



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

BRUGERTILFREDSSTILLELLENDE OG ENERGIBESPARENDE REGULERINGS- STRATEGIER FOR BELYSNING

AFSLUTNINGSRAPPORT PSO 346-034

SBI 2017:03



Brugertilfredsstillende og energibesparende reguleringsstrategier for belysning

Afslutningsrapport PSO 346-034

Ásta Logadóttir
Mette Hvass
Anne Bay
Johannes Møjen

Titel	Brugertilfredsstillende og energibesparende reguleringsstrategier for belysning
Undertitel	Afslutningsrapport PSO 346-034
Serietitel	SBi 2017:03
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2017
Forfattere	Ásta Logadóttir, Mette Hvass, Anne Bay, Johannes Møjen
Sprog	Dansk
Sidetæl	38
Litteratur-henvisninger	Side 34
Emneord	Lysstyring, brugere, arbejdsbelysning
ISBN	978-87-563-1833-4
Fotos	Johannes Møjen
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven

Indhold

Forord	4
Hovedkonklusioner	5
Indledning	7
Projektets forløb.....	9
Formål	10
Lysstyring	11
Bygherrers valg i designfasen	11
Formulering af udbudsmateriale	11
Fra udbud til færdigt produkt.....	11
Anlægget i brugsfasen	12
Seminarets konklusioner	12
Brugerforsøg.....	15
Metode	16
Lokalet	18
Procedurer ved brugerevalueringstests.....	18
Resultater.....	21
Konklusioner	26
Resultatformidling.....	28
Fagseminar	28
Pixibog	29
Referencer.....	34
Bilag.....	35
Lokalet	35
Lysinstallationen	35
Spektralfordelingen	35
Farvetemperatur og farvegengivelse	36
Belysningsstyrker og regelmæssighed	37

Forord

Projektets formål er at udbygge vidensgrundlaget for strategier til belysningsregulering, som fører til både energibesparelser og tilfredse brugere. Vidensgrundlaget er i projektet udbygget ved at formidle forskningsresultater og erfaring fra praksis via et fagseminar samt ved at inddrage viden fra laboratorieforsøg baseret på tidligere forskning om brugertilfredsstillende og energibesparende lysregulering.

Fagseminaret samlede specialister og praktikere, som arbejder med lysregulering. Hensigten var at dele ny viden inden for området, samt at få identificeret de eksisterende problemstillinger. På fagseminaret var der fokus på den teknologiske udvikling og på at få udvalgt de parametre, der bør indgå i de lysreguleringsstrategier, der skal skabe energibesparelser og brugertilfredshed.

Tidligere forskning viser, at når brugerne føler, at de har indflydelse på egne omgivelser, medfører det tilfredshed med deres nærmiljø. Den manuelle lysregulering er én af flere parametre, som er vigtige. Fire belysningsstyrkeintervaller er blevet afprøvet i laboratorieforsøg (maksimum belysningsstyrker ≤ 500 lux) for at kunne definere grænsen for mulig energibesparelse ved bevarelse af en vis brugertilfredshed. Formålet med forsøgene var at finde ud af, om der ved manuel regulering af belysningen kan opnås energibesparelse i forhold til de belysningsstyrkeniveauer, som fremgår af standarder for lys i kontorer. Som eksempel anbefales 100 lux til baggrundsbelysning og 500 lux til arbejdsbelysning i den europæiske standard DS EN12464-1 (Dansk Standard, 2011).

Denne slutrapport omhandler PSO-projekt nr. 346-034 og er støttet af EL-FORSK. Projektet er gennemført i tidsrummet 2. kvartal 2014 frem til og med 4. kvartal 2016. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København har været projektleder, og projektdeltagere er I-No/SpectraNord og Dansk Center for Lys.

Slutrapporten giver et overblik over lysstyring og -regulering i Danmark, hvorefter resultaterne af brugerforsøgene vises. Resultaterne bliver sat i relation til udviklingsstadiet for lysregulering i dag.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Afdelingen for Bygningers Energieffektivitet, Indeklima og Bæredygtighed

Søren Aggerholm
Forskningschef

Hovedkonklusioner

Projektets formål var at udbygge viden om energieffektiv lysregulering for brugerne og at dele viden herom til producenter af lysreguleringsudstyr, rådgivere, lysdesignere, lysplanlæggere, el-entreprenører, lysansvarlige i kommuner og regioner samt lovgivere. Viden om brugertilfredsstillende, energieffektiv lysregulering forventes at indgå i fremtidige lysreguleringsstrategier, der kan implementeres i eksisterende og nye lysinstallationer.

Et fagseminar blev afholdt i festsalen på Ny Carlsberg Glyptotek i november 2015 med det formål at sætte fokus på lysregulering set fra brugerens synsvinkel samt på energibesparelser. Dagens oplæg omhandlede forskningsresultater og erfaringer fra praksis vedrørende brugere, proces og energiforbrug. Deltagerene i fagseminaret var bygherrer, projekterende, producenter, udførende og driftsfolk, dvs. alle aktører i et lysreguleringsprojekt.

Konklusionerne fra fagseminaret var følgende:

- Uden at tage hensyn til brugerne og uden gode lysprodukter og en god strategi for lysregulering opnås ingen besparelser
- Den teknologiske udvikling går hurtigt
- De forskellige nye produkter på markedet bliver udbudt og testet i virkeligheden, uden kendskab til hvilken vej det går
- Forbruget af stand-by strøm bliver forholdsvis højere i takt med, at strømforbruget til lyskilden bliver mindre
- Der efterlyses et fælles sprog for de begreber, lysreguleringen bliver indstillet efter
- Brugere stiller krav om begrænsede og overskuelige valgmuligheder
- Brugerfladen har stor betydning for anvendelsen af reguleringsmulighederne
- Der findes lysreguleringstiltag, som ifølge forskningen giver tilfredse brugere og energibesparelser.

Brugerforsøg blev udført på Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet (SBI AAU) i sommerhalvåret 2016. Forsøgenes hovedformål var at undersøge om tidligere forskningsresultater om lysregulering (Logadottir et al., 2011) også gælder for belysningsstyrkeintervaller på niveau med dem, vi møder til daglig, dvs. op til 500 lx. På baggrund af de tidligere forsøg forventes der en betragtelig energibesparelse ved fra et givent udgangspunkt at skrue op for lyset i forhold til at skulle skrue ned for lyset i et givent belysningsstyrkeinterval.

Fire intervaller blev afprøvet for almenbelysningen, både ved at skrue op og ved at skrue ned for lyset, som var fordelt over hele lokalet med regelmæssighed $U_0 > 0,5$. Intervallerne havde et maksimum 54 lx, 110 lx, 212 lx og 515 lx og omtalt i denne rapport som 50 lx-, 100 lx-, 200 lx- og 500 lx-intervallerne. Resultaterne viser et besparelspotentiale ved brug af manuel regulering, som vokser med størrelsen af det tilbudte belysningsstyrkeinterval. Som tidligere forskning har vist, er der også en stor besparelse at hente ved brug af et lavt udgangspunkt, frem for et højt udgangspunkt ved de større afprøvede intervaller. Effektoptaget for det største interval viser sig at ligge på 2,4 til 2,8 W/m², når almenbelysningen reguleres ved indgang, 1,8 til 2,4 W/m², når almenbelysningen reguleres siddende ved arbejdsom-

rådet, og $1,5 \text{ W/m}^2$, når arbejdsbelysningen reguleres siddende ved arbejdsområdet. Tilfredshed blev vurderet på en skala fra 1 til 6, som svarer til meget utilfredsstillende til meget tilfredsstillende. Forsøgspersonerne er lige tilfredse med de tre forskellige måder at regulere lyset på. Indstillingerne fra 500 lx intervallet bliver vurderet som 'tilfredsstillende' til 'meget tilfredsstillende' mens indstillinger fra 50 lx intervallet bliver vurderet som 'utilfredsstillende' til 'nogenlunde utilfredsstillende'.

Det viser sig, at forsøgspersonerne indstiller til højere lysniveauer, når de regulerer lyset umiddelbart efter, at de træder ind i rummet, end når de regulerer lyset ved arbejdspladsen. Den lavere lysindstilling, som der bliver reguleret til ved arbejdspladsen, har ikke en negativ indflydelse på brugertilfredsheden med lysomgivelserne.

Det er vigtigt at definere arbejdszoner for belysningen og regulere lyset derefter, fordi energiforbruget varierer meget afhængigt af installationen. Som eksempel sammenlignes en installation, som leverer konstant 200 lx med et lysanlæg, som leverer manuelt regulerbart lysanlæg på op til 500 lx over hele lokalet. I dette tilfælde er installeret effekt højere for det regulerbare anlæg, som fører til et merforbrug på 31 % ift. de konstante 200 lx, hvis en lav startværdi er udgangspunktet. Merforbruget bliver 57 %, hvis en høj startværdi er udgangspunktet for det regulerbare anlæg, som kan levere højere belysningsstyrker. Hvis sammenligningen til gengæld foregår mellem det samme anlæg, som leverer konstant 200 lx ($U_0 = 0,57$ i lokalet) og et regulerbart anlæg, som leverer maksimum 500 lx ($U_0 = 0,94$ på arbejdsområdet) og 200 lx ($U_0 = 0,54$ i resten af lokalet) er der en besparelse på 18 % ift. det effektoptag, som de konstante 200 lx vil kræve.

Indledning

I energiaftalen af 22. marts 2012 om den danske energipolitik 2012-2020 er der aftalt initiativer og målsætninger med henblik på et mere energieffektivt samfund. Målsætningerne medfører fortsat skærpede krav til bygningers energirammer og intensiverer fastlæggelsen af en politisk strategi for den samlede globale reduktion af CO₂-emission. For byggeri estimeres det, at ca. 20 % af en bygnings samlede energiforbrug går til elektrisk belysning. Nye teknologier inden for lyskilder samt lysstyringsteknologier anses som værende de afgørende faktorer, som kan nedbringe energiforbruget til belysning. Den miljømæssige og økonomiske gevinst er derfor solide argumenter for at arbejde med løsninger, som kan bidrage til at reducere energiforbruget i bygninger.

De fleste større byggerier i dag har en eller anden form for lysstyring. Det kan være kontorbyggerier, skoler, industribygninger og lign., hvor mennesker opholder sig og udfører en funktion. De har brug for lys og behovet ændrer sig i løbet af dagen i forhold til personernes arbejdsopgaver. Der findes steder, hvor lysstyringen fungerer optimalt, hvor ingen lægger mærke til at den er der, eller man vænner sig til forandringerne i lyset, fordi reguleringen er tilpasset rummet, funktionen og behovet. På den måde bliver brugertilfredsheden størst, og de planlagte energibesparelser bliver en realitet. Men der er også tilfælde, hvor brugeren eller funktionen, der udføres i rummet, ikke passer sammen med lysreguleringsanlægget. Det kan skyldes udfordringer i det valgte produkt, udfordringer i processen eller en manglede overlevering af viden om anlægget til slutbrugeren.

Udviklingen inden for lysstyring går utroligt hurtigt. Producenterne lancerer løbende nye produkter, som tilbyder utallige muligheder og lover energibesparelser. Lysreguleringssystemerne ændrer sig så hurtigt, at de systemer, der bliver installeret i en bygning i dag, risikerer at være forældet året efter. De systemer, som bliver skrevet ind i et udbud, er måske ikke længere på markedet, når bygningen skal bygges. Hele vores måde, hvorpå vi forstår og anvender bygningsautomatik, er ved at ændre sig – men hvilken vej går det?

Vi har kun set "toppen af isbjerget" i forhold til, hvad lysstyring kommer til at kunne i fremtiden. Begreber som eksempelvis "smart city" og "adaptivt lys" er med til, at vi i fremtiden vil se nye strategier for, hvordan lyset styres. I denne udvikling er det vigtigt at have fokus på, hvilke behov systemet skal imødekomme i stedet for at fokusere på de nye funktioner og muligheder, systemerne giver.

I takt med at der kommer nye produkter på markedet, er der også brug for udvikling af nye kompetencer i alle led i processen. Rådgiverne skal være i stand til at forklare bygherren om de nye muligheder, og både ingeniører, programmører og installatører skal have en forståelse for, hvordan systemerne projekteres, implementeres og anvendes. Der er også nye aktører på markedet, f.eks. programmører og eksperter i bygningsautomatik, men hvilke kompetencer har de inden for arkitektonisk belysning og lyset i forhold til mennesket?

I lysstandarder for indendørs arbejdspladser opfordres der til brug af lysstyring for at udnytte lyset der, hvor der er mest behov for det. Planlægning af lysstyring er komplekst, da mange parametre skal spille sammen for at opnå

et godt resultat for brugerne og minimere energiforbruget til belysning. Der findes masser af udstyr på markedet, som understøtter lysstyring – regulerbare armaturer, sensorer og IT-styringssystemer. Overordnet mangler der dog generelt viden om, hvilke typer styringer som giver det bedste resultat, herunder scenarier i tid og rum, manuel eller automatisk, belysningsstyrkeniveauer og farvenuancer. Projektets formål er at fremme brug af energibesparende lysreguleringsstrategier, som også giver tilfredse brugere og er baseret på den teknologi, der eksisterer i dag. Brugertilfredshed er afgørende for energibesparelsen, idet brugernes praksis ift. energibesparende tiltag er en af hovedårsagerne til, at beregnede energibesparelser ikke stemmer i forhold til det aktuelle forbrug (Hansen og Hansen, 2016).

Tidligere forskningsprojekter viser, at der ligger et besparelspotentiale på op til 50 % i den elektriske belysning i storrumskontorer i Danmark. Undersøgelsen viser, at 80 % af de ansatte sidder mindre end 4 m fra et vindue, og derfor skulle dagslyset kunne dække behovet for arbejdsbelysning en stor del af arbejdstiden (Logadóttir et al., 2012). Et andet forskningsprojekt viser, at individuel lysregulering medfører tilfredse brugere, og at brugerne vurderer lavere belysningsstyrker som værende tilpas, når de selv har haft muligheden for at regulere lyset (Logadóttir et al., 2010). Det tredje studie viser, at individuelt regulerede lysniveauer bedømmes som værende tilpas, men når brugerne præsenteres for de samme lysniveauer uden selv at regulere, bedømmes de som værende lidt for lave, og der ønskes mere lys (Uttley et al., 2013). Hermed kombineres energibesparelse og brugertilfredshed ved individuel lysregulering.

Et tidligere projekt om lysregulering viser, at når brugerne selv regulerer belysningen med udgangspunkt i lave belysningsstyrker, indstiller de til lavere belysningsstyrker, end når de indstiller fra høje belysningsstyrker. Et eksempel på besparelsen i forhold til installeret effekt for det laveste afprøvede interval (21-482 lux) er, at ved individuel regulering med et lavt udgangspunkt (70 lux) bliver besparelsen ca. 40 % i forhold til 10 % ved et højt udgangspunkt (470 lux). Eksemplet her gælder for det mindste interval, som har været afprøvet med manuel lysregulering og beskrevet i dansk og international litteratur.

Studier af "visuel performance" viser, at der skal mindst 100 lux til, at en 60-årig medarbejder kan identificere fejl i en tekst med størrelse 10 punkt i en afstand af 50 cm (Rea, 1986). Belysningsstandarder kræver mindst 500 lux på arbejdsområdet, og alle studier på området omfatter belysningsstyrker, som ligger over de 500 lux. Dette projekt ønsker at afprøve grænsen for lysintervaller, som skal tilbydes for at opnå tilfredse brugere ved kontorarbejde. Projektet tager udgangspunkt i, at brugerne træder ind i et rum og selv regulerer almenbelysningen og arbejdsbelysningen.

Tidligere forskning har vist, at der sjældent foretages mere end én ændring i lysindstillingen ved individuel lysregulering, selvom der senere på dagen kommer et større dagslysbidrag i lokalet (Moore et al., 2003; Boyce et al., 2006). Den første indstilling på dagen vil derfor være afgørende for energiforbruget resten af dagen. Her er det meget relevant at vurdere, om en bevægelsessensor eller en manuel tændingsfunktion medfører større energibesparelse. Med en bevægelsesmelder, som automatisk tænder lyset på lavt niveau, risikerer man, at lyset bliver tændt i længere tid end nødvendigt. Ved brug af manuel tændingsfunktion tændes lyset kun, hvis der er behov for det, og der er derfor et besparelspotentiale. Her er det dog interessant at vide, hvor meget lys brugerne indstiller til, når de synes, der mangler lys: Indstiller brugerne på maksimalt lysniveau? Eller følger de samme mønster, som tidligere fundet i PSO projekt 340-036, hvor brugerne indstiller til lavere belysningsstyrker, når grundindstillingen er lav?

Projektets resultater er et godt grundlag for udvikling af nye reguleringsstrategier for belysning, som fører til energibesparelser og tilfredse brugere. Resultaterne vil være til gavn for producenter af fremtidig udstyr til lysregulering og i deres videreudvikling af eksisterende produkter. Ved implementering af resultaterne vil producenterne kunne argumentere for, at de har taget udgangspunkt i den nyeste viden på området om produkter, der fører til energibesparelser og tilfredse brugere.

For at realisere forskningsresultaterne i praksis er formidling en afgørende faktor. Til at sætte fokus på området blev fagseminaret "Tilpas lyset – er lyset tilpas?" afholdt i Ny Carlsberg Glyptoteket den 22. oktober 2015. I projektet er der også udviklet en inspirationsfolder (en pixi-bog), som også formidler resultaterne fra andre beslægtede ELFORSK-projekter til en målgruppe primært bestående af lysplanlæggere, forhandlere og rådgivere.

Lysplanlæggere, rådgivere og større EI-entreprenører får ved gennemgang af projektets resultat indsigt i, hvad man skal være opmærksom på, for at reguleringsstrategier fører til energibesparelser og tilfredse brugere.

Projektets forløb

Projektdeltagere er Dansk Center for Lys, I-No/ Spectra Nord og Statens Byggeforskningsinstitut på Aalborg Universitet København (SBI, AAU), som også står for projektledelsen.

Projektet startede i marts 2014 og blev afsluttet i november 2016. Spectra Nord leverede belysningsanlægget og kursus i programmering af lysreguleringsanlægget. SBI, AAU stod for forsøg og projektledelsen, mens DCL stod for pixibog og fagseminar om energibesparende lysregulering for brugerne, formidling af erfaringer og generel viden på området.

Formål

Projektets formål er, at slutbrugeren er tilfreds og får en positiv oplevelse af lysregulering, samtidig med at der spares energi. Brugertilfredsheden opnås til dels ved at tildele brugerne kontrol over lysforholdene i deres næromgivelser og delvist ved at stille et minimumskrav til, hvilke lysniveauer der tilbydes. Grænsen for minimumsniveauet, som bør tilbydes for at opnå brugertilfredshed og energibesparelser, afprøves i projektet.

Manuel lysregulering anbefales de steder i bygninger, hvor mennesker opholder sig i længere perioder og kan implementeres både i eksisterende samt nybyggeri.

Lysreguleringsstrategierne, som afprøves i projektet, er uafhængige af produkter og teknologi. De forventes at kunne implementeres i de fleste lysreguleringsmoduler, der findes på markedet i dag, samt i kommende produkter.

Ved at identificere lysreguleringsstrategier, som fører til brugertilfredshed og energibesparelse, forventes belysningsanlægget at bidrage positivt til vurdering af indeklimaforholdene i bygningen. F.eks. i bæredygtighedsstandarder hvor både manuel regulering og energibesparelse er med til at opnå højere karakter i vurdering af bæredygtigt byggeri.

Lysstyring

Dette kapitel omhandler lysstyring, som den er i dag, og de fordele og ulemper, som den teknologiske udvikling medfører inden for området.

Bygherrers valg i designfasen

Når en bygherre tidligt i designfasen skal tage stilling til regulering af lyset, er der brug for en god vejledning fra rådgiverne. Der er brug for "den kloge efterspørgsel", for at de rigtige beslutninger kan tages på det rigtige tidspunkt. I nogle tilfælde er brugeren ikke kendt, når en bygning bliver projekteret, og udbudsmaterialet skal formuleres. Så bliver der valgt en standardløsning, som forhåbentlig passer til den kommende brugers behov, eller kan indstilles til at gøre det, når brugeren bliver kendt. Men for at processen kan fungere, er det nødvendigt med velformulerede krav. Så ved alle, hvad de skal gøre, hvis der kommer ændringer senere pga. valg af belysningsarmaturer eller økonomiske udfordringer.

Formulering af udbudsmateriale

Hvis brugeren ikke er kendt, og oplysninger om rummets funktion er sparsomme, er det svært for el-ingeniøren at formulere et udbudsmateriale, som er skræddersyet til projektet. Arkitekten er ofte tæt på brugeren i byggeprocessens tidligste faser, men arkitekten har måske ikke fokus på reguleringen af lyset og nedprioriterer derfor behov for regulering.

Beslutninger om belysning og de lysarmaturer, som lysreguleringen skal "tale sammen med", foregår ofte samtidig med, at der skal tages stilling til lysreguleringen. Der er ofte flere, som har en holdning til udformningen af belysningsanlægget, både bygherre, arkitekter og lysdesignere er involverede, og projektet kan forandre sig til sidste øjeblik. I denne proces er det vigtigt, at der er et godt samarbejde mellem de, der planlægger belysningen og de, der planlægger lysreguleringen, dvs. mellem bygherre, el-ingeniør, belysningsingeniør, bygningsautomatikingeniør, lysdesigner, arkitekt og producer af belysningsarmaturer og lysreguleringsanlæg.

Fra udbud til færdigt produkt

I denne fase bliver den endelige økonomi fastlagt, og det kan endnu engang medføre ændringer. Det er igen vigtigt, at beslutninger om ændringer i lysreguleringen bliver koordineret med ændringer i belysningsanlægget i denne fase. El-installatøren og programmøren er de nye aktører i processen og overtager projektet til udførelse. Samtidig er det ofte i denne fase, at de sidste krav falder på plads. Bygherren ser bygningen tage form, og indretningen er ved at være på plads. Men det er ofte for sent at lave for meget om på lysreguleringen. Så der kan være nogle led i beslutningsprocessen, som ikke passer sammen. Når beslutningerne skal tages, er brugeren ofte ikke klar. Og når brugeren er klar, er lysreguleringen installeret.

Alle kender til situationer, hvor lysreguleringen ikke gør som den skal, og det kan have mange årsager. Et armatur bliver skiftet ud, og så kan styringen ikke "finde det" igen. Altså en produktfejl – eller et samspil mellem armatur og regulering, som ikke fungerer. Ingen kan finde ud af at slukke lyset i mødelokalet, når projektoren skal tændes. Måske er brugerfladen for indviklet i et rum, der bliver brugt af mange mennesker – rummet var måske først planlagt som et kontor, men har nu en anden anvendelse. Sensoren påvirkes af indretningen, et sort bord giver et lysniveau, og et hvidt papir på bordet giver et andet lysniveau. Det kan være, at sensoren er valgt på et tidspunkt, hvor man ikke vidste noget om indretningen. Det er eksempler på, at beslutninger om lysregulering er blevet taget på et tidspunkt, hvor lysarmatur, funktion og indretning ikke har været kendt, og det kan have konsekvenser for det færdige produkt.

Når byggeriet er færdigt og skal overleveres til slutbrugeren, skal der helst ikke være brug for nogen brugervejledning for lysreguleringsanlægget. Det skal være intuitivt og brugervenligt. En instruktion kan blive glemt eller "forandret", når en ny bruger tager rummet i anvendelse. Hvis det er for indviklet for brugeren, vil anlægget ikke kunne leve op til intentionen.

Anlægget i brugsfasen

Lige så vigtigt, som at anlægget er i orden ved idriftsættelsen, er, at anlægget løbende serviceres og tilpasses, så funktionen afstemmes til brugerne gennem hele levetiden. Hyppigt sker det, at et anlæg, som måske fungerer ved afleveringsforretningen, ikke overleveres til driftspersonalet i en form, der muliggør tilpasninger.

Ideelt set skal der findes både brugere, som tidligere beskrevet bør kunne betjene anlægget uden brugervejledning, samt "superbrugere", som har et dybere kendskab til systemet og dets muligheder.

Seminarets konklusioner

Fagseminaret indgår som en del af dette forskningsprojekt (se også side 28 om projektets resultatformidling). På fagseminaret præsenteredes resultater fra en lang række ELFORSK-støttede projekter om lysregulering. Der var mulighed for, at forskning og praksis kunne mødes med det formål at skabe grundlag for, at resultaterne fra forskningen bliver implementeret i vores bygninger.

På fagseminaret var der oplæg om forskningsresultater og praksisrelaterede emner. Dagens oplæg handlede således om forskningsresultater, brugere, proces, energi og forskningsprojekter i praksis. Forskere fra Aalborg Universitet og Lund Universitet fortalte om deres resultater, mens producenter, projekterende og en ejendomsforvalter havde en mere funktionsorienteret tilgang.

Deltagerne i fagseminaret var bygherrer, projekterende, producenter, udførende og driftsfolk – aktører i tilblivelsen af et lysreguleringsprojekt. Fagseminaret blev afholdt i festsalen i Ny Carlsberg Glyptotek. Dagen var inddelt i 4 emner. Emnerne var forskningsresultater, brugeren, proces og energi og afslutningsvis et oplæg om, hvordan forskningsresultaterne kan bruges i praksis. Arrangementet afsluttedes med en fremvisning af Glyptotekets ny renoverede belysnings- og styringsanlæg.

Ásta Logadóttir, SBI AAU, præsenterede en oversigt over de forskningsprojekter, som ELFORSK har støttet gennem de seneste 18 år. Forskningsprojekter om lysregulering i forhold til brugerens trivsel og energibesparelser. Emnerne har været:

- Dagslysudnyttelse og regulering
- Årstidens indvirkning på det valgte lysniveau
- Dynamisk belysning
- Intervaller
- Starte på lavt lysniveau og skrue op i stedet for at starte højt og skrue ned
- Farvetemperaturer
- Åben og lukket sløjfe
- Intelligent eller brugerreguleret lys
- Sammenligning af lyskoncepter
- Energieffektiv arbejdslampe
- Kamerabaseret lysstyring

Alle er undersøgelser af, hvordan man kan projekttere og indstille en lysregulering, så anlægget giver tilfredse brugere samtidig med, at man opnår energibesparelser. Hvis brugerne ikke er med, går det ud over trivslen, og det medfører nedsat arbejdsevne, eller brugeren supplerer med en ekstra lampe, og energibesparelserne går dermed tabt.

Den teknologiske udvikling går rigtig hurtigt, og Ásta Logadóttir sammenlignede på fagseminaret denne udvikling med en orkan. De forskellige, nye produkter på markedet bliver udbudt og testet i virkeligheden, men ingen ved, hvilken vej det går. I forskningen er det brugernes præferencer, som bliver undersøgt med henblik på at opnå energibesparelser. Skal man f.eks. lave komplicerede lysreguleringssystemer, som giver et hav af muligheder for indstillinger i løbet af dagen, når forskningen viser, at brugerne kun indstiller lyset en gang om dagen? Eller skal man gøre et stort nummer ud af at skabe masser af indstillingsmuligheder for brugeren, når man ved, at det, som giver den største besparelse, er at starte på en lav lysstyrke, så brugeren kun skruer lidt op? Hvis man starter på en høj lysstyrke, skruer brugeren kun lidt ned. Forskellen er stor, og energibesparelserne er store ved at indstille den rigtige startværdi. Fokus er ofte et andet i praksis, og salgsgagnerne skal byde på nyheder, nogle gange går nyhedsværdien forud for fornuften.

Niko Gentile, Lund Universitet, efterlyste i sit oplæg et fælles sprog for de begreber, lysreguleringen bliver indstillet efter. Hvilken strategi vælger man at planlægge efter? "Presence detection vs absence detection", "automatic on-off vs automatic off" eller "occupancy vs vacancy". Begreberne kan let blive mistolket, men energibesparelserne er afhængige af, at strategien bliver planlagt, så den passer til brugen af rummet. Der er også store energibesparelser at hente ved at analysere forbruget af strøm til stand-by. I takt med at strømforbruget til lyset bliver mindre pga. LED lyskilder, bliver strømforbruget til stand-by forholdsvis højere. Stand-by forbruget skal således regnes med, når man ser på det samlede energiforbrug, og man leder efter måder at spare energi. Men uden den gode lyskvalitet og en god strategi for lysregulering opnås ingen besparelser.

Ken Røgen, Vanpée, talte om emnet "Er brugeren besværlig"? Den provokerende titel stillede skarpt på den problematik, der er, når teknikere skal udvikle systemer til ikke teknikere. Er brugeren besværlig, når han/hun er utilfreds med en lysstyring? Eller er brugeren ikke blevet spurgt eller instrueret godt nok? Ken Røgen fortalte om de forskellige faser i byggeprocessen,

hvor beslutningerne om lysreguleringen bliver taget og fremlagde to gode eksempler fra praksis.

I det ene eksempel havde teknikerne programmeret, hvad de synes var en rigtig god lysstyring med masser af muligheder for forskellige scenarier. Der var masser af knapper, som brugerne kunne trykke på. Men brugerne ville have halvdelen af knapperne væk. Der var for mange valgmuligheder, for mange forskellige brugere og dermed mulighed for konflikter og forvirring. Så den gode intention stemte ikke overens med brugernes ønsker.

I det andet eksempel havde teknikerne også udviklet en touch screen med forskellige valgmuligheder for lysstyringen. Der var dog sat en post-it mærkat på panelet med teksten NIX PILLE. Det var ikke det, der var meningen, det var netop meningen, at brugerne af bygningen skulle bruge skærmen og justere efter behov.

Jørn Borup Jensen, ELFORSK, fortalte om organisationens arbejde, om hvilke projekter de støtter og deres mangeårige arbejde med LED-teknologi. Mange nye ELFORSK-projekter kredser om emnet sundhed i forbindelse med energibesparelse, og hvordan man med det rigtige lys og en god regulering kan få bedre trivsel, en bedre søvnrytme og dermed et bedre helbred. Man kan godt både tænke på energibesparelser og sundhed på en gang. Jørn Borup Jensen holdt oplæg i stedet for energiantropolog Marie Aarup fra Teknologisk Institut, som desværre måtte aflyse pga. sygdom.

Stig Johansson, Lemvig Müller, fortalte om værdikæden for et byggeri og værdikæden for et lysreguleringsanlæg. Hvem er med til at tage beslutninger om, hvad anlægget skal kunne, og hvor går grænserne mellem de forskellige entrepriser? I takt med udviklingen kommer der flere aktører, og hvor meget ved disse aktører om lys, og hvor meget kontakt har de med brugerne? Der er i dag også både tale om traditionelle lysstyringsystemer, men også managementsystemer til bygninger, hvor belysningen kun er en lille del af systemet.

Michael Thode Sørensen, DEAS, viste 3 cases med eksempler på, hvordan en ejendomsforvalter arbejder med lysstyring og energibesparelser. Udskiftning til LED-armaturer og opgradering af lysstyringen kan medføre både driftsbesparelser og energibesparelser. Ved at tilføje dagslysstyring, flere sensorer eller blot indregulere et eksisterende anlæg kan besparelserne være store.

Peter Selmer Gade, SpectraNord, gav sit bud på, hvordan man kan bruge forskningen i praksis. Peter Selmer Gade har deltaget i en del projekter sammen med SBI AAU. Han fremviste et eksempel på et armatur med en simpel lysregulering, hvor det er resultater fra et forskningsprojekt, som har formet resultatet. Lysreguleringen er udformet, så brugeren altid starter på et lavt lysniveau og skruer op til det ønskede niveau. Der er dog visse udfordringer ved at skabe sammenhæng mellem forskning og praksis, da det er to helt forskellige arbejdsmetoder. Skildpadden blev brugt som et billede på forskningen. Det er en langsommelig proces, et positivt resultat kan ikke presses igennem, og resultatet er ikke givet på forhånd. Hvorimod den kommercielle verden blev sammenlignet med en rodeocowboy. Processen er ekstremt tidskrævende, et positivt resultat er livsnødvendigt, og der er kort fra beslutning til handling. I den typiske proces udføres forskningen først, og efterfølgende kommercialiseres projektet. I et samarbejde med SBI AAU produceredes et belysningsarmatur og -styring ud fra en hypotese og en specifikation. Salg og første fase af forskningen foregår således parallelt.

Brugerforsøg

Dette kapitel omhandler de brugerforsøg, som indgår i projektet "Brugertilfredsstillende og energibesparende lysregulering". Brugerforsøgene bygger videre på resultater fra tidligere brugerforsøg. I projektet undersøges, om brugertilfredsheden bliver påvirket af indstillingen af lysreguleringsudgangspunktet og størrelsen af det tilbudte interval, og om der er en forskel på brugertilfredsheden, når lyset reguleres i eget arbejdsområde eller hele lokalet. Desuden undersøges energibesparelspotentialet ved brug af manuel regulering ift. brug af bevægelsesmelder.

Almenbelysningen

I denne rapport bruges termen 'almenbelysning' for lysinstallationen som helhed. Ved regulering af almenbelysning regulerer man derfor lyset lige meget i hele lokalet, dvs. alle armaturer bidrager med samme lysstrøm. Tidligere forskning viser, at for almenbelysningen har udgangspunktet for regulering og intervalstørrelsen stor betydning for brugernes lysindstillinger. Ved brug af reguleringsintervaller fra 0-500 lx og op til 0-2000 lx (Boyce et al., 2006; Logadóttir et al., 2011; Uttley et al., 2013) er det blevet vist, at ved lav startværdi indstiller brugerne til lavere belysningsstyrker, end hvis de regulerer fra en høj startværdi og skruer ned for lyset (Logadóttir et al., 2011; Uttley et al., 2013). De aktuelle brugerforsøg omhandler kortere intervaller end de tidligere afprøvede for at få dannet et mere realistisk billede af lysinstallationer, som er installeret i dag (op til maks. 500 lx).

Arbejdsbelysningen

Regulering af almenbelysningen som helhed eller i prædefinerede zoner er den almindelige måde, man regulerer lyset på i dag. Med den teknologi og de programmeringsmuligheder, som findes på markedet, er det muligt at regulere individuelt på hvert armatur. For at undersøge energiforbrug og tilfredshed med regulering af selve arbejdsbelysningen i forhold til almenbelysningen (jævn belysning i hele lokalet) bruges der et eksempel for at demonstrere besparelspotentialet. For arbejdsbelysningseksemplet vil forsøgspersonen kun regulere på arbejdsbelysningen (to armaturer på hver sin side af arbejdsområdet), imens de resterende armaturer leverer konstant lysstrøm. Forsøget her bruger også lavere belysningsstyrker, end det fremgår af tidligere forsøg for at sigte mod en realistisk lysinstallation i Danmark.

Lysinstallationer

Ifølge den europæiske standard DS/EN 12464-1 (Dansk Standard, 2011) bør en almenbelysning på 100 lx (standardens term er 'baggrundsområde') i kontorlokaler være tilstrækkeligt, hvis man på arbejdsområdet får leveret 500 lx på arbejdsfeltet og 300 lx i det omgivende felt (minimum bredde 0,5 m). Bygningsreglement 2015 (Trafik og Byggestyrelsen, 2016) henviser i kap. 6.5.3, stk. 1 til ovennævnte standard. Indtil 2015 henviste Bygningsreglementet til DS 700 serien, som krævede minimum 200 lx til almenbelysningen i kontorer. Ifølge DS 700 skulle selve arbejdsfeltet også belyses med mindst 500 lx i kontorer. I dag bliver almenbelysningen tit designet til at levere 300 lx (ifølge kravene til det omgivende felt). Oplevelsesmæssigt er der ikke et stort spring fra 200 til 300 lx, pga. at mennesker opfatter lyset på en logaritmisk skala (i standarden svarende til ét step). Springet fra 100 lx til 200 lx (i standarden = 2 steps) opleves ca. på samme måde som springet fra 200 lx til 500 lx (2 steps). Af de intervaller, som testes i dette forsøg, vil den største forskel i oplevelse være fra 0 lx til 50 lx. Inden for det område ligger også

grænsen af det fotopiske område – hvor nethindens tapper bliver aktiverede i øjet, og vi kan skelne mellem farver.

Tilfredshed

Brugerens tilfredshed med omgivelserne afhænger af mange parametre, og det er en svær opgave at gøre alle tilfredse. Forsøget her handler om at sammenligne forsøgspersoners tilfredshed med de forskellige lysintervaller, de får tilbudt. Det vil sige, at hvis der mærkes en statistisk signifikant stigning i gennemsnit af tilfredshed på en skala fra 1-6, hvor 1 er meget utilfredsstillende og 6 er meget tilfredsstillende, betragtes det som det lysinterval, som vurderes mere tilfredsstillende end det andet. Tidligere forsøg, hvor større intervaller blev vurderet, viser at der altid vil være nogle brugere, som ikke bliver tilfreds med det, som tilbydes, og så er der andre, som er tilfredse med næsten hvad som helst (Uttley et al., 2013).

Brugerforsøget kombinerer de lave lysreguleringsintervaller, som bliver installeret i Danmark med en tilfredshedsvurdering for at få dannet et billede af, hvor lavt et lysniveau vi kan tilbyde forsøgspersonerne uden at gå på kompromis med brugernes tilfredshed.

Formål

Forsøget har to formål. Det ene formål er at undersøge kombinationen af besparelspotentialet og brugertilfredsheden med de installerede lysreguleringsintervaller i kontorer i dag (op til maks. 500 lx), herunder om den tidligere fundne tendens, at brugerne indstiller til lavere belysningsstyrker ved lavere udgangspunkt, også gælder ved lave reguleringsintervaller.

Det andet formål er at undersøge besparelspotentialet ved manuel lysregulering ift. Bevægelsessensor, som tænder lyset automatisk på et forudbestemt niveau.

Metode

Almenbelysningen

Forsøg med almenbelysningen består af fire lysintervaller med lav og høj startværdi, som afprøves i tilfældig rækkefølge. Intervallerne omfatter 0-54 lx, 0-110 lx, 0-212 lx og 0-515 lx, omtalt efterfølgende som 50 lx-, 100 lx-, 200 lx- og 500 lx-intervallet. Lyset reguleres jævnt over hele lokalet. Forsøgspersoner blev bedt om at indstille lyset efter egen præference ift., at de skulle udføre arbejde ved et bestemt arbejdsområde i rummet (se Figur 1). Arbejdet omfatter læsning af sort tekst på hvid baggrund 10 pkt. Arial. Forsøgspersoner blev bedt om at indstille almenbelysningen for alle kombinationer to gange. Den ene indstilling foregik efter, de trådte ind i lokalet, hvor de blev bedt om at regulere lyset ift. at de skulle sætte sig ved arbejdsområdet og læse tekst i en længere periode. Den anden indstilling foregik, imens de sad ved arbejdsområdet og udførte læseopgaven. Almenbelysningen blev indstillet til arbejdsopgaver i begge tilfælde, men i den ene blev den visuelle scene hele rummet, mens for den anden blev den visuelle scene arbejdsopgaven og dens nærområde.



Figur 1. Baggrundsområdet, nærområdet og arbejdsområdet (termer fra DS/EN 12464-1 (Dansk Standard, 2011): Baggrundsområdet, det omgivende felt og arbejdsfeltet)

Arbejdsbelysningen

I eksemplet for arbejdsbelysning kunne forsøgspersonerne kun regulere på arbejdsbelysningen (to armaturer på hver sin side af arbejdsområdet), imens de resterende armaturer leverede et konstant lysniveau. Arbejdsområdet er defineret som et 60 cm x 60 cm område på bordet. Nærområdet er defineret som et 50 cm bånd rundt om arbejdsområdet, og baggrundsområdet fylder resten af lokalet, undtaget en 50 cm randzone til væggene (Dansk standard, 2011). Forsøg med arbejdsbelysningen består af tre lysintervaller med lav og høj startværdi, som afprøves i en tilfældig rækkefølge. Arbejdsbelysningsintervallerne, som kunne reguleres, fremgår af Tabel 1 samt oplysninger om dens indflydelse på nærområdet og baggrundsområdet. Imens arbejdslyset kunne reguleres, blev den resterende belysning i lokalet indstillet til at levere konstant lys. Tabellen viser, at arbejdsområdet ligger så tæt på 100, 200 og 500 lx, som kunne lade sig gøre for lysanlægget, og regelmæssigheden indikerer jævn belysning på arbejdsområdet. Lysanlægget leverer belysningsstyrker og regelmæssighed til nærområdet, som ligger meget tæt på arbejdsområdets værdier. Baggrundsområdet ligger over de 100 lx, som kræves i den europæiske standard, mens det bliver påvirket af bidraget fra arbejdsbelysningen, som det fremgår af tabellen. Minimum 120 lx for baggrundsområdet begrundes af krav til vægbelysning og lysarmaturernes lysfordeling (se bilag).

Tabel 1. Belysningsstyrker og regelmæssighed i rummet.

Interval	Arbejdsfeltet		omgivende felt		Baggrundsområde	
	\bar{E}_{maks} [lx]	U_0	\bar{E} [lx]	U_0	\bar{E} [lx]	U_0
0 - 100 lx	101	0,96	101	0,91	120	0,60
0 - 200 lx	207	0,97	194	0,94	147	0,61
0 - 500 lx	502	0,94	469	0,86	228	0,54

Forsøgspersonerne blev bedt om at indstille lyset efter egen præference, imens de sad ved arbejdsområdet og udførte læseopgave. Opgaven var den samme, som da de vurderede almenbelysningen.

Lokalet

Forsøget fandt sted i et lukket lokale, som forestillede et kontor med en arbejdsplads. Figur 2 viser synsvinklen fra arbejdsområdet, og Figur 3 viser synsvinklen fra indgangen til rummet. Lyset blev reguleret ved disse to synsvinkler.



Figur 2. Forsøgspersons synsvinkel ved arbejdsområdet



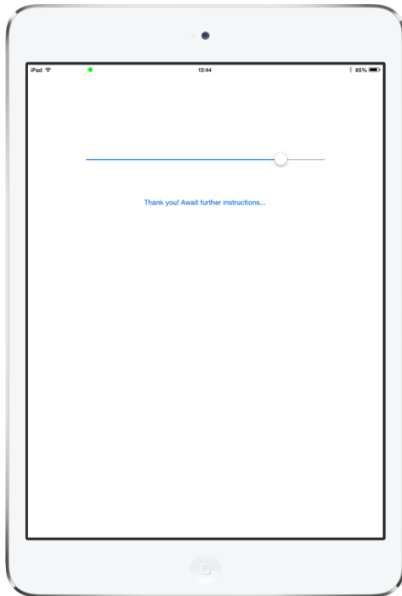
Figur 3. Forsøgspersons synsvinkel ved indgang til lokalet

Reflektanser for de afgørende flader i lokalet, lysinstallationens egenskaber og lysfordelingen i lokalet er beskrevet i bilaget.

Procedurer ved brugerevalueringstests

Ved forsøgspersonernes ankomst forklarer forskeren, hvad der forventes af forsøgspersonerne. De bliver bedt om at indstille lyset efter egne præferencer ift. at de skal til at læse en tekst i en længere periode (2-3 timer).

Forsøget er introduceret yderligere ved at demonstrere den fremstillede iPad applikation, der kontrollerer lysstyrken i rummet og ændres ved hjælp af en slider (se Figur 4). Interval til rådighed styres af forskeren fra en separat iPad og iPad applikation. Når testpersonen har indstillet lyset til sin præference inden for det tilgængelige interval, bedes de trykke på teksten under slideren, hvorefter de får en meddelelse om at afvente yderligere informationer.



Figur 4. iPad applikation, som forsøgspersonen bruger til at regulere lyset ved at dreje op og ned på slideren.

Efter hvert scenarie vil forsøgspersonen blive bedt om at vurdere lysindstillingen på en skala fra 1-6. Skalaen er forklaret i Tabel 2.

Tabel 2. tilfredshed vurderes på en skala fra 1 til 6

Skala	Betydning
1	Meget utilfreds
2	Utilfreds
3	Nogenlunde utilfreds
4	Nogenlunde tilfreds
5	Tilfreds
6	Meget tilfreds.

I tilfælde af at forsøgspersonen er utilfreds (vurderet 1-3), vil de blive bedt om at give en kort begrundelse for, hvad der er utilfredsstillende. Det er den testansvarliges opgave at formulere testpersonens beskrivelse i en kortfattet sætning, som testpersonen skal godkende. Udover dette vil forsøgspersonens præfererede lysindstillinger blive gemt i et regneark internt på iPad'en, som senere kan hentes ned på computeren til analyse.

Imens forskeren indstiller til et nyt udgangspunkt til regulering, bliver forsøgspersonerne enten bedt om at gå ud af lokalet for at træde ind igen eller bruge sovemasker for at undgå før-indikationer for belysningsforholdene i lokalet.

Indgangsrum

Imens forsøgspersonerne ventede uden for lokalet, stod de på en gang og kiggede på midten af en stor plante overfor rummet for at have et konsistent fokuspunkt gennem alle tests (se Figur 5). Gangen er belyst med 60 cm x 60 cm lysstofrørsarmatur med 3000 K og giver 174 lx, $U_0 = 0,80$ målt horisontalt i 0,8 m højde.

Når den testansvarlige har indstillet lyset til et nyt udgangspunkt, bedes forsøgspersonen træde ind i lokalet og regulere fra indgangen til lokalet (se Figur 6). Det er nu forsøgspersonens opgave at indstille lyset til sin præference inden for det tilgængelige interval. Forsøgspersonens synsvinkel fremgår af Figur 3. Lyset skal indstilles med henblik på at give en behagelig belysning i et arbejdslokale, hvor forsøgspersonen skal læse ved arbejdsområdet

i en længere periode (2-3 timer). Forsøgspersonen forbliver i indgangen af lokalet gennem hele lysindstillingen.



Figur 5. Plante som fokuspunkt, inden forsøgspersonen entrerer forsøgslokalet.



Figur 6. Forsøgspersonernes placering ved lysregulering.

Ved arbejdsområdet

Når forsøgspersonerne blev bedt om at regulere lyset ved arbejdsområdet, blev de bedt om at bruge en sovemaske, imens forsøgslederen ændrede reguleringsudgangspunkt. I disse tilfælde forbliver forsøgspersonen siddende ved arbejdspladsen. Lyset indstilles efter præference inden for det tilgængelige interval med henblik på at læse en tekst som en arbejdsopgave. Foran testpersonen er der placeret et ark med en tekst, som kan benyttes som referencepunkt.

I slutningen af testen bliver testpersonerne bedt om at rapportere enkelte personoplysninger vedrørende køn, alder og synstilstand.

Scenarierne bliver valgt af forsøgslederen i en tilfældig rækkefølge for at undgå bias grundet rækkefølgen. Scenarierne indeholder intervaller med lavt og højt udgangspunkt. Et lavt udgangspunkt betyder 5 % lysstrøm fra armaturet og en høj betyder 95 % lysstrøm iht. maksimum for intervallet. Det er valgt at starte på 5 % og 95 % frem for 0 % og 100 %, da dette giver testpersonerne mulighed for at hæve og dæmpe lysniveauet til en vis grad i samtlige scenarier.

I alt er der 22 forskellige scenarier som afprøves, hvoraf testen vil indeholde 24 scenarier for at have en genganger til at validere testens gyldighed, samt en prøve for at testpersonen kan få en idé om proceduren, før den egentlige test begynder. Almenbelysningen afprøves for fire intervaller med højt og lavt udgangspunkt både ved arbejdsområdet samt ved døren efter entré. Arbejdsbelysningen afprøves i tilfældig rækkefølge ved tre intervaller med højt og lavt udgangspunkt.

Resultater

Der deltog 24 forsøgspersoner, som alle gennemgik 24 scenarier. Resultaterne består derfor af 24 besvarelser fra forsøgspersoner i alderen $M = 25,8$ år og $STD = 5,8$ år. Alle havde normalt syn eller brugte briller/kontaktlinser.

Regulering af almenbelysningen: Ved dør og ved arbejdspladsen

Tabel 3 viser de fire reguleringsintervaller og et gennemsnit af forsøgspersonernes indstillinger for et lavt og et højt udgangspunkt (5 % og 95 % lysstrøm iht. maksimum for intervallet), både når de indstiller ved indgang til lokalet, samt når de indstiller siddende ved arbejdsområdet.

For det mindste interval (0-50 lx) er forskellen mellem høj og lav indstilling ikke signifikant, hverken når der vurderes indstillinger ved dør eller ved arbejdsplads, det samme gælder for interval 0-100 lx, når niveauet indstilles fra arbejdspladsen. For de resterende intervaller er der en signifikant forskel mellem indstillinger fra lav og højt udgangspunkt. De lave udgangspunkter i intervallet medfører lavere indstillinger for belysningsstyrken.

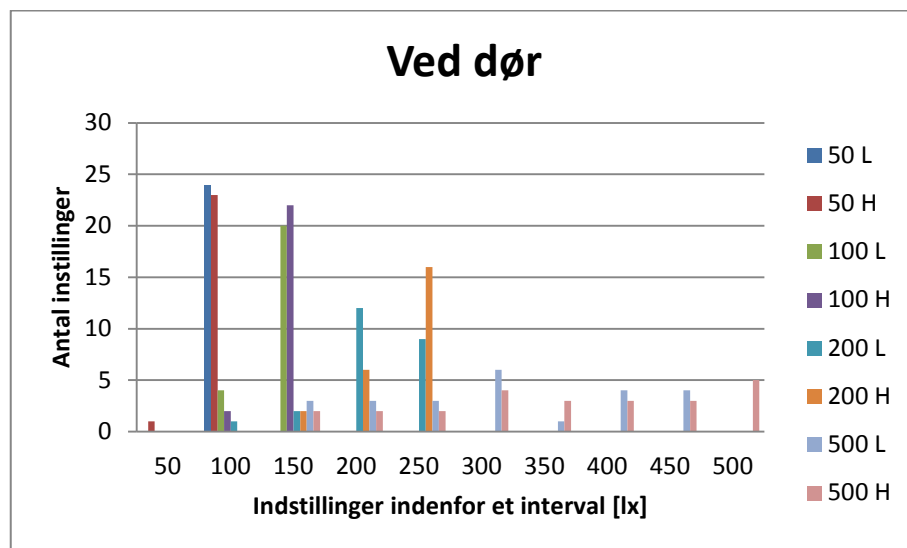
Tabel 3. Middelværdi for belysningsstyrkeindstillinger i rummet for alle intervaller og begge udgangspunkter.

Reguleringsinterval	Udgangspunkt	Indstilling ved dør [lx]	Indstilling ved arbejdsplads [lx]
0 - 50 lx	Lav	54	53
	Høj	54	54
0 - 100 lx	Lav	105*	99
	Høj	108*	99
0 - 200 lx	Lav	178*	159*
	Høj	196*	182*
0 - 500 lx	Lav	276*	211*
	Høj	330*	279*

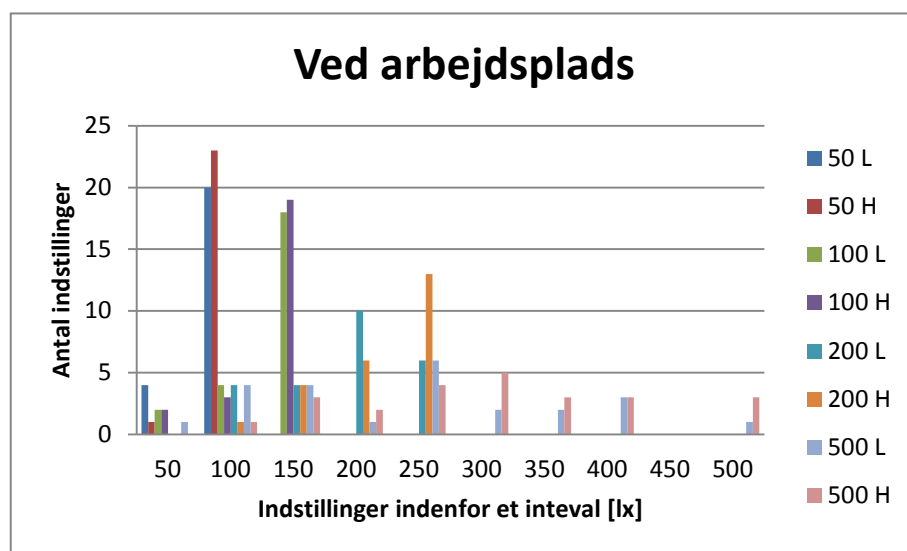
*signifikant forskel mellem indstillinger ved lav og højt udgangspunkt i intervallet

Det viser sig, at når forsøgspersoner træder ind i lokalet og regulerer almenbelysningen ved døren, indstiller de til højere lysniveau, end når de regulerer almenbelysningen ved deres arbejdsplads. Resultaterne er signifikant højere for alle reguleringsmuligheder undtaget 50 lx med maksimum udgangspunkt; her er der ingen signifikant forskel.

Figur 7 og Figur 8 viser antal indstillinger per belysningsstyrkeinterval (0- 50 lx, 51-100 lx, 101-150 lx, 151-200 lx osv.) for alle reguleringsintervaller og begge udgangspunkter. For 0-50 lx reguleringsintervallet er der kun en person, som ikke indstiller til 51-54 lx ved højt udgangspunkt (50 H), både når der reguleres fra indgang (Figur 7) og ved arbejdsområdet (Figur 8). For 0-50 lx-området er der 4 personer, som regulerer til 0-50 lx fra et lavt udgangspunkt (50 L i Figur 8). Reguleringsintervallet, som går fra 0 til 100 lx, viser samme tendens, de fleste vælger 101-110 lx. I alt er der 20 personer, som regulerer til området, når de regulerer fra døren og 18, når de regulerer fra arbejdsområdet. For 0-200 lx reguleringsintervallet er antallet faldet ned til 16 ved dør og 13 ved arbejdsplads, som indstiller i området 201-212 lx. For 0-500 lx-intervallet fordeler forsøgspersonernes indstillinger sig mere mellem de forskellige belysningsstyrkeintervaller.



Figur 7. antal indstillinger indenfor hvert interval og begge udgangspunkter i intervallet



Figur 8. Antal indstillinger inden for hvert interval og begge udgangspunkter i intervallet.

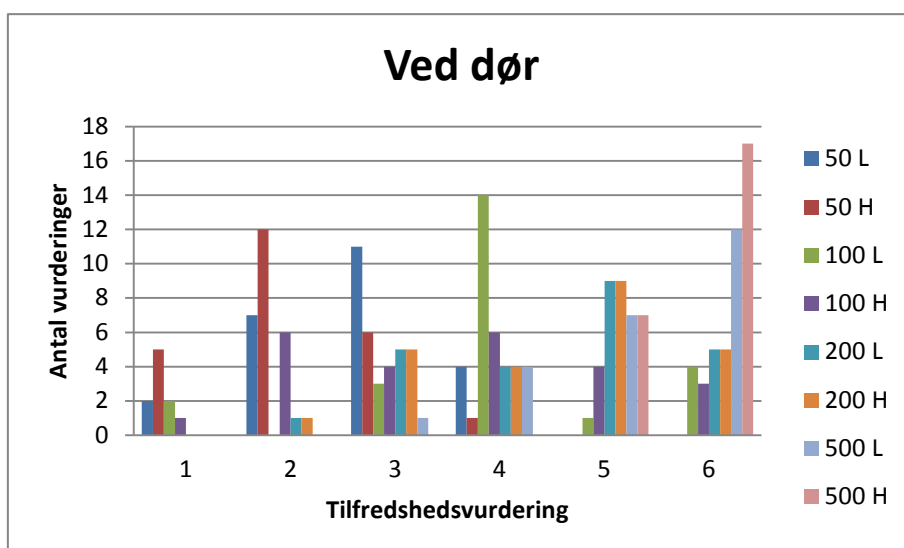
Tabel 4 viser et gennemsnit af forsøgspersonernes tilfredshedsvurdering af deres indstillinger for de forskellige intervaller for et lavt og et højt udgangspunkt. For de to største intervaller, når de regulerer fra døren, er der en signifikant forskel mellem tilfredshed med indstillinger fra lavt og højt udgangspunkt. Tilfredshed vokser i takt med størrelsen på reguleringsintervallet.

Tabel 4. Tilfredshed med indstillinger

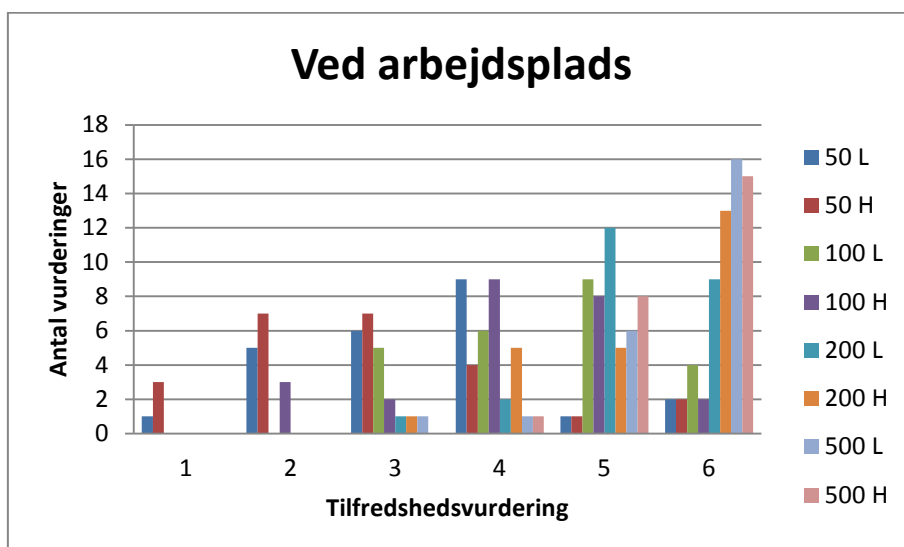
Reguleringsinterval	Udgangspunkt	Tilfredshed ved dør [1-6]	Tilfredshed ved arbejdsplads [1-6]
0 - 54 lx	Lav	2,7	3,4
	Høj	2,1	3
0 - 110 lx	Lav	4	4,5
	Høj	3,6	4,2
0 - 212 lx	Lav	5,1*	5,2
	Høj	4,5*	5,3
0 - 515 lx	Lav	5,3*	5,5
	Høj	5,7*	5,6

Det viser sig, at når forsøgspersoner træder ind i lokalet og regulerer lyset ved døren, er de mindre tilfredse med deres indstillinger inden for de to korteste intervaller, men forskellen er ikke lige så stor, når de bevæger sig inden for de to største reguleringsintervaller.

Figur 9 og Figur 10 viser antal bedømmelser per tilfredshedsvurdering for alle reguleringsintervaller og begge udgangspunkter. For 50 lx-reguleringsintervallet bedømmer forsøgspersonerne deres indstilling som værende fra 'meget utilfredsstillende' (1) til 'nogenlunde tilfredsstillende' (4) når de regulerede ved døren (Figur 9), mens de vurderede deres indstillinger inden for samme interval op til 'meget tilfredsstillende' (6), når de indstillede ved arbejdsområdet (Figur 10). Reguleringsintervallet 0-100 lx vurderes på hele skalaen (1 til 6), når de indstiller lyset fra døren og fra 2 til 6, når de indstiller lyset ved arbejdspladsen. Reguleringsintervallet 0-200 lx vurderes på en skala fra 'utilfredsstillende' (2) til 'meget tilfredsstillende' (6), og indstillinger baseret på 0-500 lx-reguleringsintervallet vurderes fra 'nogenlunde utilfredsstillende' (3) til 'meget tilfredsstillende' (6), når forsøgspersonerne regulerer ved døren. Når de regulerer ved arbejdspladsen, vurderer de både 0-200 lx og 0-500 lx på en skala fra 'nogenlunde utilfredsstillende' (3) til 'meget tilfredsstillende' (6).



Figur 9. Tilfredshedsvurderinger ved dør.



Figur 10. Tilfredshedsvurderinger ved arbejdsplads.

Arbejdsbelysning

Tabel 5 viser et gennemsnit af forsøgspersonernes indstillinger og deres tilfredshedsvurdering for de tre reguleringsintervaller for et lavt og et højt udgangspunkt (5% og 95% lysstrøm iht. maksimum for intervallet), når de indstiller arbejdsbelysningen siddende ved arbejdsområdet. For indstillingerne viser der sig ikke at være en forskel mellem højt og lavt udgangspunkt for det mindste og største interval. Der er kun en signifikant forskel for det midterste interval mellem et højt og lavt udgangspunkt. Men indstillingerne bliver signifikant højere for hvert interval.

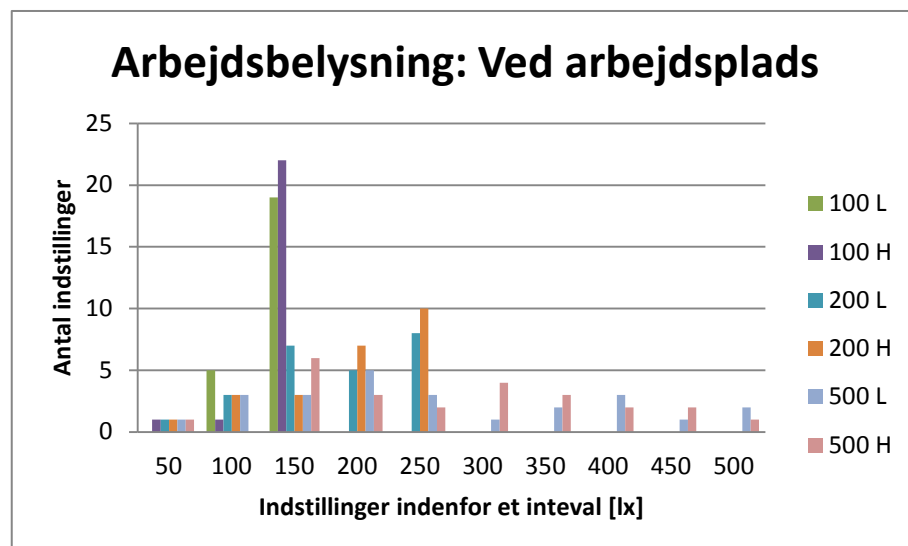
Tilfredshedsvurderinger er ikke forskellige for et lavt og højt udgangspunkt for nogen af intervallerne, men til gengæld er der signifikant forskel mellem hvert interval. Dvs. Forsøgspersonerne vurderede deres indstillinger som værende mere tilfredsstillende, jo større interval de fik til rådighed.

Tabel 5. Indstillinger og tilfredshedsvurdering for arbejdsbelysning.

Reguleringsinterval	Udgangspunkt	Indstilling for arbejdsområde E [lx]	Tilfredshed [1-6]
40-100 lx	Lavt	95	3,5
	Højt	97	3,5
40-200 lx	Lavt	148*	4,9
	Højt	164*	4,7
40-500 lx	Lavt	225	5,4
	Højt	240	5,5

*signifikant forskel mellem højt og lavt udgangspunkt i intervallet

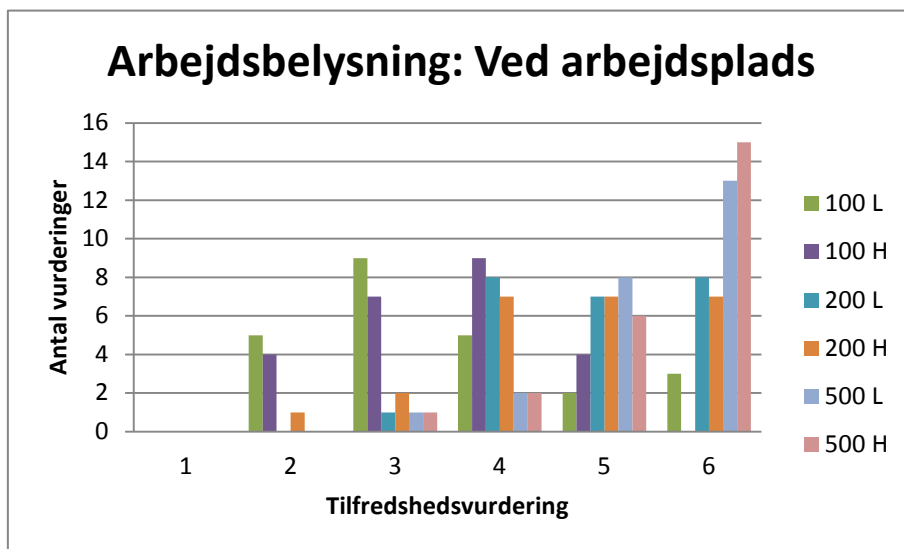
Figur 11 viser antal indstillinger per belysningsstyrkeinterval (0-50 lx, 51-100 lx, 101-150 lx, 151-200 lx osv.) for alle reguleringsintervaller og begge udgangspunkter. For alle tre reguleringsintervaller er der én person, som indstiller til 0-50 lx. Hovedparten af indstillingerne ligger i maksimum for både det mindste reguleringsinterval og det midterste. For det største interval ligger indstillingerne mere spredt ud over hele intervallet.



Figur 11. Antal indstillinger indenfor hvert interval og begge udgangspunkter i intervallet.

Figur 12 viser antal bedømmelser per tilfredshedsvurdering for alle tre reguleringsintervaller og begge udgangspunkter. Figuren viser, at under ingen omstændigheder er indstillingen blevet vurderet 'meget utilfredsstillende' (1). Det mindste interval (40-100 lx) vurderes spredt over 'utilfredsstillende' til 'meget tilfredsstillende' med hovedparten af vurderingerne på 3 'noget utilfreds' og 4 'noget tilfreds'. Det midterste interval (40-200 lx) vurde-

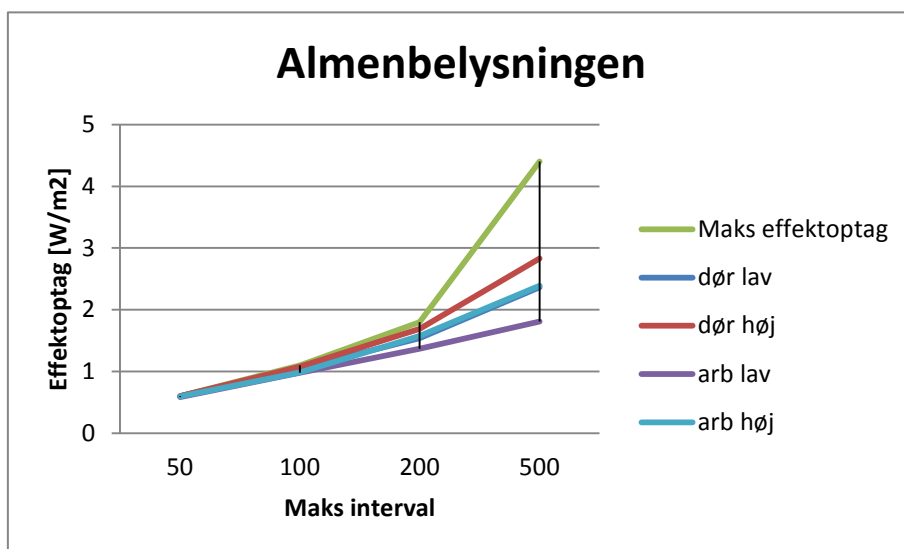
res spredt over samme skala som det mindste, mens hovedparten af vurderingerne ligger på 4 'nogenlunde tilfreds', 5 'tilfreds' og 6 'meget tilfreds'. Det største interval (40-500 lx) vurderes over skalaen 3 til 6 med hovedparten af vurderingerne på 6 'meget tilfreds'.



Figur 12. Tilfredshedsvurderinger ved arbejdsplads.

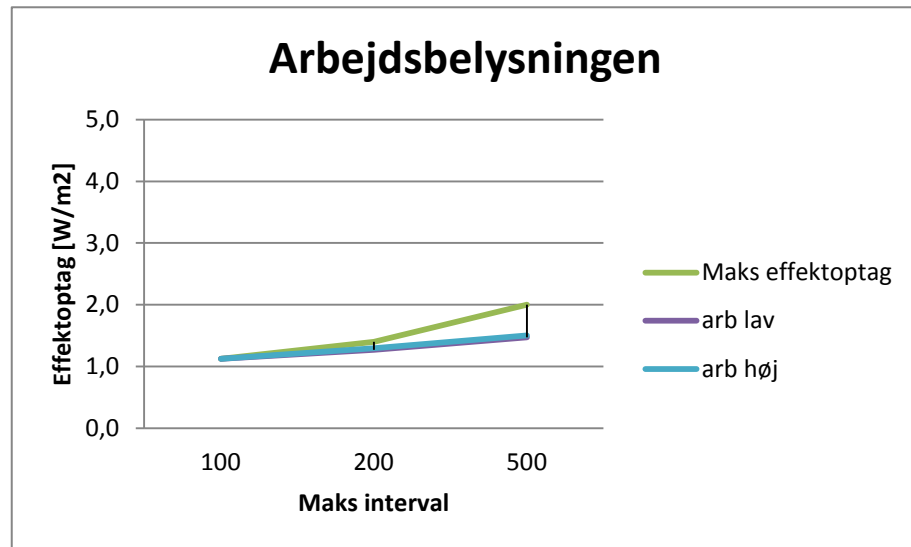
Installeret effekt og indstillinger

Som det fremgår af Tabel 3 og Tabel 5 ligger indstillingerne meget højt i intervallet, når forsøgspersonerne tilbydes de mindre intervaller at indstille i. Figur 13 viser at for de to mindste intervaller, som tilbydes for almenbelysningsinstallationen, er der ikke store energibesparelser at hente, når forsøgspersonerne indstiller så højt inden for intervallet, som de gør. Besparelspotentialet bliver større for maks. 200 lx-intervallet, hvor besparelsen for højt udgangspunkt ligger på 6 %, når lyset reguleres ved døren og 13%, når lyset reguleres ved arbejdsområdet. For et lavt udgangspunkt er besparelsen 15 %, når lyset reguleres ved døren og 24 %, når lyset reguleres ved arbejdsområdet. Maksimum 500 lx-intervallet viser besparelse for højt udgangspunkt på 36 % ved dør og 46 % ved arbejdsområde. For lav udgangspunkt og maks. 500 lx er besparelsen 46 % ved dør og 59 % ved arbejdsområdet.



Figur 13. Effektoptag for almenbelysningen, når lyset reguleres ved dør og arbejdsplads.

Figur 14 viser, at for det mindste interval, som tilbydes for arbejdsbelysningsinstallationen, er effektoptaget det samme som maksimum, og derfor er der ingen energibesparelse. Besparelspotentialet ligger under 10 % for maks. 200 lx-intervallet, hvor besparelsen for højt udgangspunkt ligger på 7 % og 9 % for et lavt udgangspunkt. Maksimum 500 lx-intervallet viser besparelspotentiale for højt udgangspunkt på 25 % og 26 % for lavt udgangspunkt.



Figur 14. Effektoptag for arbejdsbelysningen, når lyset reguleres ved arbejdspladsen.

Der er ikke signifikant forskel mellem tilfredshedsvurderinger for nogen af de maks. 500 lx-anlæg eller forsøgspersonernes placeringer ved vurdering. For at imødekomme standarden ved brug af lysanlægget vil den største besparelse derfor være at installere regulerbar arbejdsbelysning (effektoptag ved indstilling 1,5 W/m²).

Konklusioner

Formålet med forsøgene var at finde ud af, om der ved manuel regulering af belysningen, kan opnås energibesparelse i forhold til de belysningsstyrkeniveauer, som fremgår af lysstandarder i kontoromgivelser; fx 500 lux til arbejdsbelysning som fremgår af den europæiske standard DS/EN12464-1 (Dansk standard, 2011), samtidig med at man kan bevare brugertilfredshed.

For alle de laveste intervaller (op til maks. 200 lx) indstillede de fleste til maksimum niveau. For det største interval (maks. 500 lx) fordeler forsøgspersonernes indstillinger sig over hele intervallet, hvilket indikerer, at de fleste har haft en mulighed for at indstille til et niveau, som passede dem.

Resultaterne viser et besparelspotentiale ved brug af manuel regulering, som vokser med størrelsen af det tilbudte interval. Som tidligere forskning har vist, er der også større besparelse at hente ved brug af lavt udgangspunkt end ved højt udgangspunkt for de større intervaller, når almenbelysningen reguleres, effekten registreres ikke for arbejdsbelysningen.

Tilfredshedsvurderingerne viser størst tilfredshed med det største interval som tilbydes, op til maks. 500 lx. Effektoptaget for det største interval viser sig at ligge på 2,4 til 2,8 W/m², når almenbelysningen reguleres ved indgang, 1,8 til 2,4 W/m² når almenbelysningen reguleres siddende ved arbejdsområdet, og 1,5 W/m² når arbejdsbelysningen reguleres siddende ved arbejdsområdet. Tilfredsheden vurderes ikke forskelligt mellem disse tre for-

skellige måder at regulere lyset på, og indstillingerne vurderes at ligge mellem 'tilfredsstillende' og 'meget tilfredsstillende'.

For at sammenligne en bevægelsesmelder, som tænder lyset på et forudbestemt lysniveau, fx 200 lx i lokalet med et manuelt regulerbart lysanlæg som kan reguleres inden for intervallet 0-200 lx, vil besparelsen beregnes til 15 %, hvis lyset reguleres fra en lav startværdi og 6 %, hvis lyset reguleres fra en høj startværdi. Hvis til gengæld de 200 lx som bevægelsesmelderen tilbyder sammenlignes med et større regulerbart interval (0-500 lx) vil merforbrug bestå af 31 %, hvis lyset reguleres fra en lav startværdi og 57 %, hvis lyset reguleres fra en høj startværdi. Den mulighed som medfører størst besparelse, samtidigt med at bygningsreglementets bestemmelser følges, er når arbejdsbelysningen reguleres med maks. 500 lx-intervallet og lyset i baggrundsområdet kommer på højst 227 lx og $U_0=0,54$. Her vil energibesparelsen ligge på 18 % ift. en fast værdi på 212 lx og $U_0=0,57$ i hele lokalet. Dette viser, hvor vigtigt det er at definere arbejdszoner for energiforbruget, og at energibesparelser kan opnås samtidigt med, at brugertilfredshed bevares eller bliver større som i dette tilfælde.

Resultaterne viser en forskel i indstillinger for samme lysinstallationsanlæg afhængigt af, om man regulerer ved indgangen af lokalet, eller om man regulerer siddende foran arbejdsområdet. Den visuelle scene er forskellig mellem de to reguleringssteder. Den første, ved døren, viser hele lokalet og resultatet af lysreguleringen for lokalet som en helhed. Det andet reguleringssted, siddende foran arbejdsområdet, viser resultatet af lysreguleringen på arbejdsopgaven samt dens nærområde. En anden forklaring på forskellen mellem de forskellige reguleringssteder kan være forskellen i omgivelserne uden for og i lokalet. Inden forsøgspersonerne gik ind i forsøgslokalet og regulerede almenbelysningen fra døren, stod de ude på en gang, som var belyst med lysstofrørsarmaturer. Imens forskeren indstillede ved arbejdsområdet, brugte forsøgspersonerne en sovemaske for at undgå indikationer om indstillingen før og efter. Tidligere forskning har dog ikke vist en forskel i lysindstillinger afhængig af adaptationsniveau (Logadóttir, 2011), og derfor vurderes det ikke at være forklaringen i dette tilfælde.

Resultatformidling

Fagseminar



DCL har på projektets vegne afviklet et fagseminar torsdag 05.11.2015 kl. 9.00-16.00 om lysregulering.

Forud for seminaret udsendtes en pressemeddelelse:

“Er lyset tilpas? Tilpas lyset! – Gratis fagseminar om lysregulering

Lysregulering kan være irriterende. Lysreguleringsanlæg indføres for at spare på elforbruget og sjældent for at gøre brugerne glattere. Lysregulering er en del af vores hverdag, hvis ikke i hjemmet så på arbejdspladsen eller i det offentlige rum. I takt med den teknologiske udvikling, stiger kompleksiteten, og det er ikke altid, brugeren kan følge med. Det skaber irritation og i værste tilfælde et øget energiforbrug, selvom det modsatte var intentionen.

Fagseminaret stiller skarpt på, hvordan vi kan udvikle og implementere systemer, som har et anderledes fokus på brugeren og energibesparelser, end det er tilfældet i dag.

Fagseminaret vil både byde på oplæg om forskningsresultater og praksisrelaterede emner. Dagens oplæg kommer til at handle om forskningsresultater, brugere, processer, energi og forskningsprojekter i praksis. Forskere fra Aalborg Universitet København og Lunds Universitet sætter deres resultater i spil mod talere med en funktionsorienteret tilgang: Producenter, projekterende og en ejendomsforvalter.

Målgruppen for fagseminaret er bygherrer, projekterende, producenter, udførende og driftsfolk - alle som deltager i processen omkring tilblivelsen af et lysreguleringsprojekt.

Rammen om fagseminaret er den imponerende festsal i Ny Carlsberg Glyptotek. Senere vil det være muligt at høre om Glyptotekets nyrenoverede belysningsanlæg ved en rundvisning.

Fagseminaret indgår som en del af ELFORSK projektet "Brugertilfredsstillende og Energibesparende Reguleringsstrategier for Belysning". Formålet er at lade forskning og praksis mødes og på den måde skabe grundlag for, at resultaterne fra forskningen bliver implementeret i vores bygninger."



I seminaret deltog 100 repræsentanter fra lysverdenen, inkl. rådgivere, leverandører, forskere og elteknikere. Det blev en stor succes.

En artikel om seminaret blev bragt i LYS (Hvass, 2015).

Pixibog

Projektets resultater er blevet kommunikeret gennem en gratis omdelt pixibog – et inspirationsmateriale målerrettet lysplanlæggere, rådgivere, arkitekter og elinstallatører. Forskningsresultaterne her er kogt ned til taleboblere på nogle af de sidste sider, og kombineret med resultaterne af en række andre ELFORSK projekter.

Pixibogen er siden gjort tilgængelig digitalt via LinkedIn og Dansk Center for Lys' nyhedsbreve og hjemmeside.

Den printede udgave (200 stk.) er blevet uddelt ved adskillige lejligheder og naturligvis ved ovenstående fagseminar.



PROJEKTET ER STØTTET AF
 **ELFORSK**
 ELFORSK - Forskning & udvikling i effektiv energivendelse
 Denne folder er en del af PSO projekt 349-034
 Byggetilstandstiltal og energibesparende
 reguleringsstrategier for belysning.

PARTNERE I PROJEKTET
 Statens Byggeforskningsinstitut ved Aalborg Universitet
 Spektakord (ledige i-fo)
 Dansk Center for Lys

ER LYSET TILPAS? TILPAS LYSET



DIT LYS ER SOM EN CYKEL

- Den skal passe til dig og indstilles korrekt
- Den samme løsning passer ikke hele livet
- Nogle bruger mange gear - andre få
- Din personlige smag og dine behov kommer først
- Nogle tider på året benyttes cyklen mere end andre



ENERGIBESPARELSER + **LYSKVALITET** = **VELFÆRDSFORBEDRINGER**

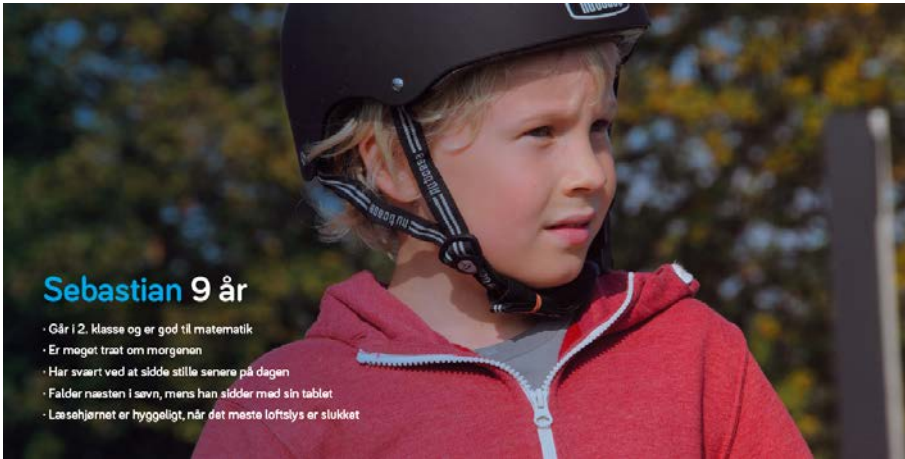
ENERGIBESPARELSER KAN OGSÅ FORBEDRE VELFÆRDEN

De bedste energibesparelser giver forbedret velfærd. Og moderne byggeri kræver massiv lysregulering. Der findes tusindvis af produkter, men ingen energibesparelser giver mening, hvis ikke man tager hensyn til brugernes behov.



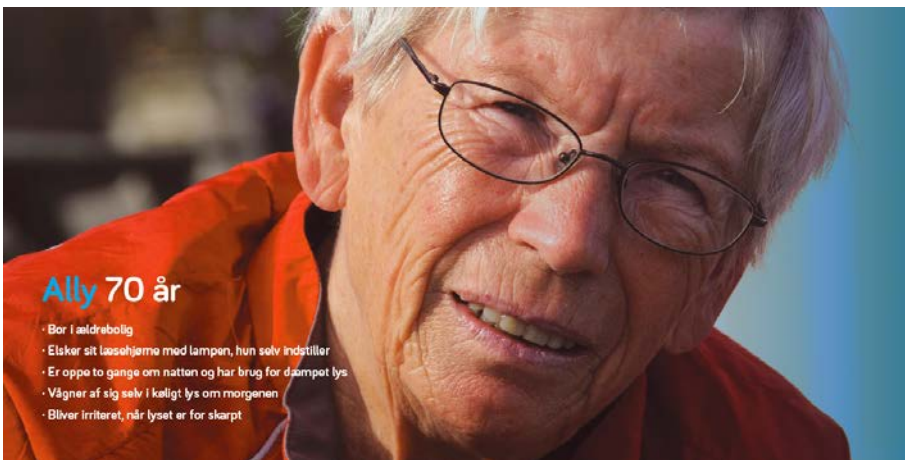
Ewa 48 år

- Jurist, bruger læsebriller og læser meget på skærmen
- A-menneske som kan bedst lide varmt lys om eftermiddagen
- Det irriterer hende, når toiletlyset ikke tænder med det samme
- Glemmer ofte at slukke sin arbejdslampe
- Og hvor er lysdæmperen, når projektoren kører?



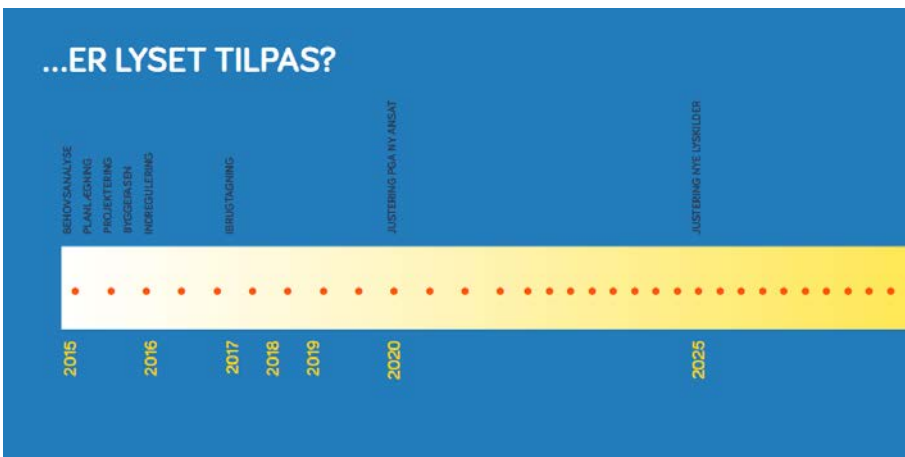
Sebastian 9 år

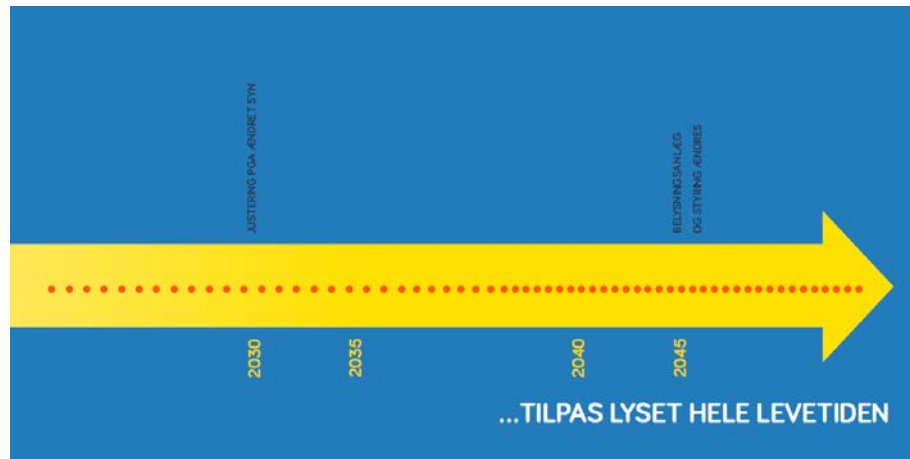
- Går i 2. klasse og er god til matematik
- Er meget træt om morgenen
- Har svært ved at sidde stille senere på dagen
- Falder næsten i søvn, mens han sidder med sin tablet
- Læsehjernet er hyggeligt, når det meste loftsllys er slukket



Ally 70 år

- Bor i ældrebolig
- Elsker sit læsehjernet med lampan, hun selv indstiller
- Er oppe to gange om natten og har brug for dæmpet lys
- Vågner af sig selv i køligt lys om morgenen
- Bliver irriteret, når lyset er for skarpt





VÆK MED BRUGERVEJLEDNINGEN:
BETJENINGEN SKAL SELVØLGELIG VÆRE INTUITIV

BRUGERNE ER DOVNE:
LYSET INDSTILLES OFTE KUN EN GANG

KØLIGT LYS ER MODERNE
BRUGERNE BLIVER TILFREDSE HVIS DE SELV KAN REGULERE FARVETEMPERATUREN VARMERE

START PÅ 30% LYSSTYRKE
OG SPAR ENERGI, FORDI BRUGERNE SJÆLDENT SKRUE R H E L T O P

BRUGERNE VIL SELV BESTEMME (LIDT) MANUEL BELYSNING
GIVER TILFREDSE BRUGERE

KILDER

- PSO PROJEKT 337-067/SB anvæntning 220 Lysstyring
- PSO PROJEKT 334-009 Integret regulering af solafskærmning, dæklån og kunuly
- PSO PROJEKT 336-017 Energiforbrug og eksternljå i korridore med store rumdybde
- PSO PROJEKT 342-044 Kombination dæklån og intelligent LED belysning - 18 dæklån ind i bygningsvæ
- PSO PROJEKT 344-069 Energifleks dynamisk arbejdsplads
- PSO PROJEKT 346-026 Energifleks kombibærent lysstyring
- PSO PROJEKT 340-036 Energifleksiver med individuelt dynamisk belysningsregulering
- PSO PROJEKT 344-002 Implementering af højvalbete dynamisk LED belysning
- PSO PROJEKT 346-034 Byggethedevalbende og Energifleksiverde reguleringsmekaniser for belysning

HVORDAN KOMMER DU VIDERE?

SBi-Anvæntning 220 Lysstyring
Statens Byggeforskningsinstitut ved Aalborg Universitet

DS/EN12464-1:2011
Lys og belysning - Belysning ved arbejdspladser
Del 1: Indendørs arbejdspladser
Dansk Standard

Bygningsreglementet, BR10/BR15
Trafik- og Byggestyrelsen

Publikationen "Lys & Rum", Lyskultur
<http://lys.kultursej/arkiv/nummer-och-arbetspladser/>

ODDIVER Danish Danish Arkiv Lys 2016
REDAKTOR: Anne Sofie B. og Lise Lotte Madsen
GRAFISK DESIGN & LAYOUT: Camilla Bjarre Gøttlieb
FOTO: Anders Bjarre

Ingen belysningsløsning giver mening uden fokus på brugerne. I denne folder finder du inspiration og genveje til, hvordan du kommer videre i dit eget projekt.

Få et hurtigt indblik i, hvordan den nyeste forskning kan hjælpe dig med at gøre løsningerne bedre og mere energibesparende.



Referencer

- Boyce, P.R., Veitch, J.A., Newsham, G.R., Jones, C.C., Heerwagen, J., Myer, M. & Hunter, C.M. (2006). Occupant use of switching and dimming controls in offices. *Lighting Research and Technology*, 38, 358-378
- Dansk Standard. (2011). *Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places* (DS/EN 12464-1:2011). Charlottenlund: Dansk Standard.
- Hansen K.G. & Hansen A.R. (2016). *Forskellen mellem målt og beregnet energiforbrug til opvarmning af parcelhuse*. København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- Hvass, M. 2015. *Er lyset tilpas? Tilpas lyset*. LYS, 4, s. 34-35
- Logadóttir, A. (2010). *Method of Adjustment*. Frederiksberg: ELFORSK. Lokaliseret 04/07/2016 på: http://www.elforsk.dk/elforskProjects/340-036/340-036_Slutrapport.pdf
- Logadóttir, Á., Christoffersen, J. & Fotios, S.A. (2011). Investigating the use of an adjustment task to set preferred illuminance in a workplace environment. *Lighting Research & Technology*, 43, 403-422.
- Logadóttir A., Christoffersen J., Johnsen, K. & Knudsen, H. (2012). *Lys og indeklima i storrumskontorer*. København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- Moore T., Carter, D.J. & Slater, A.I. (2003). Long-term patterns of use of occupant controlled office lighting. *Lighting Research and Technology*, 35, 43-59.
- Rea M.S. (1986). Toward a model of visual performance: foundations and data. *Journal of Illumination Engineering Society*, 15, 41-57.
- Spectranord. (2015). *DayLight Monolith - PC6060*. Lokaliseret 08/10/2015 på: <http://www.spectranord.dk/daylightpc6060/>
- Trafik og Byggestyrelsen. (2016). *Bekendtgørelse af offentliggørelse af bygningsreglement 2015* (BR15) (BEK nr. 1028 af 30/06/2016) med (BEK nr. 1514 af 30/11/2016). København. Lokaliseret 08-02-2017 på: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=183152>
- Uttley, J., Fotios, S., Cheal, C. (2013). Satisfaction and illuminances set with user-controlled lighting. *Architectural Science Review*, 56, 306-314.

Bilag

Lokalet

Reflektanser for de afgørende flader i forsøgslokalet vises i Tabel 6. Målingerne er taget ved hjælp af et Hagner model EC1 Luxmeter og er valideret ved brug af en Konica Minolta LS-100 luminansmåler.

Tabel 6. Reflektanser i lokalet.

Materiale	Reflektans
Hvid væg	0,81
Bord	0,51
Hvid dør	0,75
Gråt linoleumsgulv	0,15
Loft	0,82
Stol	0,45
Whiteboard	0,75

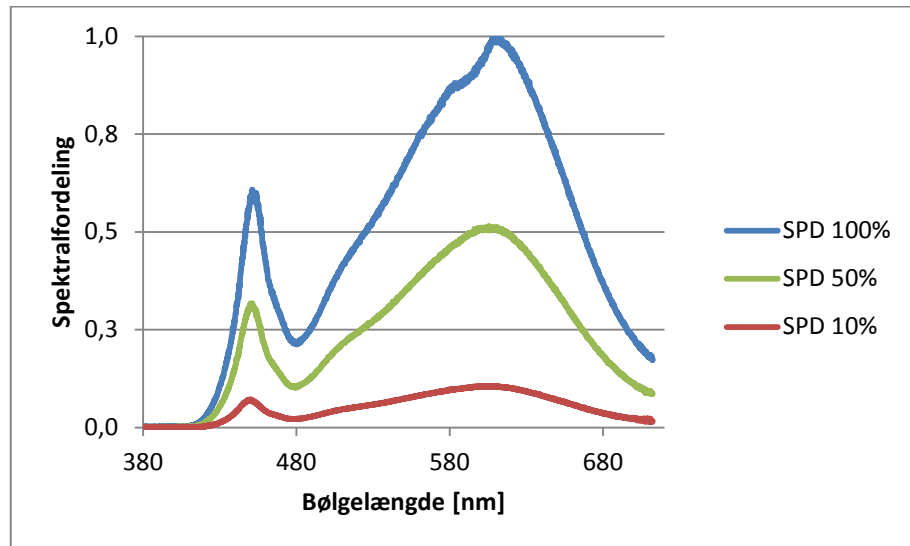
Lysinstallationen

I lokalet er der installeret 38 stykke DayLight PC6060 – Square armaturer fra Spectra Nord (Spectra Nord, 2015). Ved regulering af almenbelysningen benyttes 8 armaturer, som alle er indstillet til samme intensitet, afhængigt af det interval som er til rådighed (maks. 50 lx, maks. 100 lx, maks. 200 lx og maks. 500 lx). Ved regulering af arbejdsbelysningen er der et fast bidrag fra almenbelysningen ved brug af 7 armaturer fordelt i lokalet og selve arbejdsbelysningen reguleres ved brug af to armaturer, som dækker arbejdsområdet fra hver sin side, reguleringen foregår iht. det intervalområde, som er tilgængeligt til den tid (maks. 100 lx, maks. 200 lx og maks. 500 lx).

Ifølge Spectra Nord bruger armaturerne 48 W og giver maksimalt 4250 lm. Farvetemperaturen kan indstilles mellem 3000-5500 K, farvegengivelsen ligger over 85 og lysfordelingen er diffus. Armaturenes indstillinger for spektralfordelingen, farvetemperaturen, farvegengivelsen og belysningsstyrker i lokalet er dokumenteret i efterfølgende afsnit.

Spektralfordelingen

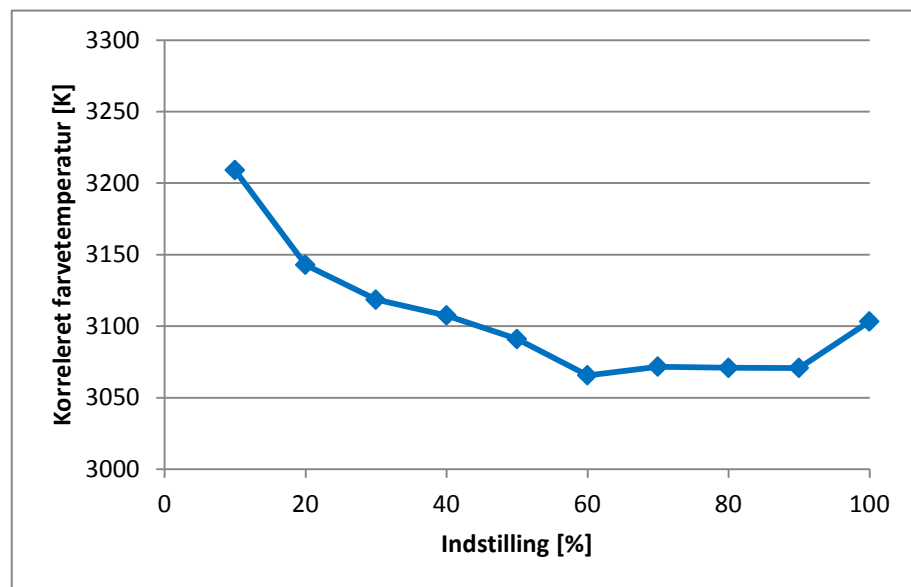
Armaturets spektralfordeling (SPD) er målt for bølgelængderne i det synlige spektrum ved hjælp af et Ocean Optics HR4000 spektrometer og Ocean Optics SpectraSuite software. Eksempler for 10 %, 50 % og 100 % indstilling kan ses i Figur 15.



Figur 15. Lysets spektralfordeleling for 10, 50 og 100 % belysningsstyrke.

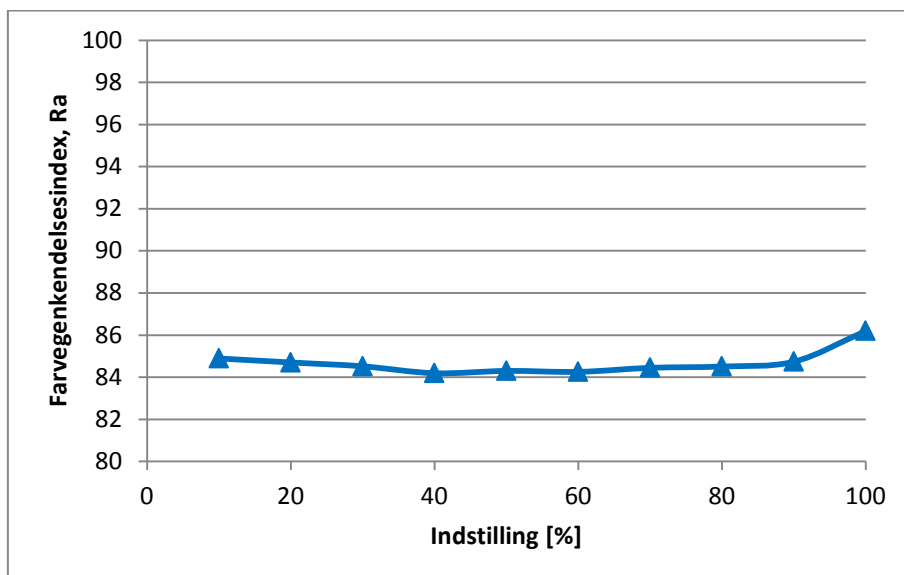
Farvetemperatur og farvegengivelse

Farvetemperaturmålingerne vises i Figur 16. En farvetemperatur indstillet over 50 % viser sig at være stabil mellem 3060-3100 K, mens for en indstilling under 50 % varierer farvetemperaturen mellem 3100-3200 K, farvetemperaturen stiger, mens indstillingerne falder. Målingerne er lavet ved hjælp af et Ocean Optics HR4000 spektrometer og er samlet på computeren gennem Ocean Optics SpectraSuite software.



Figur 16. Korreleret farvetemperatur ved forskellige indstillinger.

Farvegengivelsen for de forskellige indstillinger vises i Figur 17. For 10 %-90 % ligger farvegengivelsen på 84-85 imens den ligger på 86 for en indstilling på 100 %.



Figur 17. Farvegengivelse ved forskellige indstillinger.

Belysningsstyrker og regelmæssighed

Lysindstillingerne i testlokalet er blevet indstillet til at kunne overholde kravene i den europæiske standard for lokaler benyttet som et kontor. Kravene for minimum belysningsstyrke \bar{E}_m og regelmæssighed (U_0) for vægge og loft samt arbejds- nær- og baggrundsområde er beskrevet i EN 12464-1 (Dansk standard, 2011) og er vist i tabel 7 for kontorer. Arbejdsområdet dækker et område på 60 × 60 cm horisontalt på arbejdsbordet. Nærområdet optager et areal på mindst en halv meter omkring arbejdsområdet i synsretningen. Desuden dækker baggrundsområdet mindst 3 meter, hvis muligt, omkring nær- og arbejdsområdet.

Tabel 7. Belysningsstyrker og Regelmæssighed i kontorlokale ifølge DS/EN12464-1 (Dansk Standard, 2011).

Målepunkt	Minimum \bar{E}_m	Minimum U_0
Vægge	75 lx	0,10
Loft	50 lx	0,10
Arbejdsområde	500 lx	0,60
Nærområde	300 lx	0,40
Baggrundsområde	1/3 * Nærområde lx	0,10

Belysningsstyrker er målt ved hjælp af et Hagner model EC1 Luxmeter. Antallet af målinger varierer efter størrelsen af arealet og følger anbefalingerne fra den europæiske standard EN 12464-1 (Dansk standard, 2011) vedrørende antallet af målepunkter og afstanden imellem dem.

De målte værdier kan ses i tabel 8. Tabellen viser middelværdier, hvor flere forskellige målinger er taget, fx vises vægbelysningen som middelværdien af flere vægge.

Samtlige målinger i testlokalet overholder kravene i den europæiske standard DS/EN12464-1 (Dansk standard, 2011)

Tabel 8. Belysningsstyrker og Regelmæssighed i lokalet.

Målepunkt	\bar{E}_m	U_0
Vægge	77 lx	0,49
Loft	61 lx	0,41
Arbejdsområde		
100lx	101 lx	0,96
200lx	202 lx	0,98
500lx	502 lx	0,94
Nærområde (minimum)		
100 lx	101 lx	0,91
150 lx	194 lx	0,94
300 lx	469 lx	0,86
Baggrundsområde (minimum)		
100 lx	120 lx	0,60
100 lx	147 lx	0,61
100 lx	227 lx	0,54

Udover disse er der lavet målinger for den almene belysning. Kravene for den almene belysning er at have en belysning på 50, 100, 200 eller 500 lx i lokalet. De målte værdier for den almene belysning ses i tabel 9.

Tabel 9. Belysningsstyrker og Regelmæssighed for almen belysning.

Målepunkt	\bar{E}_m	U_0
Almen belysning		
50 lx	54 lx	0,58
100 lx	110 lx	0,56
200 lx	212 lx	0,57
500 lx	515 lx	0,56

Denne rapport handler om strategier for regulering af lys, der tilfredsstiller brugerne, og som har et højt energibesparelsespotentiale. Første del af rapporten dokumenterer konklusioner fra et seminar om brugertilfredsstillende, energieffektive reguleringsstrategier, som blev afholdt på Glyptoteket i november 2015. Anden del dokumenterer brugerforsøg, der er gennemført for at undersøge, hvad der har betydning for brugernes tilfredshed, når de regulerer lys, og hvor stort energibesparelsespotentialet er for forskellige reguleringsstrategier. Resultaterne viser, at manuel lysregulering kan være både energieffektiv og tilfredsstillende for brugerne, samtidig med at minimumsniveauerne i de gældende lysstandarder bliver overholdt. Rapportens resultater forventes at kunne indgå i lysreguleringsstrategier, der kan anvendes til at udvikle eksisterende og nye lysinstallationer.

1. udgave, 2017
ISBN 978-87-563-1833-4



ELFORSK



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

SPECTRA *Nord*

DCL



Dansk Center for Lys