natur och ekosystem.

Metod för planering avgör

Utifrån likvärdiga rumsförhållanden och teknikval är det den metod som används för planering av energieffektiv belysning som är avgörande för hur användningen kommer att se ut och om måluppfyllelsen blir låg, medel eller hög.

Motstridiga krav på belysning

Det ställs ofta motstridiga krav på belysning. Exempel på detta i inomhusmiljö kan vara fördelar med att vistas i höga ljusnivåer och behovet av att vistas i visuell komfort.

Kloka avvägningar om belysning

Ett liknande exempel för inomhusmiljö kan vara en anläggning som utformas för att ge de anställda en rationell arbetsmiljö dygnet runt. Anläggningen kommer då att vara en fördel för de äldre under dagen men bli ett problem på natten då de äldres dygnsrytm påverkas negativt av att vistas i samma ljus på natten som på dagen. Även de anställdas önskan om att ha en lugn och trivsamt arbetsmiljö är svår att uppfylla om belysningen på ett äldreboende görs aktiverande för de äldre. I situationer där motstridiga krav finns på belysning behövs kloka avvägningar som formar en väl fungerande lösning.

Utökad underlag för utveckling av metoder

En stark teoretisk utveckling inom medicin, neurofysiologi och fotobiologi och miljökonsekvenser av användandet av belysning ger underlag för utveckling av bättre metoder för planering. Med ökad kunskap om konsekvenser av användandet av kompletterande belysning blir en

granskning av hur belysning utformas allt mer angelägen. Detta faller inom en generell utveckling av individualisering på många områden som pågår idag. Krono farmakologi är ett sådant exempel och visar på att mediciners verkan i kroppen är beroende på var i dygnsrytmen patienten befinner sig.

Miljömedveten ljusdesignprocess

Det är med denna bakgrund viktigt att formulera en mer miljömedveten ljusdesignprocess. Denna process börjar med de analyser som görs om hur vi bör leva med ljus i en given miljö för att behålla vår hälsa.

Utforma för att inte avvika från dagsljus

Med initiala analyser som utvärderar utformningen och planeringen av energieffektiva belysningsanläggningar görs bedömningar av om utformningen riskerar att motverka andra samhällsliga mål. Att begränsa användandet av belysning och utforma den så lite avvikande som möjligt från dagsljus minimerar dessa problem.

Belysningsplaneringens roll

Forskningen i Belysningsvetenskap behöver visa på vilken stark koppling planeringsmetoder för belysning har till folkhälsa, naturvård, klimatfrågor och energieffektiv belysning. När energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) används, blir de analyser som krävs för att nå hög måluppfyllelse i energieffektivitet använda och resultatet av användandet av olika versioner av ljusdesignprocessen kan ställas mot varandra för att jämföra hur de uppfyller olika mål.

Jämföra olika ljusdesignprocesser

D-LDP och BCLDP [Säter 2012] är exempel på två olika ljusdesignprocesser som kan jämföras mot bakgrund av E-LDP. E-LDP definieras i projektet och tillämpas på en kontorslokal. Utifrån data om hur dagsljuset uppträdde i rummet under året och från uppmätningar jan- dec 2013 togs grundprinciper för energieffektiv belysning fram.

Förändrade villkor för belysningsplanering

Sen år 2000 har kunskapen ökat om vilken betydelse dagsljusets föränderliga spektralfördelning och föränderlighet i ljusnivåer har för människor, djur, växter och ekosystem. Kunskapen på området är långt ifrån komplett men i grunden gäller att man bör undvika att skapa en kompletterande belysning som avviker från dagsljuset i spektralfördelning, tidpunkter för emittering av elektromagnetisk strålning (EMS) och för den tidsperiod EMS emitteras.

Arbetstagare har rätt till en säker och sund arbetsmiljö

Arbetsmiljölagen (AML) säkrar upp arbetstagarens rätt till en säker och sund arbetsmiljö. Belysning ska då fungera väl som verktyg i arbetet. Boverket har i plan och bygglagen (PBL) lagkrav på tillgång till dagsljus. När allmänljuset följer dagsljuset inom ett manuellt bevakat eller förutbestämt spann kommer brukaren att behöva kompensera med platsbelysning för att få en väl fungerande kontrastsituation. De gradvisa ökningarna och minskningarna i dagsljuset som ger stöd för

dygnsrytmen förändrar upplevelsen av kontrast situationen i rummet under dagen varför den brukare som är känslig för att betrakta belysta ytor, kommer att behöva skärma av dagsljuset eller den kompletterande belysningen vid behov. Att öka användningen av dagsljus ställer krav på att belysningsplaneraren har stöd i hur lagen bör tolkas vid planering av dagsljus och kompletterande belysning.

Stor skillnad mellan robust och sensitiv brukare

Den robusta brukaren till skillnad från den mer sårbara kommer att vara mindre benägen att skärma av dagsljus eller kompletterande belysning än den som snabbt känner stort visuellt obehag. Genom att ge alla brukare samma möjlighet att anpassa sig till ett föränderligt allmänljus kan tekniken möta även den robusta brukarens eventuellt ökade förståelse för vikten av goda visuella kontraster eller alla brukares med tiden förändrade visuella förmåga.

Upplevelsen av dagsljus

Upplevelsen av dagsljus sträcker sig i ett spann mellan behag och obehag vilket gör att visuell komfort blir den upplevelse som bildar en gräns för nivå på ljusheter i synfältet som inte bör överskridas. Denna gräns är föränderlig under dagen och året och individuell. Eftersom stöd psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) från dagsljus och kompletterande belysning passerar ögat blir visuell komfort en given förutsättning för morgondagens förbättrade anläggning. Eftersom upplevelsen är individuell bör tekniken utformas för att kunna ställas in så det passar den enskilde brukaren.

Upplevelsen av visuell komfort relaterar till allt i synfältet

För att hantera en ökande komplexitet i krav på belysning för kontorsmiljö och bidra till upplevelsen av visuell komfort, krävs att belysningen relateras till allt som finns i synfältet, både inomhusmiljöns kontrastsituation och ljusnivån i utemiljön. Sammantaget bidrar dessa faktorer till upplevelsen av visuell komfort.

Dimensionera och synkronisera fotonflöden

Belysning berör primärt dimensionering och synkronisering av fotonflöden. Anläggningar som enbart utformas utifrån rekommendation omfattande fördefinierade ljusnivåer och RA värde för ljuskällan är att betrakta som anläggningar där potentialen i den teknik som finns på marknaden inte utnyttjas fullt ut. När anläggningar utformas utifrån enkla värden som berör nivå och ljuskällans förmåga att återge 15 utvalda färger saknas en motor som utnyttjar den teknik som finns på marknaden och som om den användes skulle bidra till ökad energieffektivisering och stöd för brukaren psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) samt kunna bidra till minskad belastning på djur och natur.

Hantera de verkliga ljusförhållandena

När standardens rekommendation inte med automatik leder till att krav ställs på att hantera de verkliga förutsättningar som finns på platsen ljusmässigt för att få en väl fungerande belysnings-

anläggning, skapas problem med måluppfyllelsen för anläggningen. Situationen leder också till att mycket tid går åt för att övertyga personer i beslutande ställning inom byggprocessen om att resurser behövs till insatser för att skapa väl fungerande energieffektiva anläggningar. Insatser som behöver genomföras för att få belysningen att fungera bättre. Här blir det upp till belysningsplaneraren att försöka övertyga beställaren om att ta hänsyn till behovet av ökade resurser för planering och teknik.

Myndighetskrav på belysning

Med tydligare krav från myndigheter inom boende och hälsa inte bara vad gäller dagsljus och luft och ljud utan även vad gäller den kompletterande belysningen, skulle rimliga krav på en anläggnings flexibilitet och förmåga att hantera verklighetens ljusproblematik vara förankrade redan innan projektet startat. På så sätt skulle inte belysningsplaneraren behöva lägga ner tid på att få fram de resurser som behövs för att kunna planera anläggningen omsorgsfullt och med den teknik, som använd leder till en bättre anläggning.

Anläggningarna i landet

Det är en uppskattning att de flesta anläggningar som kan ses på kontor är anläggningar som är utformade utifrån rekommenderad ljusnivå och ljuskällans färgåtergivningsprestanda. Det är även ett antagande att de är utformade med mer eller mindre flexibilitet i systemet för att er hålla ljusnivåer över och under rekommenderat värde för ljusnivå på arbetsyta och golv.

Människor bör leva i dagsljusets cykliska förlopp

Om människor ses som maskiner som ska vara på likvärdig aktivitetsnivå fysiologiskt under arbetsdagen kan en aktiverande anläggning försvaras utifrån en teknisk, ekonomisk och rationell utgångspunkt. Men människor är nu inte maskiner, utan vi har utvecklats i dagsljusets cykliska förlopp under dagen och under året och behöver få information från dagsljuset till en väl fungerande dygnsrytm och därmed behålla en långsiktig hälsa. Brukaren behöver leva i samklang med sina ljusrelaterade humanfysiologiska rytmer och inte mot dem.

Bättre utformning av belysning nu

En ökad förståelse för ljusets roll i människans liv ligger bakom att man från medicinskt håll sen många år kräver *”better practice now”* [Pauley 2004]. *”The better practice”* omfattar hur det arkitektoniska ljuset bör utformas i vardagens applikationer. Med ökade kunskaper om samband mellan människa och ljus är det väl motiverat att utveckla nya metoder för hur belysning utformas. Det är i utvecklingsarbetet viktigt att ta hänsyn till hur motstridiga krav på belysning balanseras mot varandra och att rums, ljus och brukaranalyser samt design ingår som en naturlig del av planeringen av belysning.

Ljus för långsiktig hälsa

”Better practice now” innebär i praktiken att grundläggande hälsa behålls bättre hos brukare om dagsljuset stödjer människans dygnsrytm och den kompletterande artificiella belysningen inte

kör över, utan istället understödjer dagljusets signaler i ljusnivå, ljusfördelning och förändrad spektralprofil och ger stöd för en aktiv dag och en avkopplande eftermiddag och djup sömn nattetid.

Dagsljuset modell för utformning av belysning

När dagsljuset är stommen i belysning för inomhusmiljö och den kompletterande belysningen synkroniseras för att fylla i allmänljuset på dagljusets villkor, erhålls en spektralkomposition och ett ökande och minskande fotonflöde som reducerar risken att den kompletterande belysningen avviker från dagljusets förändringar under dagen och året.

Att följa eller avvika från dagsljus

Att följa dagljusets rytm vad gäller ljusnivå, ljusfördelning och spektralkomposition måste ställas emot att vara effektiv under hela dagen och under året, göra goda visuella synprestationer i hela lokalen, utforma ett säkert ljus samt bidra till en trivsamt miljö. Avvägningarna behöver göras på ett sätt så att de tänjer på antalet timmar med hög vakenhet under vintern för att mer likna de tider vi har på den senare delen av sommaren.

Sommaren en naturlig maxgräns för dygnets ljusa timmar

Sommarens timmar med dagsljus på den plats man lever på representerar en naturlig maxgräns för förhållandet mellan dag och natt. Utifrån en svensk utgångspunkt behöver de norra delarna av landet få maxgränser för ljusnivå som är lämpliga och justerar de extrema nivåer som kan ses relaterat till deras geografiska läge. Men när vi tänjer på antalet timmar med hög vakenhet under vintern bör det göras med respekt för det dagliga behovet av att trappa ner i vakenhetsgrad på eftermiddagen. Avtrappningen görs med en sänkning av ljusnivån och med en minskning av andelen kortvågig strålning och genom att fotonflöden emitteras från lägre placerade ljuskällor/armaturer i rummet.

Utformning av elektromagnetisk strålning (EMS) som stödjer människan

När belysning ses som synkroniserade fotonflöden och utformas i relation till dagljuset på det sätt som det uppträder på den plats där brukaren bor och utformas för att ge ett trivsamt rum, stödja säker visuell orientering, vakenhet och vila i relation till dagljuset, formas ett användande av elektromagnetisk strålning (EMS) för belysning som stödjer och inte motarbetar människans psykologiskt, fysiologiskt och visuellt.

Kompletterande belysning i lite mer än 100 år

Det är lite mer än 100 år sedan dagljuset kom att finnas allt mer i var mans hem och då med en eller flera artificiella ljuskällor. Armaturer i taket är fortfarande i likhet med för 100 år sen, en grundläggande och basal princip för utformningen av belysningsanläggningar i kontorsmiljöer. För att skapa en belysning, utformad på människans och rummets villkor, krävs att den utformas med större omsorg och bättre kopplas till den enskilde brukarens behov av ljus och rummets kontrastsituation.

Utformning av ett stödjande allmänljus

Med ett allmänljus baserat på dagsljus och en ”dagsljus imiterande kompletterande belysning” skapas en belysning synkroniserad i spektralprofil, tid, ljusfördelning samt nivå och upprättas ett för brukaren stödjande allmänljus. Brukaren anpassar sig till allmänljuset, utifrån sitt eget behov, på samma sätt som vi gör när vi vistas i naturen och reglerar dagsljuset med hjälp avskärmning utanför, eller innanför fönstren. Här är den totala visuella referensen till ljusnivåer även den som finns utanför fönstret, det som avgör om ljusnivån upplevs som hög eller låg och målet är upplevt individuellt visuellt och fysiologiskt behag.

Robusta brukare placeras nära fönstret, den mer känsliga brukaren, placeras längre in

Den robusta brukaren kan placera sig nära fönstret och anpassa sin platsbelysning efter sitt, under dagen och året, varierade behov av kompletterande belysning. Den mer känsliga brukaren som snabbt reagerar med obehag på höga ljusnivåer placerar sig längre in i rummet och drar fördel av den lägre ljushet på väggarna man kan se längre in i rummet och av den på väggen, motstående mot fönstret placerade inre kompletterande belysningen. Den mer känsliga brukaren anpassar också sin platsbelysning efter behovet under dagen och året.

Undervisa brukaren att hitta visuell komfort

Inte alla brukare lyssnar efter signaler för visuellt och fysiologiskt behag. Det är därför viktigt att de erbjuds möjlighet att förstå om de upplever ljusrelaterade fysiskt obehag som kan vara sömnsvårigheter, stress, magbesvär, huvudvärk, muskelvärk, gruskänsla i ögonen etc. och vad dessa besvär beror på. De kan då få hjälp med att se sambanden mellan att vistas i ett ljus som stödjer dygnsrytmen, som anpassas speciellt för deras visuella behov, och en förbättring av besvären.

Stärka brukarens grundhälsa

Att brukaren ges förståelse för att ljuset är ett stöd för dygnsrytmen är en bra första åtgärd för att stärka brukarens grundhälsa. Rätt utformat kan ljus bidra till att öka vakenhetsgraden på dagen, sänka vakenhetsgraden samt öka avslappningen på eftermiddagen och kvällen. Här kan ljusnivå, ljusfördelning och spektralprofil samverka för att bidra till ökning eller minskning. Eftersom inga absoluta samband finns för upplevelsen av belysning får man pröva sig fram till det som fungerar för individen. Att låta allmänljusnivåerna sjunka under dagen stödjer människan fysiologiskt och samverkar väl med en minskad användning av energi för belysning.

Lägsta nivån för trivsel ligger över säkerhetsnivån

Av säkerhetsskäl kan man inte sänka allmänljusnivån under nivån för trivsel eller säker visuell synprestation i hela lokalen. Av psykologiska skäl (stress) kan en hög grad av vakenhet behållas av brukaren under kvällen och natten. På samma sätt kan en ”free running” dygnsrytm göra att vakenhet och vila inte följer ett stabilt mönster.

Ljusdesign ett hantverk

Ljusdesign är ett hantverk som består av arbete med ljus och rumsanalyser, studier av brukarens behov av allmänljus och platsbelysning. Utifrån insamlad data designas dagsljus i rum och utformas en dagsljusefterhärmande kompletterande belysning som synkroniseras mot dagsljuset. Nästa steg är att välja lämplig användarvänlig och energieffektiv teknik.

Forma belysningsanläggningen

Hantverket berör i grunden att forma en anläggning som sätter brukaren i kontakt med dagsljuset på den plats brukaren bor, den kompletterande belysningen ska ge väl fungerande vakenhet, vila och dygnsrytm, balansera ljusheter i rummet på ett sätt som ger säker visuell orientering, visuellt komfortabla synprestationer, effektivt arbete och trivsel.

Belysningsanläggningar utan kontakt med dagsljus

Belysningsanläggningar som dimensionerats utifrån en mall för belysningsstyrka och utifrån i förväg definierade ljusnivåer ger belysningsanläggningar som inte är kopplade till dagsljuset på den plats där rummet är beläget geografiskt, rummets kontrastsituation eller den individuella brukarens ljusbehov.

Grov dimensionering ger inte visuell komfort

Anläggningar som enbart är matematiskt beräknade för dimensionering av belysning och utformad utan kontakt med rummets kontrastsituation eller brukarens sinnen uppfyller inte målet visuell komfort, bidrar sämre till ljusrelaterad hälsa och är inte optimerad vad gäller energieffektivitet i jämförelse med en anläggning som planerats med E-LDP.

Designa kompletterande belysning nära dagsljus

När hantverket ljusdesign används för att forma dagsljuset som tas in genom fönstren och den kompletterande belysningsanläggningen, genomförs de nödvändiga analyserna, ringas brukarens behov av ljus in och designas dagsljus och kompletterande belysning på ett sätt som ligger nära dagsljuset på den plats där brukaren bor.

Utnyttja solenergin i dagsljuset fullt ut

När brukaren upplever visuell komfort, får stöd för dygnsrytmen i ett trivsamt ljus är måluppfyllelsen för upplevelsen av visuell komfort och ljusrelaterad hälsa hög. När belysningen bygger på dagsljus som utnyttjas fullt ut och den kompletterande belysningen består av energieffektiva ljuskällor som enbart används i de delar av rummet där dagsljuset inte räcker till, är anläggningen energieffektiv.

Forma belysningsanläggningen

I hantverket ljusdesign ingår att utforma det system, som utifrån spannen för allmänljus och platsbelysning, ger en väl fungerande belysning, bygger på användarvänlig teknik och som är lätt att underhålla.

Värdera de uppmätta fotonströmmarnas effekt på brukaren PFV

Hantverket ljusdesign som bygger på arbetet med att balansera ljusheter i rummet, att synkronisera dagsljus och kompletterande belysning i tid, nivå samt i spektralprofil, berör även att utvärdera styrkriterier för belysning. Det innebär att värdera uppmätta mätvärden under dagen/ året och avgöra hur de kommer att fungera gestaltningmässigt i rummet samt påverka brukaren psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV).

Psykologisk påverkan av belysning

Hantverket ljusdesign innebär även att bedöma vilken association till vantrivsel och obehag eller trivsel och behag en specifik belysningsanläggning ger? Det innebär även att bedöma om ljuset i rummet bidrar till vakenhet och vila under dagen, stödjer brukarens koncentration och leder till att brukaren fungerar väl och gör få fel.

Fysiologiskt

Ljusdesignerns behöver även avgöra vilken påverkan vald nivå, fördelning och spektralprofil har fysiologiskt på i första hand dygnsrytmen?

Visuellt

Ljusdesignern behöver avgöra om dagsljus och kompletterande belysning i rummet ger goda kontraster för väl fungerande synprestation? Andra bedömningar som behöver genomföras är, kommer det mönster som ljusfördelningen ger förstärka arkitekturens uttryck och vägleda i rummet eller skapa visuell förvirring? Förbättrar respektive försvåras visuell orientering av ljusfördelningens mönster bestående av ljus och mörker.

Interaktionen ljus och rum är specifik för platsen och komplexa samband mellan ljus, färg och rum gör att tillämpade generaliseringar slår fel och skapar inte en väl fungerande interaktion mellan människa, ljus färg och rum för brukaren.

Styra dagsljus och kompletterande belysning mot valda mål

Hantverket ljusdesign är även en fråga om att styra dagsljus och kompletterande belysning mot en väl fungerande ljusmiljö och att synkronisera fotonströmmarna i tid, rum, nivå, ljusfördelning och i spektralprofil för stöd för människans psykologiska, fysiologiska och visuella (PFV) processer och till en användning som inte skadar djur, växter eller ekosystem. Dessa utgångspunkter gäller både för inom och utomhusbelysning.

Solitära mot integrerade tekniska system

Av tradition utformas belysningsanläggningar i första hand som solitära tekniska system i rummet, med målet att möta ett i förväg definierat generellt visuellt stöd som är lika för alla brukare. Det genombrott som skett teoretiskt vad gäller samband människa och ljus, melanopsin och ipRGC visar på att solitära tekniska system utformade utan kontakt med dagsljuset, rummet eller brukaren inte har förutsättningar att fungera väl.

1.10. Ambition med projektet och forskningsfrågeställningar

Ambitionen med projektet är att utveckla mer kunskap om energieffektiv belysning vad gäller teoretiska grundprinciper, metoder, belysningsplaneringsprocesser och synkronisering av fotonflöden. Det är även att utveckla en modell för planering, nya styrkriterier samt en principlösning för styrning av allmänljuset. Utöver detta att göra potentialbedömningar vad gäller minskad energianvändning för belysning och ange uppskattad marknadspåverkan.

Årlig uppmätning under ett år

I projektet kommer belysningsförhållandena i en kontorslokal mätas upp under ett år. I lokalen prioriteras dagsljus som allmänljus och används fullt ut och kompletteras med belysning vid behov och bara i de delar av rummet där det behövs. Anläggningen ligger på tidsstyrning för två alternativ vad gäller ljuskällornas spektralprofil.

Frågor projektet avser att besvara är:

Forskningsfråga 1

Hur användes, begränsades, kompletterades och synkroniserades dagsljus och kompletterande belysning i rummet i studien under året?

- Hur många timmar ger dagsljuset för mycket, tillräckligt eller för lite allmänljus i lokalen utifrån i studien fördefinierade värden?
- Hur många timmar behövdes ett till dagsljuset kompletterande allmänljus under ett år och hur såg behovet ut?
- När ger dagsljuset i rummet under året upphov till störande ljusa ytor i rummet under mät dagarna mellan klockan 8.00- 19.00?
- När övergår dagsljuset i rummet till att bli otrivsamt och vara på en för låg nivå under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00?
- Vilket översta och understa värde ska belysningen omfatta för att fungera väl med rummets kontrastsituation och när ljusnivån relateras till ljusheten i ytor nära fönstret.
- När behövs inre kompletterande belysning i rummet som allmänljus under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00?
- När räcker dagsljus och den inre belysningen inte till under mät dagarna och när måste anläggningen i taket gå på och på vilken nivå för att ge ett väl fungerande ljus för städning och arbete under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00?
- Hur många timmar under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00 klarar man sej i rummet med enbart dagsljus?
- Hur många timmar under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00 klarar man sej enbart med dagsljus och inre kompletterande belysning?
- Hur många timmar under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00 behövs anläggningen i taket för att klara lägsta nivån på allmänljusets spann?

- Hur mycket energi användes för allmänljuset under mät dagarna mellan klockan 8.00 - 19.00?
- Om modellen i studien utformad manuellt med E-LDP jämförs med andra anläggningar beräknade med D-LDP baserade på samma rumsförhållanden vilka energibesparingspotentialer indikeras då.

Forskningsfråga 2

- *Hur såg måluppfyllelsen ut för den modell som utformades i studien utifrån energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) vad gäller ett trivsamt rum, psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) stöd till brukaren och för energieffektivitet i rummet under året. Hur kan processen beskrivas och jämföras med andra teoretiska modeller styrda mot alternativa mål och utformade med datorbaserad ljusdesignprocess (D-LDP)?*
- Hur utformades allmänljuset i den kompletterande belysningen så att det utöver att ge stöd för den utvalda synprestationen samtidigt skapade ljusa och trivsamma väggar, god vakenhet på dagen och avkoppling på eftermiddagen?
- Hur såg måluppfyllelsen ut för visuell komfort för brukare under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00?
- Vilken effekt bedöms användandet av kompletterande belysning ha på ljusrelaterad folkhälsa?
- Vilken effekt bedöms användandet av kompletterande belysning ha på upplevelsen av visuell komfort?
- Hur såg måluppfyllelsen ut för ljusrelaterad hälsa under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00?
- Vilken energibesparingspotential har användandet av kompletterande inre belysning nationellt?
- Hur kan den LDP som ger en energieffektiv belysningsplanerings process beskrivas och definieras utifrån studiens resultat?
- Hur kan energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) som använd leder till hög måluppfyllelse beskrivas.

- När måluppfyllelsen för ett trivsamt rum, ett gott brukarstöd samt energieffektivitet för den modell som i studien utvecklats med användning av E-LDP, jämförs med andra modeller utvecklade teoretiskt i studien med användning av D-LDP, vad skiljer då modellerna åt.

Forskningsfråga 3

Hur kan grundprinciper för energieffektiv kontorsbelysning formuleras?

- Vilka grundprinciper för energieffektiv belysning kan lyftas fram ut projektet?

Forskningsfråga 4

Hur kan en principlösning för styrning av kompletterande belysning formas som samverkar med dagsljuset under dess förändringar under dagen och året.

Forskningsfrågor

Projektet baseras på 4 forskningsfrågor.

Forskningsfråga 1

Hur användes, begränsades, kompletterades och synkroniserades dagsljuset och kompletterande belysning i rummet i studien under året?

Forskningsfråga 2

Hur såg måluppfyllelsen ut för den modell som utformades i studien utifrån energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) vad gäller ett trivsamt rum, psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) stöd till brukaren och för energieffektivitet i rummet under året. Hur kan processen beskrivas och jämföras med andra teoretiska modeller styrda mot alternativa mål och utformade med datorbaserad ljusdesignprocess (D-LDP)?

Forskningsfråga 3

Hur kan grundprinciper för energieffektiv kontorsbelysning formuleras?

Forskningsfråga 4

Hur kan en principlösning för styrning av kompletterande belysning formas som samverkar med dagsljuset under dess förändringar under dagen och året.

Begränsningar av forskningsfrågeställningar

Forskningsfråga 1). Beskrivs utifrån mätpunkter i rummet samt mätdata från studien.

Forskningsfråga 2). Beskrivs utifrån den modell som utvecklats i projektet med hjälp av E-LDP och de typmodeller som utvecklats med hjälp av D-LDP i studien och måluppfyllelse för ett trivsamt rum, ett gott brukarstöd och energianvändning.

Forskningsfråga 3). Görs schematiskt och illustreras utifrån det enskilda fallet.

Forskningsfråga 4). Görs som en prototyp som hanterar de förhållanden som finns i det aktuella rummet under mät dagarna under året.

1.11. Förhållningssätt till forskning

Förhållningssättet till forskningen i projektet är planeringsinriktat och problematiserar hur dagsljuset uppträder i rummet på utvalda mät dagar under året. Hur kompletterande belysning kan matas upp manuellt prövas samt hur synprestationen i rummet kan studeras via text på vitt papper. Studien undersöker processen bakom att utforma en energieffektiv anläggning med synkroniserade fotonströmmar utifrån det enskilda fallet.

Jämförelse mellan olika ljusdesignprocesser

Resultat från användandet av energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) jämförs med andra versioner av ljusdesignprocessen vad gäller måluppfyllelse psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) och för energieffektivitet.

Kartläggning av dagsljus under året

Utifrån det enskilda fallet friläggs generella drag hos dagsljus under året och den kompletterande belysningen prövas mot det specifika rummets kontrastsituation.

Utformning av teknisk prototyp

Den manuella anläggning som utvecklas under året studeras som grund för utvecklandet av en prototyp till principlösning för styrning av dagsljussynkroniserad kompletterande belysning.

Ideografisk forskningsansats

Den ideografiska forskningsansatsen kombineras med ett mer övergripande förhållningssätt som omfattar en litteraturstudie om energieffektiv belysning och kopplar till Svensk och Europeisk lagstiftning tillämplig på utformning av arbetsmiljö.

1.12. Litteraturstudie i energieffektiv belysning

De frågeställningar som är aktuella när det gäller att utveckla energieffektiv belysning berör rummet, brukaren, hur dagsljus och belysning planeras samt vilken teknik som används och hur anläggningen sen kommer att brukas. Bara genom att arbeta med alla fyra stegen i ljusdesignprocessen (LDP) kommer en verkligt energieffektiv belysning att formas och viktiga mål om visuell komfort (VK) och ljusrelaterad hälsa (LRH) samtidigt att uppnås. För att orientera teoretiskt inom det specifika delområdet och öka kunskan om energieffektiv belysning, har i projektet genomförts en litteraturstudie baserad på artiklar skrivna med inriktning på offentlig inomhusmiljö. I litteraturstudien har olika metoder för utformning av energieffektiv belysning ställts mot varandra och jämförts med varandra vad gäller måluppfyllelse.

Kapitel 2. Litteratursökning

2. Litteraturstudie, introduktion och översikt

Med målet att ta fram och analysera hur energieffektiv belysning beskrivs i litteraturen har en litteratursökning gjorts på artiklar i första hand skrivna 2011-2013.

Litteraturstudie kring hinder i praktiken för utförande av energieffektiv belysning

Litteraturöversikten är fokuserad på artiklar skrivna om energieffektiv belysning med inriktning på offentlig inomhusmiljö där olika metoder för utformning av energieffektiv belysning ställs mot varandra och jämförs vad gäller måluppfyllelse. Litteratursökningen är i sin början och är tänkt att byggas upp under projektets gång.

Ljusdesign och fackkunskap inom belysningsplanering

Fackkunskap inom belysningsplanering är svårt att hitta i akademisk text [Säter 2012]. Belysningsplanering är en konsulttjänst bland många i byggprocessen men samtidigt en komplex och viktig arbetsuppgift med starka kopplingar till folkhälsa och miljövård.

Behov av att beskriva den ljusdesignprocess som leder till hög måluppfyllelse

Ljusdesignprocessen behöver beskrivas för att lyftas fram till allmän kunskap och möjliggöra en utveckling som kan säkra upp att de mål som kopplas till planeringen verkligen uppnås. Belysningsanläggningar planeras ofta som isolerade tekniska system utformade utifrån rekommendationer och saknar då helt kontakt med rummets kontrastsituation, brukarens sinnen och det relativa i upplevelsen av ljusnivå.

2.1 Arbetsmoment i ljusdesign

I avsaknad av artiklar om hantverket ljusdesign tillförs projektet här en kort beskrivning av yrkets arbetsuppgifter.

Analysera rum

Hantverket ljusdesign utgår från analyser om rummets förutsättningar för dagsljus och kompletterande belysning vad gäller transmission, absorption och reflektion (TAR). Andra delar av dessa initiala analyser bedömer var kompletterande belysning kan fällas in i eller placeras pendlat eller utanpåliggande i rummets tak, på väggar, golv eller i inredning. Rummet utformning styr utformningen av belysning. Rummets utformning ger nycklar till placering av dagsljusavskärmning och kompletterande belysning.

Arbeta med brukarens behov av ljus

När förutsättningarna i rummet är analyserade vidtar nästa steg som berör brukarens behov av att kunna skärma av höga ljusnivåer och ljusheter och komplettera med belysning när ljusnivån och ljusheter i rummet blir för låga.

Design av dagsljus och kompletterande belysning

När de två initiala analysstegen är klara tar dimensioneringen av fotonflöden vid samt utformningen av ljusfördelning, ljusnivåer för allmänljuset och spann för platsbelysning. Baserat på

dessa grundläggande analyser och hantverk i att forma ljusnivåer och ljusfördelning på ett för rummet och brukaren positivt sätt, formas sen den tekniska anläggningen.

2.2. Olika vägar att optimera en anläggnings energieffektivitet

Interaktionen människa, ljus, färg och rum styr upp hur en energieffektiv belysningsanläggning bör utformas. De planeringsval som leder till en väl fungerande interaktion och som samtidigt bidrar till en energieffektiv anläggning, är väl fungerande.

2.3. Teoretiska interaktionsmodeller

Inom projektet har utformats teoretiska interaktionsmodeller som visar en fallande skala från väl fungerande interaktion till sämre förutsättningar för interaktionen.

Planeringsmodell 1 går att finna som belysningsapplikation i kontorsmiljö idag men planeringsmodell 2 och 3 är i första hand teoretiska modeller för belysningsutformning för framtiden. Litteratur som på olika sätt berör modellerna för utformning av energieffektiv belysning har tagits fram för planeringsmodell 1 i högre omfattning än för planeringsmodell 2 och 3. Dessa beskrivs av Säter [2012, 2013]. De tre modellerna kan kopplas övergripanden till ljusdesignprocessen och praktisk applikation på följande sätt:

Planeringsmodell 1. Steg 4 i LDP. Tekniklösning som optimerar en belysningsanläggnings energieffektivitet och där användaren optimerar nivåer för platsbelysning och allmänljus.

Utvärdering av planeringsmodell 1

Belysning ses här som ett renodlat tekniskt system, utformat mot rekommenderat värde. Den grundläggande åtgärden är att ersätta en mindre energieffektiv ljuskälla med en som är mer energieffektiv. Brukarnas platsbelysning är lika för alla men möjlig att dimma. Spann för övre gräns för allmänljus kan påverkas av brukaren. Utifrån interaktionen mellan människa, ljus, färg och rum är detta en anläggning som bygger på att den kompletterande belysningen lever sitt eget liv i rummet vilket inte leder till en ljusmiljö med hög måluppfyllelse för brukarstödet.

Planeringsmodell 2.

Steg 1- 4 i LDP. Synkronisering av dagsljus och kompletterande belysning med hantverket ljusdesign, en tekniklösning som optimerar en anläggnings energieffektivitet och där användaren optimerar nivåer för platsbelysning och övre spann för allmänljus.

Utvärdering av planeringsmodell 2

En hantverksmässigt genomförd ljusdesignprocess i kombination med en mer utvecklad teknisk lösning utformad för att ha samverkan mellan dagsljus och kompletterande belysning. Omfattar utöver en mer energieffektiv ljuskälla även andra tekniska lösningar (ljussensorer, närvarostyrning, styrning) som ökar anläggningens energieffektivitet. Brukarnas platsbelysning är lika för alla men möjlig att dimma. Allmänljusets övre nivå kan påverkas. Utifrån interaktionen mellan

människa, ljus, färg och rum är detta en anläggning som bygger på dagsljus och att den kompletterande belysningen följer dagsljuset i rummet vilket ger bra förutsättningar för en väl fungerande ljusmiljö för brukarna.

Planeringsmodell 3

Steg 1-4 i LDP. Synkronisering av dagsljus och kompletterande belysning med hantverket ljusdesign, en teknisk lösning som optimerar en anläggnings energieffektivitet och där användaren optimerar nivåer för platsbelysning och spann för allmänljus. Sjunkande ljusnivåer under dagen och föränderlig spektralkvalitet.

Utvärdering av planeringsmodell 3

En hantverksmässigt genomförd ljusdesignprocess i kombination med en än mer utvecklad teknisk lösning utformad för att ha samverkan mellan dagsljus och kompletterande belysning samt utformad för att den kompletterande belysningen ska följa dagsljusets spektralfördelning under dagen (utifrån befintlig teknik) och dess nivåer. Omfattar utöver en mer energieffektiv ljuskälla även andra tekniska lösningar (ljussensorer, närvarostyrning, styrning) som ökar anläggningens energieffektivitet. Brukarnas platsbelysning är lika för alla men möjlig att dimma mot det enskilda behovet. Allmänljusets övre nivå kan påverkas av brukaren. Utifrån interaktionen mellan människa, ljus, färg och rum är detta en anläggning som bygger på dagsljus och att den kompletterande belysningen följer dagsljuset i rummet vilket ger bra förutsättningar för en väl fungerande ljusmiljö för brukarna. Att två spektralprofiler finns för allmänljuset förbättrar förutsättningarna för en väl fungerande interaktion.

Planeringsmodell 3

Planeringsmodell 3 har utvecklats ytterligare inom post dok. projektet. Dagsljuset fungerar som mall och den kompletterande belysningen samverkar med dagsljuset med hjälp av teknik för att använda och härma dagsljus och komplettera med belysning i de delar av rummet som blir mörka först för att fördröja att belysningsanläggningen i taket går på innan den verkligen behövs för att upprätthålla rummets trivsamt och säker visuell orientering. Anläggningen utformas med föränderlig spektralkvalitet och sjunkande ljusnivåer under dagen. Brukaren har belysning anpassad för sitt behov. Här används ljusdesign för att optimera brukarens upplevelse av visuell komfort, ljusrelaterad hälsa och anläggningens energieffektivitet.

Planeringsmodell 1, 2, 3 och måluppfyllelse

Utifrån de tre teoretiska planeringsmodellerna för utformning av energieffektiv belysning kan hur väl uppsatta mål förverkligas definieras. Skillnaden i måluppfyllelse kan teoretiskt relateras till kostnader för medicinsk behandling för ljusrelaterad ohälsa. Potential för minskning av energiförbrukning kan jämföras mellan de tre modellerna.

1). Sämst förutsättningar för hög måluppfyllelse för visuell komfort, ljusrelaterad hälsa och energieffektivitet har planeringsmodell 1.

2). Bäst förutsättningar för hög måluppfyllelse för visuell komfort, ljusrelaterad hälsa och energieffektivitet har Planeringsmodell 3.

2.4. Litteratur som illustrerar planeringsmodell 1

Planeringsmodell 1. Steg 4 i LDP. Tekniklösning som optimerar en belysningsanläggnings energieffektivitet och där användaren optimerar nivåer för platsbelysning och allmänljus.

Steg 4 i LDP, en frekvent använd planeringsmodell

Planeringsmodell 1 är frekvent använd och bygger på att man planerar mot fördefinierade värden och fiktiva förhållanden. Rekommendationer är generella och hanterar inte verklighetens ljusförhållanden eller människans behov av ljus, än mindre individens under dagen föränderliga behov av platsbelysning. Här ses i litteraturen belysningsapplikationen som ett tekniskt system vilket som helst och som kan användas utan anpassning till rummet eller människan undantaget de delar av spektrum i fotonflödet för dagsljus och kompletterande belysning som verifierats som skadliga för seendet.

Litteratur som kan relateras till planeringsmodell 1.

Planeringsmodell 1, tekniklösning som optimerar en anläggnings energieffektivitet. Eric Martinot och Nils Borgs artikel med titeln “*Energy-efficient lighting programs Experience and lessons from eight countries*” [1998] tar författarna upp och beskriver 8 länders (Polen, Thailand, Mexico, Jamaica, Peru, Brasilien, Danmark och Stor Britannien) program för energieffektivisering genom byte till en mer energieffektiv ljuskälla. De tittar på effekten av energieffektiviseringsprogram ur ett klimatperspektiv och bedömer ekonomiska fördelar. Artikeln ser på energieffektivisering av belysningsanläggningar som en fråga om marknadstransformerings och brukarna som konsumenter av energieffektiva ljuskällor.

”All of the lighting programs studied were adequately designed to meet their immediate objectives and had delivered or were soon to deliver the target quantities of high-efficiency lamps to consumers, often ahead of schedule. The Poland, Thailand, and Danish cases in particular show that CFL and other lighting programs can clearly be cost-effective if properly conceived and designed. The review suggests that cost-effectiveness is primarily a function of good project design and external conditions, and that implementation does little to alter the fundamental cost-effectiveness of different program approaches.”

[Martinot & Borg 1998].

Här används ny och förbättrad teknik som åtgärd för att öka energieffektiviteten i belysningsanläggningar och förhållningssättet är marknadsorienterat.

Måluppfyllelse för planeringsmodell 1

När energieffektiviseringsprogram för belysning läggs upp för att få konsumenter att köpa ljuskällor och effekten av åtgärden bedöms i förhållande till vilken påverkan programmet har på

förändringen av marknaden, behandlas valet av ljuskällan utifrån ett begränsat konsumentperspektiv. Även om det förmodligen var meningen med programmen är det angeläget att nämna att det då saknas en helhetssyn på vad som slutgiltigt påverkar energiförbrukningen.

Fördelar med att privatpersoner får mer kunskap om belysning

Om privatpersoner får ökad förståelse för hur viktigt det är att vistas i rent dagsljus och hur man kan kombinera dagsljus och en energieffektiv ljuskälla åstadkoms inte bara en förändring av marknaden utan även till brukarens förhållningssätt till användandet av kompletterande belysning. Utfallet av programmen vad gäller minskad energianvändning blir då bättre.

Hur ljuskällan används avgörande

Hur ljuskällan slutgiltigt används blir då avgörande för effekten av programmet.

Fördelar med att privatpersoner kan mer om belysning

Privatpersoners förståelse för användningen av och uppskattning av energieffektiva ljuskällor kan också vara en pådrivande faktor för omställning av anläggningar på arbetsplatser. Om privatpersoner vet vad en väl fungerande belysningsanläggning är i sin hemmiljö kan det antas att de är mindre benägna att acceptera eftersatt underhåll eller brister i belysningen. Möjligheten ökar att de med mer kunskap är mer aktiva i sitt förhållningssätt till sin egen platsbelysning och till allmänljustet på arbetsplatsen.

Upplevelsen av att använda den energieffektiva ljuskällan avgörande

Hur konsumenten upplever att använda den energieffektiva ljuskällan är helt avgörande för slutresultatet av ett energieffektiviseringsprogram. Om ljuskällan bidrar till en ökad livskvalitet kommer det att ha stor påverkan på det fortsatta konsumtionsmönstret. Om bytet av ljuskälla innebär en minskad trivsel när man vistas i ljuset ökar motivationen att hitta andra vägar för att återskapa det man tidigare upplevt som trivsel vid användningen av andra ljuskällor.

Belysning och livskvalitet

En studie genomförd i Thailand [Leelakulthanit 2013] visar på att användandet av energieffektiva ljuskällor inte ökade den uppfattade livskvaliteten bland de som deltog i studien. Givetvis ett olyckligt samband som försvårar en snabb övergång till ett ökat användande av mer energieffektiva ljuskällor.

***Conclusion:** Generally, consuming less through moderation and consuming correctly through the general purchase of green products and the intention to buy specific green products do not create life satisfaction. The intention to buy energy-saving lamps, which is one of the common items in daily life, even creates the reverse effect on life satisfaction. However, the motivation to buy energy-saving lamps seems to lie in the benefits as compared to cost, including energy cost savings, the longer life time of energy-saving lamps and initial buying price, the quality of the products, and convenience in terms of access. Beyond self, the shoppers are also concerned about the social well-being in such a way that they feel that they should help solve the global warming problem. [Leelakulthanit 2013].*

Måluppfyllelse energieffektivt ljus och livskvalitet

Ljuskällor som är mycket effektiva kan upplevas av brukare som mycket brutala och visuellt störande att ha i sin närhet. I den offentliga miljön som denna studie berör är rummen ofta stora och man kommer i regel enbart nära de ljuskällor man har i sin platsbelysning.

Ljuskällan kan upplevas stödjande eller störande

När en ljuskälla som utformats för att på ett effektivt sätt göra stora ytor ljusa placeras nära en brukare i privata miljöer med mer begränsad skala, kan ljuskällan upplevas som obekvämt att ha i synfältet, och ge upphov till både psykologiskt, fysiologiskt och visuellt obehag. På samma sätt kan en ljuskälla som är för vek vara störande genom att emittera strålning som ger obehag av annat slag än den ljuskälla som emitterar mer lumen.

Utifrån Leelakulthanits artikel [2013] kan man dra slutsatsen att den energieffektiva ljuskälla som bidrar till livskvalitet ger något positivt tillbaka till konsumenten som kompensation för det engagemang som att köpa energieffektiva ljuskällor, med målet att påverka global uppvärmning, innebär.

Kunskap om hur använda energieffektiva ljuskällor

Kunskap i användandet av ljuskällan är nyckeln till att hantera visuellt skarpa ljuskällor så de upplevs som visuellt komfortabla och bidrar positivt till den visuella miljön. Armaturval, placering av armaturer, styrning, riktning och ljusnivå samt anpassning till rummets kontrastsituation alternativt förändring av rummets kontrast situation är sammantaget viktiga faktorer för att forma ljusmiljöer baserade på energieffektiva ljuskällor på ett sätt som brukaren uppskattar. Kunskapen bland allmänheten om ljusdesign i allmänhet och hur ljuskällor används för att bidra till trivsel och visuell komfort, är tyvärr ofta låg.

2.5. Litteratur som illustrerar planeringsmodell 2.

Planeringsmodell 2, steg 1-4 i LDP. Synkronisering av dagsljus och kompletterande belysning och en teknisk lösning som optimerar en anläggnings energieffektivitet och där användaren optimerar nivåer för platsbelysning och spann för allmänljus.

Planeringsmodell 2 utformar mot verkliga förhållanden

Planeringsmodell 2 är mindre frekvent använd och svår att hitta beskriven i litteraturen. Modellen förutsätter att man planerar mot verkliga rumsliga förhållanden och dagsljus och utformar en till dagljuset kompletterande anläggning med högsta och lägsta acceptabla värde relaterat till rummets kontrastförhållanden och mot säker visuell orientering. Platsbelysningen utformas mot verkliga förhållanden vad gäller kontraster och brukarbehov.

Fostervold genomförde ett bra exempel på planeringsmodell 2

Den norska forskaren Fostervold redogör [2010] för en anläggning som delvis har likheter med Modell 2. Projektet var en omställning av en äldre anläggning. Studien visar på en mycket stor

besparing av tillförd energi för att driva belysning på årsbasis i jämförelse med tidigare anläggning på samma plats.

2.6. Litteratur som illustrerar planeringsmodell 3

Modell 3, synkronisering av fotonflöden och en tekniklösning som optimerar en anläggnings energieffektivitet och där användaren optimerar nivåer för platsbelysning och spann för allmänljus. Sjunkande ljusnivåer under dagen och föränderlig spektralkvalitet.

Post dok. projektet realiserar planeringsmodell 3

Modell 3 är den minst frekvent använda modellen för belysning och förutsätter att man planerar mot verkliga förhållanden vad gäller rummet, dagsljus och brukarens behov av ljus. Anna Wirz-Justice prof. emeritus i krono biologi och Fournier beskriver [2010] i artikeln med titeln "Light, Health and Wellbeing, Implications from chronobiology for architectural light" hur belysning bör utforma för att stödja äldre människors dygnsrytm.

Detta är ett exempel på planering av ljus utformat mot verkliga förhållanden vad gäller människans behov av ljus. I artikeln är inte planeringsprocessen återgiven, men målbilden för planeringen är formulerad. Utifrån en klar målbild kan den ljusdesign process beskrivas som leder till målet.

Anläggningen utvecklad i post dok. projektet är av planeringsmodell 3. Det är en anläggning som lever med dagsljuset på det sätt många brukare formar i sitt hem. Man tänds bara när det verkligen behövs och man använder sig av en stegvis upptändning och har olika ljuskällor för arbete och för trivsamt avkoppling.

2.7. Hinder

Trots stor uppslutning kring frågan om energieffektiv belysning i samhället och stor medvetenheten om att området belysning har stor potential för att bidra till att högt uppsatta klimatmål uppnås, kan hinder ses för utformning av energieffektiv belysning. Det är viktigt att identifiera dessa hinder och söka vägar för att undanröja dem. I avsaknad av artiklar på området kommer här en introduktion till litteraturstudien vad gäller hinder.

Hinder; Avsaknad av utbildning och utbildade belysningsplanerare

Att komplettera dagsljuset med belysning i inomhusmiljöer är något vi inte haft under någon längre tid. Det kan än finnas människor kvar som minns hur glödlampan ersatte den levande lågan som belysning i det egna hemmet. Trots den stora betydelse belysning har för effektivitet och säkerhet i samhället och dess starka koppling till folkhälsa och energimål, är den teoretiska utvecklingen inom belysningsplanering eftersatt.

Hinder- avsaknad av utbildning

Det saknas world wide, Högskoleprogram i Belysningsvetenskap med inriktning på belysningsplanering. Utbildningar skapas som ett svar på efterfrågan på tjänster på marknaden. Allt fler

utbildningar växer nu fram samtidigt med att belysningsplanering etableras som yrke och yrkesutövarna ökar i antal.

Ämnet har en viktig roll i samhället

Kombinationen av att ämnet har en så viktig roll i samhället, ämnets komplexitet och svårighetsgrad samt dess nära anslutning till många angränsande ämnen i relation till ett begränsat antal ämneskunniga akademiker och utbildningar i ämnet är förödande. Förhållandet leder inte till en så snabb utveckling på området som av många skäl är önskvärt.

Snabb uppbyggnad av ämnet god investering

Om de fördelar för samhällets som ökad kunskap om belysning och en välutbildad yrkeskår innebär var bättre kända, är det sannolikt att ett statligt stöd för en snabb uppbyggnad av lärarkrafter och utbildningsplatser, skulle ses som en god investering.

Hinder; Avsaknad av utbildning och teoretiker med kunskap i belysningsplanering

Teori behöver utvecklas kring hur man bör utforma belysningsanläggningar för hög måluppfyllelse. Än är fokus stort på teknik, praktisk applikation och brukarupplevelse. Fokus bör förflyttas mot optimering av interaktionen mellan människa, ljus färg och rum (MLFR).

Hinder; Avsaknad av akademiker i ämnet

Med ett begränsat antal utbildningsplatser inom högre teoretisk utbildning i ämnet följer få Institutioner vilket i sin tur leder till ett begränsat antal teoretiker med kunskaper i ämnet. Det blir då istället Industrin (armatur och ljuskälletillverkarna) som då i hög grad kommer att fungera som kunskapsförmedlare.

Hinder; Svårigheter med att hantera ett multidisciplinärt kunskapsområde, avsaknad av teori kring praktisk planeringskunskap baserad på verkliga, rumsliga och mänskliga förhållanden

Den begränsade utvecklingen vad gäller teori om utformning av belysning (litet antal forskare) är som tidigare nämnts, ett hinder. Det faktum att det är svårt att hitta artiklar på området som behandlar ämnets fulla komplexitet dvs. ser rummet, människan, dagsljus, kompletterande belysning och den teknik som används i den praktiska applikationen som en helhet, är ett annat.

Avsaknad av helhetsperspektiv på forskning

Den typ av forskning där både planeringsprocessen, utvärderingen av hur planeringen påverkar rummet och brukaren är centrala frågeställningar, är svåra att hitta. Att teknik utvecklas som är svår att använda i ett arkitektoniskt sammanhang är ett exempel på avsaknad av kunskap om grundfrågeställningen (hur utformas ett gott rum för brukaren). Design av anläggningar som inte fungerar väl vad gäller underhåll ett annat. Teknik som inte stödjer brukaren både fysiologiskt och visuellt ytterligare en aspekt.

Belysning utformad utifrån en helhetssyn på fotonflödets betydelse för brukaren

Det är på grund av belysningens komplexa interaktion med allt levande och dess stora betydelse för samhället nödvändigt att utveckla belysning utifrån en helhetssyn. För att nå målet forskning som baseras på förståelse för belysningens fulla komplexitet och som bygger på verkliga rums-
liga, mänskliga och ljusmässiga förhållanden, behöver alla som arbetar med belysningsrelaterad forskning känna till och kunna genomföra de initiala systematiska ljus och rumsanalyser som är en förutsättning för att verka inom ämnet. Det är dessa ljusanalyser som vägleder planering och tekniska val till god måluppfyllelse.

Balansering av motstridiga krav

Motstridiga önskemål på belysning behöver balanseras på ett professionellt sätt. Planeringsprocessen i ljusdesign i sina fyra grundläggande steg och utformningen av den praktiska belysningsapplikationen behöver vara väl känd av forskare.

Hinder; Byggprocessen

I en lic. avhandling av Peter Pertola med titeln ”Belysningsfrågor i byggprocessen: Orsaker till brister och förslag till en förbättrad process”: tas hinder på vägen fram till utformningen av en väl fungerande (energieffektiv) belysningsanläggning upp. Exempel på hinder anger Pertola [2012] som:

- att kunskapen hos byggherrarna är för låg,
- byggherrarna skeptiska till ny teknik,
- det krävs resurser för att göra en bra planering och få rätt produkt på rätt plats,
- svårt skriva fullständiga kontrakt,
- avsaknad av vana att följa upp hur arbetsmiljön blev för brukaren,
- att hålla tidplan och budget styrande ofta överordnat, inte att utforma en bra belysningsanläggning eller arbetsmiljö.

Den beskrivning Peter Pertola gör bör användas som utgångspunkt för åtgärder för att forma bättre förutsättningar för att lyfta fram och använda belysningsplanerarnas kunskap inom byggprocessen.

2.8. Grundprinciper för energieffektiv belysning

“Common knowledge in Lighting design” dvs. hur man planerar belysning är svårt att hitta nerskrivet i vetenskapliga artiklar. Detta är en yrkeskunskap som förvärvas via projekt och som blir belysningsplanerarens egna värdefulla kunskapsbagage, som planeraren i sin roll som konsult, värnar.

Trial and error inom belysning

Avsaknaden av en enhetlig studiebakgrund leder ofta till att man utvecklar sitt eget koncept för belysning utifrån trial and error. Belysningsplaneraren samlar med tiden en omfattande och detaljerad kunskap om hela planeringsprocessen från steg 1-4 omfattande rum, brukare samt design av dagsljus, kompletterande belysning samt praktisk teknisk applikation.

Planeraren ofta ensam kunnig på området

Planeraren står ofta ensam med kunskapen med medföljande svårigheter att kommunicera dem utåt.

Avsaknad av teori om planeringsprocessen

Det är än svårare att hitta vetenskapliga artiklar som bygger teori om planeringsprocessen i sig eller som bygger på teori om olika planeringsmetoder och relaterar till måluppfyllelse. Första steget i den här processen är att börja skriva ner ljusdesignerns know how och koppla till ljusdesignprocessen och till mål. Mitt avhandlingsarbete [Säter 2012] har en sådan ambition. I det pågående post dok. projektet är ambitionen att frilägga de teoretiska grundprinciper och den process som när den används, leder till utformandet av en väl fungerande energieffektiv belysning.

2.9. Fortsatt litteraturstudie

Under förutsättning att medel tillsätts för en fortsättning av projektet kommer litteraturstudien att vidareutvecklas.

3. Metod

3.1. Upplägg av studien i projektet

Etapp 1: Energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) utvecklas.

Etapp 2: Litteraturstudien påbörjades och baserades på hinder i praktiken för utformning av energieffektiv belysning samt tre planeringsmodeller för utformning av belysningsanläggningar.

Etapp 3: Med E-LDP utformades en anläggning i ett utvalt rum. Anläggningen bestod i ett första utförande av:

Alt 1.

- 3 stora oavskärmade fönster
- 2 Vägg armaturer (La 1-2) bestyckade med LED 56,7W. Kallad aktiv vägg.
- 2 Vägg armaturer (Lv 1-2) bestyckade med Halogen 252W. Kallad vilsam vägg.
- 8 Downlights i tak (Lv T 1-8) bestyckade med 20W Halogen.

Halogen räknas om till LED med samma prestanda som ljuskällan i La1-2 och LvT 1-8 och användes i brist på LED med större andel långvågig strålning.

Alt. 2. (teoretiskt beräknat)

- 3 stora oavskärmade fönster
- 2 Vägg armaturer bestyckade totalt med LED 56,7W. Kallad aktiv vägg.
- 2 Vägg armaturer bestyckade totalt med LED 56,7W. Kallad vilsam vägg.
- 8 Downlights i tak (LvT 1-8) bestyckade totalt med 60W Led Halogen

Etapp 4: Anläggningen uppmättes 2 gånger i månaden mellan klockan 8-18 (med undantag av januari 2013 där endast en mätning genomfördes pga. av kort tid för start av projektet).

Etapp 5: Data som inhämtats i projektet analyseras.

Etapp 6: Det tekniska systemet baserat på hur den manuella anläggningen användes under året formuleras (Kristoffer Johnsson JLT)

Etapp 7: Den framtida mer avancerade anläggningen beskrivs. (Kristoffer Johnsson JLT)

Etapp 8: Körschema, brytvärden och relationstal utvecklas utifrån inhämtad data i studien och utifrån hur anläggningen i studien användes (Monica Säter, Berndt Johansson).

Etapp 9: Vilken påverkan användandet av modellen har vad gäller minskad användning av energi, beräknas i det aktuella projektet, utifrån nationellt perspektiv, på Europeisk nivå och med global association (Berndt Johansson).

Etapp 10: Post dok. rapporten sammanställs för inlämning till Energimyndigheten och publikation i CPL.

3.2. Arbete med potentialjämförelser, etapp 9

E-LDP jämförs med D-LDP. Utifrån data som samlats in i projektet görs jämförelser mellan E-LDP och D-LDP vad gäller måluppfyllelse för visuell komfort och ljusrelaterad hälsa samt vad gäller energianvändning för belysning. Utifrån E-LDP utvecklas två alternativ bestyckade med LED/ Halogen alternativt LED/LED båda används på samma sätt.

Tabell 1.a. Jämförelser interaktionsmodeller

DLL m	Kontor planerat med E-LDP Specialfall Mörker LED/LED 40 Lux Vägg	E-LDP-Manuell planering mot lägsta trivselnivå.
DLH	Post Dok Dagsljuskvot och fördefinierade värden för trivsel, LED/Halogen Dagsljus och kompletterande belysning utformad med stegvis upptändning och styrning mot lägsta trivselnivå 40 (30-50) Lux försäker visuell orientering över hela golvytan Dagsljus+ LED för aktiverande ljus under dagen Halogen under eftermiddag/kväll för avkopplande belysning, Lägsta nivå för trivsel bevakas.	E-LDP-Manuell planering mot lägsta trivselnivå. Styrts av faktiska mätvärden Automatisk dagsljuskvot mot dagsljuskvot-
DLL	Post Dok Dagsljuskvot och fördefinierade värden för trivsel LED/LED Som ovan men samtliga armaturer bestyckade med LED.	E-LDP-Manuell dito ovan D2 omräknad till LED
DLLn	Kontor planerat med E-LDP, dito ovan. Närvarosensor, schablon -10%	E-LDP-Manuell planering mot lägsta trivselnivå.

Utifrån D-LDP utvecklas 5 teoretiska interaktionsmodeller, F1, F2a, F2b, FDa, och FDb.

Tabell 1.b. Jämförelser interaktionsmodeller

F1	Äldre typkontor ofta planerat före 2000. Referensalternativ. STIL 2 Energimyndigheten.	D-LDP- Schablonskattning från "Lys Upp Sverige" + 80 % läggs på F2a nedan
F2a	Kontor – planerat efter 2011 mot 500/500 Lux LED	D-LDP-Datorbaserad ljusdesign-process. Enbart dimensionerad för fördefinierade värden.
F2b	Kontor – planerat efter 2011 mot 500/250 Lux LED	D-LDP-Datorbaserad ljusdesign-process. Enbart dimensionerad för fördefinierade värden
F 3	Kontor – planerat efter 2011 mot 100 Lux vägg LED	D-LDP-Datorbaserad ljusdesign-process. Enbart dimensionerad för fördefinierade värden
FDa	Kontor, planerat efter 2011 mot 500/250 Lux Dagsljusstyrning mot 500/250 Lux. LED	D-LDP-Datorbaserad ljusdesign-process. Dimensionerad för dagsljusstyrning och fördefinierade värden
FDb	Kontor – planerat efter 2011 mot 200 Lux vägg Dagsljusstyrning LED	D-LDP-Datorbaserad ljusdesign-process. Dimensionerad för dagsljusstyrning och fördefinierade värden.

De 2 modeller som utvecklades med E-LDP och de 5 modeller som utformades med D-LDP speglas ytterligare med bakgrund mot planeringsmodell 1, 2 och 3 som utvecklas i litteraturstudien som övergripande beskriver schablonplanering (planeringsmodell 1 och steg 4 i LDP) och manuell planering (planeringsmodell 2 och 3 och steg 1-4 i LDP). De modeller som utvecklas utformade av D-LDP hör då till planeringsmodell 1 och de som utvecklas med E-LDP hör till planeringsmodell 3.

Mer information om: F1, F2a, F2b, FDa, och FDb samt DLh och DLL i Appendix D.

3.3. Utformning av studien

Armatuurval, platsbelysning

Som platsbelysning planerades in en armatur från Waldmann STZL24 R bestyckad med LED 31W som gav en ljusnivå på arbetsytan från 0-2603 Lux. Det breda spannet behövs för att på ett rimligt sätt omfatta många brukares preferenser.

Armatuurval bredstrålande väggarmaturer

Som väggarmaturer användes 4 st. av IKEAs golvstående papperarmaturer, RUTBO. 2 st. av dessa bestyckades med 7 LED-ljuskällor på 8,1Wx7 och 2 st. bestyckades med Halogen 42Wx6.

Armatuurval infällda armaturer i tak

Som armaturval för taket användes 8 st. infällda downlights bestyckade med Halogen 20W.

Försökspersoner

Försökspersoner har inte använts i studien. Istället har fokus varit på att skapa en anläggning som bygger på dagsljus och som anpassats till rummets kontrastsituation av ljusdesignern. I studien har platsbelysning planerats in med ett brett spann för ljusnivåer. De slutgiltiga brukarna justerar sen in nivåerna så de passar de som befinner sig i rummet.

Forma en anläggning som klarar föränderlighet

Förhållningssättet är utvecklat mot att forma en anläggning som klarar föränderliga ljusförhållanden i rummet och ett föränderligt behov av platsbelysning hos brukaren.

Forma teknik som ger brukaren stöd

I studien användes teknik som klarar de verkliga ljusförhållandena under året. I studien har valts att skapa goda förutsättningar för alla brukare. Extremt sensitiva, extremt utmattade personer kommer alltid att behöva extra åtgärder.

Normalseende ljusdesigner utvärderar anläggningen

Ljusdesignern (M. Säter) har använts som normalseende försöksperson och den visuella förmågan har identifierat av optiker. Försökspersonen har genomfört en synprestation vid varje timme över hela golvytan för att bedöma om allmänljusets nivå var förenlig med att läsa 12 punkter på vitt papper på bordsnivå utan platsbelysning. I ett framtida användande av modellen

bör samma prestationstest göras när anläggningen dimensioneras och provkörs och korrigeras mot eventuellt avvikande önskemål.

3.4. Beskrivning av moment genomförda i projektet

I projektet ”Modell för optimerad energieffektivitet i belysningsanläggningar för cellkontor och kontorslandskap” har processen i framtagandet av en energieffektiv belysningsanläggning för kontor frilagts. Processen har tillämpats i ett specifikt rum och har påvisats ha hög måluppfyllelse vad gäller visuell komfort, ljusrelaterad hälsa och energieffektivitet.

Årlig uppmätning av dagsljus och behov av kompletterande belysning

Utifrån studerad applikation mättes på årsbasis belysningsförhållandena i rummet bestående av dagsljus och kompletterande belysning i en kontorslokal. I lokalen prioriterades dagsljus som allmänljus och användes fullt ut och synkroniserades med kompletterande belysning. Kompletterande belysning användes bara när det behövdes för att bevaka trivselljusnivån på allmänljuset i rummet och i de delar av rummet där behovet uppstod.

Kromatiska fönster som solavskärmning

I anläggningen planerades in teoretiskt, kromatiska fönster för att ha tillgång till solavskärmning infällt i glasrutorna. Systemet kan styras av brukaren och används för att upprätthålla den visuella komforten i rummet och för att undvika att överskrida ett högsta värde för visuellt komfortabel ljusnivå i rummet.

Ljusnivå för trivsel och säker visuell orientering

Ljusstyrning användes för att inte gå under en lägsta ljusnivå som ger trivsel och säker visuell orientering och för att, när dagljuset inte räcker till som allmänljus, koppla in och synkronisera kompletterande belysning med olika spektralprofil på förutbestämda tidssekvenser.

Dagsljus är stommen i allmänbelysningen

Med en enkel teknisk lösning skapades en belysning där dagsljus var stommen i allmänljuset och där dagljuset kompletterades med belysning. Belysningen utformades med två spektralprofiler som användes inom vissa tidsspänn, när ljusnivån sjönk under en förutbestämd nivå, relaterad till rummets kontrastförhållanden för trivsel och synprestation. Även brytvärden och relationstal fungerar som utsignal för att slå på eller slå av, olika delar av den kompletterande belysningen.

Synprestation målet för inkoppling av kompletterande belysning

Synprestationstest genomfördes på 9 punkter i lokalen. Projektet är genomfört med en normalseende försöksperson vars förmåga till synprestation definierades av optiker.

Belysning lämplig för den specifika miljön

Utifrån den under året manuellt utformade anläggningen togs en teknisk lösning fram som tillämpad ger en flexibel applikation som anpassar sig dels mot dagsljusförhållandena men samti-

dig upprätthåller det spann av ljusnivåer som av belysningsplaneraren eller brukaren bedömts lämpliga för den specifika miljön.

Bara brukaren känner sin känslighet

Post dok. projektet har format en anläggning för inomhusmiljö som bygger på att det bara är brukaren som känner sin känslighet för bländning, bara brukaren kan läsa in de faktiska ljusförhållandena som finns som referens i synfältet och avgöra om ljusnivån är tillräcklig på bordet och i rummet.

Belysningsanläggningen i studien

Studien utgår från en belysningsanläggning som fungerar som interaktionsmodell. Allmänljuset formas av dagsljus och kompletterande belysning som synkroniseras för att utnyttja dagsljuset maximalt och bara komplettera dagsljuset med det som behövs för att upprätthålla trivsel och säker visuell orientering.

- Dagsljuset avskärmas relaterat till övre visuell komfort- nivå relaterad till rummets kontrast situation.
- Allmänljuset bestående av dagsljus kompletteras med belysning som utformats speciellt för att fylla i enbart i de delar av rummet som blivit otrivsamt mörka samt i nivå och spektralprofil relaterat till tiden på dygnet.
- Allmänljuset kompletteras när belysningsstyrkan från dagsljuset kommer under säkerhetsnivån för belysning horisontellt (fönsterbrädan) och vertikalt (184 cm upp från vägg) och relaterad till rummets kontrastsituation, tid och spektralprofil.

3.5. Utformning av anläggningen

Allmänljuset

Allmänljuset. Dagsljuset avskärmas vid övre visuell komfortnivå relaterad till rummets kontrast situation. När allmänljuset understiger en i förväg definierad lägsta nivå horisontellt och vertikalt kompletteras ljuset i de delar av rummet där så behövs för effektivt arbete, trivsel och säker visuell orientering.

Kompletterande belysning fyller i när dagsljuset inte räcker till

Allmänljuset kompletteras med belysning som utformats speciellt för att fylla i enbart i de delar av rummet som blivit otrivsamt mörka. I nivå och spektralprofil, relateras kompletterande belysning till tid på dygnet. Brukaren får en platsbelysning som inte bländar ur någon normal vinkel och har 0- 2000 Lux. Platsbelysningen är stabil och stannar i önskat läge. Platsbelysning får begäras för 2 timmar i taget. Tidsspannet kan ändras till det som är lämpligt för brukaren.

Allmänljusets utformning

Genom att utforma ett allmänljus som;

- 1). Består av så mycket dagsljus, som lokalen kan släppa in, beroende på väderstreck och fönster storlek och behov av kylning.
- 2). Är på en nivå som inte går över en satt gräns för visuell komfort, relaterad till rummets kontrast situation.
- 3). Där dagsljuset när det understiger en nivå för effektivt arbete, trivsel och säker visuell orientering kompletteras med belysning som säkerställer lägsta acceptabla nivå relaterat till spektralprofil och tid på dygnet

När dessa förhållanden uppfylls, förbrukas minimalt med energi, samtidigt som ljuset blir visuellt komfortabelt, stödjer dygnsrytmen, ett effektivt arbete och ger en trivsamt arbetsmiljö. Data under året från anläggningens drift ger underlag för jämförelser mellan olika alternativ för användning av elenergi för belysningsändamål ställt mot verkliga dagsljusnivåer i rummet.

Platsbelysning och energibesparing

Platsbelysningen bör inte omfattas av energibesparingsåtgärder. Platsbelysningen ska med stöd av lagen och vid vite erhållas av arbetsgivaren och utformas nära brukarens behov av ljus för att ge det stöd arbetstagaren behöver för att göra visuella arbetsuppgifter utifrån sin förmåga.

Arbetstagarens platsbelysning ett verktyg i arbetet

Arbetstagaren reglerar sin platsbelysning för upplevelse av visuell komfort under dagen och i relation till förändrade ljusnivåer under dagen. Spann för kompletterande belysning prövas under året men bör vara mellan 0-2000 Lux. Platsbelysningen har en timerfunktion som gör att den behöver begäras på nytt efter två timmar (lämpligt i post dok projektet för vår sommar och höst och kan ändras inför vintern).

Synprestation, säker visuell orientering med hjälp av allmänljuset

För att verifiera att allmänljusets spann möjliggör en säker visuell orientering var man än befinner sig i rummet skapades 9 ”stationer” jämnt fördelade i rummet för synprestation.

Processen bakom en energieffektiv visuellt väl fungerande belysningsanläggning

Processen bakom utformningen av en energieffektiv belysningsanläggning som generellt ger ett visuellt komfortabelt ljus, som möjliggör effektivt arbete i hela lokalen och stödjer dygnsrytmen beskrivs i projektet. Anläggningen relateras till en normalseende försökspersons (forskningsledaren) behov av ljus.

Utformning av anläggningen i projektet

- Den fiktiva försökspersonens synförmåga (forskaren) definierades via optiker och synundersökning och kombinerades med fingerad optik.

- Synprestationen definierades.
- Mätpunkterna sätts ut.
- ”Försökspersonen” läste av mätpunkterna på fönster, på vägg och på golv varje timme under de 23 mätdagarna.
- Högsta ljusnivå som gav visuell komfort i rummets kontrast situation fastställdes.
- Försökspersonen läser av de 9 stationerna i rummet för att definiera den nivå där läsningen försvåras av en för låg nivå på allmänljuset i rummet.
- De kompletterande armaturerna 1, 2, 3, och 4 som används i rummet placeras ut.
- Kompletterande armatur aktiv vägg (La 1-2). 8.00 dimmas upp från 0-100 vid behov. Dimmas ner från 13.00- 13.10 från 100-0.
- Kompletterande armatur vilsam vägg (Lv 1-2). Dimmas upp från 13.00- 13.10 med 0-100 och används till 19.00 vid behov.
- Kompletterande anläggning i taket 8.00- 19.00, användes vid behov.

I processen bakom studiedesignen används E- LDP för att utveckla en energieffektiv belysningsanläggning som tillämpad ger ett visuellt komfortabelt ljus vilket möjliggör effektivt arbete i hela lokalen och stödjer dygnsrytmen.

- 1). Steg 1. Analys av rummet, hur dagsljuset uppträder i rummet och var i rummet inre kompletterande belysning kan placeras ut och hur den bör dimensioneras.
- 2). Steg 2. Analys av brukarens behov av allmänljus och platsbelysning.
- 3). Steg 3. Design av dagsljus och kompletterande belysning.
- 4) Steg 4. Formandet av den tekniska delen av belysningsanläggningen.

Försökspersoner

Försökspersonens (forskarens) synförmåga definierades via optiker efter genomförd synundersökning. Synprestationen definierades. Mätpunkterna sattes ut. Försökspersonen läste av de 9 stationerna i rummet och de 6 bländningspunkterna för att definiera den nivå där läsningen störs av bländning från fönstret av för höga ljusnivåer. 15 000 Lux mot fönsternischens ytor, fastställdes som värde för avskärmning av dagsljuset.

Försökspersonen definierar läsprestation i bordsnivå

Försökspersonen läste av de 9 stationerna i rummet för att definiera den nivå där läsningen försvåras av för låg nivå på allmänljuset i rummet. De armaturer som används för att komplettera belysningen placerades ut. Kompletterande armaturer (2st.) aktiv vägg tändes upp 8.00 och dimmades ner 100-0% kl. 13.00- 13.10. Kompletterande armatur vilsam vägg (2 st.) dimmades upp 0-100% kl.13.00- 13.10 och släcktes ner till 19.00. Kompletterande anläggning i tak. 08.00-19.00.

Försökspersonens (Monica Säter) synprestation fastställd av optiker

C.3432286

O.6784012

D. 71603671

	Use	Pwr	Cyl	Ax
R	Read	3.50	- 25	105
L	Read	3.50	.00	0

Anläggningens olika delar

Fyra synkroniserade delar av systemet för allmänljus

Allmänbelysningen utformades baserat på dagsljus och tre system för kompletterande belysning. Dagsljuset avgränsas manuellt på en högsta nivå för att ge ett visuellt komfortabelt allmänljus.

Komplettering av allmänljuset

Allmänljuset bestående av dagsljus kompletteras med belysning. Kompletteringen kommer från rummets inre delar för att säkerställa att allmänljusets nivå inte understiger en lägsta nivå för säker synprestation, effektivitet i arbete och trivsel. Vid behov används även belysning från tak för att ge en upplevelse visuellt av ett helt rum.

Kompletterande inre belysning

Allmänljuset ökas på med kompletterande inre belysning utformat aktiverande från 8 och används vid behov fram till 13.00–13.10. Vilsam vägg används från 13.00- 13.10 till 19.00. Den fjärde samverkande delen av allmänljuset, den ”stora anläggningen i taket” användes när det kompletterande ljuset aktiv vägg alternativt vilsam vägg inte räckte till mellan klockan 8.00-19.00.

Aktiv och vilsam belysning

Den kompletterande artificiella belysningen består av aktiv-vägg: LED; vilsam- vägg: Halogen, vilsamt tak: Halogen. Anläggningen är tänkt att användas med LED med stor andel långvågig strålning. Tidsmässigt bidrar dagsljus i den utsträckning som är naturligt för säsongen. Aktiv vägg används klockan 8.00 -13.00. Från 13.00- 13.10 sjunker aktiv vägg från 100-0. Varm vägg ökar mot aktiv vägg klockan 13.00- 13.10 från 0-100% och är vid behov igång till 19.00. Aktiv vägg används ensamt eller ihop med vilsamt tak. Varm vägg används ensamt eller i kombination med vilsamt tak från 13.00 och fram till kl.19.00.

Platsbelysningen

Utöver dessa 4 samverkande fotonflöden bestående av dagsljus, aktiv vägg, vilsam vägg och vilsamt tak används platsbelysningen utifrån det individuella behovet och anpassas av brukaren

till det föränderliga dagsljuset för individuellt stöd för synprestationer och upplevelse av visuell komfort.

Design av dagsljus och kompletterande belysning

Dagsljuset formges av byggnadens fönsteröppningar och i mötet med rummets ytor. Beroende på husets placering, hur fönsteröppningarna tar in dagsljusets fotonflöde och beroende på hur solens förflyttar sig över himlen under dagen och under året, formas allmänljuset i rummet under dagen.

Den inre kompletterande belysningen

Den förändring av ljusheter på rummets ytor som dagsljuset ger kompletteras med belysning i de inre delarna av rummet. Denna belysning medger att dagsljuset utnyttjas fullt ut för effektivt arbete, säker visuell orientering och trivsel.

Aktiv vägg, vilsam vägg

Kompletterande ljus kallat Aktiv-vägg, innehåller stor andel kortvågig strålning och är utformat för att bidra till god vakenhet. Aktiv-vägg används 8.00 till 13.00. Vilsam- vägg används 13.00-19.00. Vilsam- vägg innehåller stor andel långvågig strålning och fadar mot aktiv vägg mellan 13.00 och 13.10 samt används nattetid vid behov fram till kl.8.00 på morgonen. Vilsamt tak är den stora anläggningen i taket som ger ett jämnt ljus över hela rummet.

Anläggningen i taket

Ljuset i taket används vid behov och ger ett jämnt ljus över hela golvet och rummets väggar. Takljuset kompletterar belysningen i rummet när dagsljuset och den inre kompletteringen inte räcker till längre. När det jämna ljuset från taket kombineras med en kompletterande inre belysning, tillförs trivsel och ljusvariation till rummet.

Belysningsanläggningen

Den i studien utformade anläggningen består av dagsljus som tas in genom tre stora fönster som går högt i tak (Se bild 3, 4 och 5). Det är i det närmaste idealiska dagsljusförhållanden i rummet. Rummet öppnas via fönstren upp mot sydväst. Dagsljuset kompletteras med bredstrålande höga pappersarmaturer som en inre belysning. 2 armaturer är bestyckade med LED och benämns Aktiv vägg. Två är bestyckade med Halogen (tänkt med LED när det finns utvecklat med mer långvågig strålning) och benämns vilsam vägg. I taket finns också Halogen i form av infällda spotlights. Även detta tänkt med LED när det finns tillgängligt med mer långvågig strålning.

Bestyckning

Den kompletterande belysningen bestyckades på följande sätt: Aktiv vägg = $8,1 \text{ W} \times 7 = 56,7$. $56,7/54 \text{ m}^2 = 1,05 \text{ W/m}^2$. Vilsam vägg = $42 \text{ W} \times 6 = 252$. $252/54 \text{ m}^2 = 4,66 \text{ W/m}^2$. Vilsamt tak $20 \text{ W} \times 8 = 160$. $160/54 \text{ m}^2 = 2,96 \text{ W/m}^2$. Tillägg till dagsljuset på morgonen, inre belysning $1,05 \text{ W/m}^2$. Tillägg på morgonen vid behov belysning på tak $2,96 \text{ W/m}^2$.

Tillägg till dagsljuset på eftermiddagen inre belysning 4,66W/m². Tillägg på eftermiddagen vid behov belysning i tak 2,96W/m². Sammantaget på förmiddagen kompletterades vid behov med antingen 1,05 W/m² eller 4,01W/m² och på eftermiddagen vid behov med antingen 4,66W/m² eller vid behov med 7,62W/m².

Anläggningen i projektet omräknad till LED

När detta räknas om till LED kompletteras dagsljuset med antingen 1,05 W/m² eller 2,05W/m² på förmiddagen och antingen 1,05W/m² eller 2,05W/m² på eftermiddagen.

Utformningsaspekter

Verifikation för val utformning av ljus och rumsmodellen

Utformningen av den kompletterande belysningen följer den modell som prövades i mitt avhandlingsarbete och som av 36 försökspersoner bedömdes som det mest trivsamma i en jämförelse med tre olika ljus och rums modeller [Säter 2012, Paper VI].

318 personer visar vad de upplever är visuell komfort

Det bygger även på en studie av 318 försökspersoner som visade vilka proportioner de upplevde som mest visuellt komfortabla när det gällde allmänljus och platsbelysning. 100 % av deltagande försökspersoner valde att allmänljuset skulle vara på en lägre nivå än ljusnivån på arbetsytan och beskrev kombinationen som den mest komfortabla (Säter 2010).

Utformning av ljus och rumsmodellen

Utformningen består av en inre belysning placerad motstående mot fönstret med bredstrålanden armaturer. Armaturtypen kan pendlas från taket, ställas på golvet eller hängas på väggen.

Väggarnas ljushet avgör behovet av kompletterande belysning

Den inre kompletterande belysningen går igång när väggarna i de inre delarna av rummet blir för mörka för att vara trivsamma och jämnar ut dagsljuset. När dagsljusets nivå sjunker och väggarna närmast fönstret blir för mörka går anläggningen i taket igång.

Takbelysningen jämnar visuellt ut väggarna och ger ett allmänljus i lokalen. Fokus ljusmässigt förflyttas in mot de inre delarna i rummet.

Fördelar med en inre kompletterande belysning

Metoden att arbeta med kompletterande belysning mitt för fönstret gör att man fördröjer att den stora anläggningen i taket går igång över hela ytan på grund av att de inre delarna av rummet blir för mörka. Där rummet har goda förutsättningar för att ta in dagsljus och hela ytor finns på väggen motstående mot fönstren, kommer antalet timmar för kompletterande belysning vara lågt.

Platsbelysning i spann mellan 0-2000 Lux

Platsbelysningen är separerad från allmänljuset och är bestyckad med LED med ett önskat spann på 0-2000 Lux. Platsbelysningen har en önskad timer så man begär platsbelysningen för 2 tim-

mar i taget som normalinställning. Momentet att begära belysningen ses som positivt och väckande och ska få brukaren att reflektera över om man verkligen behöver platsbelysning vid den aktuella tidpunkten. Den tid man begär för platsbelysning kan ändras efter behov.

Färgsättning

Väggarna i det rum som användes i studien är bemålad med en komfortabel ljus beige färg bestående av en vanlig vit grundfärg bruten av försöksledaren med en liten mängd pigment (bränd umbra). Färgen är ljus och estetiskt tilltalande och mildrar att väst- söderläget gör att dagsljuset ligger på hårt under dagen och att det kortvarigt uppstår starkt belysta ytor på delar av rummets fönsternisch och fönsterbräda under vår och sommar.

Utformning av den kompletterande belysningen

Utifrån dagljusets dagliga fördelning i rummet har en kompletterande anläggning utformats som fyller i dagsljuset precis där det behövs för att kunna använda dagsljus så länge som möjligt under dagen. Den kompletterande anläggningen placeras motstående mot fönstret och fungerar som en brygga mellan det stora rumsljuset och anläggningen placerad i taket och används bara när hela rummet behöver bli ljus och dagsljusförhållandena inte längre räcker till.

En levande ljushet i den inre delen av rummet

Den kompletterande anläggningen som placeras på väggen motstående mot fönstret flyttar visuellt fokus mot rummets inre delar för att vara en ersättning för något ljus och levande i synfältet och ha samma roll som utsikten och himlen har under dagen.

Upplevelsen av ljusnivån är relativ

Rummets ljusnivå relateras till allt i synfältet vilket gör att på dagen leder upplevelsen av den ljusa himlen och ljusförhållandena i utsikten till att nivån på den kompletterande belysningen, som uppfattas som hög när dagsljuset är lågt, uppfattas som lågt när dagsljuset är på en högre nivå.

Brukaren kompenserar sig med sin platsbelysning

Eftersom vi bör vistas i sjunkande ljusnivåer under dagen är en sjunkande ljusnivå ingen nackdel och brukaren kompenserar sig utifrån individuellt upplevt visuellt behag med platsarmaturen. När kvällen kommer och om man då måste arbeta vidare kommer den låga ljusnivån att uppfattas som hög. Den inre väggen med sin låga och levande ljushet ersätter den visuella referens som himlen och ljusförhållandena i utsikten utanför fönstret ger under dagen och sätter en ny skala för vad som uppfattas som hög respektive låg ljusnivå.

3.6. Mätpunkter vertikal belysningsstyrka på vägg

Mätpunkter på vägg 184 cm höjd. Mätpunkt 14, 16, 18 på fönsterbräda.

- Mätpunkt 1. 70 cm ut från fönstervägg.
- Mätpunkt 2. 240 cm ut från fönstervägg.

- Mätpunkt 3. 213 cm. ut från dörr 1. (dörr mot entréfasad).
- Mätpunkt 4. 53 cm ut från dörr 1. (dörr mot entréfasad).
- Mätpunkt 5. 60 cm ut från vägg mot gården.
- Mätpunkt 6. 59 cm från skorstensstock.
- Mätpunkt 7. 183 cm från baksida.
- Mätpunkt 8. 83 cm ut från baksida.
- Mätpunkt 9. 63 cm från sovrumsdörr (dörr mot husets baksida).
- Mätpunkt 10. 218 cm från sovrumsdörr (dörr mot husets baksida).
- Mätpunkt 11. 200cm ut från fönstervägg.
- Mätpunkt 12. 69 cm ut från fönstervägg.
- Mätpunkt 13. 40 cm från baksida.
- Mätpunkt 14. Mitten av fönster längst ut på fönsterbrädan.
- Mätpunkt 15. Mellan fönster (mitt).
- Mätpunkt 16. Mitten av fönster längst ut på fönsterbrädan.
- Mätpunkt 17. Mellan fönster (mitt).
- Mätpunkt 18. Mitten av fönster längst ut på fönsterbrädan.
- Mätpunkt 19. Mellan fönster och vägg (mitt).

Mätpunkter horisontell belysningsstyrka golv

- Mätpunkt 1. 93 cm från fönstervägg, 67 cm. från vägg, framsida.
- Mätpunkt 2. 249 cm från fönstervägg, 67 cm. från vägg, framsida.
- Mätpunkt 3. 402 cm från fönstervägg, 67 cm. från vägg, framsida.
- Mätpunkt 4. 93 cm från fönstervägg, 330 cm. från vägg, framsida.
- Mätpunkt 5. 249 cm från fönstervägg, 330 cm. från vägg, framsida.
- Mätpunkt 6. 402 cm från fönstervägg, 330 cm. från vägg, framsida.
- Mätpunkt 7. 93 cm från fönstervägg, 485 cm. från vägg, framsida.
- Mätpunkt 8. 249 cm. från fönstervägg, 485 cm. från vägg, framsida.
- Mätpunkt 9. 402 cm från fönstervägg, 485 cm. från vägg, framsida.

Mätpunkter för bländning

Samtliga tre fönster har mätpunkter för bländning på samma platser. Fönsternischen är 131,5 cm bred. Nischens djup 25 cm.

- Mätpunkt 1. Mitten vänster fönsternisch på en höjd av 29,5.
- Mätpunkt 2. Mitten fönsterbräda på 29,5 cm avstånd från vänster sida av fönsternisch.
- Mätpunkt 3. Mitten fönsterbräda på 59,5 cm från vänster sida av fönsternisch.
- Mätpunkt 4. Mitten fönsterbräda på 59,5 cm avstånd från högersida av fönsternisch.
- Mätpunkt 5. Mitten fönsterbräda på 29,5 cm från höger sida av fönsternisch.
- Mätpunkt 6. Mitten höger fönsternisch på en höjd av 29,5.

3.7. Byggnaden

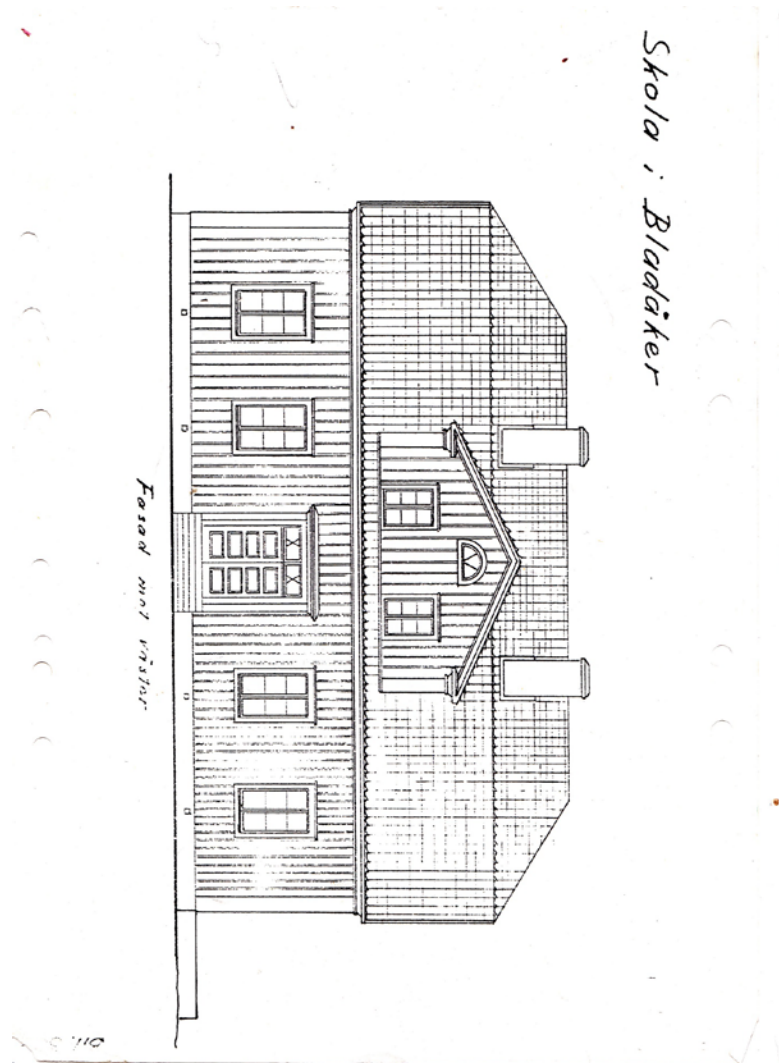


Bild 3. Fasad mot väster, Bladåkers skola

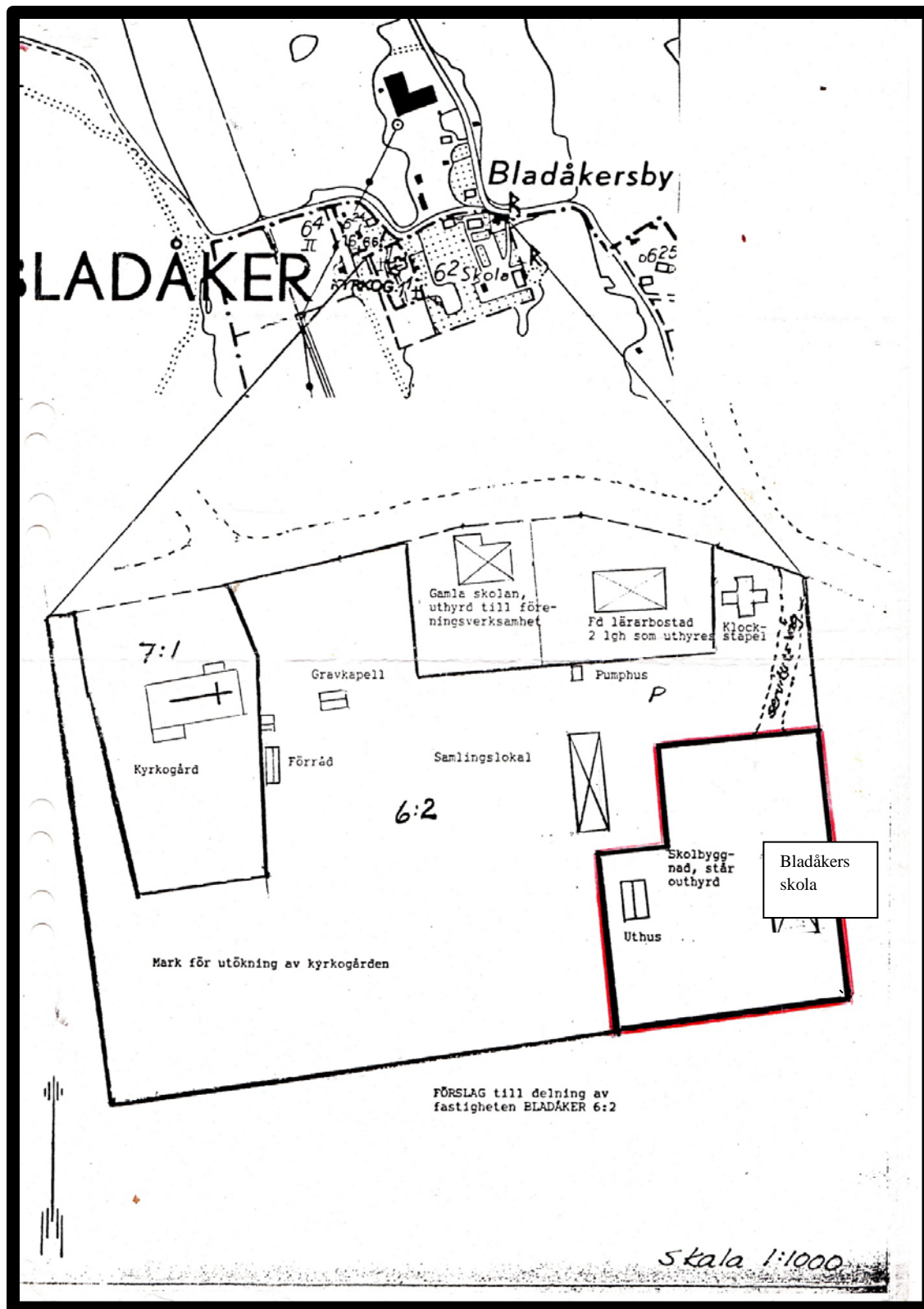


Bild 4. Översikt, Bladåkersby

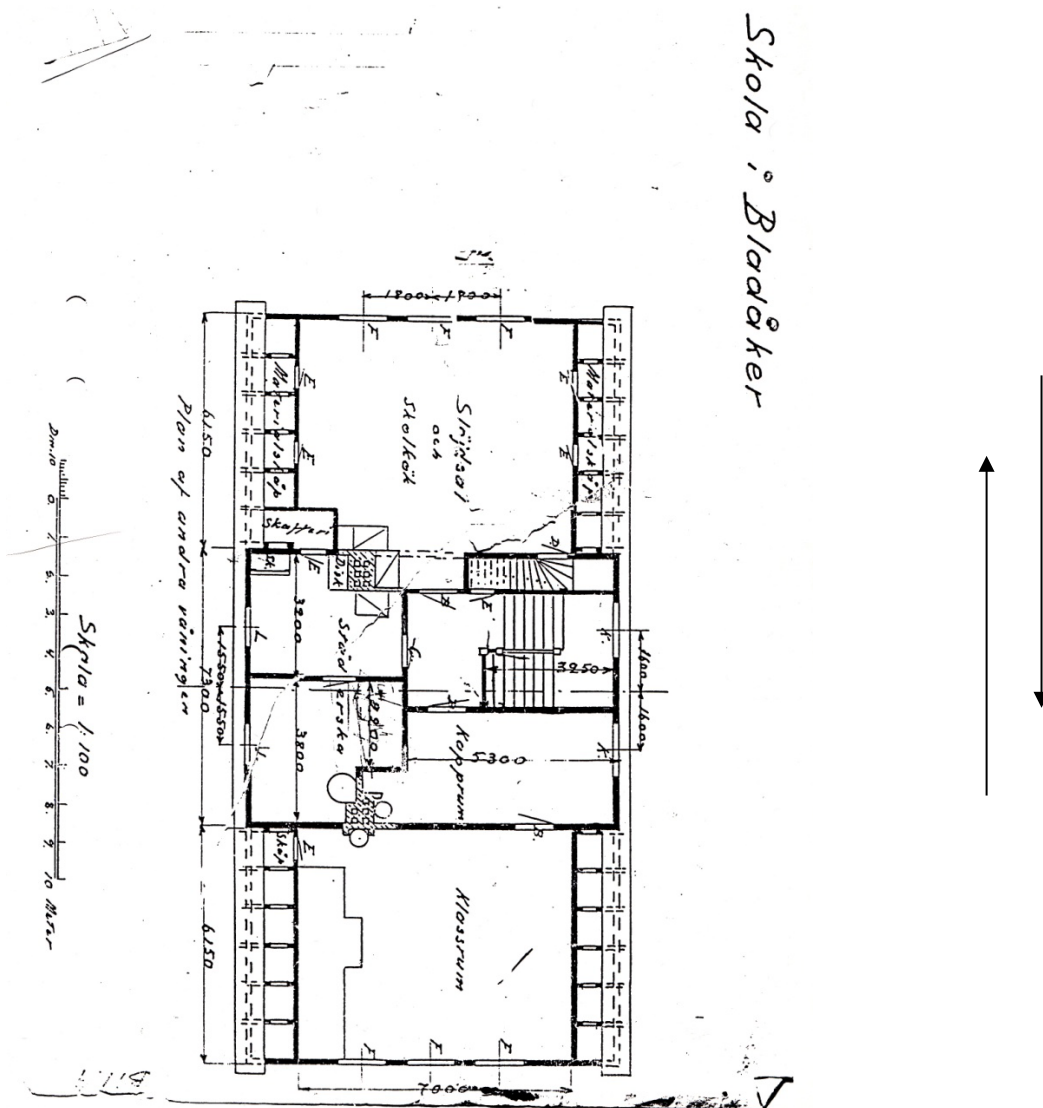


Bild 5. Planritning Bladåkers skola våningsplan 2.

3.8. Grundprinciper för belysning

Grundprinciperna som utvecklats i projektet är förankrade i systematisk ljusanalys. De vilar även på de frekventa mönster i de verkliga dagsljusförhållanden som rytmiskt upprepas i varje byggnad med fönster. Systematisk ljusanalys är utvecklad inom ämnet Belysningslära av Anders Liljefors.

Grundprinciperna vilar på verklighetens ljusförhållanden

Dessa grundprinciper bygger på de verkliga rums och ljusförhållandena i ett specifikt rum och skiljer sig därför från de rekommendationer som formar en ljusmiljö utan koppling till rummet, människans sinnen eller den verkliga dagsljussituationen. E-LDP visar på en metodisk process

som hanterar de verkliga förhållanden som råder på en specifik plats vad gäller dagsljus, rummets kontrastsituation, brukarens behov av allmänljus och platsbelysning.

3.9. Utveckling av energibesparande ljusdesignprocess- E-LDP

E-LDP steg 1

Med initiala analyser utvärderas rummets förutsättningar för att ta in dagsljus. Fönster ses över, störande inre bländningskällor elimineras, utvändiga bländningskällor pareras och en väl fungerande avskärmning av dagsljuset utformas för att ha dagsljus som stomme i allmänljuset och i den energieffektiva anläggningen.

Bedömning av kompletterande belysning

Den kompletterande belysningen bedöms utifrån hur den bör synkroniseras med dagsljuset för att med ett minimum av använd energi ge ett väl fungerande allmänljus som följer dagsljusets nivåer under dagen.

Dagsljus och kompletterande belysning i samverkan

Här bedöms var armaturer kan placeras och vilken typ av kompletterande belysning som är lämpliga i projektet. Hur dagsljus och kompletterande belysning samverkar med rummet via transmission, absorption och reflektion (TAR) bedöms. Max och mini- nivåer som är visuellt komfortabla, ger attraktiva vertikala ytor och stödjer en säker visuell perception hos brukarna.

Analys av nivåer och spann för belysning

Analyser görs av max och min- nivåer i allmänljuset i relation till rummets kontrast situation, för att ge attraktiva vertikala ytor. Spann bedöms för kompletterande arbetsplatsbelysning för brukare med olika behov av visuella kontraster och känslighet för att betrakta belysta ytor.

E-LDP steg 2

Brukaren är sällan känd vid nybyggnation. Inte ens vid ombyggnation kan brukarens behov analyseras alltför ingående. Brukaren betraktas som sensitiv eller robust i förmågan att visuellt betrakta belysta ytor och med olika behov av ljusnivå för att kunna se visuella kontraster. Här är genomskinligheten i ögats medier en viktig faktor för val av ljusnivå. Hög genomskinlighet ger stor känslighet. Olika synsvårigheter som korrigeras mer eller mindre med glasögon är andra skäl till att preferenser för ljusnivå skiljer stort.

Lämplig grad av ljusrelaterad vakenhet

Ytterligare en faktor som är avgörande för val av ljusnivå och val av typ av fotonflöde, är grad av vakenhet. För den som ofta befinner sig på en hög nivå av stress (vakenhet) kan ett fotonflöde som är avkopplande vara att föredra. För den som känner av för låg vakenhet kan ett väckande fotonflöde vara att föredra. Brukaren känner vilket fotonflöde som ger behag, känner när det ger behag och när behaget vänds i sin motsats, obehag.

Allmänljus och platsbelysning

Avgörande vad gäller utformning av belysning är att bygga ett gemensamt allmänljus som härmar dagsljuset som om vi var utomhus varje dag men på rummets villkor. Varje brukare bör sen få ett arbetsljus som utformas med ett spann som passar den kontrastsituation som finns i rummet och brukarens behov av ljusnivå, för att uppleva goda visuella kontraster på arbetsytan och visuell komfort.

Brukaren behöver göra ett aktivt val av nivå på ljuset från platsbelysningen

Brukaren behöver ta ett aktivt ansvar för att parera dagsljusets rytm (precis som vi gör när vi är ute) och för att ha goda kontraster på arbetsytan och för att säkra upp att ljusnivån upplevs som visuellt komfortabel. Belysningsplaneraren bör lämna information till brukaren om betydelsen av att ställa in belysning för det egna behovet, hur man själv måste bevaka upplevelsen av visuell behag/ obehag och förstå hur diskomfort kan åtgärdas samt vad ljusrelaterad hälsa är i praktiken.

Belysningsplaneraren ställföreträdande brukare

Där brukaren inte är känd kan belysningsplaneraren verka som ställföreträdande brukare och skapa en platsbelysning med ett rimligt spann för ljusnivåer. Belysningsplaneraren väljer en platsbelysning som är stabil, icke bländande och lätt att ställa in i rätt position. Den brukare som behöver en högre ljusnivå för att få goda visuella kontraster kan få två platsarmaturer för att komma upp i de nivåer brukaren prefererar.

Det andra steget i planeringsprocessen avgör hur stödet för brukaren utformas

Hur detta andra steg i planeringen av den energieffektiva belysningsanläggningen genomförs, avgör hur väl den valda tekniken kommer att stödja brukaren psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV).

E-LDP steg 3

Den kompletterande belysningen vad gäller allmänljuset anpassas till rummets kontrastsituation vad gäller högsta och lägsta nivå för att vara visuellt komfortabel, stödja dygnsrytmen och därmed bidra till ljusrelaterad hälsa och vara visuellt säker.

Aktiverande och avkopplande fotonflöde

En del av allmänljuset är planerat med ljuskällor som emitterar aktiverande fotonflöden. En annan del av allmänljuset är planerat med ljuskällor som emitterar fotonflöden som är avkopplande. Den del av den kompletterande belysningen som placeras i rummets inre delar placeras lågt och är bredstrålande för att effektivt nå de delar i rummet som först blir mörka.

Anläggningen i taket

Den del av den kompletterande belysningen som placeras i taket utformas med avsikten att användas när den inre belysningen inte längre räcker till. Anläggningen dimensioneras för att göra hela rummet ljust. Detta kan behövas då en hög ljusnivå är viktig samt när dagsljuset är borta och

den inre kompletterande belysningen inte har hjälp av dagsljuset i att skapa en visuell upplevelse av ett helt rum.

Omräkning till LED

Utifrån de flöden som halogenljuskällorna gav räknades dessa om till LED för att visa vad LED med mer långvågig spektralkomposition ger för energianvändning.

Ta in dagsljuset i rummet på ett utifrån rummets förutsättningar optimalt sätt

Baserat på information som samlats in om det aktuella projektet utvärderas rummet utifrån väderstreck och eventuella externa bländningskällor, befintliga fönster och befintlig dagsljusavskärmning. Åtgärder vidtas för att dagsljuset tas in i rummet på ett utifrån rummets förutsättningar optimalt sätt. Det bevakas att dagsljuset inte överskrider en viss nivå på vertikala ytor i synfältet och därmed bidrar till ett allmänljus som är visuellt störande. En avskärmning utformas som hanterar de svårigheter som analyser i steg 1 i E-LDP visar på. Rummets utformning avgör lämpligt val av utvändigt eller invändigt avskärmning. Dagsljuset och det fotonflöde som emitteras från den inre och lågt placerade kompletterande belysningen synkroniseras så att den inre belysningen fyller i dagsljuset i rummets inre delar när de vertikala ytorna blir för mörka för att vara visuellt attraktiva.

Belysningen från taket bidrar till upplevelsen av ett helt rum

Den belysning som finns i taket är en ersättare för dagsljuset som används vid behov när dagsljuset i rummet är på en nivå som den inre kompletterande belysningen inte klarar av att kompensera. Den inre och lågt placerade belysningen tänds när dagsljuset blir otrivsamt och används så länge som det kompenserar den fallande ljusnivån från dagsljus. När rummet trots detta blir otrivsamt är det dags att tända taket för att få en ljus visuell helhet. De armaturer som finns i taket gör rummet ljust men väggarna blir inte trivsamt belysta från taket. Den inre belysningen förbättrar väggarnas ljushet och skapar ett vilsamt och trivsamt rum.

Den kompletterande belysningens två delar

Den inre belysningen består av två delar, likvärdiga i utformning, men olika vad gäller spektralkvalitet. Aktiv vägg sprider en mer aktiverande kompletterande belysning och används vid behov mellan 8.00- 13.00. Aktiv vägg sjunker mellan 13.00- 13.10 från 100- 0 %. Vilsam vägg sprider en kompletterande belysning som är mer avkopplande och är igång mellan 13.00- 8.00 på morgonen (vid behov) och ökar mellan 13.00- 13.10 från 0-100%.

Anläggningen i taket sprider en avkopplande belysning

Den belysning som finns i taket är utformad som avkopplande belysning. Aktiv vägg och vilsam vägg avlöser varandra i tid under dagen och synkroniseras mot dagsljuset. Belysning i taket synkroniseras mot dagsljuset för optimerad begränsning av användningen av kompletterande belysning.

Platsbelysningen utformas väckande

Den platsbelysning som planerades in har rollen att ge ett mer väckande ljus. När allmänljuset består till stor del av dagsljus är ett svalare ljus i platsbelysningen nära dagsljus. När allmänljuset är lågt och utformat energisvagt, kompenseras brukaren via sin platsbelysning, i stöd för arbetsprestationen när dagsljus inte längre finns att tillgå i rummet.

E-LDP steg 4

Baserat på de analyser som gjorts i steg 1 i LDP och information om brukaren från steg 2 och utifrån den ljusdesign som genomförts i steg 3 görs de tekniska val som utformningen av belysningsanläggningen vilar på.

Forma mot mörkerförhållanden

Ljuskälla och dimensionering planeras in först mot mörkerförhållanden och sen mot gryende dagsljus eller dagsljus kvar i rummet. Dimensioneringen associeras till antal armaturer, sen styrsystem. Sist görs armaturval. Anläggningen beskrivs och det föreskrivs var i rummet solavskärmning, armaturer och styrsystem placeras. Slutgiltigt görs en underhållsplan som beskriver rengöring av armaturer samt intervall för ljuskälla/ armaturbyte.

E-LDP, anpassning till rum av olika storlek

Kontorslandskap och cellkontor har olika djup. Grundprinciperna kan tillämpas i alla rum men de rum som är djupa och saknar väl fungerande öppningar för dagsljus behöver mer inre kompletterande belysning än rum med kortare djup och bra öppningar för dagsljus.

Kompletterande belysning ökar utnyttjande graden av dagsljus

I alla typer av rum är målet att med hjälp av den inre belysningen på ett trivsamt sätt ljusa upp väggarna i de inre delarna av rummet. Detta kommer att fördröja att belysningen i taket går på. Den belysning som placerats i de inre delarna av rummet, samverkar med den som finns i taket och de används samtidigt för att göra hela rummet ljust vid behov.

E-LDP, anpassning till föränderlig spektralkvalitet, tidpunkt och tidsperiod

För att härma dagsljuset krävs att den emitterade strålningen om inte i detalj så åtminstone grovt och så långt rimlig teknik idag medger, följer solljusets föränderliga spektralkvalitet under dagen, och kopplas till ljuset på platsen där brukaren bor.

E-LDP, förlänga dagen

Att utöka dagens längd för att den under höst och vinter mer ska påminna om sommaren görs med en förstärkning av morgonen och förlängning av eftermiddagen med hjälp av den lågt placerade inre belysningen och med beroende på tidpunkt antingen belysning kallad aktiv vägg eller vilsam vägg. När den inre belysningen inte räcker till kopplas även anläggningen i taket in.

E-LDP som process

Anläggningen som utformats i projekt ”Modell för optimerad energieffektivitet i belysningsanläggningar för cellkontor och kontorslandskap” är utformat med systematisk ljusanalys och med användandet av energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) utvecklad i detta projekt.

E-LDP, initialt steg, steg 1-4 samt avslutande steg

Initialt steg- uppdaterad teori om utformning av energieffektiv belysning.

- Steg 1- analyser av rummet och dagsljuset i rummet.
- Steg 2- analyser av brukarens behov av allmänljus och platsljus i arbetsmiljön.
- Steg 3- design av dagsljuset och den kompletterande belysningen, dess synkronisering och samverkan med rummets kontrastsituation.
- Steg 4- utformandet av den tekniska delen av belysningsanläggningen baserat på information från steg 1 och 2 samt design från steg 3 och genomförd i den ordning som föreskrivs, ljuskälla först, sen styrsystem och sist armaturval och utveckling av underhållsplan.

Avslutande steg i processen

Avslutande steg- Belysningen utvärderas vad gäller måluppfyllelsen för trivsamt rumsutformning, stöd för dygnsrytmen och individuell upplevelse av visuell komfort samt uppskattad användning av el- energi under året och antal dagar kompletterande belysning kommer att behövas under året.

Övergripande beskrivning av ljusdesignprocess för energieffektiv belysning

Den övergripande beskrivningen av stegen i E-LDP är kortfattat beskriven. Men att genomföra dessa 4 steg kräver kunskap i analyser av rum, brukarens behov av allmänljus och platsbelysning, design och i formandet av den tekniska applikationen samt teknikval.

Synkronisering av dagsljus och kompletterande belysning samt inbyggd flexibilitet i anläggningen

I ljusanalysen i E-LDP genereras ett underlag för synkronisering av dagsljuset med den kompletterande belysningen i rummet för maximal energieffektivitet. Samtidigt bedöms i E-LDP ljusbehovet för den okända eller kända brukaren vilket leder till goda resultat vad gäller mål för visuell komfort, ljusrelaterad hälsa, naturvård och energieffektivitet.

Flexibilitet möter verklighetens föränderlighet i dagsljus

Metoden innebär att en anläggning planeras för att med stor flexibilitet möta verklighetens ständigt föränderliga ljusförhållanden och upprätthålla lägsta trivselnivå istället för att utvecklas mot en fiktiv teoretisk statisk situation med förutbestämda ljusnivåer som saknar koppling till rummets kontrastsituation under dagen eller interna eller externa ljusheter i synfältet när man vistas i rummet.

E-LDP innebär användandet av dagsljus så mycket som möjligt

Användandet av E-LDP innebär att dagsljuset utnyttjas fullt ut och energieffektiva ljuskällor används så lite som möjligt vilket ger brukaren ett bra stöd psykologiskt, fysiologiskt och visuellt från dagsljuset och psykologiskt och visuellt från den kompletterande belysningen. Utöver detta finns platsbelysning utformad för att fungera väl för brukaren.

Bredstrålande väggarmaturer

Genom att som en första åtgärd, tända bredstrålande armaturer, placerade på vägg motstående mot fönstret i de inre delar av rummet som blir mörka tidigt under den senare delen av dagen, fylls dagsljuset i med hjälp av kompletterande belysning. Detta sker i de delar i rummet där kompletterande belysning behövs och på ett sätt som skapar ett levande rum. Belysningen i taket slås på vid behov under dagen men behövs i första hand när allt dagsljus är borta. Belysningen i taket tillsammans med den inre belysningen skapar en visuell upplevelse, av ett helt rum.

Väggarmaturer ökar användandet av dagsljuset

Användningen av armaturer på väggen motstående mot fönstret ökar antalet timmar som dagsljus används som allmänbelysning med bara en marginell användning av kompletterande belysning. När dagsljuset inte längre räcker till för att ge en trivsam ljushet på väggarna i de inre delarna av rummet, kompletteras det enbart på ett sätt som gör väggarna i de inre delarna av rummet ljusare. Kombinationen inre belysning och ljus från taket skapar ett levande och trivsamt rum.

Minskad användning av takbelysningen

Med en mindre komplettering på väggarna i de inre delarna av rummet är dagsljus under en stor del av året fullt tillräcklig utan att anläggningen i taket används. Den stora anläggningen i taket som gör hela rummet ljus används när de kompletterande armaturerna i de inre delarna av rummet inte räcker till att ge stöd för trivsamhet och säker visuell orientering i hela rummet.

Systematisk ljusanalys

I E-LDP används systematisk ljusanalys för att få information om rummet och brukaren (individuellt och generellt). Detta behövs som underlag för att kunna forma en anläggning som är stödjande för brukaren och har optimerad energieffektivitet och samtidigt minimal negativ påverkan på natur och ekosystem. Analyserna har mycket hög detaljeringsgrad och genomförandet kräver träning. Ingen teknisk utrustning kan ersätta den tränade designerns ljusanalys. På samma sätt gäller det att med stor detaljrikedom analysera brukarens behov av allmänljus och platsbelysning och att kunna översätta dessa analyser till detaljerad teknisk kunskap.

3.10. Utformning av mål för design av en ljusmiljö som ger god rumsutformning, ljusrelaterad hälsa, visuell komfort och energieffektivitet

Metoden för att uppnå målet god rumsutformning i studien var att använda steg 1, 2 och 3 och 4 i E-LDP.

Mål god rumsutformning: I steg 1 analyserades rummet vad gäller dagsljus och rummets färger. I steg två analyserades brukarnas behov av belysning för trivsel och visuell synprestation. I steg 3 genomfördes designen av dagsljusets uppträdande i rummet (avskärmning) och formades en synkronisering av dagsljus och den kompletterande belysningen. Belysning utformades för rummet när inget dagsljus fanns och när dagsljusnivån gick under kritiska värden. Genom att designen av dagsljus och den kompletterande belysningen utformades baserat på information om rummet och brukares generella behov av ljus i rummet, skapades en god rumsutformning.

Mål ljusrelaterad hälsa: När dagsljus prioriterades och den kompletterande belysningen utformades för att härma dagsljuset skapades en belysning som stödjer brukarens dygnsrytm och därmed ljusrelaterade hälsa.

Mål energieffektivitet: När dagsljus användes fullt ut och när kompletterande belysning, utformad med en energieffektiv ljuskälla, användes så lite som möjligt, användes ett mycket begränsat antal timmar av kompletterande belysning.

3.11. Modeller till grund för potentialberäkningar

Se Appendix D för information.

3.12. Uppbyggnaden av grundprinciper för energieffektiv belysning för kontor och cellkontor

De metoder som använts för att bygga upp grundprinciper för energieffektiv belysning hämtas ur den ämnesutveckling som genomförts av Anders Liljefors (1999, 2010). Grundprinciperna baseras på att hantera de verkliga ljusförhållandena i en byggnad med fönster och utifrån hur dagsljus uppträder i ett rum.

3.13. Om litteraturstudien

Litteraturstudien har genomförts via nätet och biblioteket på Chalmers utifrån begreppet energieffektiv belysning. Litteraturstudien har kompletterats med systematisk ljusanalys i praktisk applikation och ”common knowledge” i Ljusdesign baserad på Belysningslära/ Belysningsvetenskap.

3.14. Mätmetoder

För mätning av fotonflöden användes en kalibrerad Hagners V-lambda filtrerad screenmaster med extern mätcell för mätning av Luxnivåer. Denna ersattes senare med en kalibrerad Hagners V-lambda filtrerad Luxmätare modell EC1.

Luxmätning på vägg

Mätningen genomfördes genom att Luxmätaren placerades på mätpunkterna. Mätningen genomfördes rakt framför mätpunkterna och på en armlängds avstånd på vägg 184 cm upp från golv (mätningen utfördes av en person som är 172 cm lång).

Luxmätning på golv och i fönsternisch

På golvpunkterna mättes nivåerna med Luxmätaren liggande på golvet och genom att datainsamlaren klev ett stort steg bakåt och avläste värdet stående rak i ryggen.

Luminansmätning på vägg

Luminanserna mättes genom att Screenmastern riktades på 1,5 m avstånd från väggen mot mätpunkterna. Mätpunkten fixerades och Luminansmätaren förflyttades åt höger för att mätpunkten skulle komma ur mätarens sikte. Mätpunkten är därför ca 5 cm åt höger från mätpunkten för att inte påverkas av den ljusa färg som mätpunkterna har för att synas mot den vita väggen.

Luminanser på fönsterbräda

Luminanser på fönsterbräda invändigt i rummet mättes genom att Screenmastern hölls upp över mätpunkten på en meters höjd och på en armlängds avstånd från fönstret. Värdet låstes fast och avlästes i efterhand.

4. Resultat

4.1. Forskningsfråga 1

Hur användes, begränsades, kompletterades och synkroniserades dagsljus och kompletterande belysning i rummet i studien under året?

Forskningsfråga 1 delfråga 1.

Hur många timmar ger dagsljuset för mycket, tillräckligt eller för lite allmänljus i lokalen utifrån i studien fördefinierade värden?

Allmänljuset mättes i det studerade rummet 2 gånger varje månad med undantag för januari där bara en mätning genomfördes beroende på tidskrävande förberedelser för start av projektet.

För mycket dagsljus: För mycket dagsljus i rummet uppstod inte under någon av de 253 uppmätta timmarna. Bländning konstaterades under 10/253 timmar under 4 av de 23 mät dagarna.

- 27.5 uppmättes bländning 12.00- 14.00=2.
- 29.6 uppmättes bländning 10.00- 12.00=2, 14.00- 15.00=1.
- 30.6 uppmättes bländning 13.00- 14.00=1.
- 31.7 uppmättes bländning 10.00- 14.00=4.

Bländningen uppstod i de nedre delarna av fönsternischen. Den var tillfällig, kom plötsligt, försvann lika plötsligt, förflyttades snabbt, mildrades av moln som for förbi. 1 meter från fönstren släppte bländningsupplevelsen helt.

Tillräckligt: Dagsljus var tillräckligt som enda allmänljus i 190/253 tim. under de 23 mät dagarna.

För lite allmänljus: Dagsljuset behövde kompletteras under 63 timmar av 253 timmar under de 23 mät dagarna.

Resultat, belysningstekniska mätdata jan- dec

Under mät dagarna mellan 8.00- 13.00 under 2013 uppmättes en användning av 19/253 timmar kompletterande inre belysning på morgonen. Aktiv vägg användes som komplettering till det befintliga allmänljuset från dagsljus med 1,05W/m².

Under mät dagarna mellan 8- 13.00 under 2013 uppmättes en användning av 6/253 timmar kompletterande belysning från taket. Vilsamt tak användes som komplettering till det befintliga allmänljuset från dagsljus med 2,96W/m²

Under mät dagarna mellan 13- 19.00 under 2013 uppmättes en användning av 44/253 timmar kompletterande inre belysning på eftermiddagen. Vilsam vägg användes som komplettering till det befintliga allmänljuset från dagsljus med 4,66W/m².

Under mät dagarna mellan 13- 19.00 under 2013 uppmättes en användning av 36/253 timmar kompletterande belysning från taket. Vilsamt tak användes som komplettering till det befintliga allmänljuset från dagsljus med 2,96 W/m².

Brukarens platsbelysning åtskild från allmänljuset

Brukarens platsbelysning är åtskild från allmänljuset och inte inräknad i energianvändningen initialt. Platsbelysningens energianvändning adderades i efterhand och bygger på en uppskattning.

Medelanvändning av W/m² per mät dag

Med låg energitillförsel förstärktes rummets dagsljus, men bara under den tid det behövdes och endast i de delar av rummet som behovet uppstod. Under mät dagarna behövde dagsljuset och allmänbelysningen endast energikompletteras med 0,45W/m²& h. Uppskattas och inkluderas även behovet av platsbelysning, blir motsvarande siffra ca 0,55Watt/m²& h.

Vädret avgör medelanvändningen för belysning

Exakt behov av elenergi för belysning hänger samman med om himlen är klar eller om moln finns på himlen under de dagar och tider rummet används under året. Antal brukare i rummet och deras behov av platsbelysning är en annan okänd faktor som gör att det är svårt att bedöma det exakta behovet av elenergi för driften av anläggningen i studien. Energiberäkningar baserade på studien räknar på tre arbetsplatser i det rum där studien genomfördes.

Mönster för synkronisering av dagsljus och kompletterande belysning, jan- dec.

När mönstret för användning av elenergi under testdagarna studeras finns inget belysningsbehov i detta rum vad gäller allmänljuset mellan 8-19 under de mät dagar som inföll mellan 24 april och 31 augusti under året. Dagsljuset behöver enbart förstärkas på morgonen och eftermiddagen under januari, februari, mars, september, oktober, november. Under mät dagarna i december behövdes inre kompletterande belysning i 22/ 22 timmar och den inre belysningen kompletterades med belysning från taket under 15/ 22 timmar.

Inre belysning räcker långt

Det är ofta tillräckligt med den inre väggbelysningen i detta rum. När den inre väggbelysningen inte räcker till används belysningen i taket. Allmänljusets ljusnivå medgav goda synprestationer på arbetsbordet utan användning av platsbelysning. Synprestationen utvärderades av projektledaren vars synprestation definierats av optiker.

Brukarens platsbelysning styrs mot visuell komfort

Brukaren har via sin platsbelysning tillgång till den ljusnivå som är visuellt komfortabel för tillfället på arbetsytan. Goda förutsättningar för dagsljus, en visuellt komfortabel väggfärg och synkroniseringen mellan dagsljus och kompletterande belysning bidrar till visuell komfort och att antal timmar som kompletterande belysning används under mät dagarna, är lågt.

Manuell övre och undre gräns för ljusnivå

En övre gräns för ljusnivå i rummet behövs inte i det rum som användes i studien. Däremot behövs under några få timmar avskärmning av infallande sol och dagsljus på ytor i anslutning till de tre fönstren. Hur bländande det infallande sol och dagsljuset är beror på brukarens känslighet för att betrakta belysta ytor men också på hur solen står, samt av grad av molnighet.

Bländning temporär under året

Bländningen var inte konstant utan temporär, den förflyttades och mildrades av moln som drog förbi. Bländningsupplevelsen släppte ca en meter från fönstret. I projektet har teoretiskt planerats in kromatiska fönster som styrs av systemet och brukaren. Systemet bevakar nivån 15 000 Lux i fönsternischen. När nivån stiger över 15 000 Lux aktiveras de kromatiska fönstren. Avskärmningen i fönstren begärs av brukaren för två timmar och måste sen begäras igen. Som ett enklare alternativ fungerar vita gardiner i två lager.

Undre gräns för ljusnivå

En undre gräns för när behov finns att koppla på kompletterande belysning för trivsel och säker visuell orientering sätts för detta rum om dagsljuset inte tillför 40 (30-50) Lux i vertikal belysningsstyrka på vägg (184 cm över golv).

Ljusnivåer anpassade för rummets kontrastsituation

När brukaren har dagsljus i synfältet bevakar systemet att relationstalet 2,5 upprätthålls mellan mätpunkten på fönsterbrädan och mätpunkten på vägg. När relationstalet överskrider går utsignaler till inkoppling av kompletterande belysning relaterat till vissa tidsintervall. Den kompletterande belysningen är utformad för att göra halva respektive hela rummet ljust vid mörkerförhållanden. Den utformas för trivsel och säker visuell orientering och för att passa till kontrastsituationen i rummet.

Manuellt styrd anläggning

I studien kompletterades dagsljuset vid behov manuellt varje mätdag mellan 8-19. Den kompletterande belysningen bestod av en anläggning med tre delar, aktiv vägg (väggarmaturer med ljuskällor med aktiverande spektralkomposition), vilsam vägg (väggarmaturer med ljuskällor som har mer energisvag spektralkomposition) och vilsamt tak (infällda spotlights med ljuskällor med mer energisvag spektralkomposition).

Tekniska systemet bygger på visuell utvärdering

Utifrån de värden som samlades under 2013 definierades ljusnivåer som för låga, höga och lämpliga för rummets kontrastsituation. Utifrån dessa data utformades brytvärden och relationstal för det tekniska systemet.

För mycket dagsljus som allmänljus

Inte vid något mättillfälle under året var nivån på dagsljuset i rummet på en för hög nivå. Den bländning som noterades i rummet var koncentrerad till fönstrets nisch, fönsterstolpe och fön-

terbräda. Bländningen var tillfällig, uppstod under några timmar vid klart och soligt väder, mildrades av moln som drog förbi på himlen, förflyttades snabbt och uppmättes endast under 10 timmar och på 4/ 23 mättdagar under årets månader.

Upplevelsen av bländning varierar mellan brukare

Hur bländningen påverkar brukaren varierar stort mellan individer varför en manuell avskärmning av två tunna lager tyg var tillräcklig som lämplig avskärmning i rummet i studien. Kromatiska fönster behövs i lägen som är mer utsatta för direkt sol än vad som var fallet i studien.

Tillräckligt med dagsljus för allmänljus

Under de två provdagarna i månaden mättes ljuset under 253 timmar. Dagsljuset räckte ensamt som allmänbelysning mellan 8.00- 19.00 på provdagarna i 4/ 11 timmar för januari (en mätning på 11 timmar), 16/ 22 timmar för februari, 19/ 22 timmar för mars, 22/ 22 timmar för april, 22/ 22 timmar för maj, 22/ 22 timmar för juni, 22/ 22 timmar för juli, 22/ 22 timmar för augusti, 17/ 22 timmar för september, 14/ 22 timmar för oktober, 10/ 22 timmar för november, 0/ 22 timmar för december. Av 253 uppmätta timmar räckte dagsljus som enda allmänljus i 190/ 253 timmar.

För lite dagsljus som allmänljus och komplettering med aktiv vägg

Dagsljus kompletterades med aktiv vägg under de två provdagarna i månaden mellan 8.00- 19.00 i 2/ 11 timmar för mättdagarna i januari (en mätning på 11 timmar), 0/ 22 timmar för mättdagarna i februari, 0/ 22 timmar för mättdagarna i mars, 0/ 22 timmar för mättdagarna i april, 0/ 22 timmar för mättdagarna i maj, 0/ 22 timmar för mättdagarna i juni, 0/ 22 timmar för mättdagarna i juli, 0/ 22 timmar för mättdagarna i augusti, 2/ 22 timmar för mättdagarna i september, 3/ 22 timmar för mättdagarna i oktober, 2/ 22 timmar för mättdagarna i november, 10/ 22 timmar för mättdagarna i december. Av totalt uppmätt 253 timmar användes aktiv vägg i 19 timmar. Behovet av kompletterande belysning var i rummet i studien lägre på morgonen än på eftermiddag och kväll.

För lite dagsljus som allmänljus och komplettering med vilsam vägg

Dagsljuset kompletterades med vilsam vägg under de två provdagarna i månaden mellan 8. 00- 19. 00 i 5/10 timmar för januari (en mätning på 11 timmar), 6/ 22 timmar för februari, 3/ 22 timmar för mars, 0/ 22 timmar för april, 0/ 22 timmar för maj, 0/ 22 timmar för juni, 0/ 22 timmar för juli, 0/ 22 timmar för augusti, 3/ 22 timmar för september, 5/ 22 timmar för oktober, 10/ 22 timmar för november, 12/ 22 timmar för december. Av totalt uppmätt 253 timmar användes vilsam vägg i 44 timmar.

För lite dagsljus som allmänljus komplettering med vilsamt tak

Dagsljuset kompletterades med vilsamt tak under de två provdagarna i månaden mellan 8.00- 19. 00 i 3/11 timmar för januari (en mätning på 11 timmar), 6/ 22 timmar för februari, 2/ 22 timmar för mars, 0/ 22 timmar för april, 0/ 22 timmar för maj, 0/ 22 timmar för juni, 0/ 22 timmar för juli, 0/ 22 timmar för augusti, 3/ 22 timmar för september, 5/ 22 timmar för oktober, 8/ 22 tim-

mar för november, 15/ 22 timmar för december. Av totalt uppmätt 253 timmar användes vilsamt tak 42 timmar.

För lite dagsljus som allmänljus komplettering med aktiv vägg och vilsamt tak

Dagsljustet kompletterades samtidigt med aktiv vägg och vilsamt tak under de två provdagarna i månaden mellan 8.00- 13.00 i 0/ 11 timmar för januari (en mätning 11 timmar), 0/ 22 timmar för februari, 0/ 22 timmar för mars, 0/ 22 timmar för april, 0/ 22 timmar för maj, 0/ 22 timmar för juni, 0/ 22 timmar för juli, 0/ 22 timmar för augusti, 0/ 22 timmar för september, 1/ 22 timmar för oktober, 0/ 22 timmar för november, 5/ 22 timmar för december. Av totalt uppmätt 253 timmar användes aktiv vägg tillsammans med vilsamt tak i 6 timmar.

För lite dagsljus som allmänljus komplettering med vilsam vägg och vilsamt tak

Dagsljustet kompletterades med vilsam vägg och vilsamt tak under de två provdagarna i månaden mellan 13.00- 19.00 i 3/ 11 timmar för januari (en mätning 11 timmar), 6/ 22 timmar för februari, 2/ 22 timmar för mars, 0/ 22 timmar för april, 0/ 22 timmar för maj, 0/ 20 timmar för juni, 0/ 22 timmar för juli, 0/ 22 timmar för augusti, 3/ 22 timmar för september, 4/ 22 timmar för oktober, 8/ 22 timmar för november, 10/ 22 timmar för december. Av totalt uppmätt 253 timmar användes vilsam vägg tillsammans med vilsamt tak i 36 timmar.

4.2. Forskningsfråga 1 delfråga 2.

Hur många timmar behövs ett till dagsljustet kompletterande allmänljus under ett år och hur såg behovet ut?

Under de 23 dagarna i mätexemplet behövdes kompletterande belysning under 63 av 253 timmar. I mätexemplet antas årsarbetstiden respektive antalet arbetstimmar då kontoret är bemannat schablonmässigt uppgå till 226 arbetsdagar x 11 arbetstimmar = 2486 timmar/år.

Under de 23 mätdagarna spridda över året har mätobservationer av dagsljustet gjorts 10 ggr/dag, varje heltimme dagligen mellan 8-18. Dessa använd som indata för dagsljuskomplettering under den totala arbetstiden mellan 8-19 på 11 timmar dvs. de 11 styrperioderna.

- En förstärkning jan-dec mellan 8-13 med ett aktivt fotonflöde (aktiv vägg) behövdes i 6/253timmar.
- En förstärkning mellan 13-19 med ett vilsamt fotonflöde (vilsam vägg) behövdes i 44/253 timmar.
- En förstärkning mellan 8-13 med ett vilsamt fotonflöde (vilsamt tak) behövdes i 6/253 timmar.
- En förstärkning mellan 13-19 med ett vilsamt fotonflöde (vilsamt tak) behövdes i 36/253 timmar.
- En förstärkning samtidigt mellan 8.00- 13.00 med aktiv vägg och vilsamt tak behövdes i 6/253 timmar.

- En förstärkning samtidigt mellan 13-19 med vilsam vägg och vilsamt tak behövdes i 36/253 timmar.

4.3. Forskningsfråga 1 delfråga 3.

När ger dagsljuset i rummet under året upphov till störande ljusa ytor i rummet under mät dagarna mellan klockan 8.00- 19.00?

Under 4 av 23 mätdagar under året gav dagsljuset upphov till störande bländning. Bländningen var kortvarig, mildrades av moln som drog förbi och förflyttades med solen. Bländningsupplevelsen var påtaglig inom ca en meter från fönstret, men släppte sen helt.

Av totalt 253 uppmätta timmar visar belysningstekniska mätvärden på höga nivåer enbart i fönstret och under totalt 10 timmar den 27.5, 29.6, 30.6 och 31.7. Bländningsupplevelsen uppträdde inte på mät dagarna före eller efter dessa datum.

Tabell. 2. Översikt av uppmätt bländning i rummet i studien (se appendix B)

27.5							
12.00	Lux	16500	20400	19800	19500	20100	19900
12.00	Cd/m2						
13.00	Lux	18100	17000	18500	17900	19800	19600
	Cd/m2						
14.00	Lux	37900	64900	61000	55700	34900	19000
14.00	Cd/m2	15600	16500	16740	14790	16820	14970
29.6							
10.00	Lux	17750	58700	17250	59600	62600	33900
10.00	Cd/m2						
11.00	Lux	69600	70700	66800	66300	73400	68500
11.00	Cd/m2						
14.00	Lux	13840	11900	14300	12300	14600	18900
14.00	Cd/m2	12010	4560	4150	13100	4370	9820
30.6							
13.00	Lux	73300	70400	70100	67200	69300	75300
13.00	Cd/m2	19400	18900	18500	17000	18600	20000
31.7							
10.00	Lux	39600	43400	42200	43300	42700	48200
10.00	Cd/m2	15320	15740	15090	15130	15700	16790
11.00	Lux	50500	52300	45200	50300	45900	55300
11.00	Cd/m2	1954	2380	1525	1580	3890	6780
12.00	Lux	48500	54800	50600	52500	52000	54300
12.00	Cd/m2	18750	18830	19340	18100	17280	19220
13.00	Lux	49200	53100	51900	49100	49900	8200
13.00	Cd/m2	16300	19280	18470	18000	18720	19680

4.4. Forskningsfråga 1 delfråga 4.

När övergår dagsljuset i rummet till att bli otrivsamt och vara på en för låg nivå under mätågarna mellan klockan 8.00 -19.00?

Upplevelsen av ljusnivå är relativ. Den nivå som upplevs som otrivsam är relaterad till de ljusnivåer som kan ses i synfältet. När ljusnivån i rummet utvärderats som för låg har den kompletterande belysningen lagts till. Otrivsamt var ljuset strax innan dessa värden. För exakta värde se tabell 3. Det framgår av tabell 3 och 4 att upplevelsen av ett otrivsamt ljus är beroende av de ljusnivåer som kan ses i synfältet.

Tabell 3. Horisontell och vertikal belysningsstyrka efter ev. kvarvarande dagsljus kompletterats med belysning

Datum	Tid	Horisontell belysningsstyrka Lux fönsterbräda (högsta av 3 uppmätta värden)	Vertikal belysningsstyrka 184 cm från golv Högsta uppmätta värde
31.1	8	125	60
31.1	14	780	160
1.2	16	44	40
27.2	16	1154	430
26.3	17	957	462
25.9	8	290	112
25.9	17	842	152
30.9	8	475	181
30.9	18	148	205
24.10	8	502	198
24.10	17	247	191
25.10	8	291	140
25.10	16	766	308
27.11	8	48	8
27.11	14	572	145
16.12	8	84	127
17.12	8	51	112

Tabell 4. Översikt av när ljusnivån i rummet upplevs som otrivsam och inte längre stödjer en god synprestation (se Appendix B)

		Åt g.	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp	Mp
LUX			1 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
31.1 8.00	O		13	18	13	10	12	18	15	12	15	18	13	12	15	107	16	117	15	125	12
31.1 8.00	E K	AV	38	47	24	23	30	62	70	37	40	51	58	37	33	155	45	143	42	168	33
31.1 14.00	O		118	12 8	10 6	76	11 1	15 1	16 0	13 0	66	65	17 1	13 0	74	780	10 2	556	82	730	74
31.1 14.00	E K	VV	111	13 0	95	66	80	23 5	46 3	11 7	98	74	12 3	11 1	17 9	528	10 1	461	60	551	75
31.1 15.00	O		87	92	78	52	68	10 5	11 2	94	46	38	10 9	90	53	685	79	517	82	658	69
31.1 15.00	E K	VV	116	33	11 6	73	86	12 6	20 8	11 7	86	87	10 2	11 2	83	46	10 2	389	93	488	73
16.00	L		12	14	11	8	10	13	14	11	6	8	10	11	60	60	9	50	9	62	8
31.1 16.00	E K	VV VT	31	50	49	27	27	48	13 5	35	44	45	50	44	45	73	56	73	53	73	42
31.1	E	VV	27	36	35	17	17	32	14	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29

17.00	K	VT							2												
31.1 18.00	E K	VV VT	27	36	35	17	17	32	14 2	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29
1.2 16.00	O		22	25	20	15	21	31	39	34	17	21	23	25	13	90	15	65	13	92	11
1.2 16.00	E K	VV VT	31	41	40	24	19	41	52 0	45	71	42	45	36	42	37	50	44	44	39	34
1.2 17.00	E K	VV VT	31	41	40	24	19	41	52 0	45	71	42	45	36	42	37	50	44	44	39	34
1.2 18.00	E K	VV VT	31	41	40	24	19	41	52 0	45	71	42	45	36	42	37	50	44	44	39	34
27.2 16.00	O		459	38 6	26 6	18 8	27 0	29 7	35 1	38 8	34 7	16 3	22 2	36 0	20 5	128 5	22 1	109 9	21 5	121 3	20 9
27.2 16.00	E K	VV VT	430	38 0	29 0	21 9	22 6	28 1	35 4	41 6	33 3	26 7	33 2	41 8	42 8	101 0	23 7	107 8	20 2	115 4	20 2
27.2 17.00	E K	VV VT	49	63	42	34	48	75	11 7	73	65	62	80	72	58	144	69	134	65	143	54
27.2 18.00	E K	VV VT	28	36	14	18	15	60	64	25	44	39	43	36	37	33	42	37	43	33	37
26.3 17.00	O		324	40 1	29 5	23 4	33 0	41 4	41 4	36 9	25 3	29 1	37 1	33 6	18 9	109 3	23 1	104 5	22 2	104 3	94
26.3 17.00	E K	VV VT	318	35 5	31 6	22 7	31 5	40 0	46 2	34 6	26 2	26 8	33 0	30 9	18 8	890	23 6	884	22 6	957	19 6
26.3 18.00	E K	VV VT	89	10 8	85	63	78	11 5	17 1	96	86	79	10 3	89	67	250	85	254	80	242	67
29.3 18.00	O		57	62	46	33	45	58	61	52	37	45	59	55	31	255	35	263	34	263	29
29.3 18.00	E K	VV	45	67	57	28	37	57	12 3	49	62	60	65	56	48	159	57	167	53	181	44
25.9 8.00	L		29	22	16	13	16	19	27	25	17	19	28	23	10	176	11	163	11	163	8
25.9 8.00	E K	AV	43	42	37	22	26	49	11 2	39	49	51	48	37	33	242	43	194	51	290	42
25.9 17.00	O		81	69	47	39	52	74	87	78	64	69	97	87	39	502	43	481	44	535	37
25.9 17.00	E K	VV VT	126	11 5	98	71	85	12 4	13 3	12 0	10 8	12 4	15 2	12 7	78	705	95	741	10 3	842	88
25.9 18.00	E K	VV VT	82	77	68	46	45	81	13 0	74	79	89	77	54	40	423	33	382	76	434	62
30.9 8.00	O		44	38	26	23	30	42	47	45	33	35	47	43	20	318	26	310	27	336	21
30.9 8.00	E K	AV	78	73	58	42	52	18 1	15 5	76	80	82	82	75	58	453	69	444	69	475	56
30.9 18.00	L		26	26	28	17	22	29	41	39	29	29	32	26	15	188	15	174	15	184	14
30.9 18.00	E K	VV VT	57	60	55	38	35	20 5	12 9	66	77	64	50	53	48	140	62	141	69	148	49
24.10 8.00	O		52	75	56	45	68	74	64	56	39	46	48	46	25	258	32	253	33	257	31
24.10 8.00	E K	AV VT	126	16 1	13 6	12 3	14 9	25 4	19 8	16 7	16 0	14 5	13 4	10 7	82	455	06	448	11 0	502	89
24.10 9.00	O		344	58 8	31 6	22 0	29 6	17 3	13 4	11 3	88	10 8	11 5	12 9	59	724	70	645	70	731	68
24.10 9.00	E K	AV	173	32 6	24 0	23 4	33 0	40 9	37 1	31 4	27 3	35 2	41 2	35 1	16 0	902	17 7	905	18 0	994	15 7
24.10 17.00	L		53	62	44	39	53	74	87	81	54	73	52	72	29	294	33	243	35	282	29
24.10 17.00	E K	VV VT	76	81	71	53	67	19 1	13 1	11 2	11 6	11 2	10 6	79	51	247	76	205	75	243	61
24.10 18.00	E K	VV VT	34	35	45	25	24	40	90	33	39	57	44	28	39	34	50	36	48	34	37
25.10 8.00	O		42	70	56	49	62	90	82	65	44	48	47	39	25	205	29	204	34	229	27
25.10	E	AV	72	10	90	73	10	20	14	12	13	11	93	63	60	265	71	262	82	291	59

8.00	K			3			2	6	0	3	4	2									
25.10 16.00	O		224 6	19 9	16 3	12 4	17 5	24 2	29 0	27 3	20 8	25 7	24 5	32 2	12 3	834	16 1	766	11 0	832	95
25.10 16.00	E K	VV	224	19 7	16 1	12 0	16 3	23 2	28 5	27 2	22 4	30 5	30 8	29 1	13 8	704	14 3	725	13 8	766	12 5
25.10 17.00	E K	VV VT	60	59	64	39	43	66	93	78	76	87	80	56	49	151	62	143	65	149	47
25.10 18.00	E K	VV VT	38	37	46	26	24	42	63	37	58	66	46	30	39	33	53	39	51	37	39
27.11 8.00	L		5	3	4	4	5	6	8	7	6	7	7	5	3	43	4	42	3	48	4
27.11 8.00	E K	AV	86	12 8	11 0	11 1	14 1	19 3	23 8	12 3	15 0	12 2	10 8	97	73	284	93	281	94	310	82
27.11 14.00	O		98	96	78	64	78	10 7	13 2	13 2	10 0	11 7	14 5	10 6	57	572	59	547	49	556	47
27.11 14.00	E K	VV	89	96	88	58	75	11 3	16 0	14 4	13 2	16 3	15 0	99	69	427	93	415	82	404	60
27.11 15.00	E K	VV VT	39	47	51	31	25	43	50	37	46	60	60	39	41	44	51	46	71	43	40
28.11 8.00	L		18	32	23	20	35	38	32	26	16	20	22	14	8	63	12	63	9	72	16
28.11 8.00	E K	AV	48	68	69	59	58	17 1	88	77	91	81	61	40	44	116	54	117	56	132	50
28.11 14.00	O		35	35	31	22	33	42	43	40	28	31	45	34	19	280	25	271	25	280	21
28.11 14.00	E K	VV	51	53	44	34	37	59	63	54	51	69	69	49	39	220	57	215	48	221	50
28.11 15.00 Dec	E K	VV VT	36	46	39	29	28	39	51	43	54	56	38	31	35	56	55	59	46	57	36
16.12 8.00	L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16.12 8.00	E K	AV VT	45	40	67	49	27	16 2	62	46	92	54	43	38	57	27	45	27	46	25	56
17.12 8.00	L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17.12 8.00	E K	AV VT	35	40	36	26	26	11 2	67	47	81	60	41	29	41	35	51	40	50	36	37

4.5. Forskningsfråga 1 delfråga 5.

Vilket översta och understa värde ska belysningen omfatta för att fungera väl med rummets kontrastsituation och när ljusnivån relateras till ljusheten i ytor nära fönstret?

I det rum som användes i studien blev allmänljusnivån aldrig så hög att den behövde sänkas trots väst- söderläge. En övre gräns för ljusnivå i rummet behövs därför inte i detta rum. Däremot behövs avskärmning av infallande sol och dagsljus på ytor i anslutning till fönstren under några få timmar på året.

Hur bländande det infallande sol och dagsljuset är beror på hur solen står. Bländningen är inte konstant utan temporär, den förflyttas och mildras av moln som drar förbi. Bländningsupplevelsen släpper ca en meter från fönstret. I projektet har teoretiskt planerats in kromatiska fönster som styrs av brukaren. Som ett enklare alternativ fungerar vita gardiner i två lager.

Mörkerförhållanden råder i rummet när vertikal belysningsstyrka är ≤ 50 Lux på utvald mätpunkt på vägg (184 cm över golv).

Otillräckligt dagsljus råder i rummet och behov finns för att koppla på kompletterande belysning för trivsel och säker visuell orientering i detta rum om dagsljuset inte tillför 500-800 Lux i horisont belysningsstyrka på fönsterbräda och förhållandet mellan belysningsstyrka på vägg och på vald mätpunkt på vägg (184 cm över golv) $\geq 2,5$.

Otillräckligt dagsljus råder i rummet och behov finns för att koppla på kompletterande belysning för trivsel och säker visuell orientering i detta rum om dagsljuset inte tillför 800-1200 Lux i horisont belysningsstyrka på fönsterbräda och förhållandet mellan belysningsstyrka på vägg och på vald mätpunkt på vägg (184 cm över golv) $\geq 2,5$.

Tillräckligt dagsljus råder i rummet och inget behov av kompletterande belysning för trivsel och säker visuell orientering finns i detta rum om dagsljuset tillför ≥ 1200 Lux i horisont belysningsstyrka på fönsterbräda och förhållandet mellan belysningsstyrka på vägg och på vald mätpunkt på vägg (184 cm över golv) $\geq 2,5$.

4.6. Forskningsfråga 1 delfråga 6.

När behövs inre kompletterande belysning i rummet som allmänljus under mättagarna mellan klockan 8.00 -19.00?

Under de 23 mättagarna behövdes inre kompletterande belysning under följande tider. 31.1; 8-10, 14-19. 1.2; 16-19; 27.2; 16-19. 26.3; 17-19. 29.3; 18-19. 24. 4-. 30.4-. 24.5-. 27.5-. 29.6-. 30.6-. 29.7-. 30.7-. 29.8. 31.8-. 25.9; 8-9, 17-19. 30.9; 8-9, 18-19. 24.10; 8-10, 17-19. 25.10; 8-9, 16- 19. 27.11; 8-9, 14-19. 28.11; 8-9, 14-19. 16.12 8-19, 17.12 8-19. Totalt var behovet av kompletterande belysning, under de 23 mättagarna (253 timmar) var 63 timmar.

4.7. Forskningsfråga 1 delfråga 7.

När räcker dagsljus och den inre belysningen inte till under mättagarna och när måste anläggningen i taket gå på och på vilken nivå för att ge ett väl fungerande ljus för städning och arbete under mättagarna mellan klockan 8.00 -19.00?

31.1; 16-19. 1.2; 16-19. 27.2; 16- 19. 26.3; 17- 19. 25.9; 17-19. 30.9; 18-19. 24.10 8-9, 17-19. 25.10 17-19. 27.11; 15-19. 28.11; 15-19. 16.12; 8-10, 17.12 ; 8-11, 15-19. Totalt behövdes takbelysningen under de 23 mättagarna (253 timmar), 42/253 timmar.

4.8. Forskningsfråga 1 delfråga 8.

Hur många timmar under mättagarna mellan klockan 8.00 -19.00 klarar man sej i rummet med enbart dagsljus?

Av 23 mättdagar och totalt 253 timmar räckte dagsljuset som allmänljus i 190 timmar.

4.9. Forskningsfråga 1 delfråga 9.

Hur många timmar under mättagarna mellan klockan 8.00 -19.00 klarar man sej med enbart dagsljus och inre kompletterande belysning som allmänljus?

Av 23 mät dagar och totalt 253 mättimmar räckte dagsljuset och inre kompletterande belysning som allmänljus i 209 timmar.

4.10. Forskningsfråga 1 delfråga 10.

Hur många timmar under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00 behövs anläggningen i taket för att klara lägsta nivån på allmänljusets spann?

Av 23 mät dagar och totalt 253 timmar behövdes takbelysningen som kompletterande allmänljus i 42 timmar.

4.11. Forsknings 1 delfråga 11.

Hur mycket energi användes för allmänljuset under mät dagarna mellan klockan 8.00 -19.00?

När aktiv vägg kompletterade dagsljuset användes 1,05 W/m²&h. När vilsam vägg kompletterade dagsljuset användes 4,66 W/m²&h. När vilsamt tak kompletterade dagsljuset användes 2,96 W/m²&h. När aktiv vägg kombinerades med vilsamt tak användes 4,01 W/m²&h. När vilsam vägg kombinerades med vilsamt tak användes 7,62 W/m²&h.

När anläggningen räknades om till LED

När aktiv vägg kompletterade dagsljuset användes 1,05W/m²&h. När vilsam vägg kompletterade dagsljuset användes 1,05W/m²&h. När vilsamt tak kompletterade dagsljuset användes 1 W/m²&h. När aktiv vägg kombinerades med vilsamt tak användes 2,05 W/m²&h. När vilsam vägg kombinerades med vilsamt tak användes också 2,05 W/m²&h.

Tabell 5. Energiförbrukning januari till december 2013 verklig anläggning.

Mättilfälle		Aktiv vägg LED 56,7W/h 1,05W/kvm	Vilsam vägg HALOGEN 252W/h 4,66W/kvm	Vilsamt tak HALOGEN 160W/h 2,96W/kvm	Timmar för kompletterande belysning
1	31.1	8- 10=2*	14-19=5 *	16-19=3*	7
2	1.2	-	16-19=3*	16-19=3*	3
3.	27.2	-	16-19=3*	16-19=3*	3
4	26.3	-	17-19=2 *	17 -19=2*	2
5	29.3	-	18-19=1 tim	-	1
6	24.4	-	-	-	
7	30.4	-	-	-	
8	24.5	-	-	-	
9	27.5	-	-	-	
10	29.6	-	-	-	
11	30.6	-	-	-	
12	29.7	-	-	-	
13	30.7	-	-	-	
14	29.8	-	-	-	
15	31.8	-	-	-	
16	25.9	8-9=1*	17-19=2*	17-19=2*	3
17	30.9	8-9=1*	18-19=1*	18-19=1*	2
18	24.10	8 - 10=2*	17-19=2*	8-9=1*, 17-19=2*	4
19	25.10	8-9=1*	16-19=3*	17-19=2*	4
20	27.11	8-9=1*	14-19=5*	15-19=4 *	6
21	28.11	8-9=1*	14.19=5*	15-19=4*	6
22	16.12	8 till13=5 *	13- 19= 6*	8 -10=2* 13 till 19 = 6 *	11
23	17.12	8 till 13=5*	13-19=6*	8-11=3* 15-19=4	11
		19	44	42	63
		1077, 3 Wh	11088Wh	6720Wh	18885,3Wh

*Perioder om 60 min.

Under tiden januari och fram till slutet av mars var behovet av kompletterande belysning för allmänljus koncentrerat till en kort stund på morgonen och en något längre stund på eftermiddagen.

Behov av belysning upphör mellan april-september i rummet i studien

Från januari till slutet av mars sjönk behovet av kompletterande belysning för att helt upphöra mellan början april-slutet september. I oktober behövdes återigen belysning en kort stund på morgonen och en något längre stund på eftermiddagen. I november ökade behovet av belysning och i december behövdes belysning under mät dagarna varje timme mellan 8-19.

Belysning behövs för att hantera mörker och skillnader i ljushet på ytor i synfältet

Mätdata visar att behovet av kompletterande belysning på eftermiddagen inte enbart beror på att man passerar nivå för trivsel och säker visuell orientering utan den initieras också av skillnaderna i ljusnivå utanför fönstret och den i rummet. Belysning behövs därför på eftermiddagen för att kompensera att dagsljusnivåerna kan vara höga ute och att det kan göra att dagsljusnivåerna inne upplevs som låga trots att mätdata visar att de är höga.

Alternativa ljuskällebestyckningar prövas mot studiens ljusdata

I studien användes ljuskällor med långvågig strålning. Idag finns inte LED med den spektralkomposition som behövdes i studien. Utifrån data från studien kan alternativa bestyckningar prövas.

Tabell 6. Energiförbrukning januari till december 2013 omräknad till LED i hela anläggningen.

Mättillfälle		Aktiv vägg LED 56,7W/h 1,05W/m ²	Vilsam vägg* LED 56,7W/h 1,05W/m ²	Vilsamt tak* LED 60W/h 1 W/kvm	Timmar för kompletterande belysning
1	31.1	8-9=2tim	14-17=5tim	16-19=3tim	7
2	1.2	-	16-19=3tim	16-19=3tim	3
3.	27.2	-	16-19=3tim	16-19=3tim	3
4	26.3	-	17-19=2 tim	17-19=2tim	2
5	29.3	-	18-19=1tim	-	1
6	24.4	-	-	-	0
7	30.4	-	-	-	0
8	24.5	-	-	-	0
9	27.5	-	-	-	0
10	29.6	-	-	-	0
11	30.6	-	-	-	0
12	29.7	-	-	-	0
13	30.7	-	-	-	0
14	29.8	-	-	-	0
15	31.8	-	-	-	0
16	25.9	8-9=1tim	17-19=2tim	17-19=2tim	3
17	30.9	8-9=1tim	18-19=1tim	18-19=1tim	2
18	24.10	8-9=2tim	17-19=2tim	8-9=1 tim 17-19=2tim	4
19	25.10	8-9=1tim	16-19=3tim	17-19=2tim	4
20	27.11	8-9=1tim	14-19=5tim	15-19=4tim	6
21	28.11	8-9=1tim	14-19=5tim	15-19=4tim	6
22	16.12	8 till 13=5 tim	13-19=6 tim	8-10=2 13 till 19 =6 tim	11
23	17.12	8 till 13=5 tim	13-19=6 tim	8-11=3 tim 15-19=4 tim	11
		19	44	42	63
		1077,3Wh	2494,8Wh	2520Wh	60921,1Wh

*Baseras på omräkning från halogen till LED

4.12. Forskningsfråga 1 delfråga 12.

Om modellen i studien utformad manuellt med E-LDP jämförs med andra anläggningar beräknade med D-LDP baserade på samma rumsförhållanden vilka energibesparingspotentialer indikeras då.

Tabell 7. Översiktmatris – Indikerade potentialer energibesparing

Översikt simuleringsmodeller För förklaring se tabell 8 nedan		Energi – parametrar			Indikerad potential energibesparing			Måluppfyllelse Brukarkriterier <i>Hög, Medium, Låg</i>				
Typmodell		Använd medeleffekt på 54 m ² i ex, inkl ev PBs (W)	Medeffektanvändning/m ² Mörkerförhåll. (W/ m ²)	Kompl. belysn./mätperiod Timmar (h) (23dgr x 11h)*	Energianvändn. vid dagsljusförhållanden (W/ m ² ,h)	Energibesparing jämfört med referensalternativ	Energieffektivitet i ggr vs referensalternativ F1	Trivsamt rum	Psykologiskt brukarstöd	Fysiologiskt brukarstöd	Visuellt brukarstöd	Energieffektivitet
F 1	Äldre typkontor ofta plan.f 2000 Referensalt.STIL2 Energimynd.	881	-	-	12,4	100 %	1					
F2a	Kontor plan.e 2011 500/500 LED	528	9,8	253	9,8	- 21 %	1,3	M	M	L	M	L
F2b	Kontor plan.e 2011 500/250 LED	394	7,3	253	7,3	- 41 %	1,7	M	M	L	M	L
F3	Kontor plan.e 2011,100 Väg LED	231	4,3	253	4,3	- 65 %	2,9	L	L	L	L	M
FDa	Kontor plan.e 2011 500/250 LED Dagsljusstyrn m 500/250 Lux	409	7,57	99	2,96	- 76 %	4,2	M	M	L	M	M
FDb	Kontor, planerat e 2011 LED Dagsljusstyrn m 200 Lux Väg	435	8,06	77	2,45	- 80 %	5,1	M	M	L	M	L
DLL m	Kontor plan m E-LDP LED/LED Specialfall Mörker 40 Lux Väg	132	2,44	253	2,44	- 80 %	5,1					
DLH	Kontor plan m E-LDP, LED/Halog. Dagsljusstyrning m 40 Lux Väg	427	7,91	63	1,97	- 84 %	6,3	H	H	H	H	H
DLL	Kontor plan m E-LDP LED/LED Dagsljusstyrning 40 lux	132	2,44	63	0,61	- 95 %	20,3	H	H	H	H	H
(DLL n)	Kontor plan m E-LDP LED/LED, Dagsljusstyrn 40 Lux; Närvarosensor antas ge -10 %	118	2,2	57	0,55	- 96 %	22,5	H	H	H	H	H
PBs	Enbart platsbelysning	15	0,28	86	0,1	- 99 %	124	X	x	x	H	H

F= Fördefinierat värde; FD= Fördef. värde & Dagsljusstyrning.; D = Dagsljuskvot och fördef. värde trivselnivå

PBs = Platsbelysning separat, 3 x Max 31 W)Av brukaren dimbar 0-2600 Lux, Snittvärde 400 lux (5W), användning under 35 % v tiden (0,1W/m², h) samt autoavstängning efter 2h antas

* = Mätperioden är 23 dagar x 11 h =253 h vilket på årsbasis ger 226 arbetsdagar x11h =2486 h dvs ngt högre än energimyndighetens medelvärde för kontor på 2200h/år

Mer information finns i Appendix D.

Tabell 8. Förklaring av typfall för ljusplanering i Tab7 ovan, Std SS-EN-12464-1

F= Fördefinierat värde; FD= Fördefinierat värde & Dagsljusstyrning; D = Dagsljuskvot & fördef. trivselnivå

Simulerad ljusplanering / Förklaring av typfall		Kommentarer till styrkriterier	Planeringsmodell och beräkningsmetoder
F1	Äldre typkontor, antas oftast planerade före 2000 Referensalternativ	Storrum, kontorslandskap (dvs ej individuellt kontorsrum) Resultat från Energimyndighetens STIL2 projekt -Energien i våra lokaler (sid11) 2010. Siffror avser 2005 (aktuellare saknas)Belysningsanläggningarna. bör kunna antas vara ca 5 – 35 år. Kontorsrum har ofta en installerad effekt nära 20W/m ² enl. Energimynd.	Givet värde ur STIL2
F2a	Kontor, planerat e 2011 mot 500/500 Lux, LED 80 lm/W	500 Lux antas gälla 100 % av ytan i bordsplan Ger golvvärde > 200 Lux Platsbelysning integrerad	D-LDP Enbart dimensionerad för fördefinierade värden.
F2b	Kontor, planerat e 2011 mot 500/250 Lux, LED 80 lm/W	500 Lux på arbetsytan (50 % av rumsytan) 200 Lux på golv/övriga ytor (50 % av rumsytan)Ger golvvärde > 200 Lux Platsbelysning integrerad	D-LDP Enbart dimensionerad för fördefinierade värden
F 3	Kontor, planerat e 2011 mot 100 Lux vägg LED 80 lm/W	Styrd mot 100 Lux på vägg (100 % av rumsytan) Ger 208 Lux på bord/arbetsyta Ger golvvärde > 200 Lux Individuellt dimbar platsbelysning (0 - 2600 Lux)	D-LDP Enbart dimensionerad för fördefinierade värden
FDa	Kontor, planerat e 2011 mot 500/250 Lux LED 80 lm/W Dagsljusstyrning Ej närvarosensor, pga. indifferent mellan alternativ	500 Lux på arbetsytan (50 % av rumsytan) 200 Lux på golv utanf. arb.yta (50 % av rumsytan). Anläggning slås på när arbetsyta < 500 Lux och behålls efter påslag. Ger golvvärde > 200 Lux. Slås anläggning på används den under resten av dagen. Individuellt dimbar platsbelysning (0 - 2600 Lux).	D-LDP Dimensionerad för dagsljusstyrning och fördefinierade värden
FDb	Kontor, planerat efter 2011 mot 200 Lux vägg; LED 80 lm/W Dagsljusstyrning Ej närvaro sensor, pga. indifferent mellan alternativ	Styrd mot 200 Lux på vägg 184 cm ö golv (50 % av rumsytan)Ger 416 Lux på bord/arbetsyta (50 % av rumsytan) Anläggning slås på när vägg < 200 Lux på vägg; behålls efter påslag Individuellt dimbar platsbelysning (0 - 2600 Lux)	D-LDP Dimensionerad för dagsljusstyrning och fördefinierade värden
DLL m	Dito DLL, men specialfall mörker	Speglar anl. Mörkerenergi effektivitet m E-LDP kriterier	0 h Dagsljus ger 253 h mörker
DLH	Kontor plan. m E-LDP LED/Halog Dagsljuskvot & fördef. värde f trivsel Dagsljus och kompl. belysning stegvis upptändning och styrning mot lägsta trivselnivå 40 (30-50) Lux för säker visuell orientering över hela golvytan Dagsljus + LED ger aktiverande ljus dagtid. Halogen under em/kväll f avkopplande. Belysning	Allmänbelysning styrs i detta fall manuellt mot en trivselnivå ca 40 (30-50) Lux på vägg vid mörkerförhållanden, Denna nivå motsvarar säkerhetsnivån för normaleende dvs. att normal text 12p på vitt papper kan lätt läsas utan platsbelysning. Inre kompletterande belysning kompenserar det sjunkande dagsljuset. Förövrigt är nivån det dagsljuset ger. Individuellt dimbar platsbelysning (0 - 2600 Lux). Lägsta nivå för trivsel bevakas.	E-LDP Manuell planering mot lägsta trivselnivå. Styrts av faktiska mätvärden Automatisk dagsljuskvot mot dagsljuskvot
DLL (DLLn)	Kontor plan m E- LDP LED/LED Dito ovan men m samtliga armaturer bestyckade med LED Dagsljuskvot & fördef. värde för trivsel.	Dito fall 6 ovan men LED Individuellt dimbar platsbelysning (0 - 2600 Lux). (DLL n specialfall med närvarosensor)	E-LDP Manuell dito ovan D2 omräknad till LED (Närvarosensor antas spara 10 %)
PB	Platsbelysning enbart Specialfall och referensalternativ	3st x Max 31 W, Av brukaren dimbara 0-2600 Lux, Snittvärde 400 lux (5W) 35 % v tiden (0,1W/m ² , h), Autoavstängning efter 2h antas	Kan ses om specialfallet att all allmänbelysning är släckt

Mer information finns i Appendix D.

Tabell 9. Tabellförklaring av brukarens måluppfyllelse i Tabell 7 ovan

Brukarkriterier	Måluppfyllelse – Brukarkriterier ljusdesign H = Hög, M = Medium, L = Låg	
	Trivsamt rum	H
L		Dagsljusbelyst rum med kompletterande belysning som inte följer dagsljusets nivåer, kompletterar på ett sätt som inte beskriver rummet på ett trivsamt sätt.
Psykologiskt brukarstöd	H	Dagsljus och kompletterande belysning bidrar till att rummet är trivsamt att vistas i.
	L	Dagsljus och/ eller kompletterande belysning bidrar inte till att rummet är trivsamt att vistas i.
Fysiologiskt Brukarstöd	H	Brukaren vistas i dagsljus så långt rummets dagsljussituation tillåter. Brukaren har en kompletterande aktiv belysning på morgonen vid behov och en avkopplande kompletterande belysning kvällstid vid behov. Den kompletterande belysningen följer dagsljusets nivåer och har en spektralkomposition som grovt ansluter till dagsljusets förändring under dagen
	L	Den kompletterande belysningen används för att upprätthålla ett fördefinierat belysningstekniskt värde. Brukaren har en kompletterande belysning som fungerar aktiverande. Den kompletterande belysningen följer inte dagsljusets nivåer och har inte en spektralkomposition som ansluter till dagsljusets förändring under dagen.
Visuellt brukarstöd	H	Dagsljuset har avskärmning för att inte bidra till visuell diskomfort. Dagsljus och kompletterande belysning utformat i kontakt med rummets kontrastsituation. Brukaren har ett brett spann för ljusnivå på platsljuset och är omgiven av ett allmänljus som ofta är på en lägre nivå än den som är på arbetsytan.
	L	Dagsljuset saknar avskärmning och riskerar att bidra till visuell diskomfort. Dagsljus och kompletterande belysning inte utformat i kontakt med rummets kontrastsituation Brukaren har begränsat spann för ljusnivå på platsbelysningen och är hela tiden omgiven av ett allmänljus på ett högre/lika hög ljusnivå som på arbetsbordet
Energieffektivitet	H	Energieffektivitet utifrån det <u>både</u> planering och användning av modern ljus teknik ger.
	L	Energieffektivitet utan planering och utifrån det som byte till modern ljuskälleteknik ger.

Mer information i appendix D.

Förklaring till utvärdering av måluppfyllelse

Utvärderingen är gjord såväl utifrån en önskad högre måluppfyllelse för brukarna som utifrån ett önskvärt framtidsperspektiv med avseende på utvecklad planeringsmetodik och teknikutveckling.

F1

- *Medium- trivsamt*: Inte planerat för att fungera väl mot rummets kontrastsituation eller variera i ljusnivå under dagen.

- *Medium- psykologiskt brukarstöd:* Statiskt. Inte planerat mot trivselnivå, eller för att upprätthålla vakenhet och avkoppling.
- *Lågt- fysiologiskt stöd:* Statiskt. Inte planerat för att vara dygnsrytmstödjande.
- *Lågt -visuellt brukarstöd:* Antas inte vara individanpassat med brett spann för platsbelysning.
- *Låg- Energieffektivitet:* Äldre teknik, upprätthåller fördefinierat värde på nivå över lägsta nivå för trivsamt och säker visuell orientering.

F2a

- *Medium- trivsamt rum:* Inte planerat för att fungera väl mot rummets kontrastsituation eller variera i ljusnivå under dagen.
- *Medium- psykologiskt brukarstöd:* Statiskt. Inte planerat mot trivselnivå, eller för att upprätthålla vakenhet och avkoppling.
- *Lågt-fysiologiskt stöd:* Statiskt. Inte planerat dygnsrytmstödjande.
- *Lågt- visuellt brukarstöd:* Antas inte vara individanpassat med brett spann för platsbelysning.
- *Medium- energieffektivitet:* Modern ljus teknik. Upprätthåller fördefinierat värde på nivå över lägsta nivå för trivsamt och säker visuell orientering.

F2b

- *Medium- trivsamt rum:* Inte planerat för att fungera väl mot rummets kontrastsituation eller variera i ljusnivå under dagen.
- *Medium- psykologiskt brukarstöd:* Statiskt. Inte planerat mot trivselnivå, eller för att upprätthålla vakenhet och avkoppling.
- *Lågt- fysiologiskt stöd:* Statiskt. Inte planerat dygnsrytmstödjande.
- *Lågt- visuellt brukarstöd:* Antas inte vara individanpassat med brett spann för platsbelysning.
- *Medium- energieffektivitet:* Modern ljus teknik. Upprätthåller fördefinierat värde på nivå över lägsta nivå för trivsamt och säker visuell orientering.

F3

- *Medium- trivsamt rum:* Statiskt. Inte planerat mot trivselnivå, eller för att upprätthålla vakenhet och avkoppling.
- *Medium- psykologiskt brukarstöd:* Statiskt. Inte planerat för att ge trivsel, vakenhet och avkoppling.
- *Medium- fysiologiskt stöd:* Statiskt. Inte planerat dygnsrytmstödjande.
- *Medium- visuellt brukarstöd:* Antas inte vara individanpassat med brett spann för platsbelysning.

- *Medium- energieffektivitet:* Modern teknik. Upprätthåller fördefinierat värde på nivå över lägsta nivå för trivsamhet och säker visuell orientering.

FDa

- *Medium- trivsamt rum:* Inte planerat för att fungera väl mot rummets kontrastsituation eller variera i ljusnivå under dagen.
- *Medium- psykologiskt brukarstöd:* Statiskt. Inte planerat mot trivselnivå, eller för att upprätthålla vakenhet och avkoppling.
- *Lågt- fysiologiskt stöd:* Statiskt. Inte planerat dygnsrytmstödjande.
- *Medium- visuellt brukarstöd:* Antas inte vara individanpassat med brett spann för platsbelysning.
- *Medium- energieffektivitet:* Modern teknik. Upprätthåller fördefinierat värde på nivå över lägsta nivå för trivsamhet och säker visuell orientering.

FDb

- *Medium- trivsamt rum:* Statiskt. Inte planerat mot trivselnivå, eller för att upprätthålla vakenhet och avkoppling.
- *Medium- psykologiskt brukarstöd:* Statiskt. Inte planerat för att ge trivsel, vakenhet och avkoppling.
- *Lågt- fysiologiskt stöd:* Statiskt. Inte planerat dygnsrytmstödjande.
- *Medium- visuellt brukarstöd:* Antas inte vara individanpassat med brett spann för platsbelysning.
- *Medium- energieffektivitet:* Modern teknik. Upprätthåller fördefinierat värde på nivå över lägsta nivå för trivsamhet och säker visuell orientering.

DLH

- *Högt- trivsamt rum:* Planerat för att fungera väl mot rummets kontrastsituation och variera i ljusnivå under dagen.
- *Högt- psykologiskt brukarstöd:* Statiskt. Planerat för att ge trivsel, vakenhet och avkoppling.
- *Högt- fysiologiskt stöd:* Planerat dygnsrytmstödjande.
- *Högt- visuellt brukarstöd:* Individanpassat med brett spann för platsbelysning.
- *Högt-Energieffektivitet:* Modern ljus teknik och nyutveckling av teknikanvändning. Upprätthåller fördefinierat värde på nivå på lägsta nivå för trivsamhet och säker visuell orientering.

DLL

- *Högt- trivsamt rum:* Planerat för att fungera väl mot rummets kontrastsituation och variera i ljusnivå under dagen.
- *Högt- psykologiskt brukarstöd:* Planerat för att ge trivsel, vakenhet och avkoppling.
- *Högt- fysiologiskt stöd:* Planerat dygnsrytmsstödjande.
- *Högt visuellt brukarstöd:* Individanpassat med brett spann för platsbelysning.
- *Högt-energieffektivitet:* Modern ljusteknik och nyutveckling. Upprätthåller fördefinierat värde på nivå på lägsta nivå för trivsamhet och säker visuell orientering.

4.13. Forskningsfråga 2.

Hur såg måluppfyllelsen ut för den modell som utformades i studien utifrån energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) vad gäller ett trivsamt rum, psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) stöd till brukaren och för energieffektivitet i rummet under året. Hur kan processen beskrivas och jämföras med andra teoretiska modeller styrda mot alternativa mål och utformade med datorbaserad ljusdesignprocess (D-LDP)?

När måluppfyllelsen relateras till interaktionen mellan människa, ljus, färg och rum (MLFR), kan samband lyftas fram som är väl fungerande eller inte fungerar bra. Utifrån analysen av sambanden värderas måluppfyllelsen.

- **Människa:** Brukaren är utgångspunkten för utformning av belysning. En ställföreträdande brukare (belysningsplaneraren) formar ett spann för högsta och lägsta allmänljusnivå anpassad till rummets kontrastsituation. Solavskärmning förhindrar att ytor i anslutning till fönstret blir störande för brukaren. Platsbelysningen utformas för att fungera väl för brukare som föredrar låga respektive höga ljusnivåer och för att inte ur någon vinkel störa andra brukare som ev. sitter i närheten.
- **Ljus:** Dagsljus utformas för allmänljus och för att ha en välfungerande relation mellan brukaren och rummets kontrastsituation under dagen och under året. Kompletterande belysning utformas för att följa dagsljuset under dagen och fylla i när dagsljuset inte längre klarar att upprätthålla trivsellsnivån i rummet. Trivselnivån är den nivå som gör att väggarna inte upplevs som otrivsamt lågt belysta. Trivsellsnivån ligger strax ovan för säker visuell orientering. Platsbelysning utformas med breda spann för att ligga nära brukarens behov.
- **Färg:** Rummets ytfärger och ytmaterial står på grund av solens förflyttning på himlen och förändrade spektralkvalitet under dagen i ständig föränderlig interaktion med dagsljuset och transmission, absorption och reflektion (TAR). Beroende på om den kompletterande belysningen används tillsammans med dagsljus och utformas för att användas statiskt eller dynamiskt och om ljusnivåer eller spektralkvaliten varierar står den kompletterande belysningen i antingen statiskt eller dynamiskt förhållande till TAR. För att skapa goda

samband mellan ytfärg, ytmaterial och dagsljus samt kompletterande belysning, kan dimensioneringen av dagsljus och kompletterande belysning behöva justeras mot befintlig färg alternativt ytmaterial. På samma sätt kan ytfärg eller ytmaterial förändras mot att bättre hantera höga respektive låga nivåer av dagsljus eller kompletterande belysning.

- Rum: Rummets väggar, öppningar för dagsljus, ytfärger och ytmaterial bildar sammantaget den rumsliga helhet som ger interaktionen människa, ljus färg och rum (MLFR) sina förutsättningar. Rummet kan utformas för att bidra till en väl fungerande interaktion mellan människa, ljus, färg och rum (MLFR) eller vara så utformat att det försvårar interaktionen.

Definitioner måluppfyllelse för rummets trivsamt

- **Hög måluppfyllelse:** Dagsljusbelyst rum med kompletterande belysning som följer dagsljusets nivåer i rummet och kompletterar med en låg ljusnivå som lyfter fram rummet på ett beskrivande och trivsamt sätt.
- **Låg måluppfyllelse:** Dagsljusbelyst rum med kompletterande belysning som inte följer dagsljusets nivåer, kompletterar dagsljuset på en nivå som inte beskriver rummet på ett trivsamt sätt.

Definitioner måluppfyllelse brukarstöd psykologiskt

- **Hög måluppfyllelse:** Dagsljus och kompletterande belysning bidrar till att rummet är trivsamt att vistas i.
- **Låg måluppfyllelse:** Dagsljus och/ eller kompletterande belysning bidrar inte till att rummet är trivsamt att vistas i.
- **Hög måluppfyllelse:** Dagsljus och kompletterande belysning bidrar till att brukaren upplever god vakenhet på morgonen och under dagen och känner vila på eftermiddagen, kvällen.
- **Låg måluppfyllelse:** Dagsljus och kompletterande belysning bidrar inte till att brukaren upplever god vakenhet på morgonen och under dagen eller känner vila på eftermiddagen, kvällen.

Definitioner måluppfyllelse brukarstöd fysiologiskt

- **Hög måluppfyllelse:**
- Brukaren vistas i dagsljus så långt rummets dagsljussituation tillåter.
- Brukaren har en kompletterande aktiv belysning på morgonen vid behov och en avkopplande kompletterande belysning kvällstid, vid behov.

- Den kompletterande belysningen följer dagsljusets nivåer och har en spektralkomposition som grovt ansluter till dagsljusets förändring under dagen.
- Låg måluppfyllelse:
- Den kompletterande belysningen används för att upprätthålla ett fördefinierat belysnings-tekniskt värde.
- Den kompletterande belysningen följer inte dagsljusets nivåer och har inte en spektral-komposition som ansluter till dagsljusets förändring under dagen.

Definitioner måluppfyllelse brukarstöd visuellt

- **Hög måluppfyllelse:**
- Dagsljuset har avskärmning för att bidra till upplevelsen av visuell komfort.
- Dagsljus och kompletterande belysning är utformat i kontakt med rummets kontrastsituation.
- Brukaren har ett brett spann för ljusnivå på platsljuset och är omgiven av ett allmänljus ofta på lägre nivå än den som är på arbetsytan.
- **Låg måluppfyllelse:**
- Dagsljuset saknar avskärmning och riskerar att bidra till visuell diskomfort.
- Dagsljus och kompletterande belysning är inte utformat i kontakt med rummets kontrast-situation.
- Brukaren har begränsat spann för ljusnivå på platsbelysningen och är ofta omgiven av ett allmänljus på en högre/likå hög ljusnivå som på arbetsbordet.

4.14. Forskningsfråga 2 delfråga 1.

Hur utformades allmänljuset med den kompletterande belysningen så att det utöver att ge stöd för den utvalda synprestationen samtidigt skapade ljusa och trivsamma väggar, god vakenhet på dagen och avkoppling på eftermiddagen?

Belysningsanläggningen i studien formades med dagsljus som grund. När dagsljusnivåerna gick ner i de inre delarna av rummet tändes den lågt placerade, inre kompletterande belysningen. Storytiga bredstrålande armaturer spred sitt ljus på väggarna och gjorde den inre delen av rummet ljus på ett levande och estetiskt tilltalande sätt.

Aktiverande och vilsam spektralkomposition

Mellan 8-13 användes en aktiverande spektralkomposition på kompletterande belysning och mellan 13-19 en spektralkomposition som hade större andel långvågig strålning. När den inre belysningen inte längre räckte till kompletterades den med takbelysningen för att ge en jämnare belysning och höja nivåerna något. Samtliga delar av systemet med undantag för aktiv vägg (väggar-

maturer med väckande spektralkomposition) utformades för att fungera mot mörkerförhållanden ute, den tid då belysning behövs vilket till största delen är morgon och kväll samt natt i ett rum med goda dagsljusförhållanden. Enbart under mätdagarna i december behövdes belysning hela dagen.

4.15. Forskningsfråga 2 delfråga 2.

Hur såg måluppfyllelsen ut för visuell komfort för brukare under mätdagarna mellan klockan 8.00 -19.00?

Måluppfyllelsen avgörs ytterst av brukaren individuellt. Det rum som studien genomfördes i, har en specialkomponerad färg som är mycket behaglig att betrakta, även vid höga ljusnivåer.

Bländning

Ljusa ytor i rummet bedömdes enbart vara skarpa att betrakta i fönsternischen (se värden för bländning i appendix B) under 4 av 23 mät dagar. Dels 27.5 kl. 12-15. Bländning uppstod även 29.6 kl. 10-12, 14-15. Samt 30.6 kl. 13-14 och 31.7 kl. 10-14. Under totalt 10 timmar under mät dagarna under året uppstod bländning i fönsternischen, men inte förövrigt i rummet.

Måluppfyllelse för visuell komfort

Måluppfyllelsen för visuell komfort i allmänljuset får ses som stor eftersom ljusnivåerna balanse-rades manuellt under året för maximal visuell komfort (se mätdata från året och utvärderingar i Appendix a-d). Förutsättningar för att uppleva visuell komfort i allmänljuset när man vistas i rummet bedöms som mycket goda.

Brukaren och platsbelysningen

Vad gäller platsbelysningen krävs att brukaren anpassar ljusnivån mot dagsljuset och mot egen preferens för ljusnivå för att uppleva visuell komfort. Tekniskt finns förutsättningar för detta inplanerat. Brukaren har inplanerat tillgång till en egen platsarmatur med ett brett spann för ljus-nivå (0-2000 Lux). Ytterst är det varje brukare som utvärderar förutsättningarna för goda synpre-stationer. Med hjälp av synkronisering av dagsljus och kompletterande belysning skapades goda förutsättningar för visuell synprestation i hela rummet. Förutsättningar för att uppleva visuell komfort i användandet av en platsbelysning som ger ett brett spann för ljusnivå på bordet, be-döms som mycket goda.

Synprestation jan – dec.

Dagsljuset räckte enligt mätdata för att en normalseende kunde göra goda synprestationer på arbetsytan och i hela lokalen under en stor del av året från slutet av mars till slutet av oktober. När dagsljuset inte räckte till för att kunna göra en väl fungerande synprestation användes den inre kompletterande belysningen. Slutligen slogs taket på när den inre kompletterande belysning-en inte ensamt klarade att skapa upplevelsen visuellt av ett helt och trivsamt rum och ge stöd för goda synprestationer. Synprestationen testades med att en normalseende person (försöksledaren)

läste text i 12 punkter på vitt papper i bordshöjd över 9 testpunkter på golvet utan platsarmatur. Synprestationen var möjlig att göra under varje mätdag och varje mättimme under projektet.

4.16. Forskningsfråga 2 delfråga 3.

Vilken effekt bedöms användandet av kompletterande belysning ha på ljusrelaterad folkhälsa?

När brukaren vistas i rummet står han/hon i övervägande utsträckning i kontakt med rent dagsljus och får därmed möjlighet att följa dagsljusets rytm i stigande nivåer på morgonen/ förmiddagen och sjunkande ljusnivåer på eftermiddagen.

Fördelar med kompletterande belysning

Genom att använda kompletterande belysning i de inre delarna i rummet vistas brukaren under längre tid i kontakt med dagsljus enbart med en marginell komplettering av ett artificiellt emitterat fotonflöde, vilket ger stöd för en väl fungerande dygnsrytm.

Dygnsrytmstödjande belysning

Genom att ha en aktiv och en mer vilsam del av anläggningen som grovt följer dagsljusets spektralkomposition och rytm, förstärks den dygnsrytmsstödjande effekten som den kompletterande belysningen ger.

Fördelar med sjunkande och ökande ljusnivåer

När platsbelysningen utformas nära individens behov av belysning kommer de som är stressade att kunna vistas i sjunkande ljusnivåer under dagen och de som är mer trötta kan ta stöd i aktiverande ljusnivåer via sin egen platsbelysning.

Ljusrelaterad hälsa

Om detta genomförs konsekvent nationellt kan detta antas ge en positiv inverkan på folkhälsan i landet. Framtida forskning behövs för att verifiera ev. uppnådd effekt.

4.17. Forskningsfråga 2 delfråga 4.

Vilken effekt bedöms användandet av kompletterande belysning ha på upplevelsen av visuell komfort?

Det synes vara en generell preferens att föredra högre ljusnivåer på arbetsbordet i jämförelse med allmänljuset. I en studie på 318 personer (Säter 2011) visade 100 % av fp. att de upplevde en högre ljusnivå på arbetsbordet och visuellt lägre ljusnivåer i allmänljuset som den kombination av platsbelysning och allmänljus som var mest visuellt komfortabel.

Sjunkande ljusnivåer ger upplevelse av visuell komfort

Sjunkande dagsljusnivåer ger varje brukare en möjlighet att finna sin nivå på platsljus som upplevs som visuellt komfortabel. När anläggningen i studien följer dagsljusets sjunkande ljusnivåer skapas goda förutsättningar för upplevelse av visuell komfort.

4.18. Forskningsfråga 2 delfråga 5.

Hur såg måluppfyllelsen ut för ljusrelaterad hälsa under mät dagarna mellan klockan 8.00-19.00?

Eftersom brukaren övervägande vistas i dagsljus är stödet till dygnsrytmen och därmed ljusrelaterad hälsa mycket god. Att användningen av kompletterande belysning är mycket begränsad i tid och nivå är ytterligare skäl till att brukarens dygnsrytm inte störs i någon större utsträckning av belysning som avviker från dagsljus. Användandet av en mer aktiverande kompletterande belysning 8-13 och en mer vilsam 13-19 är ytterligare skäl till att anläggningen har en positiv påverkan på dygnsrytmen och därmed på ljusrelaterad hälsa. I vilken omfattning är en framtida belysningsvetenskaplig forskningsuppgift.

Belysning och ljusrelaterad hälsa

Avslutningsvis är breda spannen på platsbelysningen ytterligare en faktor som utifrån brukarnas olika behov, positivt kan bidra till ljusrelaterad hälsa för de brukare som har lätt att känna visuellt obehag, få migrän eller gruskänsla i ögonen eller lider av andra ljusrelaterade hälsoproblem.

Framtida lösning som möter förändrade villkor för belysning

Den anläggning som utvecklats i projektet visar på hur belysning kan utformas för att samverka med de förändrade villkoren för belysning som gäller sen upptäckten av ipRGC 2000 [Berson, Dunn, Takao, 2001].

Dygnsrytmsstödande belysning

Mätdata från studien visar att det är fullt möjligt att utforma en belysning som kan stödja dygnsrytmen. Den dygnsrytmsstödande belysningen är samtidigt mycket energieffektiv. När vilsam belysning kan utformas med OLED (nanoteknik) kommer den dygnsrytmsstödande belysningen att vara mer energieffektiv än vad som är fallet idag om Halogen används.

Lagar som berör mål för belysning

På Svensk och Europeisk nivå finns lagtexter som anger inriktningen på utformningen av arbetsmiljön. Här är hälsa ett övergripande mål. I Svenska grundlagen finns formulerat att det of-fentliga ska verka för hälsa. Arbetsmiljölagen slår fast att arbetsmiljön ska vara hälsosam för den enskilde arbetstagaren. EC Treaty 137 stipulerar att all offentlig verksamhet ska ha hälsa som mål för att säkerställa att arbetskraften i EU är konkurrenskraftig.

4.19. Forskningsfråga 2 delfråga 6.

Vilken energibesparingspotential har användandet av kompletterande inre belysning, nationellt?

De rum där dagsljus kan användas men inte används maximalt, utnyttjar inte fullt ut sin energibesparingspotential. Det rum som inte fyller i med kompletterande belysning enbart i de delar av rummet där så behövs, utnyttjar inte heller fullt ut sin potential för att spara energi.

Göra det mesta av varje rum vad gäller energi

Genom att använda alla verktyg vad gäller planering och teknik för utformning av energieffektiv belysning i varje enskilt kontorsrum, finns energi att spara. Det mönster av energianvändning som friläggs i studien visar på att kombinationen av att använda belysningsplanering (E-LDP), en inre kompletterande belysning, sjunkande ljusnivåer under dagen och en energieffektiv ljuskälla sammantaget bättre utnyttjar rummets energibesparingspotential.

Vädret påverkar anläggningens energieffektivitet

Ytterst bestäms rummets energieffektivitet av vädret (soltimmar, molnighet), fönsteröppningar, väggfärg, det tekniska systemets utformning och ljuskällans energieffektivitet. Utöver detta bidrar vilket mål anläggningen styrs emot (statisk ljusnivå eller att följa dagsljusets sjunkande nivåer). Genom att använda samtliga möjliga instrument för minskad energianvändning för belysning kommer man mycket längre i energieffektivisering än om enbart som enda åtgärd en mindre energieffektiv ljuskälla byts mot en mer effektiv.

4.20. Forskningsfråga 2 delfråga 7.

Hur kan den LDP som ger en energieffektiv belysningsplanerings process beskrivas och definieras utifrån studiens resultat?

Teori in i processen: Brukaren behöver vistas i det dagsljus som finns på den plats brukaren bor för att upprätthålla en god dygnsrytm. Genom att komplettera dagsljuset först när det går under den lägsta allmänljusnivån i rummet som ger trivsamt och bara till en början i de innersta delarna som först blir otrivsamma släpps de naturliga dagsljusnivåerna under dagen fram.

Trivsamt ljus och säkert

Den otrivsamma allmänljusnivån uppträder i rummet långt innan svårigheter i synprestation uppträder, så den ljusnivå som upplevs som trivsamt garanterar även säker visuell orientering. När den inre kompletterande belysningen inte längre räcker för att upprätthålla en visuellt väl sammanhållen ljusmiljö, tänds taket.

Behov av kompletterande belysning främst morgon och kväll

Kompletterande belysning behövs i första hand en kort stund på morgonen och på eftermiddagen, kvällen varför utformningen bör utgå från mörkerförhållanden och anpassa mot att upplevelsen av ljusnivå är relativ och beror på kontrastsituationen i synfältet. Endast under en kort tid på året (december) behövdes belysning i det rum som användes i studien under samtliga 11 timmar per mättag.

Energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP)

Steg 1: Analysera rummets förutsättningar för att ta in dagsljus. Analysera rummets förutsättningar för transmission, absorption och reflektion (TAR). Undersök var i rummet dagsljuset når och var i rummet kompletterande belysning behövs.

Steg 2: Undersök brukarens behov av avskärmning av dagsljus, hur dagsljuset behöver anpassas till rummets kontrastsituation samt behov av platsbelysning i det specifika rummet.

Steg 3: Designa dagsljuset vad gäller avskärmning och underlätta/öka att dagsljus tas in i rummet. Forma den kompletterande belysningen. Synkronisera dagsljus och kompletterande belysning så att dagsljuset används så mycket som möjligt och kompletterande belysning så lite som möjligt.

Steg 4: Gör de tekniska valen av avskärmning av dagsljus och planera in det belysningstekniska systemet. Välj platsbelysning. Formulera underhållsplan.

Måluppfyllelse: Utvärdera om dagsljus och kompletterande belysning uppfyller de mål som satts ut för anläggningen gällande 1) Trivsamt rum; 2) Brukarstöd PFV; 3) Energieffektivitet.

4.21. Forskningsfråga 2 delfråga 8.

Hur kan energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) som använd leder till hög måluppfyllelse beskrivas.

Ljusdesignprocess för energieffektiv belysning utgår från de verkliga förhållanden för interaktionen människa, ljus färg och rum som råder i ett rum. Med analyser utvärderas rummets förutsättningar för dagsljus och kompletterande belysning i steg 1, brukarens behov av ljus i steg 2, i steg 3 genomförs design av dagsljus och kompletterande belysning, i steg 4 genomförs teknikval, sätts det tekniska systemet samman samt formuleras en underhållsplan.

Teori om måluppfyllelsen

Med hjälp av uppdaterad planeringsteori initialt in i processen om hur man stödjer brukaren psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) och hur man planerar en energieffektiv belysningsanläggning, säkras måluppfyllelsen trivsamt rum, brukarstöd psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) och energieffektivitet. Detta blir en energieffektiv anläggning som är planerad med alla de verktyg som står till buds. Måluppfyllelsen analyseras som ett sista steg i processen.

Teori in i processen: Utgå från de verkliga förhållanden som finns på platsen och använd dagsljus maximalt för allmänljus. Låt dagsljusnivåerna sjunka under dagen och använd så energieffektiva ljuskällor som möjligt och på så låg nivå som möjligt och under så kort tid som möjligt och bara i de delar av rummet där de behövs för att säkra upp en trivsam ljusnivå i hela rummet. Den trivsamma ljusnivån är i projektet utvärderad som att väggarna inte upplevs som gråa på grund av för låg ljusnivå. I projektet var väggarna fortfarande trivsamt ljusa vid (40 (30-50) Lux på vägg. Denna nivå ligger högre än den lägsta säkerhetsnivån definierad i studien, ett trivsamt ljus garanterar därmed säker visuell orientering.

Definition av säkert ljus

Säkert ljus definieras i detta projekt som att allmänljuset är tillräckligt för att en normalseende ska kunna läsa på arbetsytan utan platsbelysning. Synprestationen har gjorts i bordshöjd över 9 mätpunkter på golvet.

E-LDP en beskrivning av processen

Steg 1: Analysera rummets förutsättningar för att ta in dagsljus. Se över material nära fönstret vad gäller bländning. Analysera rummets förutsättningar för transmission, absorption och reflektion (TAR). Utvärdera om förutsättningar för reflektion kan förbättras. Undersök var i rummet dagsljuset når och var i rummet kompletterande belysning behövs.

Steg 2: Undersök brukarens behov av avskärmning av dagsljus, hur dagsljuset behöver anpassas till rummets kontrastsituation samt behov av platsbelysning i det specifika rummet.

Steg 3: Designa dagsljuset vad gäller avskärmning av dagsljus och underlätta att dagsljus tas in i rummet. Forma kompletterande belysning så att så lite kompletterande belysning som möjligt behövs. Forma en del av den inre kompletterande belysningen som aktiverande och en andra del som vilsam. Utforma den anläggning som sitter i taket och som gör hela rummet ljust på ett vilsamt sätt. Gå inte under en trivsam ljusnivå i rummet. Anpassa mot kontrastsituationen i rummet och de ljusheter som finns i synfältet. Ta även in visuell kontakt med det som finns utanför fönstret i översynen av kontrastsituationen. Ge brukarna breda spann för sin platsbelysning på 0- 2000 Lux. Om brukaren är känd gå nära i planeringen mot de individuella valen för att undvika bländning och andra störningar från belysningen i rummet och platsbelysningen.

Steg 4: Gör tekniska val till avskärmning av dagsljus och planera in det belysningstekniska systemet. Bestyck systemet med den mest energieffektiva ljuskälletyp som finns på marknaden, använd vita, bredstrålande, storytiga armaturer för den inre kompletterande belysningen. Optimala styrningen för minimal användning av kompletterande belysning.

Måluppfyllelse:

- 1). Ett trivsamt rum. Utvärdera om planeringen uppfyller krav på att dagsljus och kompletterande belysning är utformat i kontakt med rummets kontrastsituation för att uppnå trivsel (PFV).
- 2). Ett gott stöd för brukaren. Utvärdera om planeringen gjort så att dagsljuset och den kompletterande belysningen synkroniserats med varandra på ett sätt som stödjer och inte istället påfrestar dygnsrytmen (PFV). Utvärdera om planeringen gör det möjligt för brukaren att uppleva vakenhet, vila och visuell komfort vad gäller allmänljus och platsbelysning.
- 3). Uppnådd energieffektivitet. Utvärdera om planeringen använt sig av alla metoder som ger energieffektivitet omfattande att ta in dagsljus i rummet, ha god reflektion från väggarna, format

en anläggning som bara ger ljus där det verkligen behövs, när det behövs och på den nivå som behövs och använder energieffektiva ljuskällor och styrning.

Utveckling av mål förenergibesparande ljusdesignprocess (E-LDP)

En väsentlig del av detta arbete är målformuleringen för psykologiskt, fysiologiskt och visuellt stöd från belysning. Övergripande är följande mål identifierade. Ett trivsamt rum, god vakenhet, stöd för en väl fungerande dygnsrytm och ljusrelaterad hälsa, visuell komfort samt energieffektivitet. Målet kommuniceras i texten kortfattat som god rumsutformning, ljusrelaterad hälsa, visuell komfort och energieffektivitet. Detaljeringsgraden kan ökas för beskrivningen av målet vad gäller rummet, brukaren och psykologiskt, fysiologiskt och visuellt stöd (PFV) likväl som för energieffektivitet. Detta kommer att utvecklas vidare i en ev. fortsättning av projektet.

Möjliga vägar att uppnå energieffektiv belysning

Planeringen:

- Energieffektivitet uppnås genom god belysningsplanering som utgår från rummets unika förutsättningar för dagsljus.
- Genom att separera allmänbelysning och platsbelysning skapas goda förutsättningar för ökad energieffektivitet.
- Allmänbelysningen kan planeras på låg nivå samtidigt som brukaren ges möjlighet att individuellt anpassa platsljuset inom lämpligt intervall.
- Nivån på allmänljuset behöver inte var högre än att det möter brukarnas trivselnivå och möjliggör säker visuell orientering
- När den kompletterande belysningen utformas för att fylla i dagsljuset bara där det behövs i rummet och när det behövs, minimeras användningen av energi.
- Energieffektivitet uppnås även som ett resultat av minskad tid då anläggningen används.

Tekniken:

- Energieffektivitet uppnås genom användning av maximalt effektiva ljuskällor baserade på modern ljus teknik.
- Energibesparing uppnås genom ökad användning av dagsljussensorer.
- Energibesparing uppnås genom närvarodetektering.

Upplevelsen av ljusnivå är beroende av dagsljusnivån vid fönstret

Ljusnivån är beroende av hur mycket dagsljus som finns i synfältet. När allt dagsljus var borta räckte 40 (30-50) Lux uppmätt som vertikal belysningsstyrka på vägg (184 cm ovan golv) för att rummet skulle vara trivsamt rum att vistas i. När dagsljus finns i synfältet behövs en komplettering och är i studien relaterad till infallande dagsljus på fönsterbrädan. Den kompletterande be-

lysningen fyller i med (beroende på relationstal) inre, alternativt inre och takplacerad kompletterande belysning.

Ljusnivåer i relation till dagsljus

Att utforma anläggningar som tar vara på dagsljuset fullt ut, har stor besparingspotential. Att bygga in att den kompletterande belysningen fyller i på morgonen och sjunker bort under dagen och fyller i igen när dagsljuset sjunker i nivå har stor besparingspotential. Dessa åtgärder tillsammans med att upprätthålla den lägsta nivå som ger säker visuell orientering i rummet, kan globalt sett spara stora mängder el-energi.

4.22. Forskningsfråga 2 delfråga 9.

När måluppfyllelsen för ett trivsamt rum, ett gott brukarstöd samt energieffektivitet för den modell som i studien utvecklats med användning av E-LDP, jämförs med andra modeller utvecklade teoretiskt i studien med användning av D-LDP, vad skiljer då modellerna åt.

När datorbaserad ljusdesignprocess (D-LDP) används för att planera en anläggning mot ett fördefinierat värde görs belysning lika för alla brukare och för alla arbetsytor. Skillnaden mellan D-LDP och E-LDP är att D-LDP inte hanterar de verkliga förhållanden som råder i ett rum eller tar individuell hänsyn till de brukare som finns där.

Planeringen utgår från verkliga förhållanden

När E-LDP används för att planera en anläggning utgår man från verkliga förhållanden. Detta gäller rummet, brukarna, och lämplig design av dagsljus och kompletterande belysning. Anläggningen formas mot väl fungerande interaktion och hög måluppfyllelse för trivsel, ljusrelaterad hälsa, visuell komfort och energieffektivitet. När D-LDP med hjälp av LDP steg 4, formar ett tekniskt system som saknar kontakt med rummets kontrastsituation och brukarens sinnen blir måluppfyllelsen för rumsutformning och brukarstöd låg. Genom att använda samtliga 4 steg i LDP höjs måluppfyllelsen för anläggningen.

De fyra stegen i LDP.

- Steg 1, rummet.
- Steg 2, brukaren.
- Steg 3, design av dagsljus och kompletterande belysning
- Steg 4, den tekniska delen av belysningsanläggningen, underhållsplanen.

Jämförelse LDP, D-LDP, BCLDP, E-LDP.

LDP

Ljusdesignprocessen (LDP) består som beskrivits ovan av 4 grundläggande steg. Steg 1 rummet, 2 brukaren, 3 design av dagsljus och kompletterande belysning samt steg 4, utformningen av den tekniska belysningsanläggningen.

D-LDP

Datorbaserad ljusdesignprocess (D-LDP) består av 1 steg och omfattar steg 4 och teknikval för utformningen av den tekniska belysningsanläggningen.

BCLDP

Brukarcentrerad ljusdesign process (BCLDP) startar med ett initialt steg av uppdaterad teori om brukarens behov av ljus och utformning av ljus för brukarstöd. Efter inhämtad teori, följer Steg 1 rummet, 2 brukaren, 3 design av dagsljus och kompletterande belysning samt steg 4 utformningen av den tekniska belysningsanläggningen. Som avslutning följer en noggrann målbeskrivning av vad anläggningen ska uppfylla. Den planerade anläggningen utvärderas utifrån målbeskrivningen.

E-LDP

Energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) startar med inhämtandet av uppdaterad teori om utformning av energieffektiv belysning, går vidare med steg 1 rummet, 2 brukaren, 3 design av dagsljus och kompletterande belysning samt steg 4 utformningen av den tekniska belysningsanläggningen. Som avslutning följer en noggrann målbeskrivning av vad anläggningen ska uppfylla. Den planerade anläggningen utvärderas utifrån målbeskrivningen.

Mål vid formulering av modell för energieffektiv belysningsplanering (E-LDP)

De mål som väglett utformningen av modellen för energieffektiv belysningsplanering är att belysningen ska leda till att:

E-LDP startar med uppdaterad teori om utformning av energieffektiv belysning

- *Rummet*
- Rummet utformas trivsamt

- *Brukaren*
- Brukaren ges en positiv och trivsam rumsupplevelse
- Brukarstödet förbättras psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV).
- Platsbelysningen spelar större roll och brukaren ges större möjligheter att styra den individuellt.

- *Ljusdesign*
- Utnyttjandet av dagsljus maximeras
- Kompletterande belysning synkroniseras mot dagsljus så att soljuset inneboende energi tillvaratas och energiförbrukningen i rummet minimeras. Kompletterande belysning fyller bara i där det behövs och när det behövs och på lägsta trivselnivå (strax över säkerhetsnivå).
- Användartiden minimeras under dagsljusförhållanden

- *Tekniken*
- Tydliga kriterier och styrningsprinciper används för dagsljusstyrning och är baserad på dagsljussensorer.
- Den låga energiförbrukningen hos moderna ljuskällor som LED tillvaratas

Jämförelse E-LDP, D-LDP och BCLDP

När de olika metoderna för planering av belysning jämförs med varandra skiljer sig energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) mot de övriga metoderna genom att starta processen med en genomgång av uppdaterad teori om utformning av energieffektiv belysning samt genom att ha en tydlig målbild för energieffektivisering kopplad till rumsutformning och brukarstöd. Genom att skärpa målbilden av vad anläggningen ska klara finns ett starkt instrument till utveckling av morgondagens mer energieffektiva anläggningar.

Datorbaserad ljusdesignprocess

Datorbaserad ljusdesignprocess (D-LDP) använder bara steg 4 i ljusdesignprocessen (LDP) och utnyttjar inte fullt ut den potential som finns i varje rum för utformning av dagsljus och kompletterande belysning som synkroniseras mot varandra för att ge ett trivsamt rum, ett gott brukarstöd och hög energieffektivitet.

Brukarcentrerad ljusdesignprocess

Brukarcentrerad ljusdesignprocess (BCLDP) formas med användandet av samtliga 4 steg i ljusdesignprocessen (LDP). Med användandet av de 4 stegen följer hög måluppfyllelse på rumsutformning och brukarstöd. BCLDP visar brukaren extra omsorg vilket är viktigt för olika kategorier av sårbara brukare men är inte särskilt inriktat på energieffektivisering.

Jämförelse modeller utformade med E-LDP och D-LDP

När belysningsanläggningen i studien som är utformad utifrån E-LDP jämförs med en anläggning utformad för samma rum men planerad med D-LDP och utgångspunkten är att anläggningen som utformats med D-LDP utgår från en rekommendation om 200 på vägg (184 cm upp från golv) syns tydliga skillnader. Anläggningen utformad med E-LDP baseras på att dagsljuset används fullt ut (på ett sätt som är relaterat till rimlighet vad gäller behov av kylning) och att ljusnivåerna för allmänljuset uppmätt som vertikal belysningsstyrka på vägg sjunker med dagsljusets nivåer under den senare delen av dagen ner mot 40 (30-50) Lux. När anläggningen som kontstanthåller 200 Lux på vägg jämförs med den anläggning som utvecklats i studien, uppskattas anläggningen som formas mot 200 Lux på vägg använda 4 gånger mer energi (se matris D).

Inkoppling av kompletterande belysning

När dagsljuset tillför en horisontell belysningsstyrka på fönsterbrädan på 0-50 Lux, kopplas kompletterande vägg (LV 1-2) och takbelysning (LvT 1-8) in. När dagsljuset tillför en horisontell belysningsstyrka på fönsterbrädan på 50-800 Lux och förhållande till vertikal belysnings-

styrka på vägg är $\geq 2,5$ (mät punkt 3, 184 cm upp från golv), kopplas kompletterande väggbelysning in (antingen LA1-2 eller LV1-2 beroende på tidpunkt på dagen) och takbelysning (T 1-8) in. När dagsljuset tillför en horisontell belysningsstyrka på fönsterbrädan på 800-1200 och förhållandet Lux vertikal belysningsstyrka på vägg (184 cm upp från golv) är $\geq 2,5$ kopplas kompletterande vägg (antingen LA 1-2 eller LV1-2) in. När dagsljuset tillför en horisontell belysningsstyrka på fönsterbrädan större än 1200 Lux behövs ingen kompletterande belysning i detta rum.

Sjunkande ljusnivåer under dagen

Anläggningen i studien fyller i när dagsljusets nivåer sjunker för att säkra upp trivsamt ljusa väggar när dagsljusnivåerna är låga men ljusnivån på ytor nära fönstret fortfarande är ljusa.

Vertikal belysningsstyrka

När dagsljuset sjunker ytterligare och inget dagsljus längre finns som referens räcker 40 (30-50) Lux som vertikal belysningsstyrka på vägg i studien. Detta värde kan sänkas alternativt höjas beroende på rummets kontrastsituation och arbetets art. Dessa nivåer av vertikal belysningsstyrka på vägg upprätthålls med hjälp av dagsljus och kompletterande bredstrålande inre belysning. När dagsljus och inre kompletterande belysning inte räcker till, går taket på.

Brukarens platsbelysning

Brukaren har sin egen platsbelysning. De nivåer som allmänljuset bidrar med på arbetsbordet varierar med dagsljuset och den kompletterande belysningen. Som lägst bidrar den kompletterande vägg och tak belysningen när inget dagsljus finns med ca 40 (30-50) Lux på vägg.

Anläggning dimensionerad för 500 Lux

När en installation görs för att ge 500 Lux på arbetsytan säger det inte så mycket om hur anläggningen används i praktiken. Om anläggningen styrs till att hålla 500 Lux konstant på arbetsytans nivå, och alternativ ljusnivå över hela lokalen förbrukar ”500 Lux anläggningen” mer energi än anläggningen utformad med E-LDP.

Hålla en viss belysningsstyrka över hela ytan

Om ljusnivåerna styrs för att ge konstant 500 Lux och till att ha alternativ ljusnivå för övriga ytor både under dag samt kväll, ökar antalet timmar som den kompletterande belysningen används i jämförelse med den anläggning som är utformad med E-LDP.

Sjunkande allmänljusnivåer

Ju mer anläggningen synkroniseras mot dagsljuset desto färre timmar av kompletterande belysning kommer att förbrukas. När allmänljuset tillåts följa med ner till 40 (30-50) Lux i vertikal belysningsstyrka på vägg på kvällen krävs ingen stor mängd kompletterande belysning.

Separera allmänljuset och platsbelysningen

Att inte blanda samman allmänljuset med platsbelysningen öppnar upp för en bättre synkronisering mellan dagsljus och kompletterande belysning. Framförallt kan man undvika att hålla ett allmänljus som fungerar som platsbelysning på 500 Lux på arbetsytan och i delar av rummet.

Omsorgsfull planering tar tid

Timmar för belysningsrelaterad kylning behöver räknas in i den totala kalkylen av energi användning. Kostnaden för planering likaså. Fler timmar åtgår för omsorgsfull planering. Med tanke på att anläggningar ofta används under 20 år eller mer kan planeringskostnaden väl motiveras med att man får en mer omsorgsfull och energieffektiv belysning och hög måluppfyllelse för ett gott brukarstöd. Ökar energibesparingen för belysning betalar sig kostnaden snabbare.

Jämförbarhet i energianvändning mellan olika planeringsmodeller

Varje rum har sina förutsättningar för energianvändning. Varje timme då anläggningen används i begränsad omfattning bidrar till en minskad energianvändning i lokalen. Det är vanskligt att göra sifferjämförelser mellan anläggningars användning av kompletterande belysning. Ytterst är det hur molnigt det är ute, vald ljusnivå i rummet och vilket behov de individuella brukarna har av platsbelysning som avgör den totala användningen av kompletterande belysning. Generella sifferjämförelser mellan olika planeringsmodeller och anläggningar är därför i första hand relevanta för de förutsättningar som antagits gälla i det aktuella projektexemplet som avser publika kontorsutrymmen under dagtid.

Studiens anläggning utformad för ett rum med goda dagsljusförhållanden

Det rum använts som utgångspunkt i projektet har goda dagsljusförhållanden, och valts just för att visa vad E-LDP kan ge med goda förutsättningar, utan att vara extrema. Beräkningsexemplet är även valt för att visa vad en modern anläggning kan ge när D-LDP används för att planera anläggningen i samma rum.

De resultat som redovisas för modellen som utvecklats i studien ska därför i första ses som en grov indikation av den stora energipotential som planeringsmodellen E-LDP möjliggör när den jämförs med annan planeringspraxis.

Planering som infriar samhälleliga miljömål

Det begränsade behovet av kompletterande belysning i projektet (under 23 mät dagar 63/ 253 mättimmar) erhålls genom planering med E-LDP som möjliggör att uppgradera och nyskapa verkligt energieffektiva anläggningar och göra det möjligt att samtidigt nå samhälleliga energimål.

Kriterier för anläggningars jämförbarhet

Olika anläggningars jämförbarhet avgörs främst av

Rum:

- Geografiskt läge
- Årsvariation i dagsljusförhållanden
- Fönsterstorlek och placering

Brukaren:

- Platsbelysningens utformning

Design av dagsljus och kompletterande belysning:

- Definition av trivselnivå för allmänbelysning
- Tillämpade standardrekommendationer och gränsvärden

Den tekniska anläggningen

- Teknik för att ta tillvara dagsljuset
- Energieffektivitet hos ljuskällor
- Användningen av tidsstyrningar och ljussensorer; närvaro och tidstyrningar

Allmänbelysningen följer dagsljusets nivåer

När belysning utformas utifrån E-LDP och allmänljus och platsbelysning hålls åtskilda kommer allmänljuset att sänkas under den senare delen av dagen och vara låg under natten. Den brukare som behöver använda sin platsbelysning behöver enbart temporärt öka ljusnivån på en begränsad del av ytan i rummet. Sänkningen av allmänljusnivån under eftermiddagen och kvällen samverkar med en god måluppfyllelse för rumsutformning, brukarstöd PFV, ger en bättre gestaltad ljusmiljö samt en minskad användning av elenergi för driften av kompletterande belysning.

Dygnsrytmsstödjande belysning

Att införa en dygnsrytmsstödjande belysning som baseras på att upplevelsen av ljusnivå är relativ, ger en belysningsanläggning som stödjer brukaren PFV samt förbrukar bara några få timmar av kompletterande belysning under året. I den anläggning som studerats i projektet används kompletterande belysning under 13 av årets 23 mät dagar och enbart i 63 av 253 mättimmar.

Energiparametrar använda vid användandet av E-LDP

Energianvändningen dimensionerades efter rummets kontrastsituation enligt nedan.

E-LDP LED/Halogen

- Aktiv vägg 1,05W/m² (totalt installerad effekt 56,7 W).
- Vilsam vägg 4,66 W/m² (totalt installerad effekt 252W).
- Vilsamt tak 2,96W/m² (totalt installerad effekt 160 W).

E-LDP LED/LED

- Aktiv vägg 1,05W/m² (totalt installerad effekt 56,7W).
- Vilsam vägg 1,05 W/m² (totalt installerad effekt 56,7 W).
- Vilsamt tak 1W/m² (totalt installerad effekt 60 W).

Tidsanvändning av kompletterande belysning

- Aktiv vägg användes under årets 23 mät dagar i 19 av 253 timmar
- Vilsam vägg användes under årets 23 mät dagar i 44 av 253 timmar
- Vilsamt tak användes under årets 23 mät dagar i 42 av 253 timmar

Brukarens väljer sin platsbelysning

Brukaren kompletterar dagsljuset utifrån det egna behovet och har tillgång till en ljusnivå på arbetsytan mellan 0-2000 Lux. Brukarens behov av platsbelysning ska ses mot bakgrund av att ljusnivåerna som upprätthålls av dagsljus och kompletterande belysning i rummet i studien är dimensionerade för att ge en normalseende möjlighet till att läsa normal text (12 punkter) på vitt papper på arbetsytan utan tillägg av platsbelysning.

Utvärdering vad modellen utvecklade med E-LDP ger i förhållande till en modell utformad med D-LDP vad gäller energieffektivitet.

Varje rum har olika förutsättningar för att kunna använda dagsljus som allmänljus. Djupa rum med fönster som inte går nära taket i höjd har sämre förutsättningar än grunda rum som fönster som går nära taket i höjd. När rummet används utifrån sin dagsljuspotential skapas en energieffektiv belysning. När hur dagsljuset uppträder i rummet tolkas och leder utformningen av kompletterande belysning används färre timmar för belysning. Med användning av uppdaterad teori in i processen, genom användandet av samtliga steg i E-LDP och vid kontroll mot målpuppfyllen för användandet av processen har används både planering och teknik som verktyg för energieffektivisering. När D-LDP används och enbart steg fyra av LDP saknas förutsättningar för att göra bedömningar om hur dagsljuset uppträder i rummet och då saknas nyckeln till att skräddarsy den kompletterande belysningen för det specifika rummet. Om samtidigt ljusnivåer konstanthålls och belysningen inte differentieras i upptändning kommer mer energi att förbrukas än i den anläggning som utformats i gruppen.

Att upprätthålla en nivå drar energi

Att konstanthålla vissa nivåer mellan kl. 8-19 under ett år kommer att dra mer energi än om nivåerna tillåts gå ner mot 40 (30-50). Att istället följa dagsljusets sjunkande nivåer under dagen och bara komplettera med lite inre belysning ger en visuellt komfortabel ljusmiljö och begränsar starkt antalet timmar då hela anläggningen används. Brukaren kompenserar sig med sin platsbelysning. I studien används hela anläggningen under 23 mät dagar i 63/253 timmar och med då antingen 1,05W/m² på morgonen eller 1,05+ 2,96W/m². På eftermiddagen och kvällen kompletteras dagsljuset med 4,66W/m² eller 4,66W/m²+ 2,96W/m². När anläggningen omräknas till LED

blir istället energianvändningen $1,05\text{W}/\text{m}^2$ eller $1,05\text{W}/\text{m}^2 + 1\text{W}/\text{m}^2$ på förmiddagen. På eftermiddagen och kvällen blir energianvändningen istället $1,05\text{W}/\text{m}^2$ och $1\text{W}/\text{m}^2$.

Kostnader för belysningsplanering relaterat till optimerat system

Om E-LDP används och planeraren tilldelas de timmar som krävs för att genomföra det initiala teoretiska steget, steg 1, 2, 3 och 4, kommer fler planeringstimmar att förbrukas. Samtidigt skapas med användandet av E-LDP goda förutsättningar för att anläggningen lever upp till de mål som satts upp för utformningen av anläggningen. Med färre planeringstimmar utnyttjas inte sparpotentialen fullt ut vad gäller att reducera energianvändningen för kompletterande belysning.

Utvärdering av planeringsmetodens betydelse för ökad energieffektivitet i

belysningssystem

Mot bakgrund av de få timmar kompletterande belysning (under 23 mättdagar 63/253 mättimmar) som används i studien påvisas betydelsen av att lägga ner tid på planering av dagsljus och kompletterande belysning och därmed utveckla verkligt energieffektiva anläggningar som gör det bästa av den teknik som finns på marknaden och visa på vägar för teknikutveckling.

4.23. Forskningsfråga 3

Hur kan grundprinciper för energieffektiv kontorsbelysning formuleras?

Forskningsfråga 3 delfråga 1.

Vilka grundprinciper för energieffektiv belysning kan lyftas fram ut projektet?

- För att åstadkomma hög måluppfyllelse för energieffektiv belysning behöver dagsljuset synkroniseras med den kompletterande belysningen på ett sätt så att dagsljuset prioriteras fullt ut och den kompletterande belysningen bara användas när dagsljuset inte klarar att upprätthålla kvoter mellan infallande dagsljus på fönsterbrädan och belysningsstyrka på vägg, relaterade till rummets kontrastsituation och förutbestämda värden för belysningsstyrka på vägg.
- Den kompletterande belysningen differentieras i sektioner för att bara fylla i inom de delar av rummet där kritiska värden visar att ljusnivån är för låg för trivsel och säkerhet.
- Den energieffektiva belysningen baseras på att upplevelsen av ljusnivå är relativ och anpassas till de ljusnivåer som finns i synfältet.
- Med hjälp av dagsljus och inre kompletterande belysning minskas antalet timmar då hela anläggningen används.
- Ytterst avgör antal timmar då det är full sol och grad av molnighet i kombination med armaturtyp, val av ljuskälla och placering av armatur och utformning av stegvisa upp-

tändningar, hur energieffektiv belysningsanläggningen är. Även att i planeringen utgå från att upplevelsen hos brukaren av ljusnivå är relativ, bidrar till energieffektivitet.

Grundprinciper för energieffektiv belysning

Energieffektiv belysning består i grunden av ett maximalt utnyttjande av dagsljus (utifrån rummets förutsättningar) kombinerat med minimal användning av med dagsljussynkroniserad energieffektiv kompletterande belysning.

En väl fungerande interaktion

Genom att skapa en väl fungerande interaktion mellan människa, ljus, färg och rum, nås hög målpuppfyllelse för trivsam rumsutformning, brukarstöd psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) samt energieffektivitet.

4.24. Forskningsfråga 4.

Hur kan en principlösning för styrning av kompletterande belysning formas som samverkar med dagsljuset under dess förändringar under dagen och året.

Anläggningen styrdes manuellt under mätdagarna mot ett trivsamt ljus. Data från mätdagarna översattes sen till en prototyp, ett tekniskt system som skulle kunna göra samma sak i den offentliga miljön som forskningsledaren/ ljusdesignern gjorde i studien. Eftersom dagsljusförhållanden under året varierar utformades det tekniska systemet för att följa dagsljuset och jämma ut ljusnivåerna på väggen utifrån de förhållanden som dagsljuset visar upp. Det kommer inte att bli perfekt, för att göra det optimalt krävs manuell inkoppling. Men det blir tillräckligt bra och slätar ut när skillnaderna blir för stora.

Beskrivning av det tekniska systemet utvecklat i studien

På den tekniska systemlösningen för avsett ändamål ställs följande huvudsakliga krav.

1. Primärsida. Systemet skall kunna läsa av de faktorer i ljusmiljön som inverkar på brukarens behov av ljus.
2. Intelligens. Systemet skall kunna tolka insamlad data och bedöma lämplig åtgärd i form av styr signaler till styrsystemets olika enheter.
3. Sekundärsida. Systemet skall kunna kontrollera kvalitet och kvantitet på naturligt- och artificiellt ljus i lokalens alla delområden.

Användning och principer för styrning

Systemet ska utifrån nivå på dagsljuset mata upp inre kompletterande belysning och takbelysning för att upprätthålla säkerhetsljusnivån i rummet och kompensera att infallande dagsljus i rummet inte når de inre delarna. Principen för ljussystemet är att alltid alstra rätt ljus i rätt tid och på rätt plats. Vi skall endast belysa om det finns ett behov av ljus och om det finns ett behov så skall vi primärt uppfylla detta med dagsljus. Endast då dagsljuset inte är tillräckligt skall systemet använda kompletterande belysning och då enbart i en omfattning som säkerställer en tillräcklig

nivå. Dagsljus och artificiellt ljus skall samverka för en harmonisk ljusmiljö som definieras av brukarens momentana behov. Dagsljus och kompletterande belysning ska synkroniseras mot varandra till ett välfungerande allmänljus utformat relaterat till kontrastförhållandena i rummet. Brukarens platsbelysning utformas med breda spann för att möta ett föränderligt brukarbehov under dagen. Om detta kan åstadkommas säkerställer vi en optimal ljusmiljö med avseende på kvalitet och energiförbrukning. Systemet måste innehålla sensorer som kan läsa av rätt typ av faktorer på rätt plats i lokalen och det måste göras kontinuerligt.

Dagsljussynkroniserat system kontra ett generellt förhållningssätt till belysning

När en fördefinierad ljusnivå upprätthålls i rummet och ett generellt förhållningssätt tillämpas innebär detta en onödigt stor energianvändning och en icke optimal ljussituation för användaren. Sensorsystemet skall utifrån strategiska placeringar kunna läsa av absoluta ljusvärden på vitala platser i lokalen. Det skall finnas inbyggda toleranser som bidrar till en naturlig och levande miljö som stimulerar brukarna. Systemet ska inte reagera direkt utan med en viss fördröjning och då ge en naturligt dynamisk variation i ljusnivåer.

Sensorer

Sensorsystemet samlar kontinuerligt in data om ljussituationen i lokalens olika delar och skickar denna till en central enhet som läser in, tolkar och agerar på situationen utifrån ett bestämt program.

Systemet

Systemets kärna är en central styrenhet med en primärsida, en sekundärsida och en programmerbar elektronik för elektronisk styrning via digitala protokoll både på primär- och sekundärsida.

Primärsidan

Primärsidan består av 5 ingångar.

- Ingång 1. Närvarosensor. Denna avgör om det finns människor i rummet och därmed behov av ljusoptimering. Om sensorn indikerar närvaro så aktiveras systemet enligt logik nedan.
- Ingång 2. Luxmeter placerad horisontellt strax innanför fönstret.
- Ingång 3. Luxmeter placerad 184 cm upp från golv mitt på vänster långsida sett från fönstret.
- Ingång 4. Luxmeter placerad 184 cm upp från golvet mitt på höger långsida sett från fönstret.
- Ingång 5. Luxmeter placerad 184 cm upp från golv mitt på den inre väggen. Motstående fönstervägg.

Sekundärsidan

Sekundärsidan har 2 utgångar.

- Utgång 1. Styrning av väggmonterad belysning på inre väggen.
- Utgång 2. Styrning av takmonterad belysning.

Styreelektronik

Styreelektroniken skall vara programmerbar enligt följande.

- Ingång 1, närvarosensor bevakas kontinuerligt. Om ingen närvaro indikeras så rampas utgång 1 och 2 ned till 0 % från aktuell nivå på 1 sekund med start 5 minuter efter indikering.
- Om närvaro indikeras så aktiveras ingång 2-5 och aktuella ljusvärden registreras. Utgång 1 och 2 aktiveras med en upprampning till avsedd nivå enligt förinställda värden.
- Ingång 2-5 kontrollerar kontinuerligt fördefinierade brytvärden. En undre och en övre. Dessa värden lagras vid driftsättningen för individuell anpassning till den aktuella lokalen.

Exempel:

- Undre brytvärde för ingång 5 definieras till 25 Lux och övre till 200 Lux. Till brytvärdena kopplas fördefinierade actions.
- Om värdet överstiger 200 Lux på ingången så rampas ljusnivåerna på både utgång 1 och 2 ner till 0.
- Om värdet understiger 200 Lux så aktiveras utgång 1 med upprampning till dess önskat värde uppnås.
- Om värdet understiger 25 Lux så aktiveras utgång 2 med upprampning till dess att önskat värde uppnås.

Ingång 2-5 skall också programmeras att bevaka önskade kontrastsituationer genom att väga de uppmätta värdena på de olika ingångarna mot varandra och ställa villkor.

Exempel:

- Ingång 2 skall alltid ligga inom intervallet 2-3 gånger värdet på ingång 5 och sträva mot förhållandet 2,5. Om villkoret inte uppfylls så ökar eller minskar ljusnivåerna på utgång 1 och 2 till dess att värdena ligger inom önskat intervall.

Befintligt: Systemet känner av om skillnaderna är för stora men matar bara upp LA eller LV eller LA+LT eller LV+LT.

Utjämningsfunktioner

I syfte att eliminera risken för snabba och störande förändringar i ljusmiljön kan systemet förses med begränsningar i signalförändringar på utgångarna. Exempelvis max 10 % per 30 sekunder. Det innebär att det tar 4 minuter att gå från en nivå på 20 % till 100 % på någon av ljusgrupperna. Funktionen kan villkoras så att då utgångsläget är under fördefinierade brytvärden så går upprampningen på 1 sekund enligt tidigare beskrivning. Detta för att säkerställa att ljusmiljön snabbt blir funktionsduglig om en person kommer in i rummet då dagsljus saknas.

Närmare beskrivning av systemet som det användes i studien.

Systemet i projektet kan dels ses som en grov grundläggande prototyp för styrning av dagsljus och kompletterande belysning generellt och dels utifrån en tänkt framtida utveckling av systemet. Samtidigt kan baserat på körning mot aktuella mätvärden för årets mät dagar mer exakt visas hur anläggningen skulle använts om systemet fanns fysiskt vid projektets start.

Grundläggande teknisk funktionsbeskrivning

Fyra grundläggande ljusscenarios har identifierats utifrån gjorda mätningar graderade som mörker, otillräckligt dagsljus, för mycket dagsljus. Dessa representerar var och en styrande dagsljusparametrar som kontinuerligt mäts under dygnet och omvandlas till styrande ut signaler för kompletterande belysning och används för att fylla i dagsljuset i de delar av rummet där så behövs, alltefter rådande ljusscenario. De ger teoretiskt, även solavskärmning. En översikt av modellen och dess 4 olika scenarios ges i matrisen i tabell 1. Systemanvändning i projektet.

Tabell 10. Systemanvändning i projektet

Fall	Ljusscenarios	Styrande dagsljusparametrar			Utsignaler kompletterande belysning (alt. Ev. utrustning f solavskärmning – i fall 4) 1= på/ tänds alt 0= av/släcks			
		<i>Ljusintervall infallande dagsljus Fönsterbräda Fb (Lux)</i>	<i>Mät-punkt vägg. 184 cm ovan golv V (Lux)</i>	<i>Dagsljus kvot Fb/V</i>	La 1-2 (tid) om ej 24h)	Lv 1-2 (tid) om ej 24h)	Lv T1-8 alltid 24 h	Bn
1	Mörkerförhållande	ej relevant	≤ 50	= 2,5*	0	1	1	0
2a	Dagsljus, Otillräckligt Ljusinterv. 50 -800 Lux på fb.	X	Y	≥ 2,5	1 (08-13) 0 (13-07)	0 (08-13) 1 (13-07)	1	0
2b	Dagsljus, Otillräckligt Ljusinterv. 800-1200 Lux på fb.	X	Y	≥ 2,5	1 (08-13) 0 (13-07)	0 (08-13) 1 (13-07)	0	0
3	Dagsljus, Tillräckligt Ljusintervall, ≥ 1200 Lux på fb.	X	Y	≥ 2,5	0	0	0	0
4	Dagsljus, bländande	≥ 15 000	ej relevant	= 2,5*	0	0	0	1

Aktiv väggarmatur på 08- fadar ner13.00-13.10. från 100-0%. Vilsam väggarmatur på 13.00 fadar upp-13.10 från 0-100%. igång till 19.00.

Begrepp, parametrar och förtydliganden

Fb = Fönsterbräda. Den kontinuerliga mätvariabeln X ger infallande dagsljus horisontellt.

V= Mätvärde på vägg. Den kontinuerliga mätvariabel Y ger vertikal belysningsstyrka på vägg.

Fb/V = Beräknad styrparameter i fall 2a - 3. Om $Fb/V \geq 2,5$ ges styrsignaler till La, Lv o Tv

* Styrparametern är = 2,5 (dvs. på) om kriterierna för V och Fb uppfylls i fall 1 resp 4.

La 1-2 = Kompletterande belysning, väggarmaturer med ljuskällor med aktiverande spektralkomposition. (2 st.). På vid mörker och otillräckliga dagsljusförhållanden.

Lv 1-2= Kompletterande belysning, väggarmaturer med ljuskällor med vilsam (energisvag) spektralkomposition. (2 st.). På vid mörker och otillräckliga dagsljusförhållanden.

LvT 1-8= Anläggning i tak med vilsam (energisvag) spektralkomposition (8 st.). På vid mörker och otillräckliga dagsljusförhållanden.

Bn= Dagsljusavskärmning för att undvika bländning (teoretiskt inplanerad med kromatiska fönster). På vid för mycket infallande dagsljus.

Mpv= Mät punkt vägg. Punkt på vägg placering av väggsensor i rum i brukarens synfält i de inre delarna av rummet. Den belysningsstyrka som mäts i mät punkt på vägg består av den samlade belysningsstyrkan från infallande dagsljus, ev. redan tänd allmänbelysning och den platsbelysning som brukaren ev. har tänd. Systemet räknar alltså in även den ev. redan tända allmänbelysningens och platsbelysningens bidrag till vertikal belysningsstyrka. Den senare bidrar till ytterligare begränsning av energianvändningen.

Dagsljuskvot = Kontinuerligt beräknad dagsljuskvot som används som styrparameter i fallen 2a, 2b och 3. När denna är $\geq 2,5$ (empiriskt värde utformat i förhållande till rummets kontrastsituation) ges styrsignaler att tända eller släcka till den kompletterande belysningen.

Dagsljus, otillräckligt = Avser de fall när dagsljuset är så svagt att det måste kompletteras för att säkerställa säkerhetsnivå på allmänbelysningen. Kan i praktiken dels tänkas motsvara tidig gryning/sen eftermiddag (jfr Fall 2; $F_b = 50 - 1200$ Lux), dels sen gryning/tidig eftermiddag (jfr Fall 3; $F_b = \geq 1200$ Lux).

Dagsljus, tillräckligt = Dagsljus ger allmänbelysning på en nivå över trivsel och säkerhetsnivån. Brukaren kompletterar med platsbelysning efter behov.

Närvarosensorer = I syfte att spara ytterligare energi är systemet även kompletterat med närvarosensorer som överordnat aktiverar respektive avaktiverar systemet som helhet i relation till om brukare är närvarande i rummet eller inte. Vid närvaro aktiveras systemet som helhet. Vid frånvaro släcks systemet i enlighet med utsignalerna i fall 3. Alternativt i enlighet med 4 om man vill undvika uppvärmning av lokalen.

Dagsljus, bländande = Dagsljuset måste skärmas av med hjälp av smarta fönster (kromatiska fönster) eller annan utrustning för solavskärmning.

Fallbeskrivningar

Fall 1

- Om $F_b \leq 50$ Lux råder mörker oavsett tidpunkt \rightarrow Utsignal; Tänd Lv 1-2 och LvT1-8.

Fall 2a

- Om mätvärdena för F_b ligger mellan 50 -800 Lux, DL kvoten $\geq 2,5$ mellan 08 -13 på dagen är dagsljuset för svagt \rightarrow Utsignal; Tänd alla La 1-2 (8-13) och LvT 1-8 (24 tim).
- Om mätvärdena för F_b ligger mellan 50 -800 Lux, DL kvoten $\geq 2,5$ mellan 13-08 på em./kvällen \rightarrow Utsignal; tänd alla Lv 1-2 (13-08), och LvT 1-8 (24tim).

Fall 2b

- Om mätvärdena för Fb. ligger mellan 800 - 1200 Lux, DL kvoten $\geq 2,5$ mellan 08 -13 på dagen är dagsljuset för svagt → Utsignal; Tänd alla La 1-2 (08-13), och släck alla LvT 1-8 (08-13).
- Om mätvärdena för Fb. ligger mellan 800 -1200 Lux, DL kvoten $\geq 2,5$ mellan 13 - 08 på em. /kvällen är dagsljuset för svagt → Utsignal: Tänd alla Lv 1-2 (13-08) och släck alla LvT 1-8 (13-08).

Fall 3

- Om mätvärdena för Fb ligger över 1200 är oavsett tidpunkt, dagsljuset fullt tillräckligt → Utsignal; Släck alla La 1-2, Lv 1-2 och LvT 1-8.
- Om närvarosensorn visar att inga brukare finns i rummet → Utsignal; Släck La1-2, Lv 1-2 och LvT 1-8 dvs. all kompletterande belysning.

Fall 4

- Om $Fb \geq 15\ 000$ lux råder bländning oavsett tidpunkt → Utsignal; Aktivera smarta fönster eller andra typer av solavskärmning.

Projektets manuellt styrda anläggning översatt till belysningstekniskt system med mer framtidsorienterad teknik.

Det system som tagits fram i studien bygger på en analys av hur dagsljuset uppträdde i rummet. Utifrån dessa data har formats ett system som upprätthåller förvalda nivåer i rummet.

Framtidsscenario

Systemet skall säkerställa att ljusnivån ligger inom ett visuellt komfortabelt intervall. Om dagsljuset överstiger önskat värde i lokalen så skall systemet begränsa tillflödet av dagsljus. Systemet ska räkna in platsbelysningens bidrag till allmänljuset och minska tillförd kompletterande belysning. Samt om så visar sig vara möjligt, drivas med sol-el och återvinna överflödigt energi. Denna energi kan då ev. lagras och utnyttjas för att driva kompletterande belysning då dagsljusnivåerna är för låga.

Funktion och logik i det framtida systemet

För att åstadkomma detta måste systemet kontinuerligt värdera behovet av ljus i lokalens alla delar vid alla tillfällen. Eftersom det krävs separata sensorer för varje område som vi vill läsa av kommer det att finnas en ekonomisk begränsning i hur noggrant vi kan läsa av lokalen och vilken detaljnivå som är funktionellt motiverad.

Aktiva områden

Lokalen kommer att delas in i ”aktiva områden” enligt systemexempel nedan. Systemet läser av behovet för varje enskilt område och agerar också med en åtgärd som är lokalt anpassad.

Systemets prestanda

Systemet skall kunna särskilja temporära variationer i ljusmiljön från bestående och kontinuerliga förändringar. Systemet skall inte reagera på att en person passerar förbi en mätsensor och temporärt sänker den mätta ljusnivån eller om ett moln passerar och tillfälligt blockerar solljuset. Detta gör vi genom att exempelvis läsa av ljusvärdet var 30:e minut och då fördelat på flera mät-tillfällen under ett 5 minuters intervall. Om systemet då kan säkerställa att det är en bestående förändring i ljusmiljö beroende på gryning eller skymning eller väderomställning så skall också systemet agera på detta.

4.25. Sammanfattning resultat forskningsfråga 1

Hur användes, begränsades, kompletterades och synkroniserades dagsljus och kompletterande belysning i rummet i studien under året?

Dagsljus och kompletterande belysning synkroniserades mot varandra för maximal energieffektivitet. Kompletterande belysning användes dels som förstärkning på morgonen vid behov och på eftermiddagen och kvällen vid behov. Endast under mät dagarna i december behövdes belysning under 11 timmar per dag och då med inre belysning i gång 7/ 22 timmar och hela anläggningen igång 15/ 22 timmar. Systemet styrdes manuellt under studien och en teknisk lösning togs fram för styrning via ljussensorer. Någon begränsning av övre kritisk nivå behövdes inte under året.

Det tekniska systemet som utvecklades i studien

Mörkerförhållanden: När infallande dagsljus på fönsterbrädan var 0- 50 Lux kopplades kompletterande belysning in (LV, 1-2 +T, 1-8) vilket gav 40(30-50) Lux vertikalt på vägg (184 cm över golv).

Otillräckligt dagsljus: När dagsljuset tillför en horisontell belysningsstyrka på fönsterbrädan på 50-800 Lux och förhållandet mellan fönsterbräda och vertikal belysningsstyrka på vägg (184 cm upp från golv) $\geq 2,5$ kopplas kompletterande väggbelysning på (LA 1-2 eller LV 1-2) beroende på tidpunkt på dygnet och takbelysning (LVT 1-8).

Otillräckligt dagsljus: När dagsljuset tillför en horisontell belysningsstyrka på fönsterbrädan på 800- 1200 Lux och förhållandet mellan fönsterbräda och vertikal belysningsstyrka på vägg (184 cm upp från golv) var större än $\geq 2,5$, kopplas kompletterande väggbelysning in beroende på tidpunkt (LA 1-2 eller LV 1-2).

Tillräckligt dagsljus: När dagsljuset tillför en horisontell belysningsstyrka på fönsterbrädan på över 1200 Lux kopplas kompletterande väggbelysning bort.

För mycket dagsljus: När dagsljuset tillför en horisontell belysningsstyrka på fönsterbrädan på över 15 000 Lux kopplas kromatiska fönster in.

4.26. Sammanfattning resultat forskningsfråga 2

Hur såg måluppfyllelsen ut för den modell som utformades utifrån ljusdesignprocess för energieffektiv belysning (E-LDP) vad gäller ett trivsamt rum, psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) stöd till brukaren och för energieffektivitet i rummet under året. Hur kan processen beskrivas och jämföras med andra teoretiska modeller styrda mot alternativa mål och utformade med datorbaserad ljusdesignprocess (D-LDP)?

Modell för energieffektiv belysning utformad utifrån E-LDP

Modellen för energieffektiv belysning som utvecklades i studien bedömdes av forskningsledaren ha en mycket hög måluppfyllelse för ett trivsamt rum, fysiologiskt stöd för dygnsrytmen via en nära kontakt med dagsljus och ett visuellt komfortabelt allmänljus.

En anläggning som stödjer brukaren

Anläggningen gav via individuell platsbelysning goda förutsättningar för brukaren att uppleva visuell komfort. Ett PFV stöd var möjligt att kombinera med ett begränsat användande av kompletterande belysning. I totalt 63/253 uppmätta timmar användes kompletterande belysning i övrigt var dagsljuset fullt tillräckligt som allmänljus.

Ljusanalys, ett arbetsverktyg

Med ljusanalys utformades kompletterande belysning för att användas när den behövdes och bara i de delar av rummet där den behövdes. Spektralkompositionen formades för att utifrån vanligt förekommande teknik ligga nära dagsljuset. Läsprestationen i höjd med arbetsytan prövades över hela rummet och gjordes till kriterium för allmänljusets dimensionering för att bidra till säker visuell orientering.

Jämförelse av energieffektiviteten hos planeringsmodellerna E-LDP och D-LDP

Med motsvarande tekniska val och ljusförutsättningar för rummet kommer de använda planeringsmetoder ge olika utfall för energianvändningen beroende på de styrparametrar som uppmäts eller antagits. Utfallen redovisas i detalj under appendix D.

Generellt indikerar projektet att energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) tillämpad har en betydande energibesparingspotential. I projektets exempel uppskattas energianvändningen hos dagens äldre befintliga eller nybyggda kontor vara ca 10-20 ggr. högre än för anläggningen utformad med E-LDP, allt beroende på de beräkningsförutsättningar som används.

När E-LDP användes som planeringsmetod pressades anläggningens ljusnivåer ner mot trivselnivån. Trivselnivån ligger strax över ljusnivån för säker visuell orientering, och utgör därför en gräns som inte bör underskridas. Med styrkriteriet accepteras dagsljusnivån ända ner till trivsel-

nivån. Därefter antas anläggningen (som kördes manuellt i projektet) fylla på med kompletterande belysning, men bara i de delar av rummet där dagsljuset inte når upp till trivselnivån. Detta är en av nycklarna till E-LDPs goda resultat för energieffektivitet.

När uppnådd energieffektivitet jämfördes med motsvarande typfall utformade med D-LDP förbrukas avsevärt mer energi. För att även kunna bortse från kontorens fluktuerande dagsljusförhållanden jämförs även utfallet i energianvändning för planeringsmodellerna under mörker. Utifrån samma tekniska val och ljusförutsättningar i rummet kommer planeringsmetod och styrparametrar för användningen av belysning ge olika utfall för energianvändning.

Val av planeringsmetod och inplanerad användning av anläggningen

I studien användes E-LDP som planeringsmetod. Utifrån grundprinciper för energieffektiv belysning pressades anläggningens ljusnivåer ner mot den gräns som inte får passeras, trivselnivån. Trivselnivån ligger strax över ljusnivån för säker visuell orientering. När styrkriteriet var att acceptera dagsljusets nivåer ner till en lägsta acceptabel trivselnivå och då fylla i med kompletterande belysning i de delar av rummet där dagsljuset inte längre orkade hålla uppe trivselnivån, åstadkoms en verkligt energieffektiv belysning.

När energieffektiviteten för den modell som utvecklades i projektet jämfördes med typfall utformade med D-LDP tillämpad i samma rumsliga villkor som förekom i studien, förbrukades många gånger mer energi.

För att bättre spegla det spann av goda och sämre dagsljusförhållanden som finns representerade i det svenska kontorsbeståndet kördes studiens anläggning mot mörkerförhållanden och jämfördes mot teoretiska typfall utformade med D-LDP.

Jämförelse mellan olika alternativ mål att styra användningen emot

I studien användes dagsljus som styrkriterium för användningen av kompletterande belysning för allmänljus och den individuella brukarens preferens användes som styrkriterium för platsbelysningen. I praktiken innebar det att när ljusnivån utan för fönstret var hög men ljusnivån i rummet började sjunka blev rummet till slut otrivsamt och kompletterande belysning kopplades in. Kompletterande inre belysning balanserade den ljusa himlen och fönsternischens ljushet med den inre ljusa delen av rummet och gjorde rummet som helhet trivsamt igen. Bredstrålande armaturer placerade motstående mot fönster ökade uppmätta Luxvärden på vägg stående i vinkel mot fönstret och gjorde skillnaden i ljushet utanför fönstret och på väggarna i rummet mindre.

Tabell 11 a. Spann för dagsljus och kompletterande belysning utvärderat som lagom och för lågt

Datum	Tid	Lagom spann lägsta värde vägg 184 cm upp fr. golv Lux	Lagom spann högsta värde vägg 184 cm upp fr. golv Lux	Tid	För lågt spann lägsta värde vägg 184 cm upp fr. golv Lux	För lågt spann högsta värde vägg 184 cm upp fr. golv Lux
31.1				8	33	79
31.1	13	170	332	14	108	225
1.2	15	290	503	16	8	24
27.2	15	370	911	16	143	393
26.3	16	300	720	17	120	332
29.3	17	243	417	18	36	84
25.9				8	7	28
25.9	16	129	377	17	70	151
0.9				8	42	102
30.9	16	233	478	17	192	357
24.10				8	62	92
24.10	16	221	395	17	47	77
27.11				14	49	145
27.11				8	3	8
27.11	13	380	2810			
16.12	8	-	-	8	25	162
17.12	8	-	-	8	51	112
		Lägst 129	Högst 2810		Lägst 3	Högst 393

Tabell 11b. Sammanställning relation Lux nivå på fönsterbräda och Lux nivå golv

Datum	Lux vägg 184 cm upp fr. golv	Fönsterbräda Lux	Tid	Lagom lägst Lux golv	Lagom högst Lux golv	Tid	För lågt lägst Lux golv	För lågt högst Lux golv
31.1	10-18	125				8	33	79
25.9	8-28	176				8	7	28
30.9	20-47	336				8	42	102
24.10	25-75	258				8	62	92
25.10	25-90	229				8	61	77
Spann l-h	8-336	125-336					7	102
31.1	43-136	830	13	170	322	14	108	225
Spann l-h	43-136	830		170	322		108	225
1.2	340-1122	2300	15	290	503	16	8	24
27.2	512-1967	5370	15	370	911	16	143	393
			15	960	7740	16	128	239
Spann l-h	340-1967	2300-5370		290	7740		128	393
26.3	416-869	2130	16	300	720	17	120	332
25.9	63-157	1014	16	129	377	17	70	151
30.9	110-264	1563	16	233	478	17	192	357
24.10	168-966	1568	16	221	395	17	47	77
Spann l-h	63-966	1014-1568		129	720		47	367
29.3			17	243	417	18	36	84

Tabell 12. Sammanställning högsta värde Lux på vägg och högsta värde Lux på fönsterbräda före och efter komplettering.

Datum	Tid	Högsta värde vägg Lux	Högsta värde fönsterbräda Lux	Proportioner Vagg-fönsterbräda	Efter Kompl Tid	Högsta värde vägg Lux	Högsta värde fönsterbräda Lux	Proportioner Vagg-fönsterbräda
31.1.	8	18	125	6,9	8	70	168	2,4
25.9	8	28	176	6,2	8	112	290	2,58
30.9	8	47	336	7,14	8	182	475	2,6
24.10	8	75	258	3,44	8	254	502	1,97
25.10	8	90	229	2,5	8	206	291	1,4
31.1	14	171	780	4,56	14	403	551	1,36
27.2	16	459	1312	2,85	16	430	1154	2,68
24.10	17	29	294	10,13	17	191	247	1,29
26.3	17	414	1093	2,64	17	107	214	2
25.9	17	97	535	5,5	17	152	842	5,5

Som en jämförelse till här redovisad dynamisk styrprincip kan ställas en frekvent förekommande statisk styrprincip, här exemplifierade av att upprätthålla en viss ljusnivå på allmänljuset och dimensionera för ett standardiserat brukarbehov. Dynamiska styrprinciper visar sig i projektet ha stora fördelar i förhållande till statiska vad gäller potential för energieffektivisering vilket kan avläsas i Appendix D.

Platsbelysning -förhållningsätt och uppskattad energianvändning

Allmänljuset i studien är utformat för att ge mycket goda förutsättningar för att göra synprestationer. I de fall där i planeringsmodellerna dynamisk styrning används (FD och D) eller när standardens minimikrav (F3) används, förutsätts i samtliga fall en god individuellt styrd platsbelysning.

Platsbelysningen i anläggningen som utformades i studien

I modellen i studien används platsbelysningen som kompensation för neddragningen mot definierad trivselnivå i allmänbelysningen. Det slutgiltiga antalet timmar som platsbelysning används i den manuella modellen, är okänt. Behovet av platsbelysning bedömdes med utgångspunkt från goda dagsljusförhållanden i det rum som användes i studien och utifrån att allmänljuset utformats för goda förutsättningar för synprestationer.

Ur beräkningssynpunkt har antagits att 3 arbetsplatser i genomsnitt använder belysningsstyrkan 400 Lux motsvarande 5W energiförbrukning under 35 % av en arbetsdag ur ljussynpunkt motsvarande 11h och 0,1W/m²& h samt att denna är utrustad med en tidstyrd autoavstängning som släcker efter 2 h. Platsbelysningen förutsätts alltså i genomsnitt vara tänd knappt 4 h per dag, vilket kan relateras till att dagsljusförhållandena bara kräver kompletterande allmänbelysning ca

25 % av tiden, motsvarande ca 2 h o 45 min per dag. Behovet av platsbelysningen bedömdes på grund av goda dagsljusförhållanden och låg allmänljusnivå i mörkerförhållanden inte vara mer än 400 Lux i medelanvändning och under 89 x 3 timmar (för tre brukare) under mätperioden omfattande 253 timmar.

Bara en begränsad del av rummet blir upplyst av platsbelysningen

När brukaren använder sin platsbelysning kommer endast en mycket begränsad del av rummet att ha högre ljusnivå. Ytterst avgör brukaren hur stort behovet av platsbelysning är. För att undvika att platsbelysningen sätts på kl. 8 på morgonen och sen står på i onödan under dagen utformas den för att slå av efter 2 timmar och får begäras om behovet uppstår senare på eftermiddagen och kvällen. 2 timmar är ett lämpligt intervall för anläggningen i projektet för vår, sommar och höst. Timern bör ställas på 11 timmar i november, december och en bit in i januari. Timern ställs in efter vad som passar för personen, arbetsplatsen och säsongen.

Försökspersoner i studie föredrar högre ljusnivå på arbetsbordet än allmänljusnivå

I en studie genomförd med 318 försökspersoner [Säter 2011] visade 100 % av deltagarna att de upplevde lägre allmänljusnivåer och en högre ljusnivå på bordet som mest visuellt komfortabelt. När dagsljuset räcker för goda synprestationer finns inget behov av platsbelysning. När dagsljusnivåerna sjunker uppstår en för brukaren mer ergonomisk situation där en kompletterande belysning relateras till ljusnivån i synfältet. Upplevelsen av ljusnivå är relativ och genom att inte upprätthålla ett statistiskt värde för ljushet på vägg utan istället följa dagsljusets nivåer blir referensen en lägre ljushet och därmed ett minskat antal timmar som kompletterande belysning används.

4.27. Sammanfattning resultat forskningsfråga 3.

Hur kan grundprinciper för energieffektiv kontorsbelysning formuleras?

- Starta med senast uppdaterad teori om utformning av energieffektiv belysning.
- Synkronisera dagsljus och kompletterande belysning i förhållande till rummets kontrastsituation. Upprätthåll utifrån kritiska värden för ljusnivå, trivsel och säker visuell orientering.
- Differentiera anläggningen med stegvisa upptändningar.
- Forma anläggningen utifrån att upplevelsen av ljusnivå är relativ och med hjälp av de fyra stegen i ljusdesignprocess för energieffektiv belysning (E-LDP).
- Utvärdera måluppfyllelsen vad gäller ett trivsamt rum, brukarstöd PFV och energieffektivitet.

4.28. Sammanfattning resultat forskningsfråga 4.

Hur kan ett tekniskt system för kompletterande belysning formas som samverkar med dagsljuset under dess förändringar under dagen och året.

Den manuella anläggningen översattes till ett tekniskt system som gör det brukaren själv gör när de vistas hemma. Man tändes då och släcker vid behov. Det är inte möjligt att lägga ner tid på att tända och släcka i offentlig miljö på samma sätt som i den privata miljön. Ett system behöver därför bevaka att dagsljuset används fullt ut som allmänljus och att den kompletterande belysningen bara fyller i med det som verkligen behövs och samtidigt ser till att brukaren befinner sig i en väl fungerande ljusmiljö under dagen. Prototypen till styrning som utvecklades i projektet kommer att vidareutvecklas i en ev. andra del av post dok projektet.

4.29. Resultat ambition med projektet

Resultatet från projektet visar att ambitionen med projektet fullföljdes. Anläggningen gav ett trivsamt rum, gav ett gott brukarstöd PFV, det var möjligt att stödja brukarens dygnsrytm, ge en upplevelse av visuell komfort och anläggningen var mycket energieffektiv. Det trivsamma rummet verifieras av att väggarna utvärderades av forskaren som vackert belysta dvs. motsatsen till för lågt belysta. Brukarstödet verifierades av att rummet var trivsamt med en stor andel dagsljus i rummet och att den kompletterande belysningen utformades synkroniserat med dagsljuset. Brukarstödet verifierades också av att det var möjligt för en normalseende att göra en synprestation med svarta bokstäver i 12 punkter på vitt papper i bordsnivå över hela golvytan under samtliga 253 uppmätta timmar i projektet. I 190/253 timmar gick detta att göra i enbart dagsljus. Övrig tid gick detta att göra efter att kompletterande allmänbelysning kopplats in och utan platsbelysning.

4.30. Resultat litt. studie kring olika vägar att optimera en anläggnings energieffektivitet

Ett stort antal artiklar om planering av energieffektiv belysning har en teknisk ingång till energieffektivisering och ser det som i första hand som en fråga om byte av ljuskälla, dagsljusstyrning och att släcka när ingen är i lokalen. Det är svårt att hitta artiklar som utifrån en holistisk utgångspunkt använder alla tänkbara verktyg för att forma en anläggning som har hög måluppfyllelse för ett trivsamt rum ett gott brukarstöd och energieffektivitet.

Litteraturstudien visar på ett flertal hinder för omställningen till mer energieffektiva belysningsanläggningar.

Avsaknad av resurser i byggprocessen för planering av belysning

Ett hinder när det gäller utformning av belysning för offentlig miljö kan vara att planerarna inte har stöd av myndigheter och deras lagtolkningar i form av författningssamlingar, att inom byggprocessen och hos byggherren säkra upp de resurser som behövs för att kunna planera in och använda den teknik som ger en mer energieffektiv belysning. På den privata sidan vilar åtgärder för energieffektivisering ofta på konsumenternas egna val. Där är det viktigt att det aktiva valet ökar konsumentens livskvalitet.

Planering av privat och offentlig miljö

I offentliga miljöer kan övergången till användandet av mer energieffektiv belysning införas av planerare med kunskap i hur anläggningar bör utformas och hur tekniken kan användas på bästa sätt. På den privata delen av marknaden vilar övergången på den enskilde konsumentens aktiva val och övergången påverkas om ny teknik innebär en sänkning av livskvalitet i det egna boendet.

4.31. Resultat hinder i praktiken

Många hinder kan ses för ökad energieffektivisering. Att via rekommendation styra upp användning av teknisk utrustning via en standard kan vara ett sådant hinder. Inte på grund av standarden i sig själv som uttryckligen har formuleringar om att den inte hindrar användandet av ny teknik utan mer i att i byggprocessens kamp om resurser i form av tid och pengar är det inte självklart att man satsar extra resurser för att optimera belysningsanläggningar [Pertola 2012]. Det kan ligga nära till hands att nöja sig med rekommenderade mätvärden hämtade ur standarden. Om istället teknisk flexibilitet och att hantera verklighetens ljusförhållanden med lämplig teknik rekommenderades, och denna behövde verifieras med konkret måluppfyllelse och villkorades för godkänt vid avsyning, skulle utvecklingen mot förbättrade anläggningar bättre uppmuntras.

Planeraren kan inte ersättas

Inget datorprogram kan ersätta den erfarna belysningsplanerarens kunskap i att balansera ljusheter i rum och tolka brukarens relativa uppfattning av ljusnivåer och var lägsta trivselnivå finns i varje rum. Och det är just här som den extra potentialen, utöver ljuskällebyte och användning av sensorer, finns. Kunskan finns bland belysningsplanerarna men man är inte alltid beredd att betala för det eller för den teknik som behövs för att genomföra de verkligt energieffektiva anläggningarna [Pertola 2012]. Med utveckling och beskrivning av E-LDP blir belysningsplanerarens arbetsinsats framlyft och förtydligad.

Grundprinciper för energieffektiv belysning

Litteraturstudien kommer att fortsätta vad gäller grundprinciper för energieffektiv belysning. Artiklar som skrivs om belysningsplanering och energieffektiv belysning är ofta applikationsstudier eller produktvärderingar med naiva brukare, snarare än att de formar grundteori inom det Belysningsvetenskapliga delområdet, energieffektiv belysning. Detta förhållande försvårar genomförandet av litteraturstudien.

4.32. Litteraturstudien jämförs med studiens resultat

I litteraturen är det lätt att hitta artiklar som beskriver fördelar energimässigt med att byta ljuskällan till en mer energieffektiv, dagsljusstyrning och om hur man släcker när ingen är där. Det är betydligt svårare att hitta artiklar som utifrån både ett bättre val av ljuskälla och en mer avancerad ljusanalys tar ner antalet timmar då kompletterande belysning används under ett år. Detta är common knowledge bland belysningsplanerarna men är svårt att hitta beskrivet i litteraturen. Denna kunskap behöver beskrivas och lyftas fram.

4.33. Resultat grundprinciper för energieffektiv belysning

I avsaknad av artiklar på området formuleras följande text. Den förhärskande grundprincipen för energieffektiv belysning är att byta ljuskälla till en mer energieffektiv, släcka när ingen är närvarande och att använda sensorer för dagsljus. Om dessa insatser jämförs med den belysningsanläggning som utvecklats i projektet utökas dessa åtgärder med användandet av dagsljusets sjunkande nivåer och ljusnivån utformas utifrån att upplevelsen av ljusnivå är relativ. Dessa åtgärder optimerar energibesparingen samtidigt som måluppfyllelsen ökar vad gäller ett trivsamt rum, brukarstöd, ljusrelaterad hälsa och att minska energianvändningen. MS 2013.

Planeringsmetodens betydelse för en anläggnings energieffektivitet

I avsaknad av artiklar på området formuleras följande text. Om energieffektiv belysning utformas för att ljuskällan ska vara så energieffektiv som möjligt åstadkoms en anläggningen som är energieffektiv. Om anläggningen släcks ner när ingen är där under dagen minskar antalet timmar anläggningen används. Om anläggningen används bara när den behöver fylla i dagsljuset och då bara i de delar av rummet där det behövs blir anläggningen än mer energieffektiv. Om anläggningen planeras för att följa dagsljusets sjunkande nivåer ökar dess energieffektivitet än mer. Om kompletterande belysning dessutom utformas utifrån att upplevelsen av ljusnivå är relativ, kommer planeringsmetoden och styrkriterierna att vara ett effektivt verktyg för att forma anläggningar som enbart använder begränsat med energi för allmänljus under året. Brukaren använder den energi de behöver i form av platsbelysning med breda spann. MS 2013.

Belysning mer än teknik

I litteraturstudien kan man finna artiklar där belysning ses som ett tekniskt system. Samtidigt ökar förståelsen för att belysning är mer än det tekniska systemet och nära kopplat till livskvalité. Bakslag kan ses när det gäller att införa energieffektiv teknik om den inte leder till ökad livskvalitet [Leelakulthanit 2013].

Negativ påverkan från energieffektiv belysning

Att införa mer energieffektiv teknik i utformningen av belysning är givetvis positivt för miljön vad gäller minskad produktion av elenergi. Ny teknik kan användas dels på ett sätt som gör att den bidrar positivt till offentliga inomhusmiljöer men samma teknik kan användas på ett sätt som ger oacceptabla effekter visuellt för brukaren. Skillnaden är avancerad ljusanalys och kunskaper i planering. Tyvärr kan kunskapen om avancerad ljusanalys hos allmänheten eller bland teknikforskare vara begränsad. Däremot finns den hos de aktiva belysningsplanerarna och hos de belysningsplanerare som valt att gå vidare till forskning. Vill man undvika ”rebound effects” och ”bad reuptake” är kunskaper i ljusanalys och planeringsteori och praktisk belysningsplanering avgörande för att initiera en positiv utveckling [Leelakulthanit 2013].

Kapitel 5. Diskussion, slutledning och framtida frågeställningar

5. Diskussion kring forskningsfråga 1, 2, 3 och 4, litteraturstudien och kring potentialbedömningar hos simulerade typfall för belysning

5.1. Allmän diskussion kring projektet

Att arbeta med isolerade tekniska belysningssystem som inte utformas mot verkligheten vad gäller visuell komfort, ljusrelaterad hälsa och naturvård riskerar att skapa problem för brukaren vad gäller trivsel i rum, för grundläggande ljusrelaterad hälsa, vad gäller visuell komfort och för miljön. Belysningssystem är i interaktion med sin omgivning och måste för att inte skapa problem för människor, djur, växter och ekosystem, på ett känsligt sätt infogas i sitt specifika sammanhang.

Svenska folket beslutar om utformning av arbetsmiljö och belysning

Det är i grunden svenska folket som via sina folkvalda ombud bestämmer hur arbetsmiljön utformas. Efter inträdet i EU vilar arbetsmiljöns utformning på EC 137.

Arbetsmiljön ska vara hälsosam, säker och anpassad till individen

Utformningen av arbetsmiljön ska vid vite utformas hälsosamt och säkert och ge den enskilde arbetstagaren stöd i arbetsuppgifter utifrån sina fysiska förutsättningar.

Svenska Myndigheters ansvar

Det är Svenska Myndigheter som har ansvaret för att se till att lagens generella formuleringar omsätts i en hälsosam, säker och individuellt stödjande arbetsmiljö.

Belysning som bidrar till en hälsosam, säker och individuellt stödjande ljusmiljö

Utformning av belysning är en viktig del av en hälsosam, säker och individuellt stödjande arbetsmiljö.

Motstridiga önskemål på belysning

Svenska myndigheter har att hantera motstridiga önskemål vad gäller måluppfyllelse för belysning. Belysning ska, utöver att ge ett hälsostödjande ljus, bidra till en miljö som är säker att vistas i. Den ska samtidigt stödja den enskilde individen utifrån dess synförmåga även utnyttja sin fulla potential till att med en låg energianvändning per m²& h under året bidra till att högt ställda miljömål infrias.

5.2. Diskussion kring forskningsfråga 1

Med utgångspunkt från forskningsfråga 1. ”Hur användes, begränsades, kompletterades och synkroniserades dagsljus och kompletterande belysning i rummet i studien under året?” blir diskussionen kring att dagsljus används så mycket som möjligt, okontroversiellt. Det är även med tanke på Sveriges förhållande till ekvatorn och med rummets fönsteröppningar som vetter mot öst- sydlig riktning, en fördel.

Fördelar med att samarbete med dagsljus

Dagsljuset så som det uppträder i det specifika rummet var studiens utgångspunkt för ljussättningen. Dagsljusets variation bidrog till en levande ständigt föränderlig visuell miljö. När solens vandring på himlen gjorde att de inre delarna i rummet upplevdes som otrivsamma höjdes ljusnivån med hjälp av väggarmaturer motstående mot fönstret för att ljusa upp väggarna så rummet blev mer trivsamt att vistas i och samtidigt möjliggjorde säker visuell orientering.

Visuellt fokus mot den inre väggen

Samtidigt flyttades visuellt fokus från utsikten genom fönstret och den mörknade himlen mot den ljusa inre väggen. Att använda en kompletterande enkel väggplacerad anläggning som fyller rummet med ett jämnt ljus på väggarna är fördelaktigt eftersom det skapar trivsamma rum med vackert belysta väggar.

Fördelar, nackdelar med dagsljusets föränderlighet i ljusfördelning

Att fylla i dagsljuset för att behålla dagsljusets karaktär så länge som möjligt i rummet är en utgångspunkt som kan diskuteras utifrån ljusets föränderlighet och bristande jämnhet. Att utgå från den ljusfördelning som uppstår i rummet från de befintliga fönsteröppningarna, är ytterligare skäl till diskussion. Visuell jämnhet är tröttande för sinnena och visuell föränderlighet något normalt och vitaliserande. När jämnhet ses som en garanti för god och säker visuell synprestation glömmar man att den som gör synprestationen ska orka vara vaken för att göra den tänkta synprestationen. Dagsljusets visuella föränderlighet är motsatsen till sinnesutarmande och istället vitaliserande och väckande.

Dagsljus ger kroppen information

Argumenten för användandet av dagsljus är givet ut psykologisk, fysiologisk och visuell (PFV) utgångspunkt för brukaren. Dagsljus innehåller den information kroppen behöver och vid rätt tidpunkt för att fungera väl. När dagsljuset fylls i med en begränsad kompletterande belysning med två alternativa spektralkompositioner synkroniseras dagsljusets föränderliga fotonflöde med det kompletterande flöde som installerats i rummet.

Den kompletterande belysningens spektralkomposition efterliknar dagsljusets

Två grundtyper av spektralkomposition (aktiverande och vilsam) i den kompletterande belysningen relateras i tid grovt mot dagsljusets föränderliga spektralfördelning och förstärker ytterligare att den kompletterande belysningen inte utformas i konflikt med dagsljuset.

Ekonomi avgör

Att återskapa dagsljusets spektralfördelning via ljusteknik med stor omsorg kan optimeras mycket nära dagsljus, men är i grunden en ekonomisk fråga. Om övervägande del av dagens allmänljus består av dagsljus kommer belysningen att fungera bra psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) för brukaren även om ljuskällorna inte är helt identiska med dagsljus vad gäller

spektralkomposition. I framtiden kommer OLED och nanoteknik kunna ge ljuskällor som emitterar ett fotonflöde mer nära dagsljus.

Dynamisk fototerapi kan kompensera skillnader i spektralkomposition

För kompensation av de våglängder som inte passerar fönsterglasets kan dynamisk fototerapi (DFT) i speciella rum, vara ett verksamt sätt att kompensera bortfallet av hälsostödjande våglängder. DFT kan även användas för personal som har svårt att få dygnsrytmen att fungera. När det första fotonflödet (dagsljus) och den inre belysningen (av två sorter aktiv-vilsam) inte längre räcker till för att skapa upplevelsen visuellt av ett helt rum, går det fjärde fotonflödet, placerat i taket, på. Ett fotonflöde som behövs när dagsljuset försvunnit helt i rummet och som därför utformas vilsamt för den sena kvällen, natten eller den tidiga morgonens ljus.

Fördelar med att efterlikna dagsljuset

Genom att infoga kompletterande belysning i rummet på ett sätt som inte helt avviker från dagsljuset eller från hur dagsljuset uppträder i rum när det tas in genom fönster, skapas en ljusmiljö som har både en psykologisk, fysiologisk och kulturell förankring och som kan relateras till dels de ljusförhållanden som rått sen människans evolutionära ursprung, men också till traditionell byggnadskultur.

När kompletterande belysning utformas i konflikt med dagsljuset

När en till dagsljuset kompletterande belysning utformas i konflikt med både dagsljusets spektralprofil och hur dagsljus uppträder i rum när det tas in genom normalstora fönster uppstår visuellt avvikande rum. Rum där jämnheten i de belysta ytorna är statisk och inte är harmonisk och levande varierad, riskerar bli tröttande och påträngande i sin enformighet, samtidigt som den avviker från den information om tid på dygnet som finns i dagsljuset utanför fönstret. Skäl till detta kan vara en upplevelse av visuell enformighet och långsiktigt att dygnsrytmen inte får information till att öka eller minska vakenheten vilket riskerar att påverka brukarens dygnsrytm negativt.

Skillnad mellan att uppleva statisk belysning och dagsljusets föränderlighet

Skillnaden mellan upplevelsen av en överdrivet jämn belysning och hur ljuset från det ständigt föränderliga dagsljuset uppträder, är stor. Dagsljusets stimulerande föränderlighet under dagen och estetisk tilltalande gradienter, ersätts vid statisk belysning med en jämnhet som kan vara otrivsamt och visuellt tröttande.

Statisk belysning versus rörlig

Det jämnt belysta rummet riskerar i perioder att kännas överbelyst, kan kännas visuellt plågsamt och obehagligt fysiskt. Å andra sidan är ett rörligt ljus inte någon lösning. Ett rörligt ljus skiljer sig också från dagsljusets ökning eller minskning av ljusnivå och kan ge obehag på samma sätt som det statiska ljuset. En långsam stigning av ljusnivå och en långsam sänkning av ljusnivån

som sammanfaller med dagsljusets övergripande mönster av förändring under dagen på den plats man lever på, är att rekommendera.

Upplevelsen av ljusnivå är relativ

Ytterligare diskussion kring hur belysning bör utformas för att vara energieffektiv och som berör forskningsfråga 1 är att upplevelsen av belysning är relativ. När dagsljus kan ses utanför fönstret kan exempelvis 5 000 Lux på väggen kännas lågt om det är en högre ljusnivå utanför fönstret. På samma kan en mycket låg ljusnivå upplevas som lagom när inget dagsljus finns i synfältet. Den relativa upplevelsen av ljusnivåer ligger bakom att rekommenderade värden för belysningsstyrka inte fungerar väl i rum där dagsljus finns som referens.

5.3. Diskussion kring forskningsfråga 2.

Hur såg möjlig måluppfyllelse ut för den modell som utformades i studien utifrån energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) vad gäller ett trivsamt rum, psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) stöd till brukaren och för energieffektivitet i rummet under året. Hur kan processen beskrivas och jämföras med andra teoretiska modeller styrda mot alternativa mål och utformade med datorbaserad ljusdesign process (D-LDP)?

Det är viktigt att framföra att D-LDP är en begränsad del av den fullständiga ljusdesignprocessen. Genom att bara använda steg 4 i LDP kommer man inte åt optimal måluppfyllelse. Det är detaljerna som ryms i steg 1, 2, 3 och 4 som sammantaget optimerar planeringen. I det här fallet med avseende på hög måluppfyllelse för rumsutformning, brukarstöd PFV och energieffektivitet. För den som forskar i ljusdesignprocessen är tillgång till den myriad av detaljer som finns i processens 4 steg en förutsättning för att kunna ställa frågor och tolka svaren samt bidra till utveckling vad gäller hur en anläggning bör utformas för högre måluppfyllelse. Detta gäller särskilt för i samhället angelägna och lagstadgade mål för belysningsplanering.

5.4. Diskussion kring energibesparingspotentialmatrisen

Nedanstående frågor kan diskuteras om matrisen med energipotentialer (tabell 7-9).

- Nya anläggningar utformade enligt standard har ca 20-40 % lägre förbrukning än referensalternativet i matrisen (från STIL2) som kan sägas representera det befintliga anläggningsbeståndet. Utformning mot standardrekommendationernas lägsta gräns är ca 67 % lägre energianvändning än referensalternativet i matrisen.
- Referensalternativet är från 2005 och det mest aktuella som kan hittas publicerat. Den bör vara representativ eftersom mindre än 25 % av kontorens belysningsanläggningar bytts sedan 2005.
- Kontor med dagsljusstyrning mot standard eller mot förslag av modifierad standard medger en energibesparing på ca 75-80 %. Inkluderas närvarosensor kan det uppskattningsvis få ned tidsfaktorn ca 10 % ytterligare.

- Specialfallet med mörkerkörning visar att anläggningen som utformades med E-LDP med anpassning mot fördefinierad lägsta trivselljusnivå och bra platsbelysning, är mer effektiv än dagsljusstyrning mot dagens standard och lika effektiv som mot typfall kallad modifierad standard.
- I studiens exempel gick det att komma ned till en energibesparing på ca 20-22 ggr jämfört med referensalternativet. Det kan vara ett rimligt antagande att anläggningar utformade med E-LDP och utförd enligt studiens kriterier, i rum med goda dagsljusförhållanden kan rymma en potential att minska energiförbrukningen för belysning med 10-20 ggr dvs. 90 -95 % med 16 ggr och 93 % som riktvärden, samtidigt som måluppfyllelse för ett trivsamt rum, ett gott brukarstöd och energieffektivitet blir hög. Studiens resultat är möjligt att uppnå inom kontorsbeståndet generellt men är i dagsljusalternativet beroende av det specifika rummets dagsljusförhållande. Mer mätningar behöver genomföras för att verifiera utfall mot kontor generellt.

4:16 metoden - Grov tumregel med stor bäring på teoretisk energibesparingspotential

- Jämfört med den teknik som används i dagens belysningsanläggningar representerar användandet av modern ljus- och sensorteknik, en energibesparingspotential på *ca 4 ggr*.
- När dagens anläggningar jämförs med belysningsanläggningar utformade med E-LDP där den tekniska potentialen som styrning mot trivselvärden för allmänljus i kombination med god platsbelysning samt minskad tidsanvändning av belysning pga. dagsljusstyrning mot lägsta trivselnivån, beaktas, representerar användandet av E-LDP en energibesparingspotential *ca 16 ggr = 4 x 4 ggr*. Denna kan uppnås under förutsättning att rummet har rimligt goda dagsljusförutsättningar.
- Energimässigt kommer ungefär lika mycket bidrag till energibesparing från effekt som tid. dvs. *ca 50 %* av energipotentialen kommer från minskad tid och *ca 50 %* från minskad effekt. Detta motsvarar en minskad effektanvändning med *75 %* minskat effektanvändning och en minskad tidsanvändning med *75 %* ($1/0,25 \times 0,25 = 16$).

Grov teoretisk potentialindikation med utgångspunkt från omvärldsanalys

I studien har genomförts en översiktlig omvärldsorientering med målet att ta fram en grov uppfattning om vad studiens resultat skulle kunna innebära. Siffrorna bör därför endast ses som mycket grova teoretiska indikationer, under förutsättning att studiens metodik tillämpas under likartade förhållanden och att övriga förhållanden globalt inte är helt olika de i Europa.

Potentialen i att använda E-LDP som metod för att planera belysningsanläggningar leder till ett större tillvaratagande av solenergi direkt som allmänbelysning och den kan ge ett betydande resultat till energibesparing om den kan ges en mer utökad tillämpning. Att brukarens situation

samtidigt förbättras och brukarens ljusmiljöer utvecklas mot bättre stöd kan uppnås direkt vid tillämpning utan att tekniska framsteg inväntas och borde därför kunna bli intressant i mindre utvecklade länder med höga elkostnader. Givetvis under förutsättning att långvågig strålning bromsas via teknik i fönstren (kromatiska fönster).

Tabell 13. Grov regional teoretisk potentialindikation för belysning i allmänhet och kontor i synnerhet

	Nuläge Belysn.förbrukn (TWh) (Förbrukn.andel i %)	Potential för plane- ring m D-LDP och modern belys- ningsteknik	Potential för plane- ring m E-LDP och modern belysnings- teknik
Grov Tumregel 4 :16 Antal ggr. lägre förbrukn. (ggr)	<i>1ggr</i>	<i>4 ggr</i>	<i>16 ggr</i>
Grov besparingspotential (%)	(100 %)	(-75 %)	(- 93 %)
Avser andel av förbrukningen totalt alt för kontorsbeståndet	Sparpotential (TWh) (förbrukn.andel %)	Sparpotential (TWh) (förbrukn.andel %)	Sparpotential (TWh) (förbrukn.andel %)
Globalt Belysning	2650 (19 %)	-1950 (5 %)	- 2400 (2 %)
Globalt Kontor	1113 (43 %)	- 830 (11 %)	- 1000 (4 %)
EU-27 Länder Belysning	760 (14 %)	- 570 (3,5 %)	-700 (1,5 %)
EU-27 Länder Kontor	164 (21,5 %)	-120 (6 %)	-155 (1,5 %)
Sverige – belysning	14 (10 %)	- 10 (3 %)	-13 (1 %)
Sverige – Kontor	6,5 (46 %)	- 5 (11 %)	- 6 (4 %)

Som en referens till siffrorna ovan kan nämnas att den svenska vindkraftsproduktionen 2012 utgjorde 4 TWh.

Det bör alltså noteras att ovanstående siffror utgör en grov teoretisk potential indikation baserad på studiens resultat. Det kan alltså mycket väl vara så att den praktiska potentialen för energibesparing är mindre. Till exempel 2 ggr och - 50 % för modern belysningsteknik dimensionerad mot standard och 4 ggr - 75 % för belysningsplanering med E-LDP. Storleksrelationerna mellan planeringsmetoderna torde dock förbli desamma.

Rum är olika och anläggningar finns i en skala från goda till sämre dagsljusförhållanden

Energibesparingspotentialen för planering som bygger på dagsljus användning står i relation till befintligt dagsljus i lokalen och finns i en skala från goda till dåliga dagsljusförhållanden. Det är därför klokt att pröva alla planeringsmodeller som bygger på dagsljus mot mörkerförhållanden för att bättre kunna bedöma utfall för energianvändning.

Typfall:

FDa: styrkriterier 500/250 Lux i mörker används 7,6 W/m²&h, vilket ger en 1,6 ggr. större energibesparing i förhållande till referensalternativet. Vid dagsljusförhållanden i enlighet med beräk-

nad styrning används $3\text{W/m}^2\&\text{h}$. Vilket mot referensalternativet ger en 4,2 ggr. större energibesparing.

FDb: styrkriterier 200 Lux vägg, i mörker används $8,1\text{W/m}^2\&\text{h}$, vilket är ca 1,5 ggr. större energibesparing i förhållande till referensalternativet. Vid dagsljusförhållanden i enlighet med beräknad styrning blir energianvändningen $2,45\text{W/m}^2\&\text{h}$. Vilket mot referensalternativet ger en 5,1 ggr. större energibesparing.

DLLm: med styrkriteriet 40 Lux på vägg. I mörker används maximalt $2,44\text{W/m}^2\&\text{h}$, vilket motsvarar 5,1 ggr. större energibesparing än referensalternativet.

DLL: Vid dagsljusförhållanden i enlighet med beräknad styrning används $0,61\text{W/m}^2\&\text{h}$. Vilket mot referensalternativet ger en 20,3 ggr. större energibesparing.

Anläggningen utformad med E-LDP för mörker lika effektiv som D-LDP på dagen

Av resultatet framgår att DLL utformad med E-LDP när den används på maxeffekt i *mörkerförhållanden* (DLLm) ger ca 20 % lägre energiförbrukning än FDa när den används i *dagsljusförhållanden* relaterat till referensalternativet.

Ställd mot FDb körd i *dagsljusförhållanden* utifrån studiens förutsättningar ger DLL körd i *mörkerförhållanden* ungefär lika stor energibesparing som FDb, dvs. i båda fallen 5,1 ggr. mot referensalternativet.

Sammantaget kan konstateras att anläggningen utformad med *ELDP använd i mörker* ger ungefär samma energibesparing *som standard och som modifierad standard (200 på vägg) använd i dagsljusförhållanden* i förhållande till referensalternativet.

När DLL används mot dagsljusförhållanden uppstår den stora energibesparingseffekten på ca. 20 gånger mot referensalternativet.

FDb har högre installerad effekt och större energibesparingspotential och större energibesparing än FDa.

5.5. Diskussion kring forskningsfråga 3

Hur kan grundprinciper för energieffektiv kontorsbelysning formuleras?

1). Dagsljus är grunden för allmänljuset i alla dagsljusbelysta rum där dagsljuset kan användas, utan kostsam negativ effekt på inomhusmiljöklimatet. Inplanerad belysning spelar en andra och kompletterande roll. Kompletterande belysning är ofta utformad i konflikt med det naturliga ljuset. Dagsljusets variation är den modell utformningen av den kompletterande belysningen bör ansluta sig till.

2). Att skilja på allmänljus och platsbelysning är en annan förutsättning för att planera ett energieffektivt ljus. När allmänljuset och platsbelysningen samplaneras och håller 500 Lux i horisontell belysningsstyrka i bordsnivå hela dagen, åtgår onödigt stor mängd energi för att upprätthålla ljusnivån.

3) Anläggningar riskerar även i framtiden att förbruka onödig energi om inte resurser inom byggprocessen i form av tid för planering och för att använda modern ljusteknik kan skapas eventuellt via ekonomiska stimulansåtgärder.

3). Mätdata från studien visar att behovet av kompletterande belysning uppstår i första hand på eftermiddagen. Behovet initieras av skillnaderna i ljusnivå utanför fönstret och den i rummet. Belysning behövs därför på eftermiddagen för att kompensera att dagsljusnivåerna kan vara höga ute och dagsljusnivåerna inne då upplevs som låga, trots att mätdata visar att de är höga. Bara under mät dagarna i december behövdes belysning, i olika omfattning under samtliga uppmätta timmar.

Diskussion kring vårt behov av dagsljus

I en artikel publicerad i *Lighting Research and Technology* kallad *Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment*. Publicerad 7 November 2013 söker författarna [Aries, M.B.C., Aarts, M.P.J., Van Hoof, J. 2013] verifikation för dagsljusets hälsomässiga fördelar och dess tillämpning i rum. Artikelförfattaren (Aries 2013) finner enbart svag verifikation för att dagsljus är hälsosamt att vistas i.

Vetenskaplig verifikation av att dagsljuset är hälsosamt

Förhållningssättet skiljer sig från fotobiologisk forskning som utgår från evolutionen och pekar på att vi utvecklats i dagsljus och underbygger att dagsljus är hälsosamt med forskningsrön rörande ljusrelaterad dygnsrytm och D-vitaminproduktion (Holick 2005-11). Den fotobiologiska forskningen ökar kunskapen om dessa två områden. Ämnesutvecklingen beskriver hur dagsljus på ett genomgripande sätt, reglerar kroppens olika funktioner, via seendet, ipRGC och huden. Samtliga är receptorer för vissa delar av solens och dagsljusets elektromagnetiska strålning.

Risker med dagsljus

De pekar samtidigt på riskerna med UV för seendet och huden. Här ställs detaljverifikation för fysiologisk effekt av fotonflöden mot väl kända mönster av hälsa och ohälsa. Det kan tänkas att det som i många fall av medicinska frågor, kan vara mycket svårt att verifiera att en specifik trigger ger en viss påverkan eller respons. Välkända stabila mönster som kan avläsas kontinuerligt kan då vara den enda möjliga verifikation som kan fås. Ett stabilt mönster som visar på respons trots att de specifika sambanden som leder till mönstret inte är kända.

Detaljerad verifikation för fotonflödets påverkan på brukare

Människokroppen är komplex. Individuella skillnader i känslighet och visuell förmåga, dualistiska förhållanden mellan hormoner, kamp och flykt systemet, lugn och ro systemet och auto-

noma nervsystemet är mänskliga fysiologiska system och humanfysiologiska faktorer som gör att påverkan från en enskild trigger är mycket svår att vetenskapligt verifiera. Här som för många andra medicinska frågeställningar kan svaret vara att responsen är för komplex för att definieras. Väl etablerade mönster av hälsa och ohälsa kan då istället läsas av och ge svaret att när x och y är z visar erfarenhet på mönster för hälsa, alternativt på ohälsa.

Skillnad att utsättas för dagsljus i Skandinavien och i Central Europa

Dagsljus inomhus är för svenska förhållanden en väl accepterad faktor för hälsa. I Central Europa är utsattheten för solens negativa effekter större än här. Med fönster som håller ute UV och avskärmning mot att släppa in långvågig strålning vid behov, är det möjligt att även Central Europa hittar fram till den positiva attityd till dagsljus i rum som finns representerad i Skandinavien.

5.6. Diskussion kring forskningsfråga 4.

Hur kan en principlösning för styrning av kompletterande belysning formas som samverkar med dagsljuset under dess förändringar under dagen och året.

Belysning bör inte utformas som något statiskt och lika för alla. Vi behöver leva i dagsljusets dynamiska rytm för att få information till dygnsrytmen om vakenhet och vila. Människan har förutsättningar för att vistas i höga respektive låga ljusnivåer och ökar respektive minskar sin känslighet för triggern elektromagnetisk strålning (EMS). Den statiska anläggningen utformad lika för alla hela tiden är en första primitiv version av morgondagens anläggning som på ett relativt sätt matar upp kompletterande belysning för ett trivsamt rum. Brukaren själv tar ansvar för att finna optimum i ljusnivå på arbetsytan.

5.7. Diskussion kring hinder i praktiken

Diskussion kring hinder beroende på avsaknad av utbildning

Antalet utbildningsplatser i belysningsplanering kommer att öka i takt med att efterfrågan på belysningsplanerare ökar. Fler utbildningsplatser ökar möjligheten att akademiker som behärskar att göra ljusanalyser och har kunskap om belysningsplaneringsprocessen går vidare mot forskning. Med fler teoretiker som har god förankring i praktisk applikation, ökar möjligheten till applikationsforskning inom energieffektiv belysning.

Diskussion kring hinder i praktiken i byggprocessen

I Peter Pertolas utvärdering av hinder i Byggprocessen för utformning av mer omsorgsfullt utformad belysning (2012) nämns byggprocessen men inte Europeiska belysningsstandarderna som ett hinder för utveckling av mer energieffektiva belysningsanläggningar. En standard som man kan utgå ifrån görs med en god ambition kan skapa fler problem än den löser.

Post dok projektet visar på hur energikrävande det är att följa den rekommendation som utvecklats för kontor och som vilar på statiska styrkriterier och belysningsstyrka. För kontor är de givna

nivåer som ska upprätthållas för visuellt stöd i arbetsuppgiften på bordet och på övriga ytor i rummet mer energikrävande att följa än att falla in i dagsljusets nivåer under dagen och släppa fram den enskilda individens val av ljusnivå på platsbelysning.

Att upprätthålla säkerhetsljus och en ljusnivå som ger ett trivsamt ljus och därmed säker visuell orientering kan motiveras när det gäller att styra upp användningen av belysning men att ge alla brukare 0-500 Lux motsvarar inte ett rimligt spann brukare kan förutsägas ha på nivå på platsbelysning. Att 0-2000 Lux bättre omfattar brukares skillnader i preferens för platsbelysning är mer troligt. Att släppa statiska styrkriterier för belysning och införa att på ett dynamiskt sätt ansluta till dagsljus är utifrån energisynpunkt viktigt. Kan inom byggprocessen resurser skapas vad gäller tid för planering och användandet av teknik som säkerställer att morgondagens anläggningar utformas maximalt energieffektivt, påskyndas förverkligandet av belysningsdelens vision av näranollenergibyggnader.

Belysningsstandarden löser och skapar problem

Genom att lösa ett problem (alla arbetsplatser ska ha belysning av lägst denna kvalitet) skapas samtidigt nya problem. Exempel på problem av detta slag kan vara att byggherren kan tycka att standarden är ”good enough” och i första hand är en fråga om kostnadseffektiv installation. Ett annat skäl kan vara att målpuffyllelsen för lägsta kvalitén är för låg vad gäller visuell komfort, ljus relaterad hälsa och energieffektivitet i förhållande till etablerade angelägna samhällseliga mål (en hälsosam och väl fungerande arbetsplats, maximal energieffektivitet) vilket genererar kostnader av olika slag för en hyresvärd (en mindre attraktiv lokal) för brukaren (minskad effektivitet beroende på trötthet, sjukfrånvaro beroende på dygnsrytms störningar) för samhället (ljusrelaterade medicinska kostnader och fortsatt hög energianvändning för belysning).

Den standard som är utformad för att säkra upp att anställda har en hälsosam arbetsmiljö och säker arbetsplats kan då i praktiken vara ett hinder för att uppnå just dessa mål.

Standarden rekommendera styrning mot fördefinierade värden för belysningsstyrka

Standarden för belysning omfattar inte den rumsliga komplexitet eller berör brukarens behov utan är en överenskommelse om ett baskrav, framdrivet av en ambition om säkerhet på arbetsplatsen. Standarden berör enbart steg fyra i ljusdesign processen och utformas utan kontakt med brukaren och rummets förutsättningar mot fördefinierade värden för belysningsstyrka.

Standarden hanterar inte verklighetens ljusförhållanden

Belysningsplanering innehåller en myriad av detaljer och följer en given process av analyser om rum, och om brukare. Den innebär design av dagsljus och en kompletterande belysning samt utformning av belysningsanläggningen. Den Europeiska belysningsstandarden vägleder inte till att göra en belysningsanläggning som hanterar de problem som belysningsplaneraren möter och måste lösa, för att få en väl fungerande belysningsanläggning och därmed en hälsosam miljö. Detta står i konflikt med lagkrav på arbetsmiljöområdet.

Koppla belysning till samhällliga mål för hälsa

För att klara av de hinder som Peter Pertola listar för att få fram en visuellt komfortabel, hälsosam och energieffektiv belysningsanläggning krävs att belysning på ett mer detaljerat och precist sätt kopplas till grundlagens krav på hälsa (och motsvarande på Europeisk nivå) och att utförandet har stöd i lagen vid vite om det inte genomförs.

Avsaknad av kunskap på myndigheter om kopplingar utformning av belysning och hälsa

Det verkliga hindret för att med större resurser genomföra bättre belysningsanläggningar finns då inte i byggprocessen utan snarare i svenska och europeiska myndigheters okunskap om ljusets betydelse för arbetstagarna vilket leder till avsaknad av förordningar som mer tydligt preciserar lagkravens mer övergripande formuleringar.

När myndigheter inte utgår från att hantera verkliga ljusförhållanden saknas ledning

När myndigheter med verksamhet på områden som berör arbetsplatser i lagkrav eller förordning inte beskriver hur ljuset bör utformas bevakas inte heller att landets belysningsanläggningar lever upp till grundlagens krav på att det offentliga ska verka för hälsa.

Utökade krav på belysning skulle snabbt leda till förbättrade anläggningar

Om Boverket i Plan och bygglagen angav inte bara dagsljus som krav för arbete utan även angav att till dagsljus kompletterande belysning skulle vara dagsljushärmande och kopplas till dagljuset på den plats där vi bor skulle kvalitén på landets anläggningar förbättras markant. Om då även vid vite krav ställdes på att resurser skall tillsättas för att genomföra detta skulle byggprocessen inte kunna undgå att avsätta resurser för en belysningsanläggning med hög måluppfyllelse vad gäller visuell komfort, ljusrelaterad hälsa och energieffektivitet.

Bevaka brukarens behov av ljus

Om Arbetsmiljöverket beskrev att allmänljuset skulle bidra till en hälsosam arbetsplats och platsbelysningen utformas nära brukarens behov skulle på samma sätt lagligt stöd finnas för avsättandet av resurser för att genomföra bättre fungerande belysningsanläggningar på landets arbetsplatser.

Bevaka dygnsrytmsstödjande belysning

Om även Socialstyrelsen bevakade att arbetsplatser utrustas med ett hälsosamt allmänljus bestående av dagsljus, ett kompletterande dagsljusliknande allmänljus, individuellt platsljus och koplade allmänljuset till statistik för antal dagar av sjukfrånvaro för ljusrelaterade medicinska problem samt kostnader för dessa, skulle på samma sätt en motor finnas för att verka för optimering av allmänljus och platsbelysning på landets arbetsplatser.

Hinder för förbättring av ljusrelaterad folkhälsa

Bristande kunskap om ljusets betydelse för brukaren och för samhället i stort samt avsaknaden av en lagstiftning som understödjer åtgärder som leder till en förbättring av ljusrelaterad folkhälsa, är hinder i praktiken för att tillsätta resurser för att utveckla belysning som ger visuell komfort

för den normal och icke normalseende brukaren, förbättrad ljusrelaterad folkhälsa samt energieffektivitet. Dessa tre mål kan inte ses åtskilda och energieffektiv belysning som motverkar de övriga två målen bör inte accepteras utan istället vägas samman på ett klokt sätt. Standarden med sitt lägsta krav på belysning kan ge intryck av att man har en god måluppfyllelse och leda till att man bortser från att väga samman angelägna motstridiga önskemål på belysning.

5.8. Diskussion om litteraturstudien

Litteraturstudien behöver koppla artiklar kring belysningsplanering till hur de hör samman med övergripande beslut gällande klimatkrisen. Litteraturstudien är bara påbörjad och kommer att utökas och vidgas för att på ett rimligt sätt belysa frågeställningarna.

5.9. Diskussion kring grundprinciper för utformning av energieffektiv belysning

Utifrån ljusdesignprocessen kan grundprinciper för planeringen av energieffektiv belysning friläggas och relateras till måluppfyllelse. När den energibesparande planeringsmetoden utvecklas tillförs den del i framtagandet av en väl fungerande energieffektiv anläggning som styr upp slutresultatet och som optimerar övriga insatser.

Grundprinciperna inte i strid med Europeiska rekommendationer

I beskrivningen av de grundprinciper som utvecklats i projektet utgår jag från att optimala tekniska val görs som leder till en väl fungerande energieffektiv belysning på den aktuella platsen. Grundprinciperna beskriver övergripande vad tekniken ska göra och de kan omsättas med olika tekniska val. Grundprinciperna strider inte mot den etablerade Europeiska belysningsstandardens rekommenderade ljusnivå på 500 Lux på arbetsytan eller med lägre nivåer omkring arbetsytan. Belysningen finns i taket, ligger på dimmer, används på så låg nivå som möjligt och så lite som möjligt. Dess funktion är att gör hela rummet ljust vid behov. Grundprincipernas mål är att använda både den inre kompletterande belysningen och takljuset så lite som möjligt och på den nivå som verkligen behövs.

Visuell utvärdering ett analysverktyg

Det är lätt att acceptera en siffra till exempel 500, 250, 200 eller 100 Lux som är exempel på frekvent använda belysningstekniska mätvärden för horisontell belysningsstyrka inom belysning. Att bedöma vad 500 eller 200 Lux är i rummet kräver träning i rumsutvärdering och ljusanalys och förståelse för brukarens preferenser. Utifrån denna kunskap är 500 eller 200 Lux en ljusnivå som påverkar rummet och brukaren olika beroende på vilket rum det berör och vilken brukare det gäller och när på dygnet ljusnivån upprätthålls.

Belysning behövs i första hand morgon och kväll

För att möjliggöra att leva i dagljusets rytm utformas den inre kompletterande belysningen som två system, system 1 med aktiverande EMS, system 2 med avkopplande EMS. Den kompletterande belysning som finns i taket som används när dagsljuset är så gott som helt borta, vilket

inträffar morgon och kväll, har stor andel långvågig EMS. Enbart under mätdagarna i december konstateras ett behov av belysning på 11 timmar per dag.

Brukarens ansvar för sin belysning

Brukarens platsbelysning ses helt åtskild från allmänljuset och ses som ett arbetsverktyg som utformas nära brukarens behov. Brukaren själv måste ta aktivt ansvar för att hitta ”sin nivå” under dagen och samarbeta med kollegor för att undvika att någon upplever ett tröttnande visuellt obehag.

5.10. Diskussion kring planeringsmodell 1, steg 4 i LDP.

Tekniklösning som optimerar en belysningsanläggnings energieffektivitet och där användaren optimerar nivåer för platsbelysning och allmänljus.

När målet för en väl fungerande belysning för inomhusmiljö definieras som visuell komfort för alla normalseende i Europa och man tittar på den planeringsmetod som idag rekommenderas för att nå detta mål, är det genomgående en teknisk lösning som är utformad mot ett förutbestämt värde och med vissa kvalitetskriterier riktade mot ljuskällan.

Planeringsmodell 1 en ren teknisk lösning

Det är då uppenbart att planeringsmodell 1 som är en renodlad teknisk lösning baserad på ett i förväg definierat rekommenderat värde utan kontakt med rummets förutsättningar eller individens behov av ljus inte kan ge ständig visuell komfort till en enda person än mindre de övriga normalseende arbetarna i Europa i en population på 502 miljoner (2011) inneånare.

Utveckling av anläggningar som ger brukaren en upplevelse av visuell komfort

Utveckling av planeringsmetoder och uppfyllande av målet visuell komfort blir helt överflödigt om målet i standarden utges för att vara uppnått. Det är viktigt att verka för att på ett mer korrekt sätt kunna beskriva hur målet för visuell komfort uppnås genom användandet av en rekommendation där planeringen anpassas mot verkligheten, rumsligt och mänskligt.

5.11. Diskussion om Planeringsmodell 2, steg 1-4 i LDP.

Synkronisering av fotonflöden och en teknisk lösning som optimerar en anläggnings energieffektivitet och där användaren optimerar nivåer för platsbelysning och spanns för allmänljus.

När alla fyra stegen i ljusdesignprocessen (LDP) används i arbetet med att utforma belysning, vilket sker när planeringen görs utifrån hantverket ljusdesign, åstadkoms hög måluppfyllelse. Fotonflödena synkroniseras i processen och användaren ges möjlighet att optimera både allmänljus och platsbelysning. Planeringsmetoden förekommer i undantagsfall på kontor och är svår att hitta beskriven i litteraturen.

5.12. Diskussion om planeringsmodell 3, steg 1-4 i LDP.

Synkronisering av fotonflöden och en teknisk lösning som optimerar en anläggnings energieffektivitet och där användaren optimerar nivåer för platsbelysning och spann för allmänljus. Sjunkande ljusnivåer under dagen och föränderlig spektralkvalitet.

När alla fyra steg i ljusdesignprocessen (LDP) används i arbetet med att utforma belysning, vilket sker när planeringen görs utifrån hantverket ljusdesign, åstadkoms hög måluppfyllelse. Fotonflödena synkroniseras i processen och användaren ges möjlighet att optimera både allmänljus och platsbelysning. Med sjunkande ljusnivåer under dagen och föränderlig spektralkvalitet ökar brukarstödet psykologiskt, fysiologiskt och brukaren kompenserar sig visuellt med platsbelysningen. Att forma anläggningar som fogats in omsorgsfullt i människans liv och där dagsljuset synkroniserats med kompletterande belysning, hör i stor utsträckning framtiden till. Planeringsmodellen förekommer i undantagsfall och är svår att hitta beskriven i litteraturen.

5.13. Diskussion om metoder/ studera brukarens upplevelse

Brukare med i studien? Stora summor av forskningsmedel förbrukas på brukarstudier. De genomförs med målet att verifiera respons, preferens eller upplevelse. Att vistas i ett flöde av fotoner som ständigt varierar under dagen och som brukare befinner sig i en varierad och dygnsrytmrelaterad känslighet för att betrakta belysta ytor (bland många andra förändringar under dygnet) bidrar till att brukarens upplevelse ständigt varierar. Värdet av metoden att fokusera forskning på brukarens upplevelse i stunden kan ställas i förhållande till att som forskningsmetod testa belysningsteknik vars flexibilitet stöder brukaren. Den senare forskningsansatsen har större potential till att bidra till utökad planeringskunskap och stöd för brukaren.

Forma en flexibel anläggning

Belysning är en relativ upplevelse varför samma nivå kan upplevas som hög respektive för låg beroende på vad som för tillfället finns i synfältet. Brukarens begränsade upplevelser i en specifik rumslig situation vid en tidpunkt, är svår att tillämpa på ett annat rumsligt sammanhang. Att inte använda brukare bygger på realism. Det är bara brukaren som i en given rumslig kontext kan avgöra vad som är mycket litet, behagligt och obehagligt för stunden. Att fokusera på att forma en flexibel anläggning nära brukares behov är mer utvecklingsbart än att leta efter verifikation för något fast värde, gott för alla hela tiden. I en ständigt föränderlig visuell verklighet och med stora skillnader mellan brukarna existerar inte detta goda val som är gott för alla hela tiden. Teknik däremot kan formas för att ha breda spann och möjliggöra anpassning mot olika önskemål.

Naiva brukare/ primitiva anläggningar versus tränade brukare och avancerade anläggningar

Medveten utformning av belysningsanläggningar är en förutsättning för bra data i vetenskapliga studier om utformning av belysning. Kombinationen primitiva anläggningar och naiva brukares känslomässiga upplevelser är svårt att förena med teoretisk utveckling. Det är viktigt att lyssna

in den naiva (otränade) brukarens allmänna upplevelse av ljuset från en anläggning men data om brukarens åsikter har ett begränsat värde på grund av deras bristande erfarenheter av utformning av belysning. Den naiva brukaren som ofta kan verbalisera sin allmänna känslomässiga upplevelse har på grund av bristande tekniska insikter svårare att skilja anläggningar åt och koppla känslan till ett tekniskt val. Tränade brukare och medvetet utformade anläggningar har större möjligheter att bidra till teoretisk utveckling.

Fånga in brukarens prestation visuellt

Om brukaren istället gör en synprestation i ljuset från anläggningen förändras data från en allmän ljusupplevelse till att vara en säkerställd visuell synprestation, vilket förbättrar data från studien avsevärt.

Produktutvärderingar

Det är på samma sätt stor skillnad mellan allmänna produkttester i form av tända armaturer där brukare uttalar sej och medvetet utformade anläggningar som formats för att få svar på intressanta belysningsrelaterade frågeställningar och som prövas av brukare som har verifierad förmåga att se visuella skillnader i ljusnivå och ljusfördelning och även har förmågan att koppla dessa till tekniska val. Det är då viktigt att anläggningen är utformad så att den medger studier av för planering väsentliga frågeställningar. Den anläggning som ligger till grund för studier av utomhusbelysning bör vara formad så den ger svar på angelägna frågor kopplade till utformning av belysning.

Skillnader i brukares preferens

Tidigare studier visar på stora skillnader i brukares preferenser för ljus [Luckiesch & Moss 1930, Ronchi 2012, Säter 2011] varför en rimlig utgångspunkt är att det inte går att hitta något som fungerar väl för alla, alltid. Istället bör man hitta den lägsta trivsel och säkerhetsnivån som stödjer de flesta normalseende och många synskadade brukare till säker visuell orientering.

Brukares medverkan i ljusdesignprocessen

När brukaren tas in i designprocessen är deras roll att utgå från sig själva och sina sinnesupplevelser. I planering av ljus möter man ofta motstridiga krav på ljuset från samma belysningsanläggning och på dess utformning, samt placering. När planering förfördelar ett önskemål på belysning på bekostnad av ett annat riskerar man att få en anläggning som inte fungerar väl i rummet, mot olika brukare, vad gäller design och vad gäller tekniska val.

Den erfarne belysningsplanerarens arbete med att avväga motstridiga önskemål på belysning

Utformning av belysning bör göras av ljusdesigners som är tränade i att avväga på ett klokt sätt mellan dessa motstridiga krav på belysning för att planera in en väl fungerande anläggning. Här kan då brukares upplevelser vara en del av ett väsentligt planeringsunderlag men inte liktydigt med planering. Brukares medverkan är intressant och deras sinnesupplevelser kan inte och ska

inte förbises. Det är däremot att begära för mycket av dem att be dem definiera vilka tekniska val som ger en viss ljussättning, det kräver kunskap och erfarenhet i ljusanalys och teknikval.

Risker med en begränsad erfarenhetsram gällande belysning

Bred kompetens krävs av belysningsplaneraren för att kunna tillgodose olika brukares behov av belysning. Om planeraren utgår från en begränsad ram av erfarenheter kommer slutresultatet att enbart omfatta den eller de aspekter planeraren känner till.

5.14. Diskussion av studiens principlösning för dagsljusstyrning av tekniska system

Principlösning och utvecklingsmöjligheter

Det tekniska systemet är en grundlösning som på ett naturligt sätt följer dagsljuset under dagen och synkroniserar den kompletterande belysningen så den fyller i dagsljuset när det behövs och där det behövs i rummet.

Det system som utformats i studien är en dynamisk principmodell för dagsljuskontroll där parametrarna kan ställas om för att passa olika rumsmiljöers förutsättningar och brukarbehov. Genom att studera hur dagsljuset uppträder i rummet får man den information som behövs för att ställa parametrarna rätt i systemet.

Direktstyrd utsignal istället för tidskontinuerlig

Den modell för belysningskomplettering som utvecklats i studien bygger dels på att en tidsfördröjning görs innan utsignalen skickas med hänsyn till de dynamiska ljusförhållandena och dels på att upptändningen görs kontinuerligt under en period av t.ex. 10 min. Detsamma gäller släckningen. Modellen kan ytterligare förfinas såtillvida att den tidsstyrda kontinuerliga tändningen och släckningen istället kopplas direkt till dagsljuskvoten.

Individanpassning av dagsljuskvoten

Systemet är utformat så att det kan anpassas med hänsyn till olika personers ljuskänslighet. Kvoten 2,5 baseras på empiriska värden ur studien utvärderade av en normalseende person. Kvoten kan finjusteras genom bedömningar av kontrastsituation i rummet och arbetets art. Rekommendationer kan göras för olika typmiljöer och målgrupper.

Koppling mot utrustning för dagsljusinlänkning i norra hemisfären

Systemet har särskilt i den norra hemisfären med ljusförhållanden liknande de Skandinaviska en stor tillämpning. Systemet kan kombineras med kompletterande teknik för ökad energieffektivisering. Istället för att öka La 1-2, Lv 1-2 och Lv T 1-8 kan ett alternativ vara att omvänt styra utrustning för ökad eller minskad dagsljusinlänkning som kromatiska fönster, ljusbrunnar.

Koppling mot utrustning för solavskärmning närmare ekvatorn

Ju närmar ekvatorn man kommer, desto mer begränsat blir utrymmet för ovanstående tillämpning. Här kan istället möjligheten till avbländningsfunktionen få stor betydelse då det tekniska systemet är utformat för att klara både begränsat dagsljus och för mycket sol. Detta innebär alltså

att systemet med fördel även kan användas i ljusförhållanden närmare ekvatorn som avviker från de Skandinaviska.

Globalt har solavskärmning stor betydelse för brukarna nära ekvatorn och omvänt har att utnyttja dagsljuset effektivt för allmänljus stor betydelse för den norra hemisfären. Det kan diskuteras på vilket sätt byggnader kan bli mer energieffektiva med avseende på dagsljus (fönsterplacering, fönstertyp, takfönster, ljusbrunnar etc.) när maximalt tillvaratagande av dagsljuset eftersträvas.

Balansera fördelar och nackdelar med dagsljus

Det är viktigt att definiera hur detta harmonierar med övriga riktlinjer för värmeenergi, bländning etc. och hur dessa aspekter samverkar respektive motverkar varandra. I detta rum visade sig modellen fungera väl. När förhållandena i dagljusets uppträdande skiljer sig som det gör för rum närmare ekvatorn bör modellen fungera lika bra, men tonvikten i användandet istället förskjutas mot att, med stor exakthet använda kromatiska fönster och möta upp dessa med kompletterande belysning på ett väl fungerande sätt.

Finjustering av ljusintervall i fallen 2a, 2b och 3

Kvoten mellan infallande dagsljus på fönsterbräda och värdet på vägg bygger på faktiska värden uppmätta under mäddagarna i studien. De värden och ljusnivåer som fungerar som brytpunkter för inkoppling av kompletterande belysning bygger också på faktiska värden uppmätta i projektet. Dessa värden fungerar väl i den kontrastsituation som finns i rummet som användes i studien.

5.15. Slutsatser

5.15.1.-Om att planera energieffektiv belysning

- Att kombinera belysningsplanering utifrån E- LDP och modern belysningsteknik ökar besparingspotentialen för belysning drastiskt.
- Styrkriterier för belysning är direkt relaterade till potential för energibesparing.
- När styrkriterierna utformas för lägsta trivsel och säkerhetsnivå till skillnad från att statistiskt upprätthålla en fördefinierad generellt synstödande ljusnivå, sjunker energianvändningen för belysning, samtidigt som brukarstödet PFV ökar.
- Studien visar att brukarstöd psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) via en trivsam ljusmiljö och med individuell platsbelysning är förenligt med en låg medelenergianvändning.

- I projektet påvisas en större energibesparing vid användning av dynamiska styrkriterier i jämförelse med statiska, för utformning och användning av belysning.
- De dynamiska styrkriterierna baseras på dagsljus och att via allmänljuset stödja människans dygnsrytm och kompensera brukaren med individuellt utformad platsbelysning.
- Att släppa fram dagsljusets egen rytm, avskärma det vid behov, synkronisera dagsljus och kompletterande belysning, upprätthålla lägsta ljusnivå för trivsel och visuell säkerhet med hjälp av kompletterande belysning, utforma rummets färgsättning visuellt komfortabelt och låta brukaren själv reglera sin egen ljusnivå för platsbelysning är mer mänskliga och realistiska styrkriterier som samtidigt leder till en avsevärt mer energieffektiv belysning. Detta är ett förhållningssätt till belysningsplanering som utgår från den faktiska verkligheten snarare än från ett teoretiskt idealiserat tekniskt planeringsperspektiv och en teoretisk medelanvändare.
- Projektets resultat visar att om utformningen av anläggningar inte utformas mot generell nivå för synprestation (500 Lux i arbetsnivå 24/7) alternativt 200 eller 100 Lux på golv utanför arbetsytan, utan istället mot trivselnivå för allmänljuset vid mörkerförhållanden (40 (50-30) Lux på vägg) och säker visuell orientering begränsas energianvändningen för belysningen drastiskt.
Om belysningen samtidigt på ett relativt sätt kompenserar dagsljuset bara när det behövs och där det behövs i rummet samt ger brukaren platsbelysning med breda spann, kommer belysningen att utformas mer trivsamt, fortfarande vara säker och blir mer hälsostödjande. Den kommer även att kunna individuellt stödja brukarens synprestationer samt än mer kraftfullt bidra till energibesparing på belysningsområdet. Värdet 40 (30-50) Lux vertikalt på vägg sätts i relation till kontrastförhållanden i rummet och arbetets art. Det går knappast att gå under 40 (30-50) Lux men det behövs å andra sidan inte mer för att garantera säker visuell orientering för normaleende brukare.
- Genom att utforma kompletterande belysning enbart mot mörkerförhållanden och kontrastsituationen i rummet och mot att alltid upprätthålla trivsamt ljusa väggar vilket är strax över den ljusnivå som ger säker visuell orientering, möjliggörs för en normaleende att göra en säker synprestation på bordsnivå i rummet (12 punkter svarta bokstäver på vitt papper på bordsnivå) i allmänljuset och utan hjälp av platsbelysning.
- Genom att låta dagsljusets förändring under dagen vara det allmänljus vi vistas i och bara upprätthålla att rummets väggar är trivsamt ljusa och att säker visuell synprestation är möjlig att genomföra över hela ytan, kommer anläggningen ner i det specifika rummets lägsta möjliga förbrukning av energi för belysning vad gäller allmänljuset.

- Brukaren tänder sin platsbelysning vid behov. Platsbelysningen är tänkt att utrustas med timer på tidsintervall för användning morgon och kväll då platsbelysningen behövs (2 timmar lämpligt i studien och ändras utifrån vad som är lämpligt för olika brukare i olika rum). Bara under december behövdes belysning under samtliga mättimmar under mätdagarna.
- Den modell som utformats med E- LDP planeras för närvarodetektering och sensorer för att bara mata upp kompletterande belysning i de delar där detta verkligen behövs och relativt i förhållande till ljusheter i synfältet.
- När belysning utformas med E- LDP samverkar planering och belysningsteknik mot att göra det bästa av varje rum vad gäller att allmänljuset utformas mot lägsta tänkbara medelanvändning per timme m² och år.
- Det är rekommendationen om att upprätthålla ett visst värde som försvårar att världens anläggningar redan idag ställs om till att ha som styrkriterium lägsta nivå för trivsamhet. När medelanvändningen av energi per timme och m² på årsbasis kommer ner nära noll används fullt ut den potential belysning har i att minska den miljöbelastningen som hotar vårt klimat. Belysning tar då sin del av förverkligandet av visionen om näranollenergi-byggnader (NNEB).
- Det finns i dag inget som hindrar att anläggningar används som anges i studien. Anläggningar kan fortfarande installeras för att hålla vissa värden för hela eller delar av ytan men användningen bör styras till att upprätthålla 40 (30-50) Lux på vägg när inget dagsljus finns i synfältet och i övrigt fylla i dagljuset så det skapas ett trivsamt rum på den nivå som då är lämplig.
- På sikt bör styrkriterier för belysning istället för att bevaka att ett visst belysningstekniskt mätvärde, rekommendera en teknikanvändning som kan hantera de verkliga ljusförhållanden som råder på platsen med hög måluppfyllelse för ett trivsamt rum, ett gott brukarstöd och låg medelanvändning av energi per m² & h under året och upprätthålla lägsta ljusnivå för trivsel och säkerhet.

5.15.2.-Om elenergibesparing relaterad till användandet av belysning

- Energianvändningen blev vid användandet av E- LDP som planeringsmetod så begränsad att nästa logiska steg är att påbörja arbetet med det praktiska förverkligandet av den belysningsrelaterade delen av NNEB.

- Teoretiskt kan det beräknas vilken besparingseffekt som skulle kunna uppnås om världens anläggningar ställs om till att upprätthålla 40 (30-50) Lux på vägg, vilket i detta exempel var fullt tillräckligt för allmänljus under mörkerförhållanden. Det kan även beräknas vilken besparingspotential som skulle kunna uppnås om anläggningarna följer med dagsljusets sjunkande ljusnivåer till lägsta accepterade Luxvärde på vägg och under dagen enbart jämnar ut dagsljuset i delar av rummet där det behövs. Platsbelysningen omfattas inte av åtgärder för energieffektivisering och utformas nära brukarens behov.
- Om den tid anläggningen används minimeras till den tid då dagsljuset inte ensamt orkar upprätthålla 40 (30-50) Lux på väggarna minskas medelanvändningen per timme och m² under året i förhållande till om högre nivåer upprätthålls (konstanthålls). Olika beroende på varje rums förutsättningar och användning. Förhållningssättet till utformning av energieffektiv belysning som utvecklats i projektet kan radikalt påskynda förverkligandet av näranollenergibyggnader (NNEB) och på sikt plusenergibyggnader (PEB).

5.16. Slutsatser Forskningsfråga 1.

Hur användes, begränsades, kompletterades och synkroniserades dagsljus och kompletterande belysning i rummet i studien under året?

Belysningsanläggningens utformning

Anläggningen utformades med väggarmaturer och en anläggning i taket. Anläggningen följer med dagsljuset under dagen i stället för att upprätthålla ett visst fördefinierat värde för belysningsstyrka. Brukaren hade alltid tillgång till platsbelysning.

Användning, begränsning, komplettering och synkronisering av dagsljus och kompletterande belysning i studien

Dagsljus användes som allmänljus fullt ut och fylldes i med kompletterande belysning när dagsljuset inte upprätthöll trivsamt ljusa väggar i hela rummet. En säkerhetsnivå upprätthölls som ligger strax under nivån för trivsamt ljusa väggar. Dagsljus och kompletterande belysning synkroniserades mot varandra genom dimensionering mot mörkerförhållandet relaterat till det aktuella rummets kontrastsituation. Principer för styrning med sensorer utvecklades för att styra den manuella anläggningen mot ett trivsamt allmänljus.

5.16.1. Slutsatser FO-fråga 2.

Hur såg måluppfyllelsen ut för den modell som utformades i studien utifrån energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) vad gäller ett trivsamt rum, psykologiskt, fysiologiskt och visuellt (PFV) stöd till brukaren och för energieffektivitet i rummet under året och hur kan processen beskrivas och jämföras med andra teoretiska modeller styrda mot alternativa mål och utformade med datorbaserad ljusdesignprocess D-LDP?

Slutsatser kring användningen av E-LDP

Endast 10 av 253 timmar i studien är helt utan dagsljus. Det verkliga belysningsbehovet i studien mellan 8- 19 under året är koncentrerat mot oktober – januari och då i första hand till morgon och kväll. I februari minskar behovet för att upphöra helt i slutet av mars och komma tillbaka igen i slutet av september. Bara under mät dagarna i december konstateras ett behov av belysning 11 timmar per dag.

Kompletterande belysning fyller i dagsljuset dimensionerat mot rummets kontrastsituation

Den kompletterande belysningen användes för att fylla i dagsljuset morgon och kväll med inre belysning bestående av 1,05W/m² mellan 8.00–13.00 (LED på vägg). Detta kunde kompletteras med 2,96 W/m² (Halogen i tak) vid behov. Mellan 14.00 – 19.00 kompletterades med inre belysning på 4,66W/m² (Halogen på vägg). Vid behov kunde detta öka med 2,96W/m² (Halogen i tak). När detta istället räknades på LED blev resultatet, 1,05W/m² mellan 8.00–13.00 (LED på vägg). Detta kunde kompletteras med 1W/m² (LED i tak) vid behov. Mellan 14.00 – 19.00 kompletterades med inre belysning på 1,05W/m² (LED på vägg) och 1W/m² (LED) i tak.

Brukarens behov av belysning

Brukarens behov av platsbelysning är lågt i rum som i likhet med rummet i studien har goda förutsättningar för dagsljus som allmänljus och är då givetvis då större i rum med sämre förutsättningar.

Fördelar med att brukaren får anpassa sig till dygnets naturliga ljusförhållanden

Genom att utnyttja att människan anpassar sig PFV till dygnets ljusförhållanden åstadkoms inte bara ett trivsamt rum, en dygnsrytmsstödande belysning, visuell komfort utan också en drastisk nedskärning av antal timmar den kompletterande belysningen används. Dessutom kan nivåerna sänkas drastiskt.

E-LDP-Måluppfyllelse trivsamt rum

När dagsljusets nivå sjönk och gick under kritiska värden och dagsljus fortfarande fanns i synfältet upprätthöll systemet ett relationstal på ≥ 2.5 mellan vägg och den ljushet som fanns på fönsterbrädan i rummet. När relationstalet upprätthölls jämnades dagsljuset ut och gav en ökad ljushet på vägg i förhållande till den ljushet som fanns på fönsterbrädan. Måluppfyllelsen för ett trivsamt rum i studien utvärderades utifrån dessa kriterier som hög.

E-LDP-Måluppfyllelse psykologiskt

Måluppfyllelsen definierades i projektet som upplevelsen av ett trivsamt rum och stöd för vakenhet och avkoppling under dagen. Den nära kontakten med dagsljus och dagsljusets rytm samt den begränsade användningen av kompletterande belysning ses i projektet som en garanti för att brukaren har stöd för vakenhet och avkoppling. Att den kompletterande belysningen utformas aktiverande och alternativt avkopplande stödjer ytterligare brukaren och bidrar till en hög måluppfyllelse.

E-LDP-Måluppfyllelse fysiologiskt

Måluppfyllelse fysiologiskt definierades i projektet som stöd för dygnsrytmen via dagsljus. Med en användning av dagsljus i 190/253 timmar som allmänljus och en användning av kompletterande belysning i 63/253 timmar var måluppfyllelsen för stöd fysiologiskt via dagsljus, hög.

E-LDP-Måluppfyllelsen visuellt

Rummets allmänbelysning möjliggjorde läsning (12 punkter) utan platsbelysning i bordsnivå under projektets samtliga mättimmar och garanterade samtidigt säker visuell orientering. Måluppfyllelsen för visuellt stöd var på grund av detta utvärderad som hög.

E-LDP-Måluppfyllelse energieffektivitet

Anläggningen styrdes ner mot lägsta trivselnivå och brukaren hade sin egen platsbelysning. Sammantaget gav detta en mycket hög måluppfyllelse för energieffektivitet.

Jämförelse mellan E-LDP och D-BLDP

När E-LDP användes för att utforma studiens belysningsanläggning gav den hög måluppfyllelse för samtliga kriterier.

D-LDP-Måluppfyllelse ett trivsamt rum

När dagsljuset inte hanteras på plats och den kompletterande belysningens ljusflöde dimensioneras utan kontakt med dagsljuset eller rummets kontrastsituation är förutsättningarna för ett vackert ljus begränsade och måluppfyllelsen för ett trivsamt rum, låg.

D-LDP-Måluppfyllelse psykologiskt

När dagsljuset inte hanteras på plats och den kompletterande belysningens ljusflöde dimensioneras utan kontakt med rummets kontrastsituation eller brukarens behov är förutsättningarna för ett vackert ljus begränsade och måluppfyllelsen för ett psykologiskt stöd låg. När belysningen utformas för att konstanthålla ett visst belysningstekniskt värde försämras stöd för vakenhet och vila, varför måluppfyllelsen för psykologiskt stöd även av detta skäl blir begränsad.

D-LDP-Måluppfyllelse fysiologiskt

När dagsljuset inte hanteras på plats och den kompletterande belysningens ljusflöde dimensioneras utan kontakt med brukarens behov är förutsättningarna för ett fysiologiskt stöd, låg. När

belysningen utformas för att konstanthålla ett visst belysningstekniskt värde försämras stöd för vakenhet och vila, varför måluppfyllelsen för fysiologiskt stöd även av detta skäl blir begränsad.

D-LDP-Måluppfyllelsen visuellt

När brukaren får ett stöd som är generellt och format utifrån schablon 0-500 Lux är möjligheten att olika brukares preferenser är representerade inom aktuellt spann för ljusnivåer lägre än om spannet är 0-2.000 Lux. Måluppfyllelsen blir därför låg.

D-LDP-Måluppfyllelse energieffektivitet

När styrkriterier för belysning består av statiska fördefinierade nivåer som konstanthålls istället för att följa med dagsljusets nivåer till lägsta accepterade nivå trivsel och säkerhet blir måluppfyllelsen för energieffektivitet låg.

5.16.2. Slutsatser FO-fråga 3.

Hur kan grundprinciper för energieffektiv kontorsbelysning formuleras?

De grundprinciper för energieffektiv belysning som kan härledas ur projektet är:

- **Rummet**
- Utgå i din planering från rummets kontrastsituation och hur dagsljus uppträder i rummet under året.

- **Brukaren**
- Ge brukaren en platsbelysning med breda spann som är helt separat från allmänljuset

- **Design av dagsljus och kompletterande belysning**
- Forma anläggningen utifrån mörkerförhållanden.
- Synkronisera dagsljus och kompletterande belysning i förhållande till rummets kontrastsituation och hur dagsljuset uppträder i rummet under dagen och året.
- Upprätthåll utifrån kritiska värden för ljusnivå på vägg, upplevelsen av trivsel och säker visuell orientering.
- Differentiera anläggningen med stegvisa upptändningar.
- Forma anläggningen utifrån att upplevelsen av ljusnivå är relativ. Relatera ljusnivån till allt som finns i synfältet med hjälp av en kvot mellan fönster och vägg.

- **Den tekniska applikationen**
- Använd en energieffektiv ljuskälla, närvarosensor och sensorer för att mata upp kompletterande belysning. Utveckla en underhållsplan.

5.16.3. Slutsatser FO-fråga 4.

Hur kan en principlösning för styrning av kompletterande belysning formas som samverkar med dagsljuset under dess förändringar under dagen och året.

Det tekniska systemet formas genom att använda sensorer som styrs av dagsljuset och relaterar till ytor i synfältet med en dagsljuskvot.

5.17. Slutsatser litteraturstudien

Litteraturstudien är bara påbörjad och försvåras av att det är svårt att finna artiklar som omfattar en helhetssyn på interaktionen människa, ljus, färg och rum kopplad till energieffektivitet. Transformeringsstanken kan ses utifrån ett marknadsperspektiv inriktat mot byte av ljuskällor och behöver fördjupas mot ”bad reuptake och rebound effects och brukarens upplevelse av livskvalitet. Mycket arbete återstår för att på ett rimligt sätt samla information kring transformeringsprocessen inriktad mot NNEB.

5.18. Slutsatser potentialbedömningar

Potentialbedömning studiens modell utformad med E-LDP

I studien användes dagsljus fullt ut som allmänljus och den kompletterande belysningen pressades att ligga så nära ljusnivån för trivsel och säkerhet som möjligt och användes bara i rummet där den behövdes för att jämna ut dagsljuset i rummet och för att upprätthålla trivselnivån när lite eller inget dagsljus fanns i rummet. I 190 av 253 timmar räckte dagsljuset som enda ljuskälla för allmänljuset. Den modell som utvecklades i projektet med hjälp av energibesparande ljusdesignprocess (E-LDP) bidrog till en medelanvändning av energi per timme och kvadratmeter för den kompletterande belysningen på 1,5 W/m²& h när anläggningen bestyckades med LED och Halogen och med 0,55 W/m²& h när anläggningen teoretiskt bestyckades med bara LED.

Jämförelse mellan andra modeller utformade med D-LDP

När andra D-LDP modeller prövades mot uppmätta mätvärden i studien framkom;

Fall 1

Ett representativt värde för den genomsnittliga energianvändningen för belysning svenska kontor är 12,4 W/ m²& h, definierat som storum i kontorslandskap (E-mynd STIL2).

Fall F2a

När 500 Lux upprätthölls över hela ytan (F2a) blev medelenergianvändningen 9,8W/ m²& h ett värde som också används som referensalternativ i studien.

Fall F2b

När 500 Lux upprätthölls över 50 % och 250 Lux över 50 % av ytan blev medelenergianvändningen 7,3W/ m²& h ett värde som också används som referensalternativ i studien.

Fall F3

När 100 Lux på vägg och 200 Lux i bordsplan upprätthölls under dagen (F3) uppmättes en medelanvändning av energi på 4,3 W/ m²& h.

Fall FDa

Anläggningen styrdes mot att upprätthålla 500 Lux på bord (50 % av golvytan) och 250 (mätplan bord) i yttre omgivningen (50 % av ytan) anläggning kopplades in när ljusnivån på arbetsytan gick under 500 Lux (FDa). Vid användning fortsatte den att vara påslagen under resten av dagen. Anläggningen beräknades ha en medelenergianvändning på 3 W/ m²& h under mätdagarna.

Fall FDb

När anläggningen styrdes mot att upprätthålla 200 Lux på vägg som ger 416 Lux på bord och anläggning kopplades bort när dagsljuset gav > 200 Lux (FDb) blev medelenergianvändning på 2,45 W/ m²& h under mätdagarna.

5.19. Framtida forskningsfrågeställningar

5.19.1. Planeringsforskning

Med forskningsinsatser inom energieffektiv belysningsplanering kan:

1. **Pilotanläggning/ar baserade på E-LDP utformas.** För att verifiera hur belysningsanläggningar utformade med E-LDP fungerar kan pilotanläggningar etableras där brukares upplevelser av att vistas i sjunkande dagsljusnivåer jämfört med statiska ljusnivåer, utvärderas.
2. **Styrkriterier för sensorstyrning baserade på planering med E-LDP utvecklas.** För att ge mer information om hur den prototyp som utvecklats i studien fungerar i olika miljöer och mot brukare, med verifierad känslighet för att betrakta belysta ytor behövs mer forskning.
3. **Planeringsguider för E-LDP utvecklas.** Dessa kan även omfatta utvecklad planeringsmetodik, riktlinjer och rekommendationer för dagsljusstyrning, i syfte att konceptualisera, effektivisera och påskynda införandet av belysningsplanering med E-LDP. Med ökad forskning kan riktlinjer för ett ökat användande av dagsljus utvecklas.
4. **Valet av olika styrkriteriers inverkan på energianvändning analyseras.** Analysera energibesparingseffekter med hänsyn till faktorer såsom sänkta nivåer på allmänljuset, användning av dagsljussensorer, sänkta sensorkostnader, ökad belysningsplanering, ändrad byggprocesshantering och ev. ekonomiska stimulansåtgärder.

5. **Olika hinder och inträdesbarriärer och för implementering av E-LDP i byggprocessen och övriga värdekedjan studeras.** Syftet vore att öka kunskapen om hur olika hinder för användandet av belysningsplanerare kan undanröjas och vilka åtgärder som kan krävas för att ökar användandet av belysningsplanerare.
6. **Energideklaration av byggnader inom belysningsområdet utvecklas.** För att skapa en utveckling där belysning ses utifrån kriterier som bättre speglar måluppfyllelsen ur både energi och brukarsynpunkt.
7. **Praktiskt utveckla studiens principförslag för sensorstyrning av allmänljus.** Detta kan studeras för att utveckla hantering av mer komplexa rumsmiljöer.

5.19.2. Forskning kring marknadens aktörer med avseende på fastighetsägare, armaturtillverkare, fönstertillverkare

Med forskningsinsatser inom energieffektiv belysningsplanering med inriktning mot marknaden och pedagogik kan:

1. **Hur kommunikation om belysningsplanering och E-LDP mot konsumenterna och marknadens övriga aktörer utformas för att påskynda arbetet mot NNEB.** Avser hur information om belysningsplanering och E-LDP tas emot och bearbetas av målgrupperna. Med ökad kunskap om hur konsumenterna och marknadens övriga aktörer tar emot information kan bättre riktlinjer, manualer och broschyrer om energieffektiv belysning utformas. Ett ökat konsument och brukarmedvetande samt marknadsacceptans är en nyckel för att nå studiens predicerade energibesparingspotential.
2. **Produkt- och konceptutveckling med koppling till kommersiella marknadsaktörer initieras.** Belysningsplanering och E-LDP rymmer stor potential för aktörer på marknaden såsom belysningsplanerare, tillverkare av belysning/belysningsanläggningar, sensorer, fönster, dagsljusinlänkning och soljusavskärmning att öka förädlingsvärdet m.fl. Vidare ökar möjligheten att öka serviceinnehållet i kunderbjudandena mot belysningsplanering. I båda fall uppnås ökad sysselsättning.
3. **Analys av prioriterade applikationsområden för E-LDP.** Närmare kartlägga inom vilka områden E-LDP har störst möjlighet att spara energi, snabbt nå genomslag samt omvänt vilka eventuella inträdesbarriärer som kan behöva överbryggas.
- 4.

5. **Undersöka möjligheterna för redan yrkesverksamma att förtärka kompetensen inom belysningsplanering och E-LDP** genom vidareutbildning.
6. **Potential för internationell tillämpning och spridning av E-LDP analyseras.**

5.19.3. Forskning med fokus politikernas och myndigheters ljusrelaterade ansvarsområden

Med forskningsinsatser inom energieffektiv belysningsplanering med inriktning på myndigheters ljusrelaterade ansvarsområden kan:

1. **Värdet av att öppna upp ett alternativt spår för belysningsplanering påvisas ur både energi- och brukarsynpunkt.** Spåret bör, precis som inom andra marknads- och teknikområden snarast prövas i praktisk tillämpning.
2. **Konsekvensbedömningar göras rörande vad befintliga och förändrade styrkriterier för belysning medför ur energisynpunkt.**
3. **Lämpliga stimulans- och incitamentåtgärder utvecklas** för att öka genomslagskraften för uppdaterad planeringsteori mot E-LDP och belysningsteknik. Särskilt bör undersökas hur marknaden kan stimuleras mot ökad användning av belysningsplanering och modern belysningsteknik bl.a. dagsljussensorer.

5.19.4. Forskning kring marknadstransformering med särskilt fokus mot ökad energieffektivitet och ökad självförsörjning av energi inom Horizon 2020

Med forskningsinsatser inom energieffektiv belysningsplanering med inriktning mot Horizon 2020 kan särskilt prövas:

1. **Hur verkligt energieffektiva belysningsanläggningar bör utformas med stöd av E-LDP för i syfte att nå målet att bli självförsörjandenergi på energi.** Potentialen för E-LDP utvärderas så att bidraget från minskad energianvändning i belysning utnyttjas maximalt till förmån för visionen om NNEB (Nära-Noll-Energi- Byggnader).
2. **Hur belysningsplanering och E-LDP kan lyftas fram teoretiskt och vägas in i ett globalt, europeiskt och nationellt sammanhang med koppling till Horizon 2020.** Genom att beskriva var olika aktörer befinner sig i utvecklingen mot målet kan hinder undanröjas och lämpliga åtgärder för att skynda på processen initieras.

Referenser

Aries, M. B.C., Aarts, M. P.J., Hoof, van. J. (2013). Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment published online 7 November 2013. *Lighting Research and Technology*

Berson, D.M., Dunn, E.A., Takao, M. (2001). Phototransduction by ganglion cells innervating the circadian pacemaker. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 42: S1 13. P. 1070-1073.

Borg, N. (1998). Energy policy volume 26, Issue 14, December 1998, Pages 1071-1081.

Energjin i våra lokaler. Resultat från Energimyndighetens STIL2-projekt. Delrapport från Energimyndighetens projekt Förbättrad energistatistik i samhället.

Fostervold, K., Larsen, P., Lillelien, E. Mjös, T., Berg, M. (2010). Conference proceedings CIE.

Habel. Zack 2012

Holick, M.F. (2011). The Vitamin D Solution: A 3-Step Strategy to Cure Our Most Common Health Problems. Plume 1st edition. ISBN 978-0452296886.

Leelakulthanit, O. (2013). The relationship of sustainable consumption and life satisfaction. *Journal of Business Management and Administration* Vol.1 (1):1-8, February, 2013

Liljefors, A. (1999). *Lighting visual and physically. V/P Lighting theory, basic lighting knowledge. School of Architecture.* Revised 2005.

Liljefors, A. (2010). The impact on modern science on Lighting Quality. CIE, Lighting Quality & Energy efficiency. March 14-17 2010. Vienna Austria.

Luckiesh, M., Moss, F.M. (1931). Seeing a partnership of lighting and vision. William and Wilkingson Co. Baltimore 1931.

Luckiesch, M., Moss, F.M. (1940). "Effects of classroom lighting upon the educational progress and visual welfare of school children" *Illuminating Engineering*, vol 35, pp 915-938.

Martinot, Borg (1998).

Pauley, S.M. (2004). Lighting for the human circadian clock: recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Medical Hypotheses* 63, 4 (2004) 588-59.

Persson. B. (1996). New technique accentuates the interaction between the fields of lighting and image quality. Dept. of Architectural Lighting, Royal Institute of Technology & Institute of Optical Research. Stockholm Sweden May 1996. Nordic Lighting Congress, Stockholm, Sweden 29-31 May 1996.

Pertola, P. (2012). "Belysningsfrågor i byggprocessen: Orsaker till brister och förslag till en förbättrad process": Arkitektur och samhällsbyggnad, KTH Royal Institute of Technology, 2012. ISBN 978-91-85783- 24-3.

Ronchi L. (2012.) On the interacting visual and non-visual effects. Fondazione "Giorgio Ronchi"-CXIII.

Säter, M. (2011). Preferences for level of light at the work table and for the complementary ambient light. CIE proceedings. 27th session of CIE South Africa 10-15 July 2011.

Säter, M. (2012). Equilibrium. User Centred Lighting Design. Towards the development of a lighting design that is individually psychologically, physiologically and visually supportive. Department of Architecture. Chalmers University of Technology.

[TIC2007] P. Van Tichelen, B. Jansen, T. Geerken, M. Vanden Bosch, V. Van Hoof, L. Vanhooydonck, A. Vercalsteren: Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs Project Report, Lot 8: Office lighting, July 2007

Wirtz-Justice, A. Fournier, C. (2011). Light, Health and Wellbeing: Implications from chronobiology for architectural design. Design & Health Scientific Review. 44-49.

Appendix

Appendix A. Mönster av synkroniserade fotonflöden i projektet 2013

Tabell 14. Mönster för synkroniserade fotonflöden 31.1

Kompletterande fotonflöden 31.1	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X	X		
9	X	X		
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X		X	
15	X		X	
16	X		X	X
17	-		X	X
18	-		X	X

Tabell 15. Mönster för synkroniserade fotonflöden 1.2

Kompletterande fotonflöden 1.2	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X		X	X
17	-		X	X
18	-		X	X

Tabell 16. Mönster för synkroniserade fotonflöden 27.2

Kompletterande fotonflöden 27.2	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			X
17	X			X
18	X			X

Tabell 17. Mönster för synkroniserade fotonflöden 26.3

Kompletterande fotonflöden 26.3	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X		X	X
18	X		X	X

Tabell 18. Mönster för synkroniserade fotonflöden 29.3

Kompletterande fotonflöden 29.3	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X		X	

Tabell 19. Mönster för synkroniserade fotonflöden 24.4

Kompletterande fotonflöden 24.4	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 20. Mönster för synkroniserade fotonflöden 30.4

Kompletterande fotonflöden 30.4	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 21. Mönster för synkroniserade fotonflöden 24.5

Kompletterande fotonflöden 24.5	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 22. Mönster för synkroniserade fotonflöden 27.5

Kompletterande fotonflöden 27.5	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 23. Mönster för synkroniserade fotonflöden 29.6

Kompletterande fotonflöden 29.6	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 24. Mönster för synkroniserade fotonflöden 30.6

Kompletterande fotonflöden 30.6	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 25. Mönster för synkroniserade fotonflöden 29.7

Kompletterande fotonflöden 29.7	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 26. Mönster för synkroniserade fotonflöden 31.7

Kompletterande fotonflöden 31.7	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 27. Mönster för synkroniserade fotonflöden 29.8

Kompletterande fotonflöden 29.8	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 28. Mönster för synkroniserade fotonflöden 31.8

Kompletterande fotonflöden 31.8	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X			
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X			

*Inget behov av kompletterande belysning för allmänljus mellan 8- 18

Tabell 29. Mönster för synkroniserade fotonflöden 25.9

Kompletterande fotonflöden 25.9	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X	x		
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X		X	X
18	X		X	X

Tabell 30. Mönster för synkroniserade fotonflöden 30.9

Kompletterande fotonflöden 30.9	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X	X		
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X			
18	X		X	X

Tabell 31. Mönster för synkroniserade fotonflöden 24.10

Kompletterande fotonflöden okt	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X	X		x
9	X	X		
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X			
17	X		X	X
18	X		X	X

Tabell 32. Mönster för synkroniserade fotonflöden 25.10

Kompletterande fotonflöden oktober	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X	X		
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X			
15	X			
16	X		X	
17	X		X	X
18	X		X	X

Tabell 33. Mönster för synkroniserade fotonflöden 27.11

Kompletterande fotonflöden nov	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X	X		
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X		X	
15	X		X	X
16	-		X	X
17	-		X	X
18	-		X	x

Tabell 34. Mönster för synkroniserade fotonflöden 28.11

Kompletterande fotonflöden nov	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X	x		
9	X			
10	X			
11	X			
12	X			
13	X			
14	X		X	
15	X		X	X
16	-		X	X
17	-		X	X
18	-		x	X

,

Tabell 35. Mönster för synkroniserade fotonflöden 16.12

Kompletterande fotonflöden dec	Fotonflöde Dagsljus	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	-	X		X
9	X	X		X
10	X	X		
11	X	X		
12	X	X		
13	X		X	X
14	X		X	X
15	X		X	X
16	-		X	X
17	-		X	X
18	-		X	X

Tabell 36. Mönster för synkroniserade fotonflöden 17.12

Kompletterande fotonflöden dec	Fotonflöde Dagsljus -	Fotonflöde Aktiverande vägg	Fotonflöde Vilsam vägg	Fotonflöde Vilsamt tak
8	X	X		X
9	X	X		X
10	X	X		X
11	X	X		
12	X	X		
13	X		X	
14	X		X	
15	X		X	X
16	-		X	X
17	-		X	X
18	-		X	X

Appendix B. Översikt över värden för vertikal och horisontell belysningsstyrka Lux, utvärderade som för låga eller höga, jan- dec. 2013

Tabell 37. Översikt över värden för vertikal och horisontell belysningsstyrka Lux, utvärderade som för låga jan- dec. 2013

		Ät g	M p	M p	M p	M p	M p	M p	M p	Mp	M p	M p	M p	M p	M p	M p	Mp	Mp	M p	M p	M p	
LUX			1 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V	
31.1 8	O	Av	13	18	13	10	12	18	15	12	15	18	13	12	15	10 7	16	117	15	12	12	
31.1 8	Ek	Av	38	47	24	23	30	62	70	37	40	51	58	37	33	15 5	45	143	42	16 8	33	
31.1 14	O		11 8	12 8	10 6	76	11 1	15 1	16 0	130	66	65	17 1	13 0	74	78 0	102	556	82	73 0	74	
31.1 14	Ek	Vv	11 1	13 0	95	66	80	23 5	46 3	117	98	74	12 3	11 1	17 9	52 8	101	461	60	55 1	75	
31.1 15			15	87	92	78	52	68	10 5	11 2	94	46	38	10 9	90	53	68 5	79	517	82	65 8	69
31.1 15	Ek	15 K	11 6	14 5	11 6	73	86	12 6	20 8	117	86	87	10 2	11 2	83	49 6	102	389	93	48 8	73	
16			16	12	14	11	8	10	13	14	11	6	8	10	11	60	60	9	50	9	62	8
31.1 16	Ek	16 K	31	50	49	27	27	48	13 5	35	44	45	50	44	45	73	56	73	53	73	42	
17			17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31.1 17	Ek	17 K	27	36	35	17	17	32	14 2	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29	
18			18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
31.1 18	Ek	18 K	27	36	35	17	17	32	14 2	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29	
1.2 16	L		22	25	20	15	21	31	39	34	17	21	23	25	13	90	15	65	13	92	11	
1.2 16	Ek	Vv vt	31	41	40	24	19	41	52 0	45	71	42	45	36	42	37	50	44	44	39	34	
1.2 17	Ek	Vv vt	31	41	40	24	19	41	52 0	45	71	42	45	36	42	37	50	44	44	39	34	
1.2 18	Ek	Vv vt	31	41	40	24	19	41	52 0	45	71	42	45	36	42	37	50	44	44	39	34	
27.2 16	O		45 9	38 6	26 6	18 8	27 0	29 7	35 1	388	34 7	16 3	22 2	36 0	20 5	12 85	221	1099	21 5	12 13	20 9	
27.2 16	Ek	Vv vt	43 0	38 0	29 0	21 9	22 6	28 1	35 4	416	33 3	26 7	33 2	41 8	42 8	10 10	237	1078	20 2	11 54	20 2	
27.2 17	L	Vv vt	49	63	42	34	48	75	11 7	73	65	62	80	72	58	14 4	69	134	65	14 3	54	
27.2 18	L	Vv vt	28	36	14	18	15	60	64	25	44	39	43	36	37	33	42	37	43	33	37	
26.3 17	O		32 4	40 1	29 5	23 4	33 0	41 4	41 4	369	25 3	29 1	37 1	33 6	18 9	10 93	231	1045	22 2	10 43	94	
26.3 17	Ek	Vv	31 8	35 5	31 6	22 7	31 5	40 0	46 2	346	26 2	26 8	33 0	30 9	18 8	89 0	236	884	22 6	95 7	19 6	
26.3 18	L	Vv vt	89	10 8	85	63	78	11 5	17 1	96	86	79	10 3	89	67	25 0	85	254	80	24 2	67	
29.3 18	O		57	62	46	33	45	58	61	52	37	45	59	55	31	25 5	35	263	34	26 3	29	
29.3 18	Ek	Vv	45	67	57	28	37	57	12 3	49	62	60	65	56	48	15 9	57	167	53	18 1	44	
25.9 8	L		29	22	16	13	16	19	27	25	17	19	28	23	10	17 6	11	163	11	16 3	8	
25.9 8	Ek	Vv	43	42	37	22	26	49	11 2	39	49	51	48	37	33	24 2	43	194	51	29 0	42	
25.9 17	O		81	69	47	39	52	74	87	78	64	69	97	87	39	50 2	43	481	44	53 5	37	
25.9 17	Ek		12 6	11 5	98	71	85	12 4	13 3	120	10 8	12 4	15 2	12 7	78	70 5	95	741	10 3	84 2	88	

25.9 18	O	Vv	82	77	68	46	45	81	13 0	74	79	89	77	54	40	42 3	33	382	76	43 4	62
30.9 8	O		44	38	26	23	30	42	47	45	33	35	47	43	20	31 8	26	310	27	33 6	21
30.9 8	Ek	Av	78	73	58	42	52	18 1	15 5	76	80	82	82	75	58	45 3	69	444	69	47 5	56
30.9 18	L		26	26	28	17	22	29	41	39	29	29	32	26	15	18 8	15	174	15	18 4	14
30.9 18	Ek	Vv vt	57	60	55	38	35	20 5	12 9	66	77	64	50	53	48	14 0	62	141	69	14 8	49
24.10 8.00	O		52	75	56	45	68	74	64	56	39	46	48	46	25	25 8	32	253	33	25 7	31
24.10 8.00	Ek	Av vt	12 6	16 1	13 6	12 3	14 9	25 4	19 8	167	16 0	14 5	13 4	10 7	82	45 5	06	448	11 0	50 2	89
24.10 9.00	O		34 4	58 8	31 6	22 0	29 6	17 3	13 4	113	88	10 8	11 5	12 9	59	72 4	70	645	70	73 1	68
24.10 9.00	Ek	Av	17 3	32 6	24 0	23 4	33 0	40 9	37 1	314	27 3	35 2	41 2	35 1	16 0	90 2	177	905	18 0	99 4	15 7
24.10 17.00	L		76	81	71	53	67	19 1	13 1	112	11 6	11 2	10 6	79	51	24 7	76	205	75	24 3	61
24.10 18.00	Ek	Vv vt	34	35	45	25	24	40	90	33	39	57	44	28	39	34	50	36	48	34	37
25.10 8	O		42	70	56	49	62	90	82	65	44	48	47	39	25	20 5	29	204	34	22 9	27
25.10 8.00	Ek	Av	72 3	10 3	90	73	10 2	20 6	14 0	123	13 4	11 2	93	63	60	26 5	71	262	82	29 1	59
25.10 16.00	O		22 46	19 9	16 3	12 4	17 5	24 2	29 0	273	20 8	25 7	24 5	32 2	12 3	83 4	161	766	11 0	83 2	95
25.10 16.00	Ek	Vv	22 4	19 7	16 1	12 0	16 3	23 2	28 5	272	22 4	30 5	30 8	29 1	13 8	70 4	143	725	13 8	76 6	12 5
25.10 17.00	Ek	Vv vt	60	59	64	39	43	66	93	78	76	87	80	56	49	15 1	62	143	65	14 9	47
25.10 18.00	Ek	Vv vt	38	37	46	26	24	42	63	37	58	66	46	30	39	33	53	39	51	37	39
27.11 8.00	L		5	3	4	4	5	6	8	7	6	7	7	5	3	43	4	42	3	48	4
27.11 8.00	Ek	Av	86	12 8	11 0	11 1	14 1	19 3	23 8	123	15 0	12 2	10 8	97	73	28 4	93	281	94	31 0	82
27.11 14.00	O		98	96	78	64	78	10 7	13 2	132	10 0	11 7	14 5	10 6	57	57 2	59	547	49	55 6	47
27.11 14.00	Ek	Vv	89	96	88	58	75	11 3	16 0	144	13 2	16 3	15 0	99	69	42 7	93	415	82	40 4	60
27.11 15.00	Ek	Vv vt	39	47	51	31	25	43	50	37	46	60	60	39	41	44	51	46	71	43	40
28.11 8.00	L		18	32	23	20	35	38	32	26	16	20	22	14	8	63	12	63	9	72	16
28.11 8.00	Ek	Av	48	68	69	59	58	17 1	88	77	91	81	61	40	44	11 6	54	117	56	13 2	50
28.11 14.00	O		35	35	31	22	33	42	43	40	28	31	45	34	19	28 0	25	271	25	28 0	21
8.11 14.00	Ek	Vv	51	53	44	34	37	45 9	63	54	51	69	69	49	39	22 0	57	215	48	22 1	50
28.11 15.00	Ek	Vv vt	36	46	39	29	28	39	51	43	54	56	38	31	35	56	55	59	46	57	36
28.11 16.00	Ek	Vv vt	31	34	39	25	17	40	58	35	56	56	46	31	35	40	48	37	50	29	35
16.12 8.00	L		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16.12 8.00	Ek	Av vt	45	40	67	49	27	16 2	62	46	92	54	43	38	37	27	45	27	46	25	56

Mp= mät punkt, O=otrivsamt, L=för låg ljusnivå, ek= efter komplettering, av=aktiv vägg, vv=vilsam vägg, vt=vilsamt tak.

Tabell 38. Översikt över värden för horisontell och vertikala belysningsstyrka utvärderade som för höga

Dat		MP 1	Mp2	Mp3	Mp4	Mp5	Mp6
31.1		Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
1.2		Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
27.2		Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
26.3		Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
29.3		Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
24.4		Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
30.4		Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
24.5		Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
27.5 12.00	Lux	16500	20400	19800	19500	20100	19900
12.00	Cd/m2	-					
13.00	Lux	18100	17000	18500	17900	19800	19600
	Cd/m2	-					
14.00	Lux	37900	64900	61000	55700	34900	19000
14.00	Cd/m2	15600	16500	16740	14790	16820	14970
29.6 10.00	Lux	17750	58700	17250	59600	62600	33900
10.00	Cd/m2	-					
11.00	Lux	69600	70700	66800	66300	73400	68500
11.00	Cd/m2	-					
14.00	Lux	13840	11900	14300	12300	14600	18900
14.00	Cd/m2	12010	4560	4150	13100	4370	9820
30.6 13.00	Lux	73300	70400	70100	67200	69300	75300
13.00	Cd/m2	19400	18900	18500	17000	18600	20000
29.7		Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
31.7 10.00	Lux	39600	43400	42200	43300	42700	48200
10.00	Cd/m2	15320	15740	15090	15130	15700	16790
11.00	Lux	50500	52300	45200	50300	45900	55300
11.00	Cd/m2	1954	2380	1525	1580	3890	6780
12.00	Lux	48500	54800	50600	52500	52000	54300
12.00	Cd/m2	18750	18830	19340	18100	17280	19220
13.00	Lux	49200	53100	51900	49100	49900	8200
13.00	Cd/m2	16300	19280	18470	18000	18720	19680

29.8			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
31.8			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
25.9			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
30.9			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
24.10			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
25.10			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
27.11			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
28.11			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
16.12			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ
17.12			Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ	Ingen bländ

Tabell 39. Bländningsvärden 27.5

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6
12.00	Lux	16500	20400	19800	19500	20100	19900
12.00	Cd/m2						
13.00	Lux	18100	17000	18500	17900	19800	19600
	Cd/m2						
14.00	Lux	37900	64900	61000	55700	34900	19000
14.00	Cd/m2	15600	16500	16740	14790	16820	14970

Tabell 40. När bländningsupplevelsen släppte 27.5

15.00	Lux	10520	11300	13170	9900	29600	10600
15.00	Cd/m2	3220	3320	2930	1590	3570	3060
16.00	Lux	8550	7720	7850	6340	8140	8460
16.00	Cd/m2	1740	1687	1515	1611	1619	1357

Tabell 41. Bländningsvärden 29.6

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6
10.00	Lux	17750	58700	17250	59600	62600	33900
10.00	Cd/m2						
11.00	Lux	69600	70700	66800	66300	73400	68500
11.00	Cd/m2						
14.00	Lux	13840	11900	14300	12300	14600	18900
14.00	Cd/m2	12010	4560	4150	13100	4370	9820

Tabell 42. När bländningsupplevelsen släppte 29.6

15.00	Lux						
15.00	Cd/m2						
16.00	Lux						
16.00	Cd/m2						

Gick ej att bedöma, värdena för låga för att representera gräns

Tabell 43. Bländningsvärden 30.6

Tid	Mätpunkt	B1	B2	B3	B4	B5	B6
13.00	Lux	73300	70400	70100	67200	69300	75300
13.00	Cd/m2	19400	18900	18500	17000	18600	20000

Tabell 44. När bländningsupplevelsen släppte 30.6

		Mp14	MP16	Mp18
14.00	Lux	4220	4056	4370
14.00	Cd/m2	915	968	1073

Gick ej att bedöma, värdena för låga för att representera gräns

Tabell 45. Bländningsvärden 31.7

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6
10.00	Lux	39600	43400	42200	43300	42700	48200
10.00	Cd/m2	15320	15740	15090	15130	15700	16790
11.00	Lux	50500	52300	45200	50300	45900	55300
11.00	Cd/m2	1954	2380	1525	1580	3890	6780
12.00	Lux	48500	54800	50600	52500	52000	54300
12.00	Cd/m2	18750	18830	19340	18100	17280	19220
13.00	Lux	49200	53100	51900	49100	49900	8200
13.00	Cd/m2	16300	19280	18470	18000	18720	19680

Tabell 46. När bländningsupplevelsen släppte 31.7

	Lux						
	Cd/m2						
	Lux						
	Cd/m2						
Gick ej att bedöma värdena för låga för att representera gräns							

Tabell 47. 31.1. Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka fönsterbräda

LUX 31.1	Mp1 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	13	18	13	10	12	18	15	12	15	18	13	12	15	107	16	117	15	125	12
8AV	38	47	24	23	30	62	70	37	40	51	58	37	33	155	45	143	42	168	33
9	34	39	33	22	30	42	41	38	24	30	31	36	22	199	2	204	28	233	25
9AV	86	112	73	56	72	226	119	90	80	95	59	87	60	499	88	430	76	440	73
10	177	191	172	117	174	218	232	202	173	185	246	192	127	1139	140	1120	137	1229	116
11	140	157	136	94	108	159	166	138	80	102	93	125	71	746	93	675	91	771	81
12	208	216	170	123	177	250	267	218	155	146	280	227	230	1380	180	1217	170	1535	150
13	102	123	101	72	89	136	136	110	52	43	108	55	82	622	64	588	88	830	97
14	118	128	106	76	111	151	160	130	66	65	171	130	74	780	102	556	82	730	74
14VV	34	29	23	18	47	55	65	36	34	28	36	31	23	144	20	129	23	146	20
15	87	92	78	52	68	105	112	94	46	38	109	90	53	685	79	517	82	658	69
15VV	116	145	116	73	86	126	208	117	86	87	102	112	83	496	102	389	93	488	73
16	12	14	11	8	10	13	14	11	6	8	10	11	60	60	9	50	9	62	8
16VVVT	31	50	49	27	27	48	135	35	44	45	50	44	45	73	56	73	53	73	42
17 VVVT	27	36	35	17	17	32	142	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29
18 VVVT	27	36	35	17	17	32	142	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mät punkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mät punkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda.

Tabell 48. 31.1 Luminans vägg 184 cm upp från golv och horisontellt på fönsterbräda

LUX 31.1	Mp1 V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8	7	6	3	3	5	8	8	7	5	6	7	8		-	-	-	-	-	-
8 AV	358	47	24	23	30	62	70	37	40	51	58	37	33	155	45	143	42	168	33
9	10	13	9	8	14	15	13	14	10	11	11	12	8	71	12	66	12	69	7
9 AV	23	26	20	15	26	44	36	31	26	2	20	29	20	128	26	122	26	143	20
10	60	59	45	36	54	75	71	73	52	58	53	65	38	416	37	362	45	410	38
11	32	33	24	21	32	41	38	28	34	32	34	38	22	210	23	14	25	219	25
12	52	55	42	34	67	67	61	60	35	49	65	53	30	280	26	238	28	256	23
13	41	44	32	27	35	56	51	52	32	45	65	63	31	370	37	326	38	341	35
14	32	26	21	19	30	33	33	32	20	25	33	30	17	151	20	143	18	155	17
14 VV	34	29	23	18	47	55	65	36	34	28	36	31	23	144	20	129	23	146	20
15	30	28	20	18	28	32	31	30	17	26	35	30	1	179	20	141	20	170	16
15VV	25	28	22	18	23	36	58	29	24	25	32	23	17	110	21	106	22	115	18
16	4	4	3	2	4	4	4	4	3	4	4	4	3	16	3	15	3	14	2
16VVVT	11	13	11	8	8	16	22	12	14	14	13	11	11	17	10	19	13	19	11
17VV VT	9	10	9	5	5	16	18	9	11	12	9	7	8	5	8	6	10	6	9
18 VV VT	9	10	9	5	5	16	18	9	11	12	9	7	8	5	8	6	10	6	9

V=Vertikalt H=Horisontellt K=komplettering AV= aktiverande väggarmatur VV=vilsam väggarmatur, vilsam takanläggning

Tabell 49. 31.1 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 31.1	1 Mp Golvplan	2	3	4	5	6	7	8	9
8*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8K AV*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	58	34	33	44	66	79	75	66	40
9K AV*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	305	302	18	254	360	370	317	256	233
11	165	165	113	117	163	257	191	182	142
12	464	350	333	338	487	455	421	366	304
13	254	196	127	171	300	313	332	255	170
14	157	162	108	122	225	217	198	165	114
14 VV *	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	181	132	86	151	183	188	229	165	100
15 VV*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	18	10	8	7	18	19	17	14	10
16 VV VT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17 VVVT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18K VV VT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*= dessa värden togs inte in 31.1.

Tabell 50. Översikt 31.1 över använd energi för belysning under dagen W

31.1	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-		
AV	X	X										2x56,7	2x56,7
VV							X	X	X	X	X	5x252	5x56,7
VT									X	X	X	3x160	3x60

Tabell 51. Översikt 31.1 synprestation under dagen

Synprest Allmänljus 31.1	8 AV	9 AV	10	11	12	13	14 VV	15 VV	16 VV VT	17 VV VT	18 VV VT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

K=komplettering AV = aktiv vägg, VV= vilsam vägg, VT= vilsamt tak

Tabell 52. 1.2 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka fönsterbräda

1.2 V Lux	1 m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 V H	17 V	18 H	19 V
8.00	40	80	69	58	82	84	76	52	34	36	41	38	26	161	34	171	34	178	31
9	41 8	177 0	196 8	14 8	14 2	176 2	70 8	50 5	42 4	39 2	52 6	55 5	35 5	127 7	55 4	152 2	62 9	191 4	61 6
10	13 96	228 0	374 0	60 60	14 30 0	784 0	28 80	17 30	13 70	19 10	19 40	19 10	15 30	361 0	30 10	402 0	34 60	807 0	20 70
11	22 1	340	366 0	37 60	45 0	294 00	18 50 0	43 00	35 10	28 30	34 60	26 10	30 40	397 0	34 80	397 0	39 20	396 0	30 20
12	28 60	324 0	290 0	17 00	19 40	364 00	14 10 0	10 60 0	68 00	35 00	30 00	26 00	29 00	107 00	36 00	109 00	34 00	146 00	24 00
13	31 00	312 0	274 0	17 70	17 30	374 0	50 60 0	46 60 0	70 00	19 10 0	13 70 0	26 00	28 0	124 00	35 00	900 0	29 00	129 00	23 00
14	28 60	259 0	211 0	14 50	13 30	216 0	40 80	64 80	13 97 0	49 10	18 39 0	24 10	21 60	104 90	23 00	530 0	18 00	960 0	15 40
15	84 0	754	540	39 3	42 1	594	80 3	72 2	40 5	60 9	10 47	11 22	54 4	142 8	44 6	118 0	34 4	230 0	34 0
16	22	25	20	15	21	31	39	34	17	21	23	25	13	90	15	65	13	92	11
16 VVVT	31	41	40	24	19	41	52 0	45	71	42	45	36	42	37	50	44	44	39	34
17 VVVT	27	36	35	17	17	32	14 2	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29
18 VVVT	27	36	35	17	17	32	14 2	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka horisontellt på fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid.K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak.

Tabell 53. 1.2 Luminans på vägg 184 cm upp från golv

Lumi- nans	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V MF	6 V MF	7 V MF	8 V MF	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	19	21	18	15	28	27	22	20	11	15	17	12	9	35	12	53	11	63	10
9	15 5	44 7	74 6	396	190 0	389	181	160	124	146	163	14 3	10 1	310	13 6	325	15 2	455	14 5
10	54 5	47 0	85 0	154 8	421 0	224	1100	720	480	690	620	52 0	52 0	129 0	59 0	760	78 0	176 0	67 0
11	62 3	78 3	75 4	591	129 0	664 0	10620	166 0	970	700	760	61 0	62 0	990	63 0	850	91 0	287 0	69 0
12	68 7	70 2	58 2	393	592	277 0	10552	288 0	225 0	148 0	920	65 0	79 0	208 0	61 0	290	83 0	375 0	53 0
13	70 3	63 0	54 4	401	417	828	11300	274 0	416 0	787 0	307 0	53 1	62 0	270 0	19 0	270	63 0	330 0	46 0
14	66 0	52 8	43 1	321	387	334	960	150 6	124 0	119 2	590 0	55 0	58 0	235 0	53 0	185 0	51 0	197 0	32 0
15	12 3	10 9	97	74	103	135	161	174	117	292	220	14 5	10 5	373	81	397	72	401	60
16	4	5	5	4	4	3	6	7	7	5	8	6	2	15	4	14	2	18	2
16VVV T	9	10	10	7	5	18	75	20	10	12	9	7	11	10	9	12	9	13	10
17 VVVT	27	36	35	17	17	32	142	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29
18 VVVT	27	36	35	17	17	32	142	27	44	35	39	30	34	24	42	26	34	22	29

FÖ= Luminans horisontellt på fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid.K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak.

Tabell 54. 1.2 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 1.2 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	33	48	51	66	62	55	51	57	49
9	519	708	973	818	795	556	808	539	665
10	1500	1810	3270	3760	2760	2260	1470	1820	1380
11	1620	2250	4510	5300	3620	2350	2450	3220	6230
12	1500	1615	1693	1138	2790	2180	1800	2090	5150
13	1625	1751	1180	270	2650	1880	2010	2640	5260
14	1430	1390	1070	1730	2020	1720	2170	2080	2010
15	408	363	290	372	467	405	503	413	304
16	17	19	14	18	24	16	14	9	8
16 VV VT*	45	49	60	63	89				
17 VVVT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18 VV VT*	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*= dessa värden togs ej in. Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på

Tabell 55. Översikt 1.2 över använd energi för belysning under dagen W.

1.2	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-
AV													
VV									X	X	X	3x252	3x56,7
VT									X	X	X	3x160	3x60

Tabell 56. Översikt 1.2 synprestation under dagen

Synprest 1.2 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16 VV VT	17 VV VT	18 VV VT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

K=komplettering, VV= vilsam vägg, VT= vilsamt tak

Tabell 57. 27.2 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp fr. golv. Horisontell belysningsstyrka fönsterbräda

27.2 Lux	1m V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	474	773	690	58 7	79 7	770	71 9	54 0	35 6	39 0	51 3	46 2	22 2	222 0	35 2	174 4	34 2	276 0	37 0
9	134 2	553 0	299 0	24 10	24 70	267 0	18 90	15 30	12 20	13 60	17 20	18 20	10 90	602 0	13 10	690 0	17 60	934 0	41 0
10	167 9	250 0	352 0	25 60	26 20	285 0	24 30	18 00	13 20	19 10	17 70	12 30	12 20	695 0	17 50	985 0	16 60	110 70	14 10
11	142 8	237 0	217 0	17 00	22 10	367 0	39 60	31 20	21 30	17 00	22 00	23 30	18 00	525 0	26 20	824 0	28 00	878 0	22 00
12	294 0	306 0	246 60	17 60	23 60	496 0	61 50	50 50	29 30	21 40	32 10	33 10	29 10	199 60	37 80	244 00	34 00	710 00	25 00
13	397 0	386 0	323 0	23 30	22 80	387 0	64 20	55 80	39 50	51 00	16 38 0	33 90	28 50	297 00	36 00	233 00	30 00	323 00	25 00
14	391 0	323 0	246 0	17 60	17 80	248 0	32 10	32 00	29 20	35 20	45 10	40 60	27 90	223 00	25 50	215 00	21 00	260 00	19 00
15	109 7	973	757	53 2	68 2	867	10 20	92 7	53 0	51 2	81 2	19 67	66 0	421 0	64 0	341 0	60 0	537 0	54 0
16	459	386	266	18 8	27 0	297	35 1	38 8	34 7	16 3	22 2	36 0	20 5	128 5	22 1	109 9	21 5	131 2	20 9
16K VV VT	430	380	290	21 9	22 6	281	35 4	41 6	33 3	26 7	33 2	41 8	42 8	101 0	23 7	107 8	20 2	115 4	20 2
17K VV VT	49	63	42	34	48	75	11 7	73	65	62	80	72	58	144	69	134	65	143	54
18 K VV VT	28	36	14	18	15	60	64	25	44	39	43	36	37	33	42	37	43	33	37

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mät punkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mät punkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda.

Tabell 58. 27.2 V ägg luminans 184 cm ovan golv och luminans på fönsterbräda horisontellt

27.2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V MF	6 V MF	7 V MF	8 V MF	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	40 0	77 5	505	10 0	805	770	775	760	77 5	508	910	76 5	30 2	650	67 3	190 0	41 0	190 0	40 1
9	51 8	14 20	216 0	77 0	116 0	700	490	440	36 2	376	513	45 0	29 7	143 0	35 0	198 5	46 4	198 9	38 2
10	44 3	49 8	460	42 3	707	659	546	548	29 7	368	441	37 7	27 8	144 0	32 9	105 1	33 4	183 3	28 5
11	71 9	77 2	675	49 2	810	116 4	110 3	106 8	69 0	582	795	60 1	44 2	184 3	61 1	188 8	57 8	144 4	49 8
12	74 8	74 9	687	49 8	691	106 5	127 9	134 5	81 2	955	946	57 9	44 5	429 0	49 0	412 0	47 0	297 0	40 0
13	97 0	89 2	712	47 1	621	107 3	125 2	145 2	93 7	166 6	556 0	81 0	59 0	803 0	75 0	646 0	58 0	698 0	51 0
14	94 7	74 1	588	38 9	428	615	763	862	64 4	958	123 5	84 9	79 6	587 0	56 0	453 0	37 0	599 0	36 0
15	24 4	20 6	168	12 0	191	203	254	259	16 8	226	314	37 4	15 0	769	12 1	946	11 1	681	98
16	12 1	86	69	53	78	89	94	109	60	92	137	13 4	51	319	51	296	47	316	41
16VV VT	77	69	57	41	68	76	80	82	54	72	97	92	41	220	39	200	41	208	34
17VV VT	14	16	15	11	13	21	26	18	18	16	18	16	12	30	14	26	12	27	10
18VV VT	9	9	11	7	7	15	19	11	15	11	12	08	10	9	12	8	12	5	9

MF= vägg mitt för fönster. FÖ= fönsterbräda. K=komplettering. VV=Vilsam vägg. VT= vilsamt tak

Tabell 59. 27.2 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 27.2 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	578	713	758	695	1149	595	724	770	528
9	1324	2630	2450	8670	3100	2390	1890	1800	1430
10	2070	2530	2480	2920	2850	2500	2330	2550	2200
11	2840	5800	13820	9820	6230	3670	3360	6180	7920
12	2300	2480	1680	25000	25700	3300	3200	21600	14700
13	2500	2200	1900	5800	18100	3700	3800	28000	3200
14	1800	1100	800	1900	2000	2600	2800	7400	2200
15	590	470	370	575	862	911	796	732	611
16	297	193	143	268	346	393	363	340	274
16 VVVT	225	180	193	242	292	340	298	290	269
17 VVVT	66	72	66	112	73	89	78	79	120
18VV VT	41	45	43	76	35	57	52	62	99

K=komplettering. VV= vilsam vägg. VT = vilsamt tak. Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på

Tabell 60. Översikt 27.2 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid, foton- flöden 27.2	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	
AV aktiv vägg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
VV vilsam vägg									X	X	X	3x252	3x56,7
VT vilsamt tak									X	X	X	3x160	3x60

Tabell 61. Översikt 27.2 synprestation under dagen

Synprest 27.2 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16 VVVT	17 VVVT	18 VVVT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 62. 26.3 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golv, horisontell belysningsstyrka fönsterbräda

26.3 Lux	1m p	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	275	413	283	189	227	237	216	184	157	170	237	264	131	821	128	1070	140	1396	178
9	3300	7740	3790	3330	4060	4310	3850	3240	2700	2850	3830	4060	2430	31800	3200	27300	3500	35100	2700
10	3110	5550	4250	3570	3670	3830	4540	4890	4160	2680	2760	3790	2590	37400	4000	28100	3700	42300	3200
11	4260	3950	3600	4250	5470	7010	5490	4860	3900	4250	4950	3980	3330	11060	4320	99300	4030	11730	3230
12	4340	4970	4020	3320	3470	5190	8100	6770	4400	4220	5580	4140	2550	27600	1700	10400	1300	7700	1200
13	2720	3840	1670	2320	2440	3810	5860	3500	2750	3810	2810	1660	1170	17500	1400	10300	1100	10800	1000
14	4200	3340	2400	1880	1930	1540	2830	2600	1450	2330	2240	3360	2450	7420	2440	34500	2000	37400	1800
16	815	694	584	419	636	811	869	752	510	541	695	783	416	1992	502	1889	488	2130	430
17	324	401	295	234	330	414	414	369	253	291	371	336	189	1093	231	1045	222	1043	194
17 VV VT	318	355	316	227	315	400	462	346	262	268	330	309	188	8908	236	884	226	957	196
18 VV VT	89	108	85	63	78	115	171	96	86	79	103	89	67	250	85	254	80	242	67

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV=vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mät punkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mät punkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda.

Tabell 63. 26.3 Väggluminans 184 cm upp från golv samt på fönsterbräda

26.3 Lumi- nans	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V MF	6 V MF	7 V MF	8 V MF	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	68 4	831	56 1	431	749	568	501	510	31 7	397	592	596	30 5	1151	34 8	3570	47 0	1510	45 0
9	95 0	183 4	91 2	124 3	121 7	908	863	513	51 5	546	473	359	31 0	3990	51 0	7110	57 0	5110	49 0
10	86 7	106 6	77 3	652	996	117 3	110 3	108 6	63 5	705	994	809	46 3	1930	77 0	951	78 6	9740	69 0
11	97 8	105 4	92 9	770	110 4	163 7	164 8	145 4	84 2	441	418	329	29 5	2950	35 0	1900	87 0	2380	68 0
12	26 8	271	22 0	177	279	425	459	458	27 0	312	410	341	16 3	1920	20 5	1732	17 7	1980	18 0
13	81 5	710	72 8	559	611	847	107 7	813	81 5	189 0	927	601	51 0	1260	68 0	1096 0	53 0	1136 0	51 0
14	98 3	688	50 8	394	514	622	578	617	42 7	739	137 8	195 3	60 2	8880	47 0	8280	42 0	9270	37 6
15	64 0	420	31 0	260	330	360	370	370	26 0	300	530	730	39 0	1850	25 0	1320	26 0	1710	25 0
16	15 6	154	13 3	103	138	176	194	231	10 5	147	206	156	74	500	87	460	77	506	66
17	67	78	61	51	76	85	89	93	67	70	89	76	39	268	42	179	42	224	34
17 K VVVT	63	73	66	48	74	93	83	107	57	75	88	70	37	201	40	195	44	214	37
18 VV VT	21	20	20	14	19	20	30	24	18	23	23	15	16	51	16	51	15	50	15

MF= mitt för fönster. FÖ= fönsterbräda V= vertikalt på vägg 184 cm upp fr. golv H= Horisontellt fönsterbräda

Tabell 64. 26.3 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 26.3 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	1677	2330	1920	1620	2570	1980	760	520	940
9	3700	4610	4530	33100	11700	3900	4100	3500	2700
10	2500	4270	6250	6470	1961	4330	3800	52900	4600
11	3710	52700	2800	43400	41400	5100	4900	49600	32900
12	1550	1703	748	852	1823	1426	874	505	696
13	1200	940	2240	26100	4020	4660	4720	3060	2590
14	1900	1400	1300	1830	3130	3900	4370	2520	1520
15	1040	560	1250	1620	1890	2210	1080	750	1625
16	440	450	300	520	640	720	580	520	430
17	203	200	120	197	332	291	267	264	220
17 VVVT	239	221	204	279	317	263	273	276	262
18 VV VT	75	64	70	119	93	109	97	103	112

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på.

Tabell 65. Översikt 26.3 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid+ foton-flöden 26.3	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	
AV aktiv vägg													
VV vilsam vägg										X	X	2x252	2x56,7
VT vilsamt tak										X	X	2x160	2x56,7

Tabell 66. Översikt 26.3 synprestation under dagen

Synprest 26.3 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17 VV VT	18 VV VT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

K=komplettering AV=aktiv väggarmatur, VV=vilsam väggarmatur, VT= vilsamt tak

Tabell 67. 29.3 Vertikal belysningsstyrka på vägg 184 cm upp från vägg. Horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

29.3 V Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	274 0	368 0	259 0	18 60	23 00	252 0	23 60	19 30	15 10	15 90	24 40	28 00	13 50	175 80	15 20	194 70	19 30	197 20	23 70
9	319 0	649 0	346 0	35 80	31 30	390 0	38 90	38 60	28 40	24 20	26 10	34 20	21 70	195 50	28 30	196 00	32 70	376 00	28 00
10	390 0	485 0	409 0	38 60	40 90	571 0	63 20	45 60	37 30	35 10	43 30	38 10	26 10	867 0	39 70	807 0	38 30	980 0	30 20
11	349 0	456 0	358 0	32 40	34 20	537 0	55 40	47 60	35 90	33 80	35 60	38 70	28 10	850 0	40 30	857 0	39 00	856 0	30 70
12	401 0	440 0	362 0	30 40	31 30	495 0	79 30	58 70	40 30	38 10	48 80	38 20	29 00	520 00	36 00	474 00	34 00	423 00	27 00
13	437 0	408 0	319 0	24 40	27 00	397 0	51 50	50 30	33 70	34 10	58 50	40 20	28 50	497 00	34 60	480 00	30 00	499 00	25 00
14	402 0	330 0	254 0	18 80	20 30	281 0	32 00	27 00	32 80	21 20	45 40	53 20	26 70	385 00	27 00	335 00	21 00	360 00	21 00
15	155 8	131 3	105 7	79 2	98 2	309 0	14 67	13 25	94 8	99 1	14 89	17 93	85 1	590 0	76 0	560 6	76 0	585 0	67 0
16	650	760	620	48 0	61 0	800	75 0	74 0	55 0	57 0	63 0	85 0	41 0	262 0	49 0	295 0	47 0	313 0	43 0
17	301	347	281	19 7	26 7	348	36 8	30 0	22 3	25 4	38 4	32 4	17 3	140 3	20 0	129 8	19 5	150 1	17 1
18	57	62	46	33	45	58	61	52	37	45	59	55	31	255	35	263	34	263	29
18 VV	45	67	57	28	37	57	12 3	49	62	60	65	56	48	159	57	167	53	181	44

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV=vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda.

Tabell 68. 29.3 Väggluminanser 184 cm upp från golv och luminanser på fönsterbräda

29.3 Lumi- nanser	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V MF	7 V MF	8 V MF	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	732	816	52 5	46 4	62 0	613	561	514	37 5	49 2	668	659	33 2	194 1	403	507 0	550	421 6	64 0
9	814	124 4	82 5	66 7	92 4	993	726	721	56 2	59 7	823	803	47 0	755 0	660	766 0	740	915 0	63 0
10	975	102 5	95 5	80 9	86 7	148 2	113 1	103 4	80 4	83 9	103 1	886	64 2	167 4	801	170 9	707	181 7	57 0
11	958	997	86 8	72 7	74 3	156 5	120 7	127 9	82 3	98 6	108 1	898	89 0	580	189 5	872	186 8	179 3	60 4
12	874	882	78 3	60 5	91 7	127 8	132 0	175 5	84 3	97 9	117 1	914	61 4	121 7	650	970 0	590	121 70	48 0
13	106 0	863	68 7	53 4	62 2	983	105 6	149 2	81 8	97 0	317 0	109 0	72 0	125 40	720	114 30	630	121 60	52 0
14	348	262	20 2	16 8	21 3	301	325	330	20 7	29 7	443	422	19 6	125 5	169	118 8	148	127 0	13 7
15	348	262	20 2	16 8	21 3	301	325	330	20 7	29 7	443	422	19 6	125 5	169	118 8	148	127 0	13 7
16	171	154	12 8	98	12 0	171	184	184	11 9	14 9	251	210	90	745	98	689	99	660	81
17	75	63	52	43	59	76	75	66	47	65	91	69	33	308	35	284	38	317	38
18	13	14	10	8	9	12	12	12	10	10	15	13	7	56	8	53	7	54	7
18 VV	15	13	14	7	13	22	27	10	11	17	17	17	12	13	10	35	10	37	9

Tabell 69. 29.3 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 29.3 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	1300	2570	1920	1560	2300	2380	1400	1320	1020
9	1877	3280	4300	3960	2980	3600	3000	3150	1780
10	2460	42500	34700	18270	50600	3900	3300	7800	12700
11	3060	15790	49100	41100	52400	4100	3500	37300	19100
12	2800	2900	2500	71600	69200	38900	28300	37000	16200
13	2600	2210	2100	3370	5170	4220	4480	4710	4290
14	2270	2310	1870	2170	3190	6910	3370	3550	2420
15	1077	732	624	792	1197	1106	811	594	493
16	680	670	570	690	890	920	740	850	600
17	287	260	258	275	417	362	306	344	243
18	59	55	36	55	84	75	61	59	42
18 VV	43	39	54	62	56	45	39	44	61

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på.

Tabell 70. Översikt 29.3 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid fotonflöden 29.3	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	
AV aktiv vägg												-	
VV vilsam vägg											x	1x252	1x56,7
VT vilsamt tak												-	

Tabell 71. Översikt 29.3 synprestation under dagen

Synprest 29.3 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

K= komplettering. VV= vilsam vägg

Tabell 72. 24.4 Vertikal belysningsstyrka på vägg 184 cm upp från vägg och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

24.4 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	188 3	981	724	51 2	70 8	757	86 6	78 0	63 9	44 4	91 1	11 44	53 2	587 0	59 0	426 0	65 0	137 70	15 30
9	307 0	242 0	204 0	14 30	17 70	201 0	17 50	16 60	80 0	97 0	26 20	37 30	13 50	342 00	16 00	395 00	19 00	472 00	23 00
10	274 0	432 0	298 0	21 80	36 90	308 0	24 70	21 10	20 60	20 70	26 34	14 40	14 40	391 00	22 00	415 00	25 00	505 00	23 00
11	144 2	199 7	154 8	11 26	15 72	182 5	19 73	15 72	11 09	10 16	14 48	15 40	87 3	112 5	11 7	118 2	12 4	164 6	99
12	168 4	212 0	168 0	12 80	12 60	169 0	22 20	20 80	18 50	11 80	12 80	16 20	10 10	118 80	14 70	116 90	14 22	125 348	11 70
13	268 0	296 0	235 0	17 20	17 50	274 0	27 50	24 20	16 80	21 60	32 60	22 90	19 10	606 00	26 00	589 00	60 00	348 00	17 00
14	316 0	252 0	192 0	14 70	15 90	227 0	25 80	22 00	18 20	22 80	31 30	28 20	16 60	410 00	21 00	476 00	19 00	357 00	16 00
15	139 6	127 6	934	66 6	54 8	115 1	15 02	10 32	80 1	95 3	13 47	13 89	62 7	933 0	69 0	106 20	66 0	101 80	63 0
16	771	731	580	44 8	56 7	775	81 5	69 8	53 4	60 5	94 7	83 3	39 0	546 0	48 0	481 0	45 0	437 0	38 0
17	455	514	377	26 2	35 3	485	49 2	41 8	29 7	30 0	39 1	43 1	23 2	306 0	29 0	292 0	28 0	312 0	25 0
18	231	275	215	16 6	29 5	367	25 0	17 5	17 0	21 6	29 6	24 7	13 0	171 4	15 5	173 6	14 7	193 6	13 1

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda.

Tabell 73. 24.4 Vägg luminanser 184 cm upp från golv och horisontellt på fönsterbräda

24.4 Luminan- ser Cd/m ²	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	87 3	258	18 8	14 3	25 0	26 4	25 0	27 8	18 5	24 4	39 1	35 2	17 0	1342	17 3	2160	20 6	2150	20 3
9	85 9	584	53 4	34 4	47 3	51 4	46 2	45 3	34 9	45 7	72 7	89 1	36 7	8100	50 0	1018	57 0	9680	88 0
10	65 8	110 9	64 5	48 0	74 1	75 0	74 7	50 6	45 4	49 9	80 4	81 4	45 7	1043 0	73 0	1004 0	64 0	1189 0	52 0
11	40 0	440	35 0	26 0	44 0	52 0	48 0	45 0	28 0	37 0	26 0	32 0	24 0	2780	28 0	2490	26 0	2760	23 0
12	55 0	504	42 0	32 0	44 6	57 8	52 6	51 4	36 3	44 2	58 5	47 1	33 9	3110	52 0	3040	46 0	3170	34 0
13	69 4	614	53 0	39 1	50 3	69 5	71 3	73 1	49 6	62 3	78 1	65 1	49 3	1498 0	55 0	1386 0	49 0	1491 0	37 0
14	66 0	481	39 5	29 1	41 5	54 6	51 5	58 5	37 3	49 4	73 5	49 5	41 0	9500	50 0	1140 0	45 0	7690	28 0
15	27 5	224	17 6	13 0	21 5	25 0	26 2	26 1	15 8	19 6	28 6	17 4	12 4	1924	15 2	1934	13 9	1934	10 8
16	19 0	162	12 8	98	16 6	19 3	19 8	20 2	12 4	15 0	22 5	13 7	96	1240	10 5	1169	10 1	1281	81
17	11 7	98	76	59	97	11 0	10 9	10 9	67	81	11 7	83	56	717	65	719	61	756	49
18	64	57	46	36	59	69	70	72	43	53	73	50	37	440	41	441	40	466	32

MF = mitt för fönster. FÖ = fönsterbräda

Tabell 74. 24.4 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 24.4 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	712	607	332	655	821	604	649	1764	354
9	2590	7530	1580	1290	2530	5430	2370	2060	1490
10	3730	38900	3200	3050	25400	4500	3700	3200	2500
11	310	379	177	229	531	423	406	303	181
12	4850	6590	2460	3090	8870	10580	1036	795	2440
13	60500	2700	1870	2720	19590	4760	3900	19600	2390
14	2070	2350	1280	2040	3720	15450	6980	3430	2150
15	1780	1320	1060	1360	2370	2730	2440	1770	910
16	1220	900	680	900	280	1460	1530	1170	980
17	750	571	429	583	962	1096	1075	456	707
18	471	270	264	267	503	622	528	433	282

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på.

Tabell 75. Översikt 24.4 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid+ foton- flöden 24.4	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV aktiv vägg												-	-
VV vilsam vägg												-	-
VT vilsamt tak												-	-
												-	-

Tabell 76. Översikt 24.4 synprestation under dagen

Synprest 24.4 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 77. 30.4 Vertikal belysningsstyrka vägg och horisontell belysningsstyrka fönsterbräda.

30.4 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	516 0	138 1	100 8	60 7	87 5	122 0	10 54	10 13	83 2	91 8	10 37	17 88	75 0	432 0	41 0	825 0	93 0	442 0	16 40
9	567	628	462	35 4	41 7	542	58 0	48 5	35 8	41 1	59 8	55 0	30 6	460 0	40 0	511 0	40 0	517 30	35 0
10	324	350	296	22 6	28 4	464	51 1	42 5	30 9	24 0	36 0	41 5	21 7	280 0	27 0	300 0	27 0	349 0	23 0
11	104 2	142 3	105 5	74 8	10 37	192 2	14 65	10 51	79 8	81 2	99 9	10 11	61 9	763 0	72 0	796 0	72 0	850 0	69 0
12	792	100 3	779	59 0	76 0	115 4	13 95	10 57	73 4	61 0	13 94	96 8	54 7	666 0	78 8	667 0	93 2	115 40	96 0
13	370 0	327 0	286 0	19 40	19 80	307 0	38 20	33 30	23 50	81 0	93 3	11 22	61 0	159 90	27 10	703 00	26 70	727 00	16 00
14	103 9	111 8	104 9	18 60	13 90	176 0	25 30	30 50	23 10	11 40	86 0	11 20	15 70	474 00	23 50	561 00	10 00	248 00	18 00
15	187 0	167 0	109 0	85 0	10 40	124 0	11 40	85 0	57 0	62 0	84 0	15 90	84 0	290 00	86 0	300 00	91 0	324 00	91 0
16	120 1	100 4	729	53 1	65 0	498	59 8	51 2	52 8	85 0	12 13	46 8	30 0	680 0	56 0	643 0	49 0	722 0	50 0
17	344	407	31	14 2	30 4	475	47 4	37 7	18 8	17 9	27 6	32 4	16 4	155 6	19 7	150 5	18 5	158 3	16 4
18*																			

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. * värden förlorade

Tabell 78. Belysningstekniska mätvärden 30.4 Vägg luminanser

30.4 Cd/ m2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	79 1	35 8	25 4	18 9	304	340	302	328	23 7	35 0	44 9	29 8	19 5	1275	22 7	1770	28 0	6820	42 0
9	15 7	13 4	49	78	122	138	125	125	79	90	13 1	92	68	875	78	917	72	1016	64
10	12 4	10 9	93	75	132	175	163	144	84	87	13 3	92	65	836	72	780	70	813	55
11	92 0	72 5	53 0	70 0	847	771	767	578	54 2	81 3	81 0	87 0	52 5	1700 0	70 0	13000 0	18 7	2070	10 5
12	25 9	25 3	23 2	15 8	268	333	313	287	17 5	21 9	25 9	18 1	13 2	1981	15 2	1787	15 1	1583	12 6
13	46 4	40 1	23 8	16 4	260	372	360	362	24 0	51 5	92 6	87 8	61 1	1951 0	28 0	3160	20 0	2570	17 0
14	97 4	74 2	54 9	40 4	575	572	632	628	40 3	35 6	87 2	77 2	62 7	1556 6	23 0	15950	59 0	1116 0	46 0
15	56 0	33 6	24 5	17 9	252	279	243	251	17 5	24 5	40 9	33 4	19 9	4570	17 0	3400	16 0	3720	13 0
16	25 4	20 6	14 9	11 6	160	177	167	174	11 6	15 0	25 9	19 5	11 1	1433	11 8	1317	11 7	1467	10 7
17	14 9	75	62	51	104	101	100	99	56	65	95	51	38	345	42	342	41	380	33
18*																			

*= värden förlorad

Tabell 79. 30.4 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

30.4 Golvplan H Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	620	1080	1020	1100	1530	1790	1270	1120	720
9	1210	997	521	894	1390	1345	1420	748	600
10	570	463	338	495	924	1497	1270	804	423
11	250	1749	991	1377	1960	4280	5186	13540	1580
12	2710	50500	2300	2400	64900	64800	71700	6200	800
13	33490	1680	1190	1620	3390	3380	3460	4990	2240
14	3000	2780	1840	2560	4790	61700	9900	29600	2010
15	1620	1489	921	1144	1734	3200	2940	2200	1190
16	1166	1026	555	767	1232	1877	1928	1292	760
17	272	478	367	325	482	398	364	413	283
18*									

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 80. Översikt 30.4 över använd energi för belysning under dagen W.

30.4	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV aktiv vägg												-	-
VV varm vägg												-	-
VT varmt tak												-	-

Tabell 81. Översikt 30.4 synprestation under dagen

Synprest 30.4 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 82. 24.5 Vertikal belysningsstyrka vägg och horisontell belysningsstyrka fönsterbräda

24.5 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	126 1	561	460	34 0	46 0	520	60 0	49 0	28 0	31 0	65 0	62 0	28 0	306 0	35 4	283 0	22 0	352 0	73
9	306 00	192 1	165 7	19 39	99 0	147	15 51	25 0	14 55	36 0	14 66	19 64	49 6	160 00	12 59	388 00	12 27	390 00	14 5
10	292 0	244 0	260 0	27 0	18 30	191 0	22 40	18 40	16 00	17 60	25 40	33 30	15 80	387 00	13 00	446 00	13 00	536 00	19 00
11	529	590	431	15 9	77	550	60 6	31 7	18 6	27 4	51 4	26 2	23 0	334 0	16 0	367 0	32 0	421 0	25 0
12	600	520	413	84	50	530	69 0	18 0	12 7	12 5	47 5	81 0	63 6	628 0	23 0	624 0	38 4	702 0	38 0
13	341	305	280	19 9	23 9	268	44 2	37 4	22 8	22 5	26 0	18 2	10 6	310 6	23 0	315 0	50	358 0	28 0
14	990	796	620	46 6	54 6	756	10 83	89 5	66 7	67 7	12 55	11 01	56 3	133 60	66 0	125 5	68 1	144 5	57 0
15	406	358	280	16 5	24 5	304	37 1	30 0	25 6	24 6	36 8	38 2	19 8	327 0	18 0	313 0	18 8	366 0	18 4
16	970	721	546	41 5	47 9	689	87 7	74 4	52 2	49 7	85 2	88 0	39 3	650 0	42 0	620 0	57 0	644 0	24 3
17	532	445	410	39 3	44 0	597	70 7	60 6	39 6	38 7	66 0	57 8	23 8	318 0	28 0	297 0	29 0	521 0	26 0
18	367	382	318	24 6	32 7	424	48 7	42 1	25 4	23 5	37 7	36 2	18 9	189 3	23 7	161 1	23 2	168 4	21 1

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. * värden förlorade

Tabell 83. 24.5 Vägg luminans 184 cm upp från golv och på fönsterbräda.

24.5 Lumi-nans	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	525 0	21 0	16 0	12 0	16 7	19 0	21 0	21 0	13 9	16 3	24 2	25 4	11 4	654	10 6	581	28 0	963	13 9
9	149	19 8	15 4	10 8	16 4	18 8	20 3	21 4	13 5	15 3	21 7	22 9	10 1	361 0	17 0	214 0	15 0	173 0	11 0
10	128	14 3	10 7	75 2	11 4	14 4	15 3	15 5	86 0	89 6	13 0	14 0	64	869	85 4	103 4	11 5	112 2	70
11	113	13 1	13 1	74	11 0	15 0	15 2	16 3	89	94	14 4	16 7	75	144 0	11 9	140 5	11 6	160 3	76
12	190	20 1	15 7	10 3	15 7	19 9	23 1	24 8	15 0	17 6	26 4	26 0	14 5	239 0	20 0	219 0	34 0	274 0	14 0
13	82	86	74	52	81	10 1	11 5	11 8	69	75	11 0	11 1	56	759	80	931	10 7	106 1	56
14	228	19 8	15 8	10 7	15 2	18 3	23 5	26 3	15 3	18 0	26 3	24 7	12 3	234 0	14 2	203 0	15 0	234 0	12 0
15	82	87	69	49	71	81	92	96	62	71	10 3	12 0	52	844	94	809	68	958	51
16	152	14 3	11 2	80	11 5	14 6	17 9	18 9	11 2	12 3	19 7	19 9	88	145 3	66 9	135 4	12 2	152 1	87
17	98	91	77	58	89	11 2	13 2	14 1	82	95	14 7	14 6	62	856 0	24 0	792	14 7	649	51
18	73	90	74	57	94	10 8	12 0	12 5	73	79	11 4	97	46	360	11 7	356	84	366	47

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda.

Tabell 84. 24.5 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

24.5 Golvplan H Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	1366	1088	549	759	1148	1514	1212	896	652
9	30500	3060	790	810	1390	1654	981	1010	560
10	3800	4600	1900	2200	5000	2690	1740	1450	790
11	1900	690	490	510	110	200	40	730	470
12	1099	1425	922	1120	1982	1927	1440	2440	2100
13	1070	680	330	400	850	1310	1180	810	360
14	2260	1530	739	1270	2560	4490	4900	2320	1000
15	910	815	300	413	1017	1171	1121	794	355
16	1287	861	568	776	1220	1365	1725	1463	487
17	620	700	510	530	630	770	830	740	370
18	389	392	284	199	509	438	453	264	297

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 85. Översikt 24.5 över använd energi för belysning under dagen W.

24.5	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV aktiv vägg												-	-
VV vilsam vägg												-	-
VT vilsamt tak												-	-
												-	-

Tabell 86. Översikt 24.5 synprestation under dagen

Synprest 24.5 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 87. 27.5 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka fönsterbräda

27.5 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	111 0	655	431	31 1	39 7	495	58 5	44 6	25 7	31 8	52 0	56 0	20 9	354 0	32 0	453 0	38 0	373 0	70 0
9	361 0	238 0	155 0	11 60	12 40	161 5	17 65	11 78	12 98	19 88	29 30	12 40	95 0	406 00	11 53	344 00	14 30	479 00	16 00
10	260 0	197 5	196 8	15 86	17 81	197 3	22 00	18 90	12 90	13 30	22 10	32 00	12 50	606 00	17 00	587 00	19 00	599 00	17 00
11	305 0	346 0	286 0	20 90	10 30	175 0	21 00	16 90	12 80	13 70	23 50	21 10	16 50	390 00	22 00	303 00	30 30	671 00	21 00
12	343 0	294 0	274 0	18 70	20 70	150 0	28 30	22 10	18 80	19 70	27 90	38 00	18 90	131 30	24 00	141 50	23 50	140 00	82 0
13	329 0	262 0	218 0	15 60	19 00	256 0	30 50	27 60	20 50	21 30	29 10	28 30	17 00	267 00	21 40	216 00	13 00	590 00	60 0
14	823	723	638	51 2	60 0	100 8	14 31	11 86	87 8	89 5	14 49	10 65	57 3	588 00	16 80	581 00	60 0	112 00	40 0
15	233 0	142 0	116 0	11 10	77 0	820	88 0	11 60	98 0	67 0	62 0	10 50	20 10	179 50	89 0	191 20	73 0	154 20	53 0
16	787	700	549	42 0	50 6	498	90 6	77 2	42 7	44 7	52 2	93 5	40 8	708 0	45 0	474 0	29 0	684 0	39 0
17	287	236	182	13 6	16 7	215	25 4	23 0	14 2	97 7	14 7	26 6	13 1	222 0	14 0	226	12 0	242 0	10 0
18	358	293	244	16 3	20 0	290	37 1	33 9	18 2	17 7	44 6	35 2	32 8	245 0	17 0	227 0	18 0	237 0	16 0

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda.

Tabell 88. Bländningsvärden 27.5

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6
12.00	Lux	16500	20400	19800	19500	20100	19900
12.00	Cd/m2						
13.00	Lux	18100	17000	18500	17900	19800	19600
	Cd/m2						
14.00	Lux	37900	64900	61000	55700	34900	19000
14.00	Cd/m2	15600	16500	16740	14790	16820	14970

Tabell 89. När bländningsupplevelsen släppte 27.5

15.00	Lux	10520	11300	13170	9900	29600	10600
15.00	Cd/m2	3220	3320	2930	1590	3570	3060
16.00	Lux	8550	7720	7850	6340	8140	8460
16.00	Cd/m2	1740	1687	1515	1611	1619	1357

Tabell 90. 27. 5 V ägg luminanser och luminanser på fönsterbräda

27.5 Luminan- ser Cdm2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	490 0	24 0	18 5	12 6	19 5	22 4	23 6	23 2	15 7	15 1	26 0	30 9	14 1	1069	20 4	2210	18 0	7070	27 0
9	544	52 6	54 1	26 0	39 5	42 2	43 7	43 6	30 9	36 5	52 4	75 6	32 3	1170 0	50 0	1150 0	50 0	1240 0	50 0
10	630	66 5	60 5	37 4	54 2	60 3	56 6	60 4	37 0	47 2	59 5	75 8	41 5	1775 0	41 0	1493	60 0	1525	51 0
11	750	73 9	63 8	42 8	59 5	76 1	69 5	71 0	48 2	56 6	78 7	78 1	49 4	1775 0	90 0	1706 0	91 0	1798 0	48 0
12	380	32 6	36 8	22 0	36 0	41 9	81 7	80 6	54 5	69 0	96 1	82 4	52 8	3160 0	61 0	3290	65 0	3170	47 0
13	750	68 2	55 5	35 9	51 6	65 5	70 9	72 5	48 0	60 5	79 2	80 0	50 9	1770 0	70 0	1250 0	70 0	1820 0	60 0
14	320	28 9	25 7	21 1	37 1	41 6	53 3	57 5	36 5	46 1	68 6	68 1	36 9	1630 0	73 0	1450 0	37 0	1462 0	34 0
15	357	26 0	19 4	15 15	18 7	22 2	30 0	31 9	20 2	21 5	34 9	34 0	16 9	8140 0	20 0	3490	17 0	2850	20 0
16	160	15 0	11 4	81	11 7	15 6	16 6	18 3	11 5	13 4	19 8	18 7	83	1229	11 4	1149	28 4	1336	79 0
17	45	39	32	23	30	41	49	53	30	37	52	49	26	357	30	340	33	366	30
18	51	50	40	31	40	55	69	77	47	56	90	82	31	452	39	404	30	389	27

Tabell 91. 27. 5 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 27.5 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	1838	1355	745	849	1359	1908	1633	1305	828
9	34700	2400	1300	1700	2400	4100	2900	2400	1500
10	3970	3460	1850	2210	3290	3890	4130	2610	1890
11	6500	5400	2400	3100	3980	13220	38800	4100	1600
12	6060	3570	2320	1510	2880	570	485	257	152
13	10120	2740	1240	144	240	402	504	354	260
14	3140	2430	1460	1740	1520	2580	4140	2636	1780
15	1820	1410	690	1180	2180	3300	3680	2660	1350
16	1650	1320	740	1060	1710	2060	2100	1370	690
17	790	390	240	250	490	780	796	490	260
18	650	417	259	310	521	684	636	491	265

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 92. Översikt 27.5 över använd energi för belysning under dagen W.

27.5	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV aktiv vägg												-	-
VV varm vägg												-	-
VT varmt tak												-	-

Tabell 93. Översikt 27.5 synprestation under dagen

Synprest 27.5 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 94. 29.6 Vertikal belysningsstyrka vägg upp 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

29.6 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	1187	716	526	400	452	593	715	642	449	463	931	980	456	3220	470	4500	420	2350	430
9	1958	1700	1310	720	930	1190	1390	1260	670	796	988	2280	1020	6926	995	39800	978	44100	1315
10	2900	2190	2080	1202	1507	1789	2210	1940	1530	1450	2660	3200	1540	53100	2050	54700	2120	63200	1730
11	2750	2930	1890	1620	1380	1963	1359	2750	1548	1674	1420	2950	1550	66400	2220	65100	2330	68000	1890
12	330	296	268	198	227	394	527	490	274	187	449	401	213	2250	230	2270	240	2720	180
13	1451	1328	1078	857	966	1796	2240	2090	1060	1010	1560	1720	930	24200	1263	18900	850	14300	690
14	988	797	694	499	525	948	1229	1127	698	529	1036	1321	650	54600	1280	53100	1430	49000	1150
15	1082	1221	978	613	697	872	971	1078	673	596	1128	1540	589	7830	540	85900	740	10470	750
16	768	609	467	306	401	551	650	676	359	296	411	742	282	4220	380	40900	370	44200	330
17	442	419	192	152	161	362	556	498	399	342	468	542	265	3120	290	30200	260	29000	230
18	362	354	285	186	245	325	413	325	204	187	330	359	300	1942	210	1895	208	20900	180

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mät punkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mät punkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda.

Tabell 95. Bländningsvärden 29.6

Tid	Mät punkt	1	2	3	4	5	6
10.00	Lux	17750	58700	17250	59600	62600	33900
10.00	Cd/m2						
11.00	Lux	69600	70700	66800	66300	73400	68500
11.00	Cd/m2						
14.00	Lux	13840	11900	14300	12300	14600	18900
14.00	Cd/m2	12010	4560	4150	13100	4370	9820

Tabell 96. När bländningsupplevelsen släppte 29.6

15.00*	Lux								
15.00*	Cd/m2								
16.00*	Lux								
16.00*	Cd/m2								

*= så växlande väder att värden blir missvisande.

Tabell 97. 29.6. Väggluminanser 184 cm upp från golv och luminanser på fönsterbräda

29.6 Luminan- ser	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	39 9	21 8	17 5	11 8	17 5	19 6	23 0	22 9	15 9	18 8	29 0	36 3	15 6	1115	16 8	2430	23 0	6720	24 0
9	52 0	43 9	42 7	22 1	31 5	34 9	37 4	38 3	27 1	31 9	48 7	67 0	30 9	1979	62 6	1091	51 0	1198	46 0
10	68 3	71 1	53 3	36 7	51 0	55 4	54 5	54 0	39 2	46 4	62 3	75 2	42 2	1668	74 0	1589	80 0	1674	61 0
11	73 5	67 0	57 5	38 7	52 5	61 0	66 7	63 1	44 6	55 8	67 5	74 1	46 7	1810	87 0	1740	81 0	1676	51 0
12	86	90	80	58	86	13 1	18 6	17 3	11 1	11 2	16 5	14 4	72	753	80	753	90	842	66
13	31 0	28 2	23 7	18 2	42 9	37 1	36 3	40 3	29 8	25 5	33 2	31 5	16 9	3200	23 0	2810	19 0	2810	15 0
14	60 0	45 4	34 3	23 6	31 2	39 6	42 2	44 8	29 5	36 8	59 0	58 5	34 4	1447	43 0	1335	44 0	1223	31 0
15	34 0	27 0	20 0	13 7	19 2	24 1	27 3	30 0	19 5	21 9	31 6	36 0	16 1	1425	18 6	1830	19 2	2370	16 0
16	16 0	12 8	10 5	73	10 9	14 7	17 7	19 1	11 7	12 9	19 1	20 3	82	1031	93	957	94	1003	77
17	92 0	10 0	78	59	88	11 1	13 7	14 5	89	97	15 2	14 4	62	624	76	661	75	657	61
18	69	87	60	49	76	90	10 1	11 0	67	72	10 4	98	46	481	56	476	57	543	47

MF= mitt för fönstret. FÖ= fönsterbräda

Tabell 98. 29.6 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 29.6 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	1636	1135	308	424	1254	1318	1235	1085	581
9	19590	2250	1180	1510	2350	4130	2800	2140	1530
10	5410	3020	2060	2190	3060	4480	80300	3100	1800
11	24700	3120	2080	2130	3290	56300	71900	3500	1700
12	590	580	470	610	670	740	750	890	630
14	2810	2120	1510	2040	2700	4040	4450	2690	1730
15	1086	1222	728	972	1448	1996	2380	1760	1180
16	860	720	360	600	1060	1140	1080	1120	690
17	771	649	561	513	710	874	836	840	523
18	503	475	348	380	563	575	533	540	368

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 99. Översikt 29.6 över använd energi för belysning under dagen W.

29.6	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV aktiv vägg												-	-
VV varm vägg												-	-
VT varmt tak												-	-
												-	-

Tabell 100. Översikt 29.6 synprestation under dagen

Synprest 29.6 Allmänljus Mp	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 101. 30.6 Vertikal belysningsstyrka på vägg 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

30.6 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	729	522	389	24 6	29 7	463	53 1	45 0	21 7	20 9	52 4	46 4	26 6	317 0	29 2	392 0	29 0	185 0	33 0
9	699	728	476	34 7	43 7	592	67 8	60 2	37 3	39 8	68 1	65 8	30 8	610 0	36 0	125 5	43 0	874 0	37 0
10	176 9	827	601	35 9	46 5	662	71 5	55 5	28 4	25 6	23 9	42 2	23 9	590 0	33 0	689 0	37 0	664 0	10 0
11	148 3	136 5	126 6	11 97	16 97	217 0	20 50	11 60	10 6	13 40	19 30	55 0	40 0	958 0	41 0	788 0	38 0	782 0	34 0
12	701	736	615	41 3	45 2	634	91 0	82 0	54 3	45 9	83 7	79 9	42 3	485 0	52 0	519 0	45 0	452 0	37 0
13	212 0	227 0	173 0	13 20	15 10	220 0	21 00	17 80	13 30	17 70	19 50	18 90	12 50	317 00	13 40	546 00	21 00	610 00	17 00
14	758	474	341	23 4	25 0	355	39 4	35 5	18 3	20 6	39 6	49 8	21 4	422 0	25 0	405 6	25 0	437 0	19 0
15	258	258	207	15 1	17 3	291	34 6	32 2	16 9	15 4	23 1	27 8	14 6	231 0	17 0	185 0	17 0	246 0	15 0
16	481	424	349	22 9	24 2	304	45 5	42 7	23 7	20 7	33 9	48 1	23 1	494 0	22 0	486 0	24 0	502 0	22 0
17	*																		
18	*																		

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. * värden förlorade den externa mätcellen slutade fungera.

Tabell 102. Bländningsvärden 30.6

Tid	Mätpunkt	B1	B2	B3	B4	B5	B6
13.00	Lux	73300	70400	70100	67200	69300	75300
13.00	Cd/m2	19400	18900	18500	17000	18600	20000

Tabell 103. När bländningsupplevelsen släppte 30.6

		Mp14	MP16	Mp18
14.00	Lux	4220	4056	4370
14.00	Cd/m2	915	968	1073

Uppmätning gjord för sent för att representera verklig gräns

Tabell 104. 30.6 Vägg luminanser 184 cm upp från golv och luminanser på fönsterbräda

30.6 Luminan- ser Cd/m2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	50 8	23 0	17 7	11 5	18 0	21 0	23 5	23 8	16 5	21 2	29 5	32 7	15 1	1407	16 7	1699	18 1	3620	24 0
9	23 0	36 6	41 5	20 6	33 9	39 0	39 1	40 4	28 9	35 1	51 2	61 3	27 1	1070 0	40 0	1185 0	39 5	1065 0	41 0
10	13 0	13 0	12 0	80	12 7	17 1	19 4	16 4	10 4	10 4	13 9	12 3	72	1158	12 7	1086	11 0	1141	77
11	14 4	17 1	14 6	99	15 9	17 5	18 8	17 9	11 3	11 6	16 0	17 7	92	1859	12 2	1820	14 0	1870	13 0
12	19 4	18 4	14 7	10 4	15 5	21 4	23 7	26 1	16 8	19 1	29 5	19 6	12 5	1739	15 9	1737	19 2	1990	13 1
13	73 0	56 0	49 0	33 0	44 0	54 0	53 0	58 0	39 0	53 0	80 0	76 0	52 0	1842 0	61 0	1707	58 0	1885	41 0
14	98	97	75	50	69	83	97	99	64	76	11 9	12 6	60	915	67	968	63	1073	54
15	88	69	56	39	60	85	94	10 1	60	73	10 4	79	43	139	51	173	49	702	44
16	16 6	10 2	80	60	82	12 5	12 3	12 7	80	97	13 5	99	67	1157	79	1111	82	1192	62
17	11 9	12 0	95	64	98	13 1	15 6	16 7	10 4	13 8	19 8	12 4	81	221	92	1164	83	1150	69
18	11 7	98	79	58	89	11 4	12 3	13 4	85	10 2	14 6	13 8	68	895	81	793	74	819	62

MF= mitt för fönster. FÖ = fönsterbräda

Tabell 105. 30.6 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 30.6 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	1630	1170	750	940	1360	1960	1920	1170	620
9	1940	1260	610	650	1450	22200	1830	880	630
10	2480	1170	630	740	1160	205	181	940	540
11	2040	1278	646	756	1192	1904	1387	875	679
12	991	1212	1028	1720	1302	1423	1748	1371	980
13	5520	3220	2440	2700	4080	5300	5870	4690	2930
14	1141	802	378	633	985	1174	1183	581	500
15	660	460	260	320	690	810	740	510	330
16	1020	867	486	765	1122	1374	1507	829	396
17*									
18*									

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

*Screenmasterns externa mätcell för belysningsstyrka slutade fungera

Tabell 106. Översikt 30.6 över använd energi för belysning under dagen W.

30.6			10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV aktiv vägg												-	-
VV varm vägg												-	-
VT varmt tak												-	-
												-	-

Tabell 107. Översikt 30.6 synprestation under dagen

Synprest 30.6 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 108. 29.7 Vertikal belysningsstyrka på vägg 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda.

29.7 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	300	260	200	160	190	250	290	280	220	240	310	280	140	2390	190	2640	200	3110	180
9	190	170	136	110	130	170	220	190	140	150	180	160	80	1370	110	1440	110	1670	90
10	100	108	89	64	75	114	120	118	94	103	130	120	64	960	80	1030	80	1150	70
11	336	289	217	163	194	242	270	251	189	207	2623	231	1188	1968	1530	1810	1460	2070	120
12	229	207	161	123	140	209	245	226	175	182	224	202	106	1685	141	1756	138	1914	121
13	461	418	326	260	310	448	497	532	403	449	563	533	277	4367	350	4590	350	5220	310
14	386	269	207	242	330	351	450	477	360	398	539	532	243	3760	318	4020	300	4250	270
15	403	368	284	222	274	406	516	476	361	377	491	411	221	3320	280	3630	280	3790	260
16	453	409	316	246	297	410	489	463	369	395	500	472	339	3630	280	3480	280	3860	240
17	323	180	288	227	213	287	349	322	256	255	361	307	159	2510	200	2440	200	2790	170
18	177	157	124	96	113	163	187	183	136	151	181	168	85	1486	114	1320	114	1537	97

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. Upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. * värden förlorade.

Tabell 109. Bländningsvärden 29.7

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6
	Lux						
	Cd/m2						

Ingen bländning denna dag

Tabell 110. När bländningsupplevelsen släppte 29.7

	Lux						
	Cd/m2						
	Lux						
	Cd/m2						

Tabell 111. Belysningstekniska mätvärden 29.7 Väggluminanser och luminanser på fönsterbräda

29.7 Luminan- ser Cd/m2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	51 H	19 V
8	13 4	86	63	5 2	72	89	10 1	10 8	76	85	95	74	52	102 2	82	104 7	69	119 4	39
9	59	41	30	2 5	35	42	51	57	40	43	51	39	26	436	59	456	43	512	29
10	29	36	27	2 4	32	48	52	57	42	52	53	39	29	451	54	482	83	155 2	32
11	74	58	42	3 5	53	61	67	72	50	56	66	49	35	550	43	585	45	653	35
12	68	53	38	3 6	53	70	74	73	53	55	49	46	33	556	46	535	63	593	32
13	19 4	13 5	97	9 4	11 4	15 4	16 9	16 6	13 1	14 8	14 7	14 3	94	183 0	15 5	162 6	15 3	186 2	89
14	20 2	15 0	11 0	8 9	12 6	16 1	20 0	22 9	16 8	18 4	20 6	17 0	12 4	278 0	24 0	261 0	16 0	276 0	12 0
15	16 0	11 8	87	7 1	99	13 3	15 9	18 0	11 5	12 6	13 1	11 5	80	142 6	18 8	147 9	97	158 4	78
16	15 4	11 4	83	6 9	94	12 6	14 2	16 8	11 6	12 6	14 6	13 2	79	138 7	15 8	133 6	99	142 5	75
17	10 6	78	58	5 1	68	86	10 1	11 3	78	89	10 3	73	54	942	64	864	62	100 5	49
18	59	45	33	2 8	41	52	65	64	44 5	48	55	41	31	518	36	488	36	542	28

MF= mitt för fönstret. FÖ= fönsterbräda

Tabell 112. Belysningstekniska värden 29.7 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

29.7 Golvplan Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	850	740	370	460	860	990	800	660	380
9	580	500	190	200	370	380	460	330	200
10	310	200	100	130	310	380	310	260	150
11	796	434	327	297	532	727	640	513	302
12	547	411	247	269	506	530	474	394	255
13	1540	1140	600	701	1390	1740	1600	1130	580
14	890	605	405	355	570	1100	1468	928	790
15	833	672	407	525	816	930	1200	930	560
16	1579	822	463	540	929	1169	1107	890	439
17	813	504	366	380	730	840	840	810	420
18	487	326	184	210	360	484	214	391	448

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 113. Översikt 29.7 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid+ foton-flöden 29.7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV aktiv vägg												-	-
VV varm vägg												-	-
VT varmt tak												-	-
												-	-

Tabell 114. Översikt .29.7 synprestation under dagen

Synprest 29.7 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 115. 31.7 Vertikal belysningsstyrka och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

31.7 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	459	550	395	28 2	36 6	482	52 9	51 8	42 1	41 8	61 7	62 9	27 1	212 0	33 2	276 0	38 4	520 0	80 1
9	347	223	158	12 8	14 9	205	23 5	21 4	16 8	19 3	23 2	21 6	11 6	163 4	17 3	225 0	18 4	277 0	17 0
10	218 0	183 0	138 0	13 50	13 20	171 0	18 30	15 30	12 30	13 70	16 70	18 10	50 0	439 00	17 32	448 00	18 82	472 00	17 09
11	234 0	220 0	157 0	14 60	17 10	221 0	20 20	19 40	16 30	17 80	14 80	23 50	13 80	450 00	57 0	355 00	21 30	447 00	16 94
12	238 0	210 0	170 0	14 70	16 60	226 0	23 00	20 30	18 00	17 90	21 70	23 60	14 90	675 0	19 00	723 0	20 90	738 0	16 80
13	233 0	167 0	150 0	12 40	13 80	194 0	21 00	19 00	17 00	18 80	21 80	21 70	14 10	185 70	19 20	960 0	18 60	338 00	16 00
14	248 0	190 0	142 0	10 60	11 30	153 0	17 50	16 80	13 80	15 60	18 90	20 90	12 40	461 00	14 95	475 00	15 96	475 00	48 2
15	433	424	338	29 1	33 3	460	51 4	45 6	35 5	42 5	49 0	39 5	22 6	372 0	29 0	331 0	29 0	387 0	25 0
16	196	168	146	10 2	11 9	166	18 6	17 1	13 1	16 8	18 2	18 3	95	142 7	11 0	149 7	11 2	153 0	10 0
17	115	104	94	65	78	104	12 3	11 8	90	10 4	12 7	13 5	65	105 9	76	102 1	73	115 1	65
18	158	149	107	85 6	10 6	133	15 3	14 8	11 7	12 8	15 9	16 0	75	125 0	97	134 0	97	148 5	86

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mät punkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. upp från vägg. Mät punkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. * värden förlorade.

Tabell 116. Bländningsvärden 31.7

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6
10.00	Lux	39600	43400	42200	43300	42700	48200
10.00	Cd/m2	15320	15740	15090	15130	15700	16790
11.00	Lux	50500	52300	45200	50300	45900	55300
11.00	Cd/m2	1954	2380	1525	1580	3890	6780
12.00	Lux	48500	54800	50600	52500	52000	54300
12.00	Cd/m2	18750	18830	19340	18100	17280	19220
13.00	Lux	49200	53100	51900	49100	49900	8200
13.00	Cd/m2	16300	19280	18470	18000	18720	19680

Tabell 117. När bländningsupplevelsen släppte 31.7

	Lux						
	Cd/m2						

Tabell 118. 31.7 Vägg luminanser 184 cm upp från golv och luminanser på fönsterbräda

31.7 Luminanser Cd/m2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	39 6	20 7	13 0	10 6	15 3	18 6	14 8	21 5	15 7	20 8	23 3	20 9	10 7	1256	15 2	1645	18 7	2580	11 6
9	16 4	10 1	73	65	87	11 5	12 7	13 9	96	11 0	12 9	10 4	75	1502	87	1446	85	1520	76
10	75 9	56 9	47 6	35 0	35 6	24 8	38 9	61 6	48 1	51 9	50 0	79 2	43 7	5080	17 0	3820	19 0	1751 0	54 1
11	68 0	25 4	46 6	22 2	51 4	22 8	23 6	22 6	14 9	16 2	16 4	11 4	84	1164	10 3	1119	10 4	1250	91
12	78 5	58 3	51 5	41 6	53 6	73 0	69 0	76 1	57 4	59 0	60 0	34 8	33 0	1750	35 0	1570	60 0	3480	25 0
13	71 5	52 6	46 0	33 2	43 3	56 5	64 5	66 5	51 8	61 4	62 7	58 3	50 2	1782 0	60 0	1464 0	57 0	1266	46 0
14	17 2	15 6	15 7	14 1	35 5	43 8	51 7	55 5	43 0	47 1	52 9	20 6	11 4	1434 0	49 0	1637	46 0	1630	37 0
15	15 8	12 6	97	81	11 9	14 5	15 4	17 2	12 1	13 3	17 4	12 9	86	1669	10 0	1726	97	2010	10 0
16	61	45	33	28	38	47	55	57	40	45	47	38	28	481	29	503	30	509	24
17	39	29	21	19	26	30	34	38	28	31	28	28	19	335	21	374	26	366	19
18	52	39	33	23	37	43	43	52	37	39	45	34	19	411	28	444	28	482	23

Tabell 119. 31.7 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 31.7 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	1152	783	491	522	903	1043	822	753	503
9	872	598	340	545	936	1046	1045	864	483
10	759	569	476	350	356	248	389	616	481
11	2990	25200	1531	1542	35200	3870	3120	2310	1590
12	24300	3780	1497	931	3460	56400	33800	3300	1410
13	4140	3540	1840	2020	3360	6590	8360	3840	1890
14	58000	1850	1400	1869	2820	3040	2400	2836	2080
15	2220	1560	730	1020	1600	2370	2810	1040	710
16	1350	890	540	600	1170	1380	1370	1050	600
17	503	377	175	283	426	517	516	396	204
18	345	224	137	125	281	349	331	215	155

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 120. Översikt 31.7 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid+ foton-flöden 31.7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VV	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV aktiv vägg												-	-
VV varm vägg												-	-
VT varmt tak												-	-

Tabell 121. Översikt .31.7 synprestation under dagen

Synprest 31.7 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Mellan klockan behövdes avbländning i rummet för fönsternischernas nedre del. Rummet i övrigt fungerar väl under dagen

Tabell 122. 29.8 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golvet och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

29.8 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00																			
9	543	380	266	207	238	332	459	401	329	381	473	463	223	3710	270	3670	260	3970	210
10	1950	1870	938	1042	1215	1132	1480	1153	1067	1528	1458	1672	897	25700	1322	23800	1600	28500	1200
11	1124	1148	813	688	763	1032	1190	1034	897	1033	1351	1272	687	8010	820	9790	860	1433	680
12	509	525	363	307	344	487	614	568	455	570	706	652	320	5130	390	5090	390	5780	320
13	603	531	365	292	342	509	635	615	475	537	712	789	299	4840	360	4630	330	4830	270
14	177	191	134	103	136	191	224	192	142	163	195	211	871	1296	116	1260	116	1610	103
15	338	345	221	166	198	270	351	334	278	286	347	331	163	2870	210	2900	210	3350	190
16	615	534	392	304	353	530	740	810	595	658	1058	1083	392	5250	440	5360	430	6160	380
17	326	271	224	206	190	289	430	417	325	366	575	536	187	2660	200	2560	190	2510	160
18	131	139	110	75	87	111	138	115	103	111	154	126	622	1062	790	1030	780	1074	620

Tabell 123. Bländningsvärden 29.8

Tid	Mät punkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning denna dag

Tabell 124. När bländningsupplevelsen släppte 29.8

	Lux						
	Cd/m ²						
	Lux						
	Cd/m ²						

Ingen bländning denna dag

Tabell 125. Belysningstekniska mätvärden 29.8 Vägg luminanser och luminanser på fönsterbräda

29.8 Cd/m ²	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8																			
9	120	79	61	48	74	87	114	119	82	95	109	100	60	1161	76	1191	78	1309	63
10	334	351	232	279	286	349	336	339	258	289	308	342	197	4910	290	5030	300	5280	250
11	333	266	212	166	240	306	302	346	247	295	307	299	207	4800	260	5030	280	5730	210
12	151	114	92	65	91	115	133	143	106	131	156	127	74	1332	86	1292	89	1313	70
13	112	86	67	57	95	116	133	138	89	109	108	107	57	1032	68	1019	65	1026	52
14	53	45	34	27	44	47	54	52	35	38	35	37	21	318	26	331	26	350	22
15	84	63	46	35	51	59	78	90	61	64	69	61	39	814	47	729	47	807	38
16	202	145	110	85	121	136	192	205	142	184	243	243	113	1515	105	1591	116	1535	105
17	88	64	49	40	57	73	104	125	88	99	130	104	51	733	56	709	54	697	41
18	29	26	19	16	23	28	30	33	24	25	26	23	15	260	18	226	20	265	13

MF=mitt för fönster. FÖ=fönsterbräda

Tabell 126. Belysningstekniska värden 29.8 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

29.8 Golvplan H Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8									
9	1509	987	378	380	1023	1563	1516	1039	537
10	2570	5320	1480	1660	4420	2840	2640	2440	1580
11	3280	3380	1860	182	537	358	352	1112	2160
12	1989	1524	684	641	1893	2190	2120	1760	830
13	1650	751	419	438	1028	1693	1603	1012	566
14	413	355	280	271	408	447	417	390	269
15	1010	754	307	325	901	1158	1184	850	386
16	1370	978	569	579	1231	1540	1545	1360	857
17	557	400	262	277	631	696	675	711	492
18	358	287	147	131	303	304	289	298	197

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 127. Översikt 29.8 över använd energi för belysning under dagen W.

29.8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV aktiv vägg												-	-
VV vilsam vägg												-	-
VT vilsamt tak												-	-
												-	-

Tabell 128. Översikt 29.8 synprestation under dagen

Synprest 29.8 Allmänljus	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 129. 31.8 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

31.8 Lux	1 m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	75 4	567	427	29 8	37 3	482	50 8	43 5	36 0	42 2	56 3	49 3	23 7	268 0	29 8	342 0	34 0	362 0	45 0
9	18 80	194 0	116 0	94 0	11 40	140 9	13 30	12 53	12 87	13 78	15 05	15 24	75 9	603 0	93 0	990 0	10 00	108 20	12 80
10	68 5	548	360	29 9	35 9	551	61 1	54 7	41 8	53 7	65 4	52 7	24 8	433 0	38 0	513 0	40 0	617 0	33 0
11	17 18	185 2	101 6	97 4	11 44	168 2	17 22	14 87	12 07	13 00	15 39	12 23	82 9	907 0	12 30	105 6	15 80	115 60	10 90
12	96 4	104 2	783	68 8	96 8	154 6	17 47	15 31	12 66	12 67	15 39	11 43	71 5	105 10	12 40	102 40	11 20	125 40	10 20
13	40 9	439	345	29 5	37 7	570	66 7	65 2	54 4	61 4	73 5	60 5	32 7	405 0	43 0	433 0	46 0	482 0	36 0
14	19 3	247	160	12 8	16 1	223	26 7	22 2	17 1	20 6	22 7	19 6	92 9	142 9	13 0	148 5	13 3	174 1	11 7
15	28 9	384	194	17 6	18 5	265	27 8	28 1	21 8	24 2	27 8	28 6	15 4	237 0	18 0	236 0	18 0	273 0	15 0
16	62 6	527	327	28 8	32 4	482	56 9	58 0	45 4	51 1	70 9	11 27	37 9	583 0	41 0	544 0	38 0	605 0	38 0
17	31 0	294	202	15 6	19 9	285	31 5	30 6	25 2	30 4	39 0	34 9	16 3	284 0	20 0	283 0	20 0	303 0	16 0
18	15 4	184	87	91	95	132	16 2	15 6	13 0	12 0	16 4	16 6	76 4	117 4	93	116 6	94	122 4	75

Tabell 130. Bländningsvärden 31.8

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning denna dag

Tabell 131. När bländningsupplevelsen släppte 31.8

	Lux						
	Cd/m2						
	Lux						
	Cd/m2						

Ingen bländning denna dag

Tabell 132. 31.8 Vägg luminanser 184 cm upp från vägg och luminanser på fönsterbräda

31.8 Cd/m ²	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	396	130	84	70	112	130	116	124	89	106	122	89	59	1304	74	842	89	975	139
9	1142	623	302	247	358	379	333	284	332	398	461	218	156	1662	249	5850	370	4710	420
10	230	175	123	963	145	192	187	206	149	175	160	167	103	2020	170	2550	160	3090	130
11	347	293	246	201	299	510	470	515	475	439	440	357	282	1992	388	3120	370	3110	240
12	257	222	172	151	216	351	391	443	287	307	273	191	140	1874	196	1653	222	1510	360
13	512	206	149	124	177	265	311	366	272	289	330	271	198	3880	280	4160	310	4110	180
14	53	51	38	28	45	65	63	76	48	52	61	38	27	383	34	414	36	470	24
15	80	59	41	32	47	67	70	76	51	66	66	55	34	581	46	670	46	759	35
16	175	116	82	67	121	128	138	156	117	121	171	226	116	1605	112	1333	852	1462	640
17	84	66	47	35	54	76	86	95	63	77	82	74	45	738	55	770	54	810	40
18	38	27	20	15	25	33	39	44	29	30	27	27	18	257	20	251	25	290	15

MF=mitt för fönstret. FÖ=fönsterbräda

Tabell 133. 31.8 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

31.8 Golvplan H Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	831	690	512	508	619	775	694	655	492
9	2560	1760	1780	1770	2310	2660	1850	2320	1668
10	1837	1571	916	1067	1877	2270	2370	1960	1110
11	3860	13060	2780	3180	13130	4410	4540	7550	3220
12	4990	1509	2160	2700	5100	3170	3460	5550	2030
13	2550	1990	1140	1490	2250	2800	2750	16640	2450
14	455	306	245	289	338	464	428	401	302
15	857	646	366	405	697	887	875	688	365
16	1390	905	578	706	979	1748	1854	1636	676
17	830	491	315	412	539	930	910	700	438
18	340	227	151	177	245	363	366	273	1175

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 134. Översikt 31.8 över använd energi för belysning under dagen W.

Tidfotonflöden 31.8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	-
AV												-	-
VV												-	-
VT												-	-

Tabell 135. Översikt 31.8 synprestation under dagen

Synprest Allmänljus 31.8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	1
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 136. Belysningstekniska mätvärden 25.9 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golvet och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

25.9 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8	29	22	16	13	16	19	27	25	17	19	28	23	10	176	11	163	11	163	8
8 Av	43	42	37	22	26	49	11 2	39	49	51	48	37	33	242	43	194	51	290	42
9	347	352	249	20 7	26 4	307	32 8	31 7	26 2	31 7	40 2	32 9	17 0	251 0	21 4	253 0	21 1	287 0	19 5
10	512	199 0	600	45 0	49 4	426	40 3	30 9	26 4	28 6	35 4	32 0	16 8	198 0	21 0	189 0	22 0	225 0	18 0
11	156 6	196 2	145 0	14 15	16 19	185 1	31 20	32 30	22 30	29 20	27 00	32 30	12 30	915 0	18 40	193 00	20 50	128 60	26 60
12	673	677	510	37 9	35 2	739	10 14	89 2	69 9	70 4	94 2	86 5	43 0	704 0	61 0	715 0	61 0	775 0	52 0
13	587	457	353	31 2	41 2	560	67 2	69 8	54 3	61 2	77 1	93 4	49 2	174 10	14 40	372 00	26 60	187 00	23 50
14	311	269	183	15 2	18 9	252	29 6	23 1	23 9	25 0	35 2	32 7	15 3	240 0	19 0	231 0	19 0	255 0	15 0
15	336	259	233	18 2	21 3	279	30 1	27 6	18 0	22 3	29 1	31 1	13 1	217 0	16 0	208 0	16 0	222 0	13 0
16	127	122	101	71	89	127	15 7	14 9	86	12 0	15 2	12 8	63	955	81	916	82	101 4	67
17	81	69	47	39	52	74	87	78	64	69	97	87	39	502	43	481	44	535	37
17 VV VT	126	115	98	71	85	124	13 3	12 0	10 8	12 4	15 2	12 7	78	705	95	741	10 3	842	88
18																			
18 VV VT	82	77	68	46	45	81	13 0	74	79	89	77	54	45	421	98	382	76	434	62

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. * värden förlorade.

Tabell 137. Bländningsvärden 25.9

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning denna dag

Tabell 138. När bländningsupplevelsen släppte 25.9

	Lux						
	Cd/m2						

Ingen bländning denna dag

Tabell 139. 25.9 Vägg luminanser 184 cm upp från golv och luminanser på fönsterbräda

25.9 Luminan- ser Cd/m2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V MF	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	4	4	3	2	3	3	5	4	3	4	1	3	3	20	3	19	2	19	2
8 AV	15	15	9	7	10	24	20	16	14	16	14	10	10	92	10	106	12	87	14
9	13 7	84	65	52	81	83	96	10 1	67	73	77	62	40	464	45	535	47	508	41
10	11 5	14 8	10 3	84	15 4	11 9	115	10 6	75	86	92	90	57	758	74	815	78	129 9	65
11	66 6	61 1	40 5	31 0	52 1	94 5	103 1	68 8	42 2	42 6	38 3	28 6	20 9	272 0	28 0	236 0	27 0	250 0	19 0
12	16 8	14 3	11 0	86	14 8	16 1	226	22 8	14 2	16 1	12 9	85	65	324	75	395	75	939	56
13	63 4	66 4	50 9	43 5	40 2	48 2	859	80 6	58 0	59 4	72 7	56 4	38 5	562 0	28 0	274 0	22 0	335 0	21 0
14	85	71	55	44	61	78	83	77	52	65	64	65	35	610	44	567	51	860	45
15	76	56	45	32	50	56	75	80	57	72	82	55	33	507	38	513	37	514	28
16	45	34	27	22	36	44	50	51	36	47	53	74	31	524	29	510	33	579	26
17	21	17	13	11	14	18	18	21	17	17	21	15	10	94	10	68	13	39	13
17VVVT	40	33	26	17	29	40	43	39	31	37	42	35	23	269	29	267	26	265	25
18VVVT	23	20	16	11	16	26	33	20	19	18	19	17	13	95	18	101	15	103	16

Tabell 140. 25.9 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 25.9 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	21	15	9	11	22	28	27	21	7
8 AV	141	106	65	114	145	177	173	145	123
9	763	723	397	512	886	756	667	709	474
10	542	509	392	425	629	665	675	560	380
11	4160	6630	3980	5960	29100	3800	4050	6140	5070
12	1943	2660	1340	1880	4010	2060	1840	2100	1350
13	3700	3410	2220	6550	21100	3600	3400	39300	6000
14	771	606	393	443	727	937	911	753	416
15	562	415	261	307	567	804	866	640	348
16	285	216	129	168	304	377	368	292	166
17	124	94	67	70	123	151	147	115	70
17KVVVT	267	202	101	225	247	315	295	262	199
18KVVVT	155	132	123	173	153	182	175	161	140

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 141. Översikt 25.9 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid+ foton-flöden 25.9	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	
AV aktiv vägg	X											1x56,7	1x56,7
VV vilsam vägg										X	X	2x252	2x56,7
VT vilsamt tak										X	X	2x160	2x60
Totalt													

Tabell 142. Översikt 25.9 synprestation under dagen

Synprestation 25.9 Allmänljus	8 AV	9	10	11	12	13	14	15	16	17 VVVT	18 VVVT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 143. 30.9 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från vägg och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

30.9 Lux	1m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	44	38	26	23	30	42	47	45	33	35	47	43	20	318	26	310	27	336	21
8.00 AV	78	73	58	42	52	181	15	76	80	82	82	75	58	453	69	444	69	475	56
9	140	108	98	81	92	135	15	14	10	12	15	14	71	116	91	115	89	124	75
10	223	198	147	12	15	222	26	26	17	20	25	23	12	187	15	183	14	198	12
11	381	336	236	20	22	354	40	34	27	34	41	43	21	351	27	354	26	381	21
12	106	121	978	76	90	152	18	16	11	14	16	12	74	948	89	842	87	793	69
13	158	159	120	11	13	194	26	22	12	16	18	15	87	114	10	112	10	121	86
14	118	101	802	63	66	100	14	15	11	12	29	12	65	910	75	859	73	876	57
15	299	280	204	16	19	297	38	33	27	30	37	32	17	261	22	256	22	245	19
16	220	196	165	12	15	217	26	21	16	21	25	23	11	154	13	152	13	156	11
17	221	198	139	10	13	195	26	22	18	21	28	31	10	133	11	127	11	132	10
18	26	26	28	17	22	29	41	39	29	29	33	26	15	188	15	174	15	184	14
18 VV VT	57	60	55	38	35	205	12	66	77	64	50	53	48	140	62	141	69	148	49

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. * värden förlorade.

Tabell 144. Bländningsvärden 30.9

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning denna dag

Tabell 145. När bländningsupplevelsen släppte 30.9

	Lux						
	Cd/m2						
	Lux						
	Cd/m2						

Ingen bländning denna dag

Tabell 146. 30.9 Väggluminanser 184 cm upp från golv och luminanser på fönsterbräda

30.9 Cd/m ²	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V		
8	13	10	8	7	10	12	13	13	9	10	10	10	7	97	8	106	7	122	7		
8 AV	21	17	14	10	15	44	41	26	26	21	19	16	14	108	11	116	15	84	13		
9	37	35	22	18	29	33	38	40	26	32	36	27	20	313	22	315	21	324	17		
10	51	45	33	25	43	54	59	58	39	47	55	43	29	468	33	481	32	520	27		
11	10 7	79	63	48	70	96	101	104	72	88	10	91	60	107 2	68	113 2	71	125 8	58		
12	24 0	22 0	18 3	14 5	242	326	381	380	23 5	28 1	33 2	18 6	13 6	118 8	14 0	106 1	14 3	152 2	11 3		
13	39	31	28	23	37	43	51	53	35	38	40	31	23	304	26	305	26	340	21		
14	28 0	21 2	15 8	12 1	162	249	335	420	28 2	32 1	38 6	40 4	19 8	70 2	15 3	183 0	18 0	214 0	25 0	194 0	14 0
15	89	66	48	42	57	85	89	101	66	81	87	85	52	665	55	435	53	731	47		
16	42	37	29	22	36	43	48	50	33	41	43	32	23	363	24	321	24	378	21		
17	42	34	27	20	35	43	58	65	40	48	52	33	21	257	25	265	22	139	19		
18	6	5	5	4	6	5	8	9	6	4	6	5	3	35	5	33	2	38	3		
18K VVVT	14	14	13	8	10	36	21	13	17	16	14	15	11	26	15	29	12	29	12		

*Luminansmätarens externa mätcell slutade fungera

Tabell 147. 30.9 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

30.9 Golvplan H Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	89	68	42	55	92	102	98	87	52
8 AV	151	112	70	143	154	176	170	149	118
9	357	256	161	198	352	403	384	328	186
10	568	415	260	330	548	626	614	507	293
11	1293	728	409	536	971	1472	1471	976	488
12	2260	3020	1870	2480	3560	2470	2390	3050	2250
13	374	249	172	233	367	417	410	352	213
14	1380	1330	1020	1740	2880	1870	1950	2940	2160
15	790	585	389	621	935	857	814	912	587
16	453	298	233	291	439	478	458	404	245
17	283	192	180	233	326	357	338	343	225
18VVVT	51	33	25	31	47	52	49	44	27

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorad

Tabell 148. Översikt 30.9 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid+ fotonflöden 30.9	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus												-	
AV aktiv vägg	X											1x56,7	1x56,7
VV vilsam vägg											X	1x252	1x56,7
VT vilsamt tak											X	1x160	1x60

Tabell 149. Översikt 30.9 synprestation under dagen

Synprest 30.9 Allmänljus	8 AV	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VVVT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 150. 24.10 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

24.10 Lux	1 m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	52	75	56	45	68	74	64	56	39	46	48	46	25	258	32	253	33	257	31
8.00A V VT	12 6	161	136	12 3	14 9	254	19 8	16 7	16 0	14 5	13 4	10 7	82	455	06	448	11 0	502	89
9	34 4	588	316	22 0	29 6	173	13 4	11 3	88	10 8	11 5	12 9	59	724	70	645	70	731	68
9 AV	17 3	326	240	23 4	33 0	409	37 1	31 4	27 3	35 2	41 2	35 1	16 0	902	17 7	905	18 0	994	15 7
10	19 40	901 0	775 0	12 38 0	11 77 0	233 0	15 10	12 10	14 10	12 10	14 80	11 40	95 0	341 0	90 0	548 0	16 10	797 0	12 30
11	31 70	300 0	311 0	17 60	50 50	365 0	68 20	40 60	29 80	17 20	22 10	20 70	95 0	440 0	22 10	774 0	90 0	419 0	68 0
12	30 70	301 0	322 0	24 20	27 60	873 0	69 40	65 60	48 70	18 80	40 10	25 30	31 70	102 60	41 10	180 30	39 40	555 0	27 00
13	26 3	289	220	17 8	25 8	354	37 4	34 5	27 1	34 2	40 5	29 0	16 8	201 0	21 0	164 0	21 0	193 0	17 0
14	69 1	930	640	51 9	47 7	677	11 60	29 90	19 90	14 50	20 60	77 0	40 0	407 0	51 0	360 0	48 0	385 0	35 0
15	25 80	211 0	155 0	11 50	11 00	151 0	18 81	20 90	18 70	46 90	41 60	40 90	21 70	140 70	15 20	119 60	13 50	585 0	10 90
16	38 2	335	262	21 6	26 7	360	42 0	42 7	33 2	48 8	96 6	55 9	20 3	154 7	21 8	156 8	19 3	137 8	16 8
17	53	62	44	39	53	74	87	81	54	73	52	72	29	294	33	243	35	282	29
17 VVVT	76	81	71	53	67	191	13 1	11 2	11 6	11 2	10 6	79	51	247	76	205	75	243	61
18 VVVT	34	35	45	25	24	40	90	33	39	57	44	28	39	34	50	36	48	34	37

Tabell 151. Bländningsvärden 24.10

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning denna dag

Tabell 152. När bländningsupplevelsen släppte 24.10

	Lux						
	Cd/m2						
	Lux						
	Cd/m2						

Ingen bländning denna dag

Tabell 153. 24.10 Väggluminanser 184 cm upp från golv och luminanser på fönsterbräda

24.10 Lumi- nanser Cd/m2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V M F	6 V M F	7 V M F	8 V M F	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	18	22	18	15	26	28	26	25	16	17	15	13	10	91	12	83	13	11 0	12
8 AV VT	40	45	36	30	44	61	76	44	36	35	31	24	21	113	28	111	25	14 0	22
9	25	23	20	17	31	28	31	32	19	21	23	18	14	138	18	144	19	15 6	16
9 AV	63	88	80	88	18 5	17 2	14 4	12 1	88	11 22	17 1	20 2	10 1	610	12 7	468	16 4	55 9	14 0
10	30 3	35 8	10 19	20 90	71 0	51 0	38 0	51 0	14 6	16 0	15 3	12 2	10 1	109 7	24 6	332 0	84 0	36 20	49 0
11	21 60	26 2	92 7	62 7	81 0	85 1	58 1	57 6	28 2	29 2	28 0	34 9	47 4	159 8	53 6	833	21 8	16 21	39 9
12	72 9	79 7	68 2	47 2	72 3	96 5	12 46	13 07	69 7	69 1	81 9	63 7	63 5	166 6	88 3	162 3	75 1	13 07	58 8
13	77	73	61	44	73	10 7	11 3	12 7	10 4	11 3	84	68	47	705	58	562	54	63 8	43
14	12 4	11 7	10 0	77	12 7	20 1	24 3	26 1	14 8	16 2	15 6	87	77	719	98	685	10 5	91 5	77
15	25 80	21 10	15 50	11 50	11 00	15 10	18 81	20 90	18 70	46 90	41 60	40 90	21 70	140 70	15 20	119 60	13 50	58 50	10 90
16	89	66	52	40	66	83	95	11 2	73	10 1	37 5	13 5	47	297	44	236	41	33 1	39
17	11	12	9	7	13	17	20	21	13	14	14	11	7	57	10	52	7	60	4
17	18	18	16	12	16	44	38	29	31	25	26	15	14	53	11	47	17	54	13
18KVV VT	9	10	10	5	6	14	21	10	15	13	9	7	8	6	12	6	10	8	8

MF= mitt för fönstret. FÖ= fönsterbräda

Tabell 154. Belysningstekniska värden 24.10 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

24.10 Golvplan H Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8AVVT	71	72	62	69	92	78	73	83	66
9AV	174	137	95	100	171	200	202	149	86
10	830	1098	1624	3390	2950	2400	1460	2290	2070
11	2940	2200	2160	1800	1910	1320	1290	1810	1420
12	1540	4470	16290	7650	5580	3660	3200	3610	537
13	537	568	431	500	717	646	670	675	666
14	844	689	583	895	1518	1061	891	1409	1033
15	1626	1147	985	1161	1640	1998	1980	2050	1290
16	307	255	221	266	395	357	327	390	285
17	62	59	47	57	77	71	65	76	58
18 VVTV	54	61	89	117	52	72	69	71	107

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 155. Översikt 24.10 över använd energi för belysning under dagen W.

24.10	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	
AV aktiv vägg	X	X										2x56,7	2x56,7
VV vi vägg										X	X	2x252	2x56,7
VT vilsamt tak	X									X	X	3x160	3x60

Tabell 156. Översikt 24.10 synprestation under dagen

Synprest 24.10	8 AVVT	9 AV	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VVVT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 157. 25.10 Vertikal belysningsstyrka vägg och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

25.10 Lux	1mp V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	42	70	56	49	62	90	82	65	44	48	47	39	25	205	29	204	34	229	27
8.00 AV	72	103	90	73	102	206	140	123	134	112	93	63	60	265	71	262	82	291	59
9	277	530	342	352	510	519	454	336	243	265	284	231	147	1464	193	1454	205	1624	177
10	526	1900	1770	3600	13550	9060	1830	1350	1370	1890	1970	1820	1380	3250	1890	4060	2480	14650	2140
11	2890	3550	3990	4520	5330	6770	5160	3010	2990	3910	3290	2370	2690	4480	3640	4820	4050	4630	3280
12	2350	1900	3020	1650	2200	6120	5580	5650	5030	5410	4110	2490	3340	18980	4350	7630	3600	5070	2830
13	3320	2790	2750	1940	1820	3410	5510	5310	4450	9180	4470	2410	2620	24000	3920	23100	3390	24000	2440
14	3620	2800	2430	1650	1570	2510	4440	5080	4040	3200	1660	2600	2410	24700	2900	20800	2600	21900	2080
15	2600	2020	1480	1090	1100	1510	1810	1890	1770	6890	4250	4040	2290	13820	1660	13230	1200	5460	1060
16	2246	1993	1634	1245	175	242	290	273	208	257	245	322	123	834	161	766	110	832	95
16 VV	224	197	161	120	163	232	285	272	224	305	308	291	138	704	143	725	138	766	125
17VV VT	60	59	64	39	43	66	93	78	76	87	80	56	49	151	62	143	65	149	47
18 VVVT	38	37	46	26	24	42	63	37	58	66	46	30	39	33	53	39	51	37	39

V=belysningsstyrka vägg H=horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. 1-19 =mätpunkter, 8-18 = tid. K= komplettering AV=aktiv vägg. VV= vilsam vägg. VT= vilsamt tak. Mätpunkt 1-13,15,17,19= vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm. upp från vägg. Mätpunkt 14,16,180 horisontell belysningsstyrka fönsterbräda. * värden förlorade.

Tabell 158. Bländningsvärden 25. 10

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning på ytor denna dag solen däremot var låg

Tabell 159. När bländningsupplevelsen släppte 25.10

	Lux						
	Cd/m2						
	Lux						
	Cd/m2						

Ingen bländning denna dag

Tabell 160. Belysningstekniska mätvärden 25.10 Vägg luminanser 184 cm upp från golv och luminanser fönsterbräda

25.10 Lumi- nanser Cd/m2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V MF	6 V MF	7 V MF	8 V MF	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H FÖ	15 V	16 H FÖ	17 V	18 H FÖ	19 V
8	14	14	14	13	25	24	24	23	14	14	13	10	8	60	8	42	9	72	8
8 AV	19	23	21	17	29	58	62	37	35	26	20	16	15	76	19	67	18	88	14
9	84	106	86	85	162	144	119	107	63	74	64	59	44	443	52	456	56	612	50
10	45 2	106 0	124 8	43 7	216	207	460	490	417	475	445	41 3	31 4	129 3	57 4	248 0	490	356 0	51 0
11	20 6	851	813	83 4	128 2	169 3	113 8	942	774	859	722	49 7	54 1	134 3	94 6	121 8	868	135 5	65 7
12	69 6	740	625	38 7	622	176 6	129 2	170 5	148 9	107 9	925	62 5	79 9	154 7	89 5	118 5	779	124 7	58 6
13	74 1	686	594	41 1	465	868	135 0	142 1	106 7	343 0	960	58 3	60 0	553 0	79 0	553 0	800	510 0	51 0
14	83 1	642	505	34 9	409	583	990	138 0	960	591 0	391 0	60 0	64 9	506 0	76 0	472 0	100 0	506 0	43 0
15	46 2	375	286	21 2	259	327	376	436	325	652	535	70 7	51 0	190 2	28 3	134 0	228	128 7	18 1
16	49	40	33	26	45	45	57	64	73	61	75	58	25	184	28	154	25	210	23
16K VV	56	48	40	27	46	60	80	74	55	64	69	97	39	183	36	169	33	185	27
17K VVVT	14	15	14	9	11	20	22	17	17	18	14	11	12	23	14	25	12	31	11
18K VVVT	10	12	12	8	8	15	19	12	17	14	11	8	9	7	13	4	11	9	9

Tabell 161. Belysningstekniska värden 25.10 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

25.10 Golvplan H Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8 AV	61	62	58	62	77	67	62	72	59
9	468	506	437	419	597	499	480	507	373
10	2050	2090	4080	2490	2040	2320	1840	1830	1550
11	2820	3450	1332	24000	3850	3120	2820	3330	19400
12	2780	3720	6660	5700	3800	3050	2860	3840	6102490
13	2490	2060	2230	27300	4230	3130	3230	4310	6530
14	2560	1790	1730	2200	2910	3040	2970	3930	7740
15	1590	1110	960	1080	1580	2010	2030	1860	1220
16VV	192	159	128	174	236	224	213	239	186
17VVVT	81	77	102	138	82	99	95	94	131
18VVVT	61	61	93	127	56	75	72	72	89

* värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på

Tabell 162. Översikt 25.10 över använd energi för belysning under dagen W.

25.10	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus													
AV aktiv vägg	X											1x56,7	1x56,7
VV vilsam vägg									X	X	X	3x252	3x56,7
VT vilsamt tak										X	X	2x160	2x60
												-	

Tabell 163. Översikt 25.10 synprestation under dagen

Synprest 25.10 Allmänljus	8 AV.	9	10	11	12	13	14	15	16 VV	17 VVVT	18 VVVT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 164. 27.11 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

27.11 Lux	1 m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H	15 V	16 H	17 V	18 H	19 V
8.00	5	3	4	4	5	6	8	7	6	7	7	5	3	43	4	42	3	48	4
8.00 AV	86	128	110	111	141	193	238	123	150	122	108	97	73	284	93	281	94	310	82
9	265	1728	1282	1479	1380	2730	580	426	422	424	404	316	192	785	202	787	306	873	234
10	551	1223	913	686	1841	2160	2430	1120	826	1300	1162	1284	1349	3060	1640	2680	2040	2710	1540
11	609	657	615	528	633	370	219	325	232	175	161	92	115	428	244	318	242	332	202
12	216	225	179	146	170	301	492	1223	675	1538	467	228	281	920	360	833	306	937	223
13	786	659	572	449	463	813	1864	2810	1984	1205	2470	550	424	2870	540	2570	440	2360	380
14	98	96	78	64	78	107	132	132	100	117	145	106	57	572	59	547	49	556	47
14 VV	89	96	88	58	75	113	160	144	132	163	150	99	69	427	93	415	82	404	60
15 VVVT	39	47	51	31	25	43	50	37	46	60	60	39	41	44	51	46	71	43	40
16 VVVT	37	47	50	31	25	40	55	41	58	56	44	39	43	33	60	39	49	34	41
17 VVVT	44	40	44	22	27	49	60	37	53	62	51	30	42	31	62	38	49	35	41
18vV VVT	37	37	43	25	23	37	67	38	50	63	55	28	40	35	50	38	59	36	38

Tabell 165. Bländningsvärden 27.11

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning denna dag

Tabell 166. När bländningsupplevelsen släppte 27.11

	Lux						
	Cd/m2						
	Lux						
	Cd/m2						

Ingen bländning denna dag

Tabell 167. 27.11 Väggluminanser 184 cm upp från golv och luminanser på fönsterbräda

27.11 Luminan- ser Cd/m ²	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V MF	6 V MF	7 V MF	8 V MF	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H F Ö	15 V	16 H F Ö	17 V	18 H F Ö	19 V
8	4	4	3	3	3	4	4	5	3	5	3	3	3	17	2	10	3	20	3
8 AV	26	35	29	24	42	59	53	37	35	29	26	18	16	67	23	79	21	81	18
9	10 4	36 7	87 4	80 0	700	559	224	188	149	176	12 7	12 7	11 5	29 8	84	26 5	69	26 4	59
10	28 0	40 7	58 6	79 9	106 8	192	620	650	530	540	39 0	28 0	32 5	58 0	39	46 2	26 1	58 4	31 7
11	37 2	28 1	26 4	19 1	266	218 0	121 0	221 0	105 0	420	32 0	14 5	16 2	46 7	23 7	41 2	21 1	40 2	13 3
12	61 8	58 8	39 3	26 2	427	732	155 4	295 0	139 0	122 0	63 0	38 0	59 0	78 6	56 0	38 0	60 6	98 5	47 2
13	16 8	15 4	12 7	85	120	197	453	884	733	339	37 5	15 7	18 1	71 3	21 1	68 0	20 4	65 7	14 8
14	19	17	14	12	18	25	29	30	22	24	28	15	11	11 8	13	11 4	13	11 6	10
14 VV	20	20	16	12	18	30	38	33	28	30	26	16	14	81	18	81	15	84	13
15VVVT	10	12	11	7	7	14	18	11	15	15	11	8	9	5	11	7	10	5	9
16VVVT	10	12	10	8	7	14	20	12	15	14	12	8	8	7	13	10	9	9	10
17VVVT	10	12	10	6	7	15	15	11	15	14	10	6	10	5	12	7	10	5	9
18KVVVT	9	9	11	5	7	14	15	10	15	13	10	9	9	4	12	8	9	7	8

Tabell 168. 27.11 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

27.11 Golvplan H Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	13	12	9	10	17	15	15	16	12
9	368	447	453	666	782	640	580	666	725
10	1466	1943	2450	2440	2340	1820	1320	1840	1400
11	188	219	210	359	290	229	185	346	430
12	219	193	211	306	343	226	184	355	458
13	580	572	512	685	942	782	834	1135	1146
14 VV	128	112	85	100	162	143	143	166	118
15VVVT	20	22	32	65	26	24	24	29	69
16VVVT	60	62	92	124	55	78	73	71	113
17 VVVT	56	55	90	123	55	76	71	74	113
18VVVT	54	59	86	117	52	71	69	71	107

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 169. 27.11 Översikt över använd energi för belysning under dagen W.

Tid+ fotonflö- den 27.11	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus	X	X	X	X	X	X	X	X	-	.	.	-	
AV aktiv vägg	X											1x56,7	1x56,7
VV vilsam vägg							X	X	X	X	X	5x160	5x60
VT vilsamt tak								X	X	X	X	4x160	4x60

Tabell 170. Översikt 27.11 synprestation under dagen

Synprest 27.11 Allmänljus	8 AV	9	10	11	12	13	14 VV	15 VVVT	16 VVVT	17 VVVT	18 VVVT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 171. 28.11 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från vägg och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

28.11 Lux	1 m p V	2 V	3 V	4 V	5 V	6 V	7 V	8 V	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 V	15 V	16 V	17 V	18 V	19 V
8.00	18	32	23	20	35	38	32	26	16	20	22	14	8	63	12	63	9	72	16
8.00A V	48	68	69	59	58	171	88	77	91	81	61	40	44	116	54	117	56	132	50
9	52 2	83 6	54 7	35 8	24 0	173 0	58 0	47 0	41 0	47 0	45 0	32 0	26 0	680 0	27 0	700 0	34 0	810 0	29 0
10	11 19	15 21	14 98	26 80	26 70 0	357 0	21 00 0	13 30	12 89	14 19	11 03	76 6	82 3	193 5	10 70	190 4	10 90	198 8	97 9
11	49 8	51 5	44 4	38 4	50 9	197 0	14 80	18 40	93 0	79 3	62 9	40 1	37 3	187 2	47 3	183 5	40 7	184 7	36 9
12	82 9	52 7	43 6	32 4	36 6	875	18 27	93 2	60 7	61 0	54 4	36 7	20 7	185 2	24 1	177 5	24 4	181 5	17 8
13	17 90	16 85	19 85	11 84	11 17	182 8	42 10	43 10	24 60	10 40	13 20	36 0	27 0	641 0	20 90	579 0	16 10	515 0	14 60
14	35	35	31	22	33	42	43	40	28	31	45	34	19	280	25	271	25	280	21
14 VV	51	53	44	34	37	59	63	54	51	69	69	49	39	220	57	215	48	221	50
15 VVVT	36	46	39	29	28	39	51	43	54	56	38	31	35	56	55	59	46	57	36
16 VVVT	31	34	39	25	17	40	58	35	56	56	46	31	35	40	48	37	50	29	35
17 VVVT	36	36	40	25	26	35	40	37	45	60	44	26	37	31	51	35	56	30	37
18 VVVT	36	36	40	25	26	35	40	37	45	60	44	26	37	31	51	35	56	30	37

Tabell 172. Bländningsvärden 28.11

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning denna dag

Tabell 173. När bländningsupplevelsen släppte 28.11

	Lux						
	Cd/m2						
	Lux						
	Cd/m2						

Ingen bländning denna dag

Tabell 174. 28.11 Väggluminanser 184 cm upp från vägg och luminanser på fönsterbräda

28.11 Luminan- ser Cd/m2	1 V	2 V	3 V	4 V	5 V MF	6 V MF	7 V MF	8 V MF	9 V	10 V	11 V	12 V	13 V	14 H F Ö	15 V	16 H F Ö	17 V	18 H F Ö	19 V
8	7	9	8	6	12	13	10	9	6	6	5	4	3	22	5	14	5	22	4
8AV	12	18	14	12	19	38	49	22	23	17	14	10	11	28	12	37	13	36	12
9	44	65	13 4	94	120	112	80	72	46	52	50	46	43	15 1	74 8	17 6	10 6	23 1	12 0
10	14 6	18 0	18 9	22 2	198 0	110 7	198 1	351	269	28 9	27 5	20 8	25 5	67 6	39 4	59 4	43 9	67 7	39 5
11	13 1	13 3	11 1	77	145	707	524	116 1	984	55 2	48 7	36 7	57 6	70 7	67 3	56 3	56 1	51 3	28 1
12	93	91	83	64	101	195	459	138 3	308	34 9	19 7	12 4	15 5	40 5	13 2	35 5	11 9	37 0	96
13	46 4	38 9	24 0	70	112	309	474	882	199 9	39 7	37 4	17 3	18 1	52 5	14 3	38 5	98	45 3	60
14	9	8	7	5	8	10	9	10	7	9	9	7	5	55	5	57	6	56	5
14VV	13	14	13	6	9	17	21	15	12	15	12	12	9	69	12	65	10	69	10
15VVVT	8	10	11	5	7	14	15	11	15	13	10	7	8	11	10	12	11	9	8
16VVVT	8	8	9	7	7	16	22	10	11	13	10	7	7	6	10	4	10	10	8
17 VVVT	9	10	10	5	7	13	11	11	15	13	9	8	8	8	9	3	8	5	10
18 VVVT	9	10	10	5	7	13	11	11	15	13	9	8	8	8	9	3	8	5	10

Tabell 175. 28.11 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

28.11 Golvplan H Lux	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	20	25	24	25	28	22	20	26	23
9	24	28	29	29	30	23	21	26	22
10	947	1255	1625	1651	1631	1382	1303	1617	1930
11	629	706	664	958	892	753	733	938	1156
12	501	394	298	441	669	627	617	872	736
13	325	330	253	324	375	359	310	425	375
14	74	53	33	77	89	85	78	43	40
15	52	47	75	109	53	67	63	66	98
16	57	53	85	114	51	68	67	64	84
17	55	54	86	116	51	78	68	65	75
18	55	54	86	116	51	78	68	65	75

Värden initialt uppmätta i dagsljus, när komplettering läggs till görs fortsatt mätning med kompletterande belysning på. *=Värden förlorade

Tabell 176. Översikt 28.11 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid+ foton-flöden 28.11	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus	X	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-		
AV aktiv vägg	X											1x56,7	1x56,7
VV vilsam vägg							X	X	X	X	X	5x252	5x56,7
VT vilsamt tak								X	X	X	X	4x160	4x60

Tabell 177. Översikt 28.11 synprestation under dagen

Synprest 28.11 Allmänljus	8 AV	9	10	11	12	13	14 VV	15 VVVT	16 VVVT	17 VVVT	18 VVVT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 178. 16.12 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från vägg och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda

16.12 Lux	1mp	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
8.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.00A VVT	45	40	67	49	27	162	62	46	92	54	43	38	57	27	45	27	46	25	56
9	7	13	4	6	5	9	7	8	8	4	6	9	2	49	4	47	5	47	2
9 AVVT	47	47	39	29	28	127	79	60	75	72	49	43	43	83	60	84	56	82	42
10 AV	29	24	23	15	30	26	31	25	27	29	32	30	12	190	15	186	21	186	17
11 AV	80	81	71	44	56	169	109	84	119	100	89	81	58	473	75	430	67	403	55
12 AV	75	72	70	49	51	158	96	103	112	96	94	76	59	442	73	426	71	435	56
13 VVVT	65	61	65	42	45	72	73	65	74	84	71	55	58	236	76	236	67	228	53
14 VVVT	58	56	59	42	42	69	83	64	57	81	68	51	50	195	68	200	67	197	48
15 VVVT	40	43	49	28	26	42	48	40	41	62	44	33	39	45	51	47	49	43	41
16VV VT	43	36	49	24	25	41	61	47	49	58	40	27	39	30	57	35	49	31	37
17 VVVT	43	36	49	24	25	41	61	47	49	58	40	27	39	30	57	35	49	31	37
18 VVVT	43	36	49	24	25	41	61	47	49	58	40	27	39	30	57	35	49	31	37

Tabell 179. Bländningsvärden 16.12

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning denna dag

Tabell 180. När bländningsupplevelsen släppte 16.12

16.12	Lux						
	Cd/m2						

Ingen bländning denna dag

Tabell 181. Belysningstekniska mätvärden 16.12 Väggluminanser 184 cm upp från golv och luminanser på fönsterbräda

16.12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
VCdm2					MF	MF	MF	MF						FÖ	FÖ	FÖ	FÖ		
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 AVVT	45	40	67	49	27	162	62	46	92	54	43	38	57	27	45	27	46	25	56
9	7	13	4	6	5	9	7	8	8	4	6	9	2	49	4	47	5	47	2
9 AVVT	11	11	10	7	9	26	52	15	21	17	11	8	11	15	14	23	11	20	10
10	7	5	4	4	6	7	5	7	5	5	6	6	3	42	4	38	4	46	3
10AV	13	12	10	8	10	26	34	17	21	15	13	10	9	62	12	61	10	63	10
11 AV	19	18	14	10	14	33	23	25	26	20	10	13	11	89	14	83	13	91	11
12 AV	22	20	15	12	15	37	45	27	26	24	19	16	13	112	15	110	13	104	14
13VVVT	16	16	14	9	11	20	25	16	17	19	17	12	12	57	16	59	13	62	11
14 VVVT	16	17	14	10	12	21	36	17	21	18	16	11	12	44	14	44	14	43	11
15VVVT	9	11	10	7	7	15	20	11	15	12	12	7	18	8	12	10	10	9	9
16VVVT	9	10	11	7	6	16	15	10	15	14	10	7	8	11	11	6	10	3	8
17VVVT	9	10	11	7	6	16	15	10	15	14	10	7	8	11	11	6	10	3	8
18VVVT	9	10	11	7	6	16	15	10	15	14	10	7	8	11	11	6	10	3	8

Tabell 182. 16.12 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 16.12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 AVVT	40	43	67	89	46	50	46	51	74
9	13	9	6	6	12	14	13	11	6
9AVVT	80	79	105	120	76	100	95	92	114
10 AV	57	33	24	27	52	62	60	46	27
11 AV	135	95	95	123	143	161	156	135	117
12 AV	138	94	99	131	163	179	171	150	128
13VVVT	116	99	125	156	112	141	139	130	148
14VVVT	108	87	112	161	109	129	124	120	149
15VVVT	60	61	85	122	53	78	74	75	108
16VVVT	58	60	73	121	49	72	69	74	112
17 VVVT	58	60	73	121	49	72	69	74	112
18VVVT	58	60	73	121	49	72	69	74	112

Tabell 183. Översikt 16.12 över använd energi för belysning under dagen W.

Tid, foton-flöden 16.12	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	
AV aktiv vägg	X	X	X	X	X							5x56,7	5x56,7
VV vilsam vägg						X	X	X	X	X	X	6x252	6x56,7
VT vilsamt tak	X	X				X	X	X	X	X	X	8x160	8x60
Totalt													

Tabell 184. Översikt 16.12 synprestation under dagen

Synprest 16.12	8 AVVT	9 AVVT	10 AV	11 AV	12 AV	13 VVVT	14 VVVT	15 VVVT	16 VVVT	17 VVVT	18 VVVT
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Tabell 185. 17.12 Vertikal belysningsstyrka vägg 184 cm upp från golv och horisontell belysningsstyrka på fönsterbräda Lux

17.12	1mp	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
8.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.00AV VT	35	40	36	26	26	11 2	67	47	81	60	41	29	41	35	51	40	50	36	37
9AVVT	44	47	29	31	30	13 7	81	56	83	69	50	38	46	109	56	112	59	107	46
10 AVVT	64	64	55	46	48	14 3	70	78	78	62	51	48	45	238	62	230	56	232	45
11AV	65	66	52	44	48	15 5	84	77	79	83	80	66	51	373	66	361	61	355	49
12AV	54	54	48	33	37	13 7	68	60	74	73	58	45	44	243	56	239	51	238	42
13VV	66	59	60	39	49	69	88	70	79	84	71	65	46	366	66	373	64	360	46
14VV	46	45	50	26	33	50	55	46	64	65	52	38	37	180	49	182	51	179	34
15VV VT	39	37	45	27	25	43	46	37	49	58	48	31	39	48	47	52	50	46	33
16VV VT	43	36	49	24	25	41	61	47	49	58	40	27	39	30	57	35	49	31	37
17VV VT	43	36	49	24	25	41	61	47	49	58	40	27	39	30	57	35	49	31	37
18VV VT	43	36	49	24	25	41	61	47	49	58	40	27	39	30	57	35	49	31	37

Tabell 186. Bländningsvärden 17.12

Tid	Mätpunkt	1	2	3	4	5	6

Ingen bländning denna dag

Tabell 187. När bländningsupplevelsen släppte 17.12

Lux							
Cd/m2							
Lux							
Cd/m2							

Ingen bländning denna dag

Tabell 188. Belysningstekniska mätvärden 17.12 Väggluminanser 184 cm upp från golv och luminanser fönsterbräda

17.12 VCdm2	1	2	3	4	5 MF	6 MF	7 MF	8 MF	9	10	11	12	13	14 FÖ	15	16 FÖ	17	18 FÖ	19
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 AVVT	9	11	8	6	9	26	37	14	20	14	10	8	10	9	12	9	10	11	9
9AVVT	12	11	11	7	10	29	32	17	25	16	12	9	11	27	14	28	12	31	10
10AVVT	14	15	12	9	12	32	34	21	25	17	14	12	12	58	14	64	11	60	10
11 AV	17	16	12	9	13	32	32	22	25	20	17	14	12	97	15	89	12	82	11
12AV	13	14	11	8	11	27	31	18	21	16	13	10	10	58	13	57	11	52	8
13VV	16	17	17	9	13	24	22	19	20	20	17	15	12	98	15	85	15	96	12
14VV	10	13	10	7	8	14	18	13	14	13	11	7	9	38	10	34	9	35	8
15VVVT	10	10	11	6	7	15	17	11	14	13	11	8	9	8	12	7	10	8	8
16VVVT	9	10	11	7	6	16	15	10	15	14	10	7	8	11	11	6	10	3	8
17VVVT	9	10	11	7	6	16	15	10	15	14	10	7	8	11	11	6	10	3	8
18VVVT	9	10	11	7	6	16	15	10	15	14	10	7	8	11	11	6	10	3	8

Tabell 189. 17.12 Horisontell belysningsstyrka i golvplan

Lux 17.12 Golvplan	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8 AVVT	62	66	98	98	55	78	76	75	99
9AVVT	84	65	103	122	75	106	102	97	114
10AVVT	97	76	85	112	105	116	114	107	101
11AV	125	78	95	113	129	139	139	118	102
12AV	86	70	67	92	92	93	93	85	86
13VV	121	93	73	126	128	139	134	128	122
14VV	65	56	53	107	74	69	72	73	94
15	59	60	85	120	54	74	61	74	108
16	58	60	73	121	49	72	69	74	112
17	58	60	73	121	49	72	69	74	112
18	58	60	73	121	49	72	69	74	112

Tabell 190. Översikt 17.12 över använd energi för belysning under dagen W.

17.12	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Energi Användning LED/Halogen	Energi Användning LED/LED
Dagsljus	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-
AV aktiv vägg	X	X	X	X	X							5x56,7	5x56,7
VV vilsam vägg	X	X	X			X	X					5x252	5x56,7
VT vilsamt tak	X	x	x					x	x	x	x	7x160	7x60

Tabell 191. Översikt 17.12 synprestation under dagen

Synprest 17.12 Allmänljus	8 AVVT	9 AVVT	10 AVVT	11 AV	12 AV	13 VV	14 VV	15	16	17	18
1	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
2	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
3	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
4	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
5	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
6	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
7	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
8	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
9	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok

Appendix D. Matris över olika styralternativ för belysning utifrån projektets ljusförhållanden under året

Tabell 192. Jämförelsematrix – Indikerade potentialer till energibesparingspotential för olika planeringsmodeller

Typmodell	Översikt simuleringsmodeller (För förklaring se tabell 8 nedan)	Styrkriterier				Energiparametrar			Indikerad Energibesparingspotential		Måluppfyllelse Brukarkriterier <i>Hög, Medium, Låg</i>					
		Arbetsyta bordsplän inkl. platsbelysning (Lux)	Vägg (Lux) Mätpunkt 184 cm	Övriga ytor (Lux) Bordsplan	Yttre omgivning Golvsplan (Lux)	Använd medeleffekt på 54 m ² i ex, inkl ev PBs (W)	Medeleffektanvändning/m ² Mörkerförhåll. (W/m ²)	Kompl. belysn./mätperiod Timmar (h) (23dgr x 11h)*	Energianvändn. vid dagsljusförhållanden (W/m ² ,h)	Enebesparing jämfört med referensalternativ	Energieffektivitet i ggr vs referensalternativ F1	Trivsamt rum	Psykologiskt brukarstöd	Fysiologiskt brukarstöd	Visuellt brukarstöd	Energieffektivitet
F 1	Äldre typkontor oftast planerat f 2000 Referensaltern.STIL2 Energimyndigheten					881	-	-	12,4	100 %	1	-	-	-	-	-
F2a	Kontor planerat e 2011 500/500 LED	500		500	> 200	528	9,8	253	9,8	- 21 %	1,3	M	M	L	M	L
F2b	Kontor planerat e 2011 500/250 LED	500		250 dim	> 200	394	7,3	253	7,3	- 41 %	1,7	M	M	L	M	L
F3	Kontor planerat e 2011 100 Vägg LED	PBs	100	(208)		231	4,3	253	4,3	- 65 %	2,9	L	L	L	L	M
FDa	Kontor, planerat e 2011 500/250 LED Dagsljusstyrning mot 500/250 Lux	500 PBs		250 dim	> 200	409	7,57	99	2,96	- 76 %	4,2	M	M	L	M	M
FDb	Kontor, planerat e 2011 LED Dagsljusstyrning mot 200 Lux vägg	(416) PBs	200 dim	(416)	> 200	435	8,06	77	2,45	- 80 %	5,1	M	M	L	M	L
DLL m	Kontor planerat m E-LDP Specialfallet mörker LED/LED 40 Lux V	PBs	40			132	2,44	253	2,44	- 80 %	5,1	H	H	H	H	H
DLH	Kontor planerat m E-LDP Dagsljusstyrning LED/Halogen 40 Lux V	PBs	40			427	7,91	63	1,97	- 84 %	6,3	H	H	H	H	H
DLL	Kontor planerat m E-LDP Dagsljusstyrning LED/LED 40 Lux V	PBs	40			132	2,44	63	0,61	- 95 %	20,3	H	H	H	H	H
DLLn	Kontor planerat m E-LDP, Dito ovan Närvarosensor, schablon - 10 %	PBs	40			118	2,2	57	0,55	- 96 %	22,5	H	H	H	H	H
PBs	Platsbelysning enbart specialfall	400				15	0,28	86	0,1	- 99 %	124	-	-	-	H	H

F= Fördefinierat värde; FD= Fördefinierat värde & Dagsljusstyrning.; D = Dagsljuskvot och fördefinierat värde för trivselnivå

PBs = Platsbelysning separata, 3st, (Max 31 W) Av brukaren dimbar 0-2600 Lux, Snittvärde 400 lux (5W) under 35 % v tiden (0,1W/m², h) samt autoavstängning e 2h antas

* = Mätperioden är 23 dagar x 11 h =253 h vilket på årsbasis ger 226 arbetsdagar x11h =2486 h dvs ngt högre än Energimyndighetens medelvärde för kontor på 2200h/år

Tabell 193. Tabellförklaring av simulerade typfall för ljusplanering i Tabell 7 ovan, Standard avser SS – EN-12464-1

Simulerad ljusplanering – Förklaring av typfallen		Kommentarer till styrkriterier	Planeringsmod./Beräkn.metod
F1	Äldre typkontor, antas oftast planerade före 2000 Referensalternativ	Avser storrum, kontorslandskap (ej individuellt kontorsrum) Resultat från Energimyndighetens STIL2 projekt -Energien i våra lokaler (sid11) 2010. Siffror avser 2005 (aktuellare saknas) Belysningsanläggningarna bör kunna antas vara ca 5 – 35 år Kontorsrum har ofta en inst.effekt nära 20 W/m ² enl. Energimynd.	Givet värde ur STIL2
F2a	Kontor – anl. planerad e 2011 mot 500/500 Lux, LED 80 lm/W	500 Lux antas gälla 100 % av ytan i bordsplan Platsbelysning integrerad Ger golvvärde > 200 Lux	D-LDP-Datorbaserad ljusdesignprocess. Enbart dimensionerad för fördefinierade värden.
F2b	Kontor – anl. planerad e 2011 mot 500/250 Lux, LED 80 lm/W	500 Lux på arbetsytan (50 % av rumsarean) 200 Lux på golv o övriga ytor (50 % av rumsarean) Ger golvvärde > 200 Lux Platsbelysning integrerad	D-LDP-Datorbaserad ljusdesignprocess. Enbart dimensionerad för fördefinierade värden
F3	Kontor – anl. planerad efter 2011 mot 100 Lux vägg LED 80 lm/W	Styrd mot 100 Lux på vägg (100 % av rumsytan) Ger 208 Lux på bord/arbetsyta Ger golvvärde > 200 Lux	D-LDP-Datorbaserad ljusdesignprocess. Enbart dimensionerad för fördefinierade värden
FDa	Kontor - planerat efter 2011 mot 500/250 Lux LED 80 lm/W Dagsljusstyrning Ej närvarosensor, pga indifferent mellan alternativ	500 Lux över arbetsytan (50 % av rumsytan) 200 Lux på golv utanför arbetsytan (50 % av rumsytan) Anläggning slås på när arbetsyta < 500 Lux och behålls efter påslag Ger golvvärde > 200 Lux Om anläggningen är påslagen används den under resten av dagen	D-LDP-Datorbaserad ljusdesignprocess. dimensionerad för dagsljusstyrning och fördefinierade värden
FDb	Kontor – planerat e 2011 mot 200 Lux vägg; LED 80 lm/W Dagsljusstyrning Ej närvaro sensor, pga. indifferent mellan alternativ	Styrd mot 200 Lux på vägg 184 cm ö golv (50 % av rumsytan) Ger 416 Lux på bord/arbetsyta (50 % av rumsytan) Anläggning slås på när vägg < 200 Lux på vägg; behålls e påslag	D-LDP Datorbaserad ljusdesignprocess. dimensionerad för dagsljusstyrning och fördefinierade värden
DLLm	Dito DLL, men specialfallet mörker	Speglar anl. Mörkerenergieffektivitet med E-LDP kriterier	0 h Dagsljus ger 253 h mörker
DLH	Kontor planerat med E-LDP Dagsljuskvot & fördefinierat värde för trivsel LED/Halogen Dagsljus och kompletterande belysning med stegvis upptändning och styrning mot lägsta trivselnivå 40 (30-50) Lux för säker visuell orientering över hela golvytan .Dagsljus+ LED för aktiverande ljus under dagen. Halogen under em/kväll för avkopplande belysning. Lägsta nivå för trivsel bevakas.	Allmänbelysning styrs i detta fall manuellt mot en trivselnivå ca 40 (30-50) Lux på vägg vid mörkerförhållanden, Denna nivå motsvarar säkerhetsnivån för normaleende dvs. att normal text 12p på vitt papper kan lätt läsas utan platsbelysning. Inre kompletterande belysning kompenserar det sjunkande dagsljuset. För övrigt är nivån det dagsljuset ger. Individuellt dimbar platsbelysning (0 - 2600 Lux)	E-LDP Manuell planering mot lägsta trivselnivå. Styrs av faktiska mätvärden Automatisk dagsljuskvot mot dagsljuskvot-
DLL (DLLn)	Kontor planerat med E- LDP Dagsljuskvot & fördef. värde för trivsel LED/LED Dito ovan men m samtl armaturer bestyckade med LED	Dito fall 6 ovan men LED Individuellt dimbar platsbelysning (0 - 2600 Lux) (DLLn specialfall med närvarosensor som antas spara 10 %)	E-LDP Manuell dito ovan D2 omräknad till LED
PB	Specialfall referensalt. med enbart separat platsbelysning	3st x Max 31 W, Av brukaren dimbar 0-2600 Lux, Snitt 400 lux (5W) 35 % v tiden (0,1W/m ² , h), Avstängn e 2h antas	Kan ses om specialfallet att all allmänbelysning är släckt

F= Fördefinierat värde; FD= Fördefinierat värde & Dagsljusstyrning.; D = Dagsljuskvot och fördefinierat värde för trivselnivå

Tabell 194. Tabellförklaring av brukarens måluppfyllelse i Tabell 7 ovan

Brukarkriterie	Måluppfyllelse – Ljusdesign H = Hög, M = Medium, L = Low	
Trivsamt rum	H	Dagsljusbelyst rum med kompletterande belysning som följer dagsljusets nivåer i rummet och kompletterar med en låg ljusnivå som lyfter fram rummet på ett beskrivande och trivsamt sätt.
	L	Dagsljusbelyst rum med kompletterande belysning som inte följer dagsljusets nivåer, kompletterar på en hög nivå på ett sätt som inte beskriver rummet på ett trivsamt sätt.
Psykologiskt brukarstöd	H	Dagsljus och kompletterande belysning bidrar till att rummet är trivsamt att vistas i stödjer vakenhet och vila.
	L	Dagsljus och/ eller kompletterande belysning bidrar inte till att rummet är trivsamt att vistas i, stödjer vakenhet.
Fysiologiskt brukarstöd	H	Brukaren vistas i dagsljus så långt rummets dagsljussituation tillåter. Brukaren har en kompletterande aktiv belysning på morgonen vid behov och en avkopplande kompletterande belysning kvällstid vid behov. Den kompletterande belysningen följer dagsljusets nivåer ner mot lägsta trivselnivå och har en spektralkomposition som grovt ansluter till dagsljusets förändring under dagen.
	L	Den kompletterande belysningen används för att upprätthålla ett fördefinierat belysningstekniskt värde. Brukaren har en kompletterande belysning som fungerar aktiverande. Den kompletterande belysningen följer inte dagsljusets nivåer och har inte en spektralkomposition som ansluter till dagsljusets förändring under dagen.
Visuellt brukarstöd	H	Dagsljuset har avskärmning för att inte bidra till upplevelsen av visuell diskomfort. Dagsljus och kompletterande belysning utformat i kontakt med rummets kontrastsituation. Brukaren har ett brett spann för ljusnivå på platsljuset och är omgiven av ett allmänljus som ofta är på en lägre nivå än den som är på arbetsytan.
	L	Dagsljuset saknar avskärmning och riskerar att bidra till visuell diskomfort. Dagsljus och kompletterande belysning inte utformat i kontakt med rummets kontrastsituation Brukaren har begränsat spann för ljusnivå på platsbelysningen och är ofta omgiven av ett allmänljus på ett högre/lika hög ljusnivå som på arbetsbordet.
Energieffektivitet	H	Energieffektivitet utifrån det planering och byte till modern ljusteknik ger.
	L	Energieffektivitet utifrån det byte till modern ljuskälleteknik ger.

Tabell 195. Informationskällor, antaganden och energiberäkningar i tabell 7 ovan : Energiparametrar Kolumn 1 och Kolumn2

	Typfallen beskrivna ovan	<u>Energiparameter kolumn 1:</u> Källa/ beräkningssätt för använd genomsnittseffekt på 54 m ² + ev. platsbelysning	<u>Energiparameter Kolumn 1</u> Resultat - Använd genomsnittseffekt (W)	<u>Energiparameter kolumn 2</u> Anv medeleffekt 54 m ² (+ mörkerförhållanden) (W/m ²)
F 1	Äldre typkontor, antas oftast planerade före 2000 , Referensalternativ	Givet enl tab 8 ovan 54 x 12,4	881	-
F2a	Kontor planerat e 2011, 500/500	Installerad effekt anläggning Zumtobel Art 4217 9999	528	9,78
F2b	Kontor planerat e 2011, 500/250	0,5 x F2a + 0,5 (528 W) + 0,5 (260W)	394	7,3
F3	Kontor planerat e 2011, 100	Inst.eff F3+ platsbelysning = 216 W + 3x 5 W	231	4,28
FDa	Kontor planerat e 2011 mot 500/250 Lux LED	F2a 50 % av rum F2a 50 % av rum + Dimbar platsbelysning = 0,5x 528W +0,5 x 260+ 3x5W =	409	7,57
FDb	Kontor planerat e 2011 mot 200 Lux vägg LED	FDb Installerad effekt +Dimbar platsbelysning = 420W + 3x 5W	435	8,06
DLLm	Dito DLL, men specialfallet mörker	= Dito DLL då Aktiv vägg 56,6 w/m ² o Vilsam vägg 56,7 m ² är ömsesidigt uteslutande Teoretisk medeleffektanv. i mörker beräknad som ref	131,7	2,44
DLH	Kontor planerar m E-LDP Dagsljus-planering LED/Halogen	Genomsnittlig samtidigt använd effekt Bladåker; Vägg +Tak +Platsbelysning = (252+160 +3 x 5) W	427	7,91
DLL	Kontor planerat m E-LDP Dagsljus-planering, LED/LED	Genomsnittlig samtidigt använd effekt Bladåker; Vägg +Tak + Platsbelysning = (56,7+60+3 x 5) W	131,7	2,44
DLLn	Kontor planerat m E- LDP Dito ovan med närvarosensor	Närvarosensor som antas spara 10 % , av tiden vid kontinuerlig användning dagsljus men ej effekten = DLL	131,7	2,2
PB	Referensfall- Enb. separat platsbelysning	3st x Max 31 W, Av brukaren dimbar 0-2600 Lux, Snitt 400 lux (5W) 35 % v tiden (0,1W/m ² , h), Avstängn e 2h antas; 3 st x 5 W över tiden	15	0,28

Översikt 2 ; Källor, antaganden och energiberäkningar i tabell 7 ovan ; Energiparametrar Kolumn 3 och Kolumn 4

	Typfallen närmare beskrivna ovan	<u>Energiparametrar kol 3</u> Användartid för belysning alternativt behov av kompletterande belysning under mätperioden på 253 h	<u>Energiparameter kolumn 4:</u> Energianvändning vid dagsljusförhållanden (Kol 1 W) x (Kol 3dagsljus h) / 253 h x 54 m ² (W/m ² ,h)	
F 1a	Kontor, planerat f 2011, mot 500/500	Faktisk användartid okänd STIL 2 räknar med 2000h vilket motsv. 100 % i mätex.	Kan antas uppmätt under 2000 h	12,4
F2a	Kontor, planerat e 2011, mot 500/500	253 h (100 %)	= Kolum 2 ovan	9,78
F2b	Kontor, planerat e 2011, mot 500/250	253 h (100 %)	= Kolum 2 ovan	7,3
F3	Kontor, planerat e 2011, mot 100	253 h (100 %)	= Kolum 2 ovan	4,28
FDa	Kontor - planerat efter 2011 mot 500/250 Lux LED	99 h (mätvärdesbaserat)	409W x 99 h/253 h x 54 m ² =	2,96
FDb	Kontor – planerat e 2011 mot 200 Lux vägg; LED	77 h (mätvärdesbaserat)	435W x 77h/ 253 h x54 m ² =	2,45
DLLm	Dito DLL, men specialfall mörker	253 h (100 %)	132 W x 253 h/ 253 h x54 m ² =	2,44
DLH	Kontor planerat m E-LDP Dagsljus- plan, LED/Halogen mot 40Lux	63 h (mätvärdesbaserat)	427 W x 63h / 253 h x54 m ² =	1,97
DLL	Kontor planerat m E-LDP Dagsljus- planering, LED/LED mot 40 Lux	63 h (mätvärdesbaserat)	131,7W x 63 h / 253 h x 54 m ²	0,61
DLLn	Kontor planerat m E- LDP Dito ovan med närvarosensor	Närvarosensor som antas spara 10 %, av tiden vid kontinuerlig användning i dagsljus = 0,9 x DLL= dvs < Energimyndighetens riktvärde på 40 % (Wattstop- per) pga att drifttid är ca 75 % lägre	131,7W x 63 h x 0,9/253h x54 m ² =	0,55
PB	Enbart separat platsbelysning	86h (35 % av 253)	15W x 86 h/253 h x 54 m ² =	0,094

