



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Kamerabaseret lysstyring: lysstrømsændringer og hastighed

Afslutningsrapport PSO 345-025

Logadóttir, Asta; Korsgaard, Dannie Michael; Møjen, Johannes; Roien, Martin Grun; Bjerre Nielsen, Tommy

Publication date:
2016

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Logadóttir, A., Korsgaard, D. M., Møjen, J., Roien, M. G., & Bjerre Nielsen, T. (2016). *Kamerabaseret lysstyring: lysstrømsændringer og hastighed: Afslutningsrapport PSO 345-025*. SBI Forlag. SBI Nr. 2016:12

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

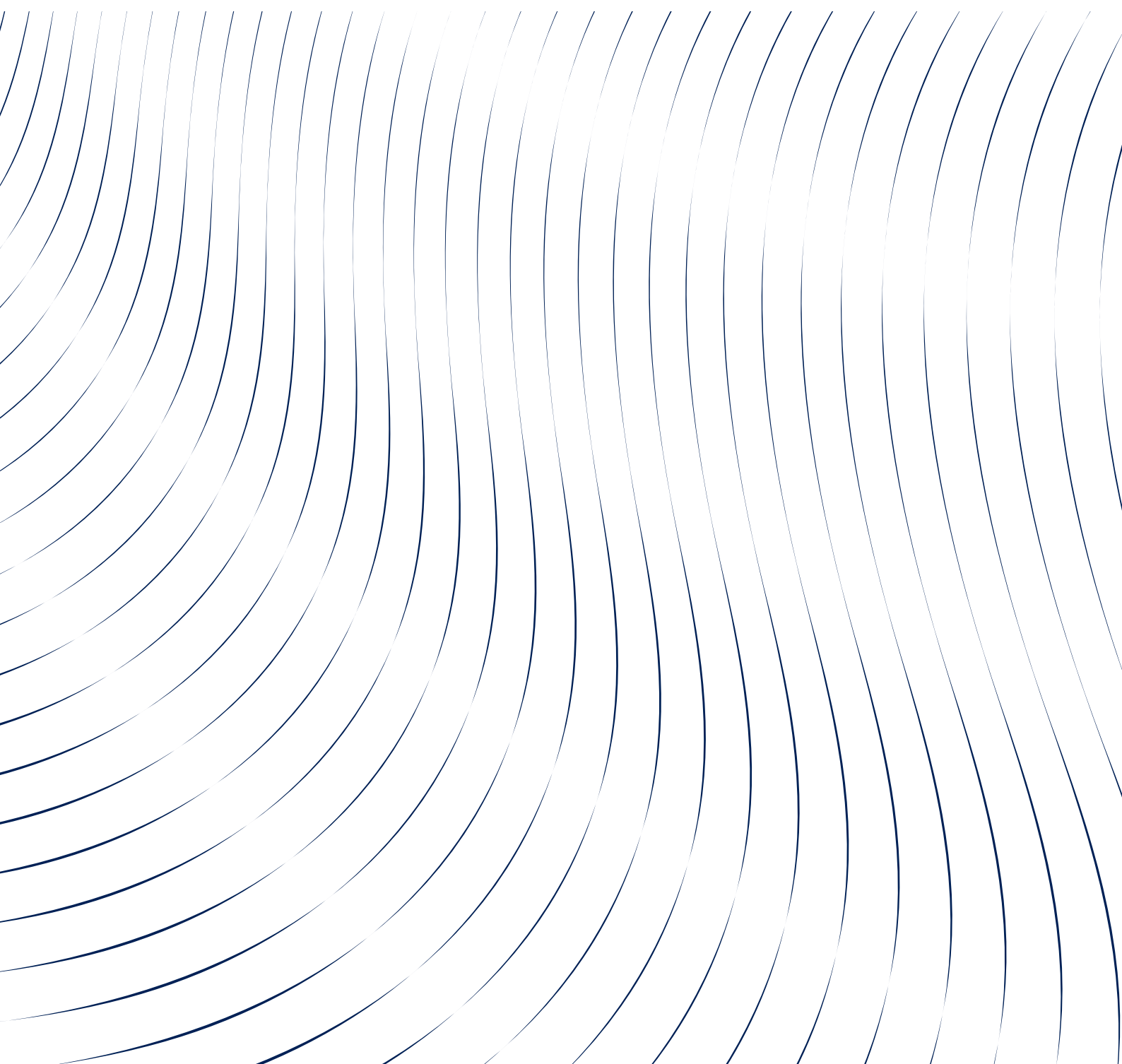


STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

KAMERABASERET LYSSTYRING: LYSSTRØMSÆNDRINGER OG HASTIGHED

AFSLUTNINGSRAPPORT PSO 345-025

SBI 2016:12



Kamerabaseret lysstyring: Lysstrømsændringer og hastighed

Afslutningsrapport PSO 345-025

Ásta Logadóttir
Dannie Michael Korsgaard
Johannes Møjen
Martin Grun Roien
Tommy Bjerre Nielsen

Titel	Kamerabaseret lysstyring: Lysstrømsændringer og hastighed
Undertitel	Afslutningsrapport PSO 345-025
Serietitel	SBi 2016:12
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2016
Forfattere	Ásta Logadóttir, Dannie Michael Korsgaard, Johannes Møjen, Martin Grun Roien, Tommy Bjerre Nielsen
Sprog	Dansk
Sidetæl	28
Litteratur-henvisninger	Side 24
Emneord	Lysstyring, sensor, kamera
ISBN	978-87-563-1767-2
Fotos	Johannes Møjen og Martin Grun Roien
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	6
Projektets forløb.....	7
Formål	8
Udvikling af kamerabaseret lysstyring.....	9
Funktionsbeskrivelse	9
Udviklingsforløbet	10
Lysforholdsanalyse	11
Tilstedeværelsesanalyse.....	12
Brugervurderinger af lysændringshastighed	15
Simulerede dagslysændringshastigheder	15
Metode	15
Lokalet	16
Procedurer ved brugerevalueringstests.....	16
Resultater.....	18
Konklusioner	21
Fremtiden for kamerabaseret lysstyring.....	22
Referencer.....	24
Bilag.....	25
Lokalet	25
Lysinstallationen	25
Spektralfordelingen	25
Farvetemperatur og farvegengivelse	26
Belysningsstyrker og regelmæssighed	27

Forord

Projektets formål er at udvikle en prototype af kamerabaseret lysstyringsteknologi, som kan opnå energibesparelser samt skabe et visuelt tilfredsstillende miljø for brugerne. Kameraer er særligt følsomme overfor lysintensitet, og derfor var en stor del af opgaven i projektet at definere hastigheden af lysstrømsændringerne. Der er foretaget laboratorieforsøg med forsøgspersoner for at bestemme hvilke hastigheder (lx/s) og grad af lysstrømsændringer (%), der vurderes acceptable til regulering.

Den udviklede lysstyringsteknologi er baseret på konventionelt kameraudstyr samt software, som kan udføre de nødvendige analyser til styring af lyset i et testlokale. Teknologien gør det muligt at styre belysningen ud fra en holistisk betragtning af det arbejdslokale, som ses af kameraet. Kameraet og det tilhørende software kan se og analysere et større område, hvilket gør det muligt at regulere belysningen i forhold til de forskellige lokale arbejdspladser i fx et storrumskontormiljø.

Rapporten indeholder dokumentation af de afprøvede metoder under prototypens udvikling samt forsøg til bestemmelse af bruger-acceptabel lysreguleringshastighed og ændring i intensitet. Projektets formål er at udvikle en prototype, og rapporten bør bruges som et udgangspunkt for videreudvikling af et endeligt kamerabaseret lysstyringsprodukt.

Denne slutrapport omhandler PSO-projekt nr. 345-025 og er støttet af EL-FORSK. Projektet er forløbet fra 1. kvartal 2013 frem til og med 4. kvartal 2015.

Statens Byggeforskningsinstitut på Aalborg Universitet København har været projektleder og projektdeltagere er Niko-Servodan og Institut for Arkitektur og Medialogi på Aalborg Universitet København. Danmarks Tekniske Universitet (DTU) Byg blev involveret i projektet gennem Martin Grun Roiens kandidatspeciale i 2013.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Afdelingen for Energi og Miljø
Marts 2016

Søren Aggerholm
Forskningschef

Hovedkonklusioner

Projektets formål var at bygge en prototype for kamerabaseret lysstyring. Denne prototype skulle styre lyset afhængigt af tilstedeværelse og lysforhold i lokalet, som lysstyringssystemer gør i dag. Derudover skulle systemet vurdere lokalet som en helhed og på den baggrund kontinuerligt indregulere lyset for at opnå et godt visuelt miljø og energibesparelser.

Den udviklede prototype til kamerabaseret lysstyring består af et kamera, en computer og software, som ligger på computeren. En stor del af arbejdet lå i udviklingen af software til at analysere billederne og kommunikationen mellem software og en kontrolenhed, som styres ved DALI protokollen. Lysregulering blev baseret på lysomgivelserne og detektering af tilstedeværelsen i lokalet og foregår i den færdige prototype på følgende måde:

Lysregulering sker ved, at billeder fra kameraet bliver omdannet til HDR billeder, der herefter analyseres ved brug af algoritmer. HDR billederne danner grundlaget for beregning af luminanser, som bliver omdannet til belysningsstyrker på forudbestemte områder fx arbejdsområder. Lyset i området reguleres ifølge standarder, uafhængigt af hvor lyset kommer fra (fx dagslys eller elektrisk belysning).

Tilstedeværelse bestemmes ud fra billedanalyse-algoritmer. To forskellige metoder med forskellige algoritmer til billedanalyse er anvendt i projektet. Begge metoder viser sig at medføre fejlregistrering af personer i området, som medfører unødigt lysbidrag og dermed højere energiforbrug end nødvendigt.

Projektet giver forslag til en metode, som vurderes at medføre færre fejlvurderinger, men som skal testes efterfølgende i forbindelse med videreudvikling af systemet.

Den metode, som foreslås til registrering af tilstedeværelse, baseres på lysændringshastighed, som brugervurderinger viser, skal ligge mellem 1 lx/s og 10 lx/s ved omkring 20 % lysændring, for at det er størst sandsynlighed for, at brugerne synes, at lysreguleringen er acceptabel.

Vigtigt at tænke over:

- Opsætning af kamera: Kameraets synsvinkel er afgørende for styring af lyset i lokalet (kendt fra nuværende lyssensorer).
- Sikkerhed: Billedmaterialet bør slettes for at undgå overvågning af lokalet.

Indledning

Der er både politisk og forskningsmæssigt – offentligt som privat – stort fokus på at opnå energibesparelser i driften af bygninger. Med fortsat skærpede krav til bygningers energirammer og intensiverede fastlæggelse af politisk strategi for den samlede globale reduktion af CO₂ emission, er det tydeligt, at energibesparelser er kommet for at blive. Mere konkret for byggeri estimeres det, at ca. 20 % af en bygnings samlede energiforbrug går til elektrisk belysning. Nye teknologier indenfor 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.

Som nævnt anslås det, at der fortsat er store energibesparelser at opnå ved at gøre brug af mere energieffektive lyskilder og øget brug af lysstyring. Kontorarbejdspladser, lysstyring og potentielle energibesparelser er omdrejningspunktet for dette projekt. Kontorarbejdspladser er typisk i brug i dagtimerne, hvilket gør det muligt at udnytte dagslys til gratis at oplyse kontorarbejdspladser. Samtidig er der mange kontorer, hvor ansatte har forskudte mødetidspunkter, møder i løbet af dagen, fravær eller andre skiftende forhold som gør at der ikke er et konstant brugsmønster i kontormiljøer. Tilstedeværelseselementet er derfor et vigtigt element i forhold til lysstyring. Der er et stort potentiale for besparelser ved at skrue ned for lyset, når der ikke er brug for det.

Elforbruget til belysning er en af de lavt hængende frugter, når vi taler energiforbrug i bygninger. Alligevel er der konstateret en langsom udvikling inden for renovering og investering af energieffektive belysningsanlæg. En af grundene for den langsomme omstilling til mere energieffektiv belysning er startomkostningerne. Det er vigtigt, at tilbagebetalingstiden er indenfor rimelige grænser. Med kameraer i hver mobiltelefon og computer er denne teknologi blevet alle mands eje, og er dermed en interessant teknologi at arbejde med i relation til lysstyring. Samtidig er teknologier indenfor visuel detekteringsteknik og billedteknik blevet udviklet, som gør det muligt at få informationer om fordelingen af luminanser i billedet og identificere tilstedeværelse. Disse fremskridt indenfor billedanalyse kan anvendes i en kamerabaseret lysstyring. Optimal energieffektivitet og brugertilfredshed forventes at kunne opnås ved at kombinere de mest energieffektive lyskilder på markedet med denne type lysstyring.

Det er vigtigt at anerkende, at belysning er en betydelig indeklimaparameter, som påvirker brugernes oplevelse af de lokaler, de arbejder i. Det skal understreges, at det visuelle miljø er vigtigt, når belysningsanlæg designs, således at jagten på energibesparelser ikke kommer til at resultere i et utilfredsstillende visuelt indeklima.

Projektet introducerer et lysstyringsparadigme, der er det første skridt i retningen af at kunne få et holistisk syn på belysningsforholdene i et lokale. Projektet giver ikke direkte svar på, hvordan et tilfredsstillende lysmiljø opnås, men der lægges op til at gøre det muligt at styre lyset i forhold til tilstedeværelsen af brugere og lyskontrastforhold i lokalet. Brugerundersøgelserne bidrager med information om, hvor hurtigt og hvor meget lyset kan ændres ad gangen, imens bruger tilfredsheden bevares. Samlet set ses denne

information som et grundlæggende fundament, der skal til for at kombinere energibesparelser og et tilfredsstillende belysningsmiljø.

Projektet demonstrerer et alternativ til de konventionelle lysstyringer, der benyttes i dag ved at gøre brug af kamerateknologi og tilhørende billedanalyse software til at kombinere energibesparelser og brugerorienteret lysstyring.

Projektets forløb

Projektet deltager er Institut for Arkitektur og Medialogi på Aalborg Universitet København, Niko-Servodan og Statens Byggeforskningsinstitut på Aalborg Universitet København, som også står for projektledelsen.

Projektet startede i marts 2013 og blev afsluttet i december 2015. Den første del af projektet blev dokumenteret i et M.Sc. afgangsprøve af Martin Grun Roien på Danmarks Tekniske Universitet (DTU) i oktober 2013 [1]. På daværende tidspunkt var lysstyringen manuel og kunne ikke automatiseres, men forarbejdet var lavet og analyser blev afprøvet manuelt. Herefter fortsatte arbejdet med at få komponenterne til at arbejde sammen, for at prototypen virkede. Det lykkedes med lysreguleringen, men to forskellige metoder til at registrere tilstedeværelse i lokalet blev vurderede utilfredsstillende. Brugervurderinger blev udført for at optimere lysreguleringen i forhold til ændringshastighed. Resultaterne heraf er fundamentet til den metode, som foreslås til at vurdere tilstedeværelse i lokalet og samtidigt kan benyttes til alle andre lysstyringsanlæg, uafhængigt af teknologien, som anvendes.

Formål

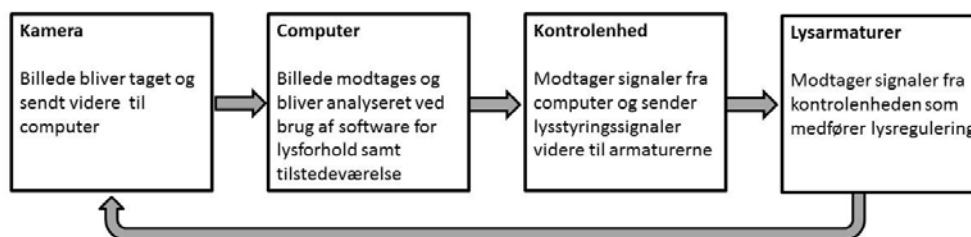
Projektets overordnede formål er at udvikle en prototype til en ny avanceret kamerabaseret lysstyring, som kan regulere den elektriske belysning i fx et kontormiljø i henhold til kendte styringsprincipper for tilstedeværelse og dagslys udnyttelse. Samtidig introduceres muligheden for at kunne regulere belysningen i forhold til lyskontrastforhold i et lokale, fordi kameraet har mulighed for at betragte lokalet som helhed (holistik) fremfor de klassiske lysstyringsprincipper, som baserer sig på evalueringer af lysforholdene i et areal/zone ad gangen. Hensigten med styringsprincippet er at reducere energiforbruget til belysning i bygninger samtidigt med, at det visuelle miljø forbedres, fordi styringen sker ud fra en rumlig lysfordelingsbetragtning i det pågældende lokale. Brugertilfredshedsundersøgelserne om lysreguleringshastigheder bidrager til den generelle viden om tilfredsstillende visuelt miljø. Det er vigtigt at understrege, at energibesparelser ikke skal opnås for enhver pris, da belysningen skal understøtte brugernes behov. Derfor vil dette projekt sætte fokus på lysstyring i spændingsfeltet, hvor energibesparelser og et tilfredsstillende visuelt miljø mødes.

Lysstyringskonceptet er tiltænkt i fremtiden at kunne bruges til energirenovering af eksisterende belysningsanlæg i kontormiljøer samt på sigt at kunne efterleve fremtidens kommende behov/krav til styring af nye komplekse belysningssystemer bestående af bl.a. LED lyskilder, som fx indgår i bygnings arkitektoniske udtryk. Det forventes, at dette lysstyringskoncept har et energibesparelspotentiale på mellem 20-50 % på grund af styringen i forhold til tilstedeværelse og lysforhold.

Udvikling af kamerabaseret lysstyring

Funktionsbeskrivelse

Udviklingen af lysstyringskonceptet til elektrisk belysning i kontormiljøer baserer sig på viden om anvendelse af digitale billedanalyser. Lysstyringens hardware består af et digitalkamera til at tage billeder, en computer til at udføre analyserne samt en kontrolenhed som kommunikerer med lysarmaturerne. Lysstyringen kan dermed tage højde for og inddrage kameraets synsfelt i analyserne. Dertil hører software, som er udviklet til to formål. Det første er at kunne registrere personers tilstedeværelse i forudbestemte områder, det andet er at tage højde for lysforholdene i rummet. Når softwaren har analyseret billederne for de to forhold, skal der genereres et styringssignal, som medfører en regulering af lyset fra lokalets lysarmaturer. Herved tilpasses lyset de steder i lokalet, hvor der er behov for det.



Figur 1. Hovedtrækkene i opsætningen af lysstyringen.

Figur 1 viser lysstyringssystemets opbygning. Kameraet bruges til at tage billeder som input til softwaren i computeren. Softwaren bruges til at analysere billederne i forhold til tilstedeværelse og lysforholdene i lokalet. Billedanalysen udmøntes til signaler, som sendes til kontrolenheden, som igen sender signaler til lysarmaturerne i lokalet. Figur 1 viser, at systemet er opbygget som en gentaget proces, hvor forholdene i det pågældende lokale evalueres af systemets software og belysningen indreguleres herefter, hvis analyserne viser behov for regulering. Et eksempel herpå er, når der kommer meget dagslys i lokalet, så sænkes den elektriske belysning i de områder, hvor dagslyset har en betydning for lysforholdene.

Et typisk lysstyringssystem på markedet i dag vil bruge en lyssensor til at evaluere lyset indenfor et specifikt område. Hvis lyset måles fx højere end målsætningsværdien, så sendes der typisk besked til en eller flere armaturer om, at der skal skrues ned for lysstrømmen. Her vil det typisk være et reguleringstrin (antal lux per sekund), som er afhængigt af det enkelte produkt og programmørens erfaring. Der bliver herefter reguleret et trin ad gangen, indtil målsætningsværdien er nået.

Den udviklede kamerabaserede lysstyring sigter direkte efter målsætningsværdien og mod at undgå for mange evalueringer i den proces. Det medfører færre analyser, som fremgår af den gentagede proces forklaret i figur 1. Tidsintervaller mellem hver analyse er en afgørende faktor for, at systemet virker som tiltænkt. Hvis billederne bliver taget med for korte mellemrum, dvs. i forhold til den tid det tager at analysere billederne, sende signalerne videre til kontrolenheden og udføre lysændringen; så er billedernes resultater ikke beskrivende for lysindstillingen fra tidligere analyse. Fx hvis billedet viser, at der er for højt et lysniveau på arbejdspladsen, sendes der et signal

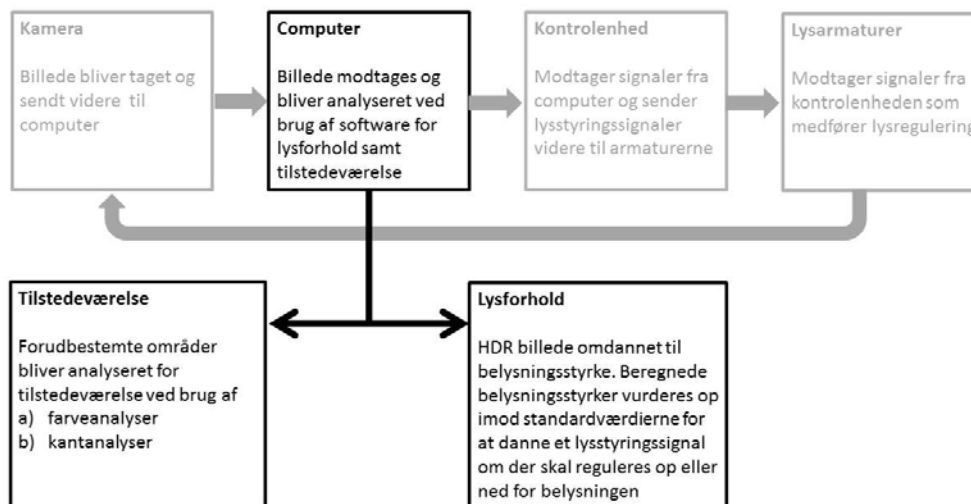
om at sænke lysstrømmen fra armaturet i nærheden. Analysen herefter viser højere lysniveau end det ender med at nå ned til og sender et signal af sted om at sænke lysstrømmen, som dog i dette tilfælde er nået ned til målsætningsværdien og dermed sænkes lyset yderligere. Herefter fortsætter analysen af billeder og medfører unødvendig kontinuer stigning og nedsænkning i lysniveauet. Sådant en proces vil kræve mange ressourcer og konstante analyser af halvfærdigt indregulerede lysomgivelser. Til gengæld, hvis der går for lang tid mellem billedanalyser, kan en person nå til et nyt arbejdsområde og begynde at irritere sig over et for lavt lysniveau, når systemet ikke svarer hurtigt nok på efterspørgslen.

Problemet med tidsintervaller mellem analyser er kendt fra eksisterende lysstyringsløsninger på markedet i dag. En typisk måde at undgå problemet i eksisterende løsninger er at indstille tidsintervaller med lange nok mellemrum til at undgå at lysanlægget konstant skruer op og ned for lyset. En alternativ løsning er, at programmere styringsløsningen således, at det område, der er ved at blive reguleret, ikke kan opdateres yderligere, før lysændringerne er reguleret færdig. Til gengæld bør det stadig være muligt at regulere andre arbejdsområder i mellemtiden, i tilfælde af at en bruger har skiftet arbejdsplads. I den udviklede prototype er det muligt at indstille tid mellem analyser afhængigt af den tid, det tager at analysere billeder, sende signaler mellem de forskellige komponenter i systemet og den tid, det tager at regulere belysningen.

Udviklingsforløbet

Da fokus fra starten var at bruge prisbillige komponenter til at udvikle systemet, blev der i starten af udviklingsforløbet brugt et billig Logitech webkamera i forbindelse med tilstedeværelsesanalysen, samt et billigt Canon digital-kamera til analysen af lysforholdene. En detaljeret forklaring af brugen af disse to typer kamera forklares i Martin Grun Roins kandidatspeciale fra DTU [1]. Derefter blev der arbejdet på at kunne udføre analyserne ved brug af et enkelt kamera. Dvs. at der kun er et enkelt kamera, som generer inputs til hhv. tilstedeværelses- og belysningsanalysen. Hertil blev et Raspberry Pi kamera brugt og softwaren lagt på en Raspberry Pi computer [2]. Billederne analyseres ved brug af softwaren, og resultaterne fra billederne og styringen af armaturerne afstemmes. I udviklingsforløbet bestod kontrolenheden først af en analog lysstyringsenhed [1], herefter en Arduino [3] og til sidst af en kontrolenhed fra WAGO [4] grundet renovering af testlokalet.

Figur 2 viser computerens software, og hvordan billeder bliver evalueret både i forhold til persontilstedeværelse på arbejdspladserne og lysforholdene i lokalet. Resultatet af disse analyser bliver omdannet til signaler, som sendes videre til kontrolenheden. Følgende to afsnit forklarer opbygningen af disse to analyser i udviklingsforløbet.



Figur 2. Softwareanalyser af tilstedeværelse og lysforhold.

Lysforholdsanalyse

Lysforholdsanalyserne udføres for at sikre, at der er det lys i lokalet, som standarden for indendørs arbejdspladser DS/EN12464-1 stiller krav om [5]. I fremtiden kan analyserne bruges til at sikre et godt visuelt miljø ved at undgå for store lyskontraster i lokalet. For store lyskontraster medvirker til at lokalet føles mørkt eller at der opleves blænding i lokalet.

Den udviklede prototype er i stand til at vurdere lysforholdene i definerede områder i lokalet som fx arbejdsområder, vægge eller andre større overflader, som vurderes vigtige for brugernes synsfelt.

Lysforholdsanalyser udføres ved brug af "High Dynamic Range" (HDR) billedteknik. Ved at anvende HDR billeder er det muligt at udtrække talværdier for luminansforholdene i billedet, selvom lokalet indeholder meget mørke eller lyse områder. Kort fortalt går HDR billedgenereringsprocessen ud på, at minimum tre billeder (oftest fem eller flere) af samme motiv ved forskellige eksponeringer bliver sat sammen til ét samlet HDR billede. Hermed bliver det muligt at aflæse luminanserne fra samtlige pixels i billedet. I projektet anvendes det Linux baserede script 'hdrgen' til at sammensætte billederne til at danne HDR billeder. En detaljeret beskrivelse af processen findes i Martin Grun Roins speciale [1].

Den europæiske standard for arbejdsbelysning DS/EN12464-1 baseres bl.a. på krav til belysningsstyrker på arbejdsområder, nærområder og baggrundsområder [5]. Prototypens lysforholdsanalyse baseres på de krav, som fremgår af den europæiske standard som målsætningsværdier. Med kendskabet til overfladernes farver og reflektanser ud fra lokalets billeder, er det muligt at omregne luminanserne fra HDR billeder til belysningsstyrker. Denne metode gør det muligt at bedømme belysningsstyrkerne i lokalet. Herefter sammenlignes lokalets belysningsstyrker med standardens målsætningsværdier og forskellen mellem disse to bruges til at danne signaler til regulering af belysningen. Softwaren er i stand til at vurdere, om lysniveauet på arbejdsområdet er lavere eller højere end standardens bestemmelser, og herefter sender softwaren besked til kontrolenheden om at regulere op eller ned for den elektriske belysning i nærheden af det definerede arbejdsområde.

Før systemet tages i brug, skal det igennem en kalibreringsproces. I denne proces opsættes områderne i systemet med information om områdernes reflektans og en minimum belysningsstyrke i overensstemmelse med standarden. Herefter kalibreres systemet ved at kontrolenheden tænder de tilgængelige armaturer en af gangen og registrere, hvor meget lys dette armature

bidrager med i hvert af de definerede områder. Når systemet ved, hvor meget indflydelse hvert armatur yder over hvert område, kan det efter hver lysforholdsanalyse foreslå en optimeret lysfordeling, der opfylder standardens krav [5].

Tilstedeværelsesanalyse

Tilstedeværelsesanalyserne har det primære formål at give en indikation af, hvor de personer, som måtte være tilstedet i lokalet, er placeret. Det er centralt at vide, hvor personer befinder sig i lokalet, så systemet kan give den mest optimale belysning der, hvor der er brug for den, mens at lyset kan dæmpes i de dele af lokalet, hvor belysning er tilstrækkelig.

Den udviklede prototype kan identificere, om der er en person tilstede i foruddefinerede arbejdsområder i lokalet og hermed sørge for, at lysforholdsanalysen foregår i det område og overholder standardens krav til de typer arbejdsopgaver, der forventes at blive udført på stedet. Så længe der detekteres tilstedeværelse i lokalet, vil belysningsanalyse-beregningerne forløbe. Dvs. at der genereres HDR billeder og der omregnes til belysningsstyrker for herefter at regulere den elektriske belysning fra de enkelte armaturer enten op eller ned.

Det kan forekomme, at personer i rummet stiller sig mellem kameraet og et målingsområde og derved skjuler et eller flere af de fastsatte områder, hvor lyset skal måles. Luminansmålingen fra HDR billedet vil i en sådan situation ikke længere være repræsentativ for luminansen på målingsområdet, og den skjulte del af området må derfor ekskluderes fra lysforholdsanalysen. Hvis hele området er skjult, bliver systemet nødt til at lave antagelser omkring lysforholdene i området, f.eks. ved at antage at forholdene er de samme, som da området sidst var synligt. For at kunne fastslå hvor meget af området, som er skjult øges kravene til tilstedeværelsesanalysen, der ikke kun skal være i stand til at klassificere, om der er personer tilstede, men også hvor de tilstedeværende personer optræder på HDR billedet.

Kravene til en tilstedeværelses algoritme er således:

- K1. Den skal være robust overfor skiftende lysforhold.
- K2. Den skal tage højde for, at personer i billedet ofte vil være bag andre objekter i lokalet (som f.eks. når en persons ben er skjult af bordpladen).
- K3. Den skal virke på billeder, som bliver taget med op til et minuts interval.
- K4. Der benyttes så få kameraer som muligt.
- K5. Algoritmen skal kunne identificere den fulde 2D silhuet af en person, som da kan ekskluderes fra målingen af belysningsstyrken.

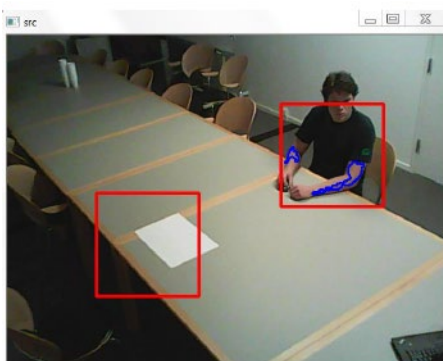
Herefter følger en beskrivelse af de metoder, som er blevet afprøvet i udviklingsforløbet med de udfordringer, som der blev mødt undervejs; samt en beskrivelse af den metode som anbefales til et fremtidigt videreudviklingsarbejde.

Metode 1: farvedetektering

Denne metode leder efter en defineret farve, som repræsenterer et menneske i et forudbestemt område. I dette eksempel er forsøgspersonens hudfarve defineret som en indikation for, at et menneske er tilstedet i området. Figur 3 viser det firkantede røde område som detekteringsområdet, og den blå farve indikerer, hvor algoritmen har fundet tilstedeværelse (forsøgspersonens hudfarve).

Der er flere problemer forbundet med denne metode. For det første kan den ikke detektere hele personens silhuet (K5), da det er sjældent, at tøj, hud og

hår har samme farve. Et andet problem er definitionen af farven. Hvis hudfarven er det, man vælger at gå efter, så vil det medføre, at der skulle laves en database med flere forskellige farvetoner, som repræsenterer menneskehud. Desuden vil objekter i billederne, som har en farve, der ligner den definerede hudfarve for meget, blive fejlforklaret, som hvis der var et menneske tilstede i området. For eksempel, når der ikke var en person tilstede blev armlænerne på stolene i billedet fejlforklaret som værende mennesker pga. deres farve. Ved tilføjelse af flere hudfarve-eksempler vil risikoen for fejlvurderinger kun øges. Risikoen øges yderligere i skiftende lysforhold (K1 svækkes). En fejlforklaring af denne slags betyder, at systemet tolker, at der er personer til stede i analyseområdet, når der reelt ikke er nogen. Denne fejlvurdering medfører unødvendig belysning i området og dermed unødvendigt energiforbrug. Farvedetekteringsmetoden blev derfor ikke vurderet tilfredsstillende egnet til formålet, og alternative metoder blev undersøgt.



Figur 3. Eksempel på tilstedeværelsesanalysens output. Den blå farve indikerer at der er fundet tilstedeværelse på arbejdspladsen til højre i billedet.

Metode 2: baggrundssubtraktion

Baggrundssubtraktion (background subtraction) er en metode, som ofte bruges til at detektere personer på en videosekvens. Metoden består af at gemme et referencebillede af baggrunden, der så "trækkes fra" hvert nyt billede, som bliver taget, således at kun de nye/dynamiske elementer i billedet forbliver tilbage (nævn forgrund). Denne simple algoritme vil med lidt efterbehandling kunne opfylde de fire sidste krav af de fem, som er stillet til algoritmerne. Der hvor metoden får det svært er ved de skiftende lysforhold (K1). Ved lysregulering (som systemet løbende foretager) ændres intensitetsværdierne af baggrunden i billederne, så det gemte referencebillede ikke længere svarer til baggrunden i de nye billeder. Dette vil medføre, at algoritmen opfatter baggrunden som forgrund ved bare den mindste lysændring og dermed vurderer, at der er personer tilstede i lokalet, når dette ikke er tilfældet.

Metoden er velkendt indenfor videoovervågning, hvor der eksisterer en del forskning. Fra forskningen kender man til problemerne med lysændring [6]. For eksempel er en måde at imødekomme lysændringer, brugen af et referencebillede, hvor hver pixel er et gennemsnit af X antal tidligere billeder. Hvis dette referencebillede "trækkes fra" et nyt billede med en lille lysændring, vil differencen være lille (kan fjernes med et filter) og vil hurtigt forsvinde efterhånden som referencebilledet opdateres, mens en pludselig lysændring vil resultere i en længerevarende høj difference. En høj difference vil resultere i, at store dele af billedet kategoriseres som værende nye elementer, som indtræder i billedet, selvom der kun er tale om en belysningsændring. For at imødekomme denne fejlvurdering af tilstedeværelse, er der blevet produceret flere afarter af denne algoritme, som er mere robuste overfor lysændringer. En faktor, som er afgørende for hvor nøjagtigt et resultat der produceres, er hastigheden på lysændringen. En yderligere komplikation er, at hver gang der bliver rykket rundt på ting på kontoret, så som com-

putere og kontorstole kræver det et nyt baggrundsbillede, for at objekterne ikke bliver identificeret som en person i lokalet.

Metode 3: baggrundssubtraktion samt kant detektering (cut out)

Der findes en række metoder, som forsøger at bruge konturen eller omridset af objekter på videosekvenserne til at lave baggrundssubtraktion[7]–[9]. Dette pga. at konturerne er mindre afhængige af lysforholdene. Disse teknikker beskrives at kunne opfylde alle de opstillede krav (K1-5), og de er testet af forfatterne under meget forskellige former for skiftende lysforhold (K1) (f. eks. blinkkende lygte, udendørsbelysning med lette skyer). Disse beskrivelser af variationen i lyskilden er ikke specificeret yderligere (f.eks. i form af I_x/s), hvilket gør det problematisk at sidestille den variation, som systemet kan levere med de (i artiklerne) nævnte lysforhold. Projektet afgrænses derfor med en udspecificering af K1 gennem en brugervurdering af, hvilken grad af variation i lyset, der er acceptabel.

Brugervurderinger af lysændringshastighed

For videreudvikling af prototypen er det vigtigt at kende til lysændringshastigheden i systemet. Denne information skal bruges til at optimere vurdering af tilstedeværelse. Lysændringshastigheden har indflydelse på det visuelle miljø hos brugerne. Ved ændringer i dagslysforhold skal lysstyringsystemet sørge for, at den elektriske belysning reagerer på en acceptabel måde. Hvis systemet reagerer for hurtigt, risikerer brugerne at opleve blink i form af for hurtige ændringer i den elektriske belysning. Ligeledes hvis systemet reagerer for langsomt, risikerer brugerne at opleve, at lokalet bliver mørkt, hvis dagslysbidraget bliver reduceret hurtigt, uden at den elektriske belysning når at følge med – dvs. hvis der går for lang tid, inden den elektriske belysning når at komme op på et bruger-acceptabelt tilstrækkeligt niveau hurtigt nok.

Formålet med denne undersøgelse er at undersøge, om ændringer i lyset registreres og accepteres af brugerne. Resultatet er vigtigt for videreudvikling af tilstedeværelsesvurderingen ved brug af kamerateknologi, og samtidig er informationen relevant for lysstyringsystemer generelt, uafhængigt af teknologi. Forsøget vil vise, om forsøgspersoner lægger mærke til lysændringerne, og i så fald om de finder ændringerne acceptable. Igennem hele forsøget vil ændringer i det simulerede dagslys være den bestemte faktor, og den elektriske belysning vil blive tilpasset for at imødekomme målsætningsværdier for arbejds- nær- og baggrundsområder ifølge DS/EN12464-1 [5].

Simulerede dagslysændringshastigheder

Dagslyset er den optimale lyskilde, som er umuligt at styre. Når forsøg skal gennemføres indenfor en begrænset tidshorisont og ved brug af så få forsøgspersoner som muligt, er det en fordel at simulere dagslysets egenskaber, som er af interesse for de enkelte forsøg. For at sikre brugerbesvarelser for forskellige dagslysforhold simuleres dagslysændringshastigheder i dette forsøg. Ændringerne i det simulerede dagslys er valgt på baggrund af dagslysændringsanalyser foretaget i Danmark. Analyserne bestod af belysningsstyrkedata for tre overskyede dage og tre dage med skiftende vejrforhold. Dataanalyserne viste, at en overskyet himmel havde en langsom ændring på 8 lx/s, mens der under periode med skiftende vejrforhold er en hurtigere ændring, der blev målt til 90 lx/s. For at nærme sig en optimal hastighed for ændringer i elektrisk belysning bliver tre forskellige lysændringshastigheder evalueret i testen.

Metode

Forskningslitteraturen kommer til kort, når lysændringshastighedsværdier er forsøgt identificeret, og ifølge producenterne er der som regel et par forudbestemte værdier, man kan vælge imellem i deres programmer, og en programmør vælger hastigheden "som de plejer" for situationen.

En del litteratur findes inden for "smartlighting" eller "loadshedding"-området, som i bund og grund består af at reducere belysningen, når belastningen på El-nettet er i top. De forsøg, som er dokumenteret indenfor området, omfat-

ter kun lokaler med meget begrænset dagslystilgang, som er meget forskelligt fra arbejdslokaler i Danmark. Ifølge disse undersøgelser kan en dæmpning på $\leq 20\%$ ændres hurtigt (10-100 lx/s), uden at der lægges mærke til det [10].

Det forventes, at testen vil give et overblik over hvor store og hurtige intervaller for ændringer i den elektriske belysning, brugerne finder acceptable. Denne information er både interessant for lysstyring generelt, samt for den fremtidige proces med at udvikle kamerabaseret lysstyring.

Lokalet

Forsøget udføres i et lukket opdelt lokale, som skal forstille et kontor. Der er plads til to testpersoner placeret ved et bord tæt på en kunstig facade, som forstiller et vindue dækket til af gardiner. Denne facade vil simulere og fungere som værende dagslys fra et vindue (se figur 4).



Figur 4. Forsøgsopstillingen: To arbejdspladser placeret op mod efterligningen af facaden dækket til af gardiner.

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

Procedurer ved brugerevalueringstests

Ved forsøgspersonernes ankomst forklarer forskeren, hvad der forventes af forsøgspersonerne. De bliver bedt om at læse en tekst, som indeholder noveller og eventyr og svare på et spørgeskema efter hver testperiode. Spørgeskemaet består af spørgsmål om, hvorvidt de har oplevet ændringer i belysningen i løbet af testperioden og om de synes lysforholdene har været

acceptable. De to spørgsmål er begge ja/nej spørgsmål og lyder som følger: "Opdagede du en ændring i lysintensiteten i løbet af testperioden?" og "Var lysforholdene i løbet af testperioden acceptabelt?". Imens forskeren indstiller til et nyt udgangspunkt, bliver forsøgspersonerne bedt om at bruge sovemasker for at undgå før-indikationer for belysningsforholdene i lokalet. I slutningen af testen bliver testpersonerne bedt om at rapportere enkelte personoplysninger vedrørende køn, alder og synstilstand. Testopstillingen kan ses i figur 5, hvor forsøgspersoner er i gang med at svare på spørgeskemaer med sovemaskerne placeret på panden.



Figur 5. Forsøgspersoner svarer på spørgeskema.

Lysændringerne bliver kontrolleret af en testansvarlig ved hjælp af en iPad med en applikation produceret til formålet. Scenarierne forekommer i tilfældig rækkefølge for at undgå bias grundet rækkefølgen.

Igennem forsøget vil lysændringerne forekomme i forskellige intensitet- og tidsintervaller. Intensitetsændringerne er beskrevet i trin for både simuleret dagslys og elektrisk belysning, hvilket beskriver ændringen i lux per sekund (lx/s). Ændringerne i trin for dagslys er valgt på baggrund af undersøgelser af dagslysændringer i Danmark. Der blev valgt en langsom ændring (8 lx/s) som eksempel på en overskyet dag, samt en hurtig ændring (90 lx/s) som eksempel på en dag med skiftende vejrforhold med store udsving i belysningsstyrker for dagslyset.

Tre forskellige værdier blev valgt for det elektriske lys (1, 10 og 100 lx/s) for at se, hvordan forskellige hastigheder af ændring i elektrisk belysning vil påvirke brugernes accept.

Ifølge litteraturen bør en hurtig ændring (10 – 100 lx/s) ikke mærkes, hvis ændringerne ligger indenfor 20 % i forskellen mellem belysningsstyrkerne. Disse konklusioner er opnået ved meget begrænset dagslystilgang [10]. Det nuværende forsøg vil simulere dagslysændringer, og lysintensitetsændringerne fra den elektriske belysning vil ligge på -20 %, -40 %, +60 % og +80 % på arbejdsområdet. I Tabel 1 vises startværdierne som EL1 (elektrisk belysning) og DL1 (simuleret dagslys) og som samlet er 500 lx i alle tilfælde og slutværdierne EL2 og DL2, som også ligger på 500 lx.

Tabel 1. Lysscenerier.

Scenarie	DL1 (lx)	DL2 (lx)	EL 1 (lx)	EL 2 (lx)	EL ændring
A	100	180	400	320	-20 %
B	100	260	400	240	-40 %
C	250	100	250	400	+60 %
D	250	50	250	450	+80 %

I alt er der 24 forskellige scenarier som afprøves: de fire forskellige ændringer A – D vist i Tabel 1, tre hastigheder for elektrisk belysning (1 lx/s, 10 lx/s og 100 lx/s) samt to forskellige hastigheder for dagslys (8 lx/s og 90 lx/s).

Testen indeholder 26 forskellige scenarier, idet der indgår en gentagelse af et scenarie samt et scenarie uden lysændringer.

Forsinkelse mellem ændringer i dagslys og elektrisk belysning er afhængig af hastighed i dagslysændringerne. Forsinkelsen vil sørge for, at det elektriske lys altid vil ske som en reaktion på ændringer i dagslys, som det ville fungere i praksis.

Resultater

Der deltog 25 forsøgspersoner, som alle gennemgik de 26 scenarier. I alt var der derfor 25 besvarelser, men to forsøgspersonerne indikerede ændring i lysniveauet, når der ikke var en ændring, samt vurderede den samme ændring på to forskellige måder, hvorfor er deres besvarelser blev ekskluderet fra det resterende dataset. Resultaterne består derfor af 23 besvarelser fra forsøgspersoner i alderen $M=26,7$ år og $STD=8,1$ år. Alle havde normalt syn og eller brugte briller/kontaktlinser. Tabel 2 viser, at en langsom ændring i det simulerede dagslys (8 lx/s) vurderes som mindre synlig end en hurtig ændring (90 lx/s). For de mindste og største lysintensitetsændringer (A og D) vurderes ændringerne i den elektriske belysning mere acceptabel ved en langsom ændring i simuleret dagslys i forhold til en hurtig ændring i simuleret dagslys. For B og C scenarier ved ændring på 150 lx (60 %) og -160 lx (-40 %) ligger forsøgspersoners besvarelser på 78 % til 91 % accept for både hurtig og langsom ændring i det simulerede dagslys.

Tabel 2. Forsøgspersoners besvarelse til de forskellige lys-scenarier (100 % = 23 forsøgspersoner).

EL:		DL: 8 lx/s			DL: 90 lx/s		
		1 lx/s	10 lx/s	100 lx/s	1 lx/s	10 lx/s	100 lx/s
A: EL 20 % (-80 lx)	Synligt	26%	35%	30%	78%	78%	74%
	Accept	100%	100%	100%	91%	91%	87%
B: EL 40 % (-160 lx)	Synligt	70%	70%	57%	83%	87%	87%
	Accept	87%	78%	96%	91%	91%	78%
C: EL 60 % (+150 lx)	Synligt	35%	17%	87%	87%	91%	87%
	Accept	91%	96%	78%	87%	87%	83%
D: EL 80 % (+200 lx)	Synligt	30%	52%	74%	74%	91%	91%
	Accept	83%	83%	91%	74%	78%	83%

De tre scenarier, som blev vurderet acceptable af alle forsøgspersoner, vises i figur 6. Disse scenarier indeholder en langsom ændring i dagslyset på 8 lx/s, som svarer til en overskyet dag i Danmark og det simulerede dagslysbidrag på arbejdsområdet går fra 100 lx til 180 lx. Som en reaktion på denne ændring i det simulerede dagslys sænkes den elektriske belysning på arbejdsområdet tilsvarende fra 400 lx til 320 lx. De tre scenarie foretager ændringen med henholdsvis 1 lx/s, 10 lx/s og 100 lx/s, hvor den sidste indeholder en forsinkelse i ændring på 10 sekunder.

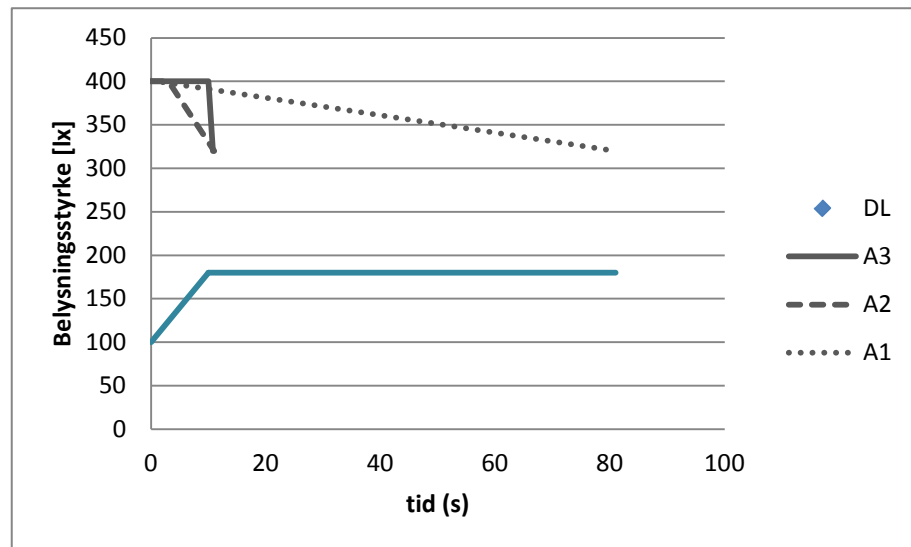
Figur 6 viser, at inden ændring går i gang, er udgangspunktet 500 lx; 100 lx fra simuleret dagslys og 400 lx fra den elektriske belysning i den del af lokalet, hvor forsøgspersonerne opholder sig. Efter ændring er summen af det simulerede dagslys og elektrisk belysning igen 500 lx. Dagslysændringen sker fra 100 lx, slutter i 180 lx og er overstået på 10 sekunder, markeret 'DL' i figuren. Forskellen mellem de tre scenarier A1, A2 og A3 vist i figur 6 ligger i, hvor hurtigt lysændringerne foregår i den elektriske belysning. Som en reaktion på dagslysændringen er der et sekunds forsinkelse for A1, som sænker det elektriske lysniveau med 1 lx/s og er overstået på 81 sekunder. Herefter foretages vurderingen af lysændringen og 26 % af forsøgspersonerne svarer, at de blev opmærksomme på, at der var en ændring i lysniveauet, men alle følte, at ændringen var acceptabel. A2 reagerer på dagslysændringen 3 sekunder efter dagslysændringen starter og ændringen sker med 10 lx/s for den elektriske belysning og er overstået på 13 sekunder, hvor vurdering foretages. Ændringer i lysniveau observeres af 35 % af forsøgspersoner, som alle synes, at ændringen er acceptabel. Det tredje scenarie, som vurderes acceptabelt af alle og hvor 30 % har lagt mærke til ændringer, er A3, som er en hurtig ændring i lysniveau (100 lx/s), hvor den elektriske belysning falder pludseligt fra 400 til 320 lx på under 1 sekund. Der er en forsinkelse på 10 sekunder i scenarie A3 fra dagslysændringer begynder.

En hurtig ændring i det simulerede dagslys ved samme intensitetsændring (20 %) medfører 87 % accept ved 100 lx/s og 91 % accept ved 1 lx/s og 10 lx/s.

Dataanalyser viser, at ændringerne i scenarie A1, A2 og A3 er signifikant mere acceptable end A6, B1, B2, B6, C4, C5, C6, D1, D2, D4, D5 og D6 ($\alpha < 0,05$).

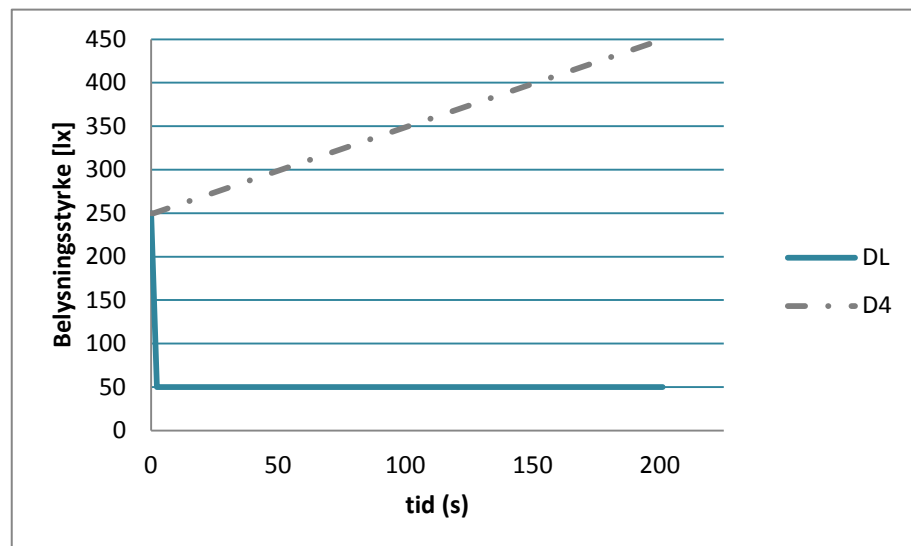
De ændringsscenarier, som alle vurderede acceptable, blev vurderet signifikant mere acceptabelt end de hurtige ændringer i elektrisk belysning (100 lx/s) som en reaktion på en hurtig ændring i det simulerede dagslys (90 lx/s),

uanset intensitet (A, 20 %, til D, 80 %). Ændringsscenarie C (60 %) og D (80 %) blev også vurderet signifikant mindre acceptabelt ved de mere langsomme ændringer 1 lx/s samt 10 lx/s.



Figur 6. Lysscenerier A1, A2 og A3 hvor 100 % forsøgspersoner accepterer lysændringerne.

Det lysscenario, som blev accepteret af de færreste forsøgspersoner, var lysscenario D4, som ses i figur 7. Her foregår en hurtig ændring i det simulerede dagslys på 90 lx/s, hvor lysniveauet falder 200 lx og hvor den elektriske belysning efterfølgende langsomt reagerer med at tilføje 1 lx/s. I dette tilfælde var der 74 % af forsøgspersonerne, som svarede at de registrerede en ændring i lysniveauet på arbejdsområdet. Heraf var der 26 %, som svarede, at ændringerne i lysniveauet var uacceptable. Forklaringen ligger i, at lysniveauet falder hurtigt og tager over 200 sekunder om at nå op til de 500 lx igen.



Figur 7. Det lysscenario som kun 74 % synes er acceptabelt.

Dataanalyserne viser, at scenarie B, som indeholder en 40 % faldende elektrisk belysningsintensitet (160 lx), ikke vurderes mere eller mindre acceptabelt end scenarie C med 60 % tiltagende intensitet (150 lx) for alle elektrisk belysningshastigheder (1lx/s, 10 lx/s og 100lx/s) og for begge dagslyshastigheder (8 lx/s og 90 lx/s).

Konklusioner

Som tidligere forsøg [10] viser dette forsøg, at 20 % ændring i elektrisk belysning vurderes acceptabel af forsøgspersonerne uafhængig af hastighed, når der foregår en langsom ændring i det simulerede dagslys. En hurtig ændring i det simulerede dagslys af samme størrelsesorden (20 %) på arbejdsområdet medfører, at 91 % af forsøgspersonerne vurderer, at 1 lx/s og 10 lx/s ændring i det elektriske lys er acceptabelt, og 87 % synes, at 100 lx/s er acceptabelt.

Ifølge tidligere forsøg bør man kunne regulere langsomt ned for den elektriske belysning op til en 50 % reduktion, uden at forsøgspersonerne lægger mærke til det, når dagslys er tilstede [10]. Forsøget viser, at 40 % ændring (scenarie B) medfører, at 57 % til 70 % opdager en synlig ændring i lysniveauet ved langsom ændring i det simulerede dagslys, og at 83 % til 87 % opdager synlig ændring ved hurtig ændring. Forsøgspersoner svarende til et antal på mellem 78 % og 96 % synes, denne ændring er acceptabel.

Den hurtigste ændring i elektrisk belysning (100 lx/s) blev vurderet mindre acceptabel end de øvrige scenarier under hurtigt skiftende vejrforhold med dagslysændringer svarende til 90 lx/s. Derfor frarådes det at bruge den hurtigste ændring på 100 lx/s.

Den langsomste ændring, som blev afprøvet for elektrisk belysning (1 lx/s), blev vurderet som mindre acceptabel end de 10 lx/s i tre tilfælde med hurtig ændring i dagslys. Dette sker ved det største intensitetstrin i elektrisk belysning (80 %).

Der anbefales ikke at regulere den elektriske belysning med større end 20 % spring ad gangen, og ifølge de afprøvede hastigheder for regulering af den elektriske belysning blev 1 lx/s og 10 lx/s den hastighed, som overordnet blev vurderet bedst.

Fremtiden for kamerabaseret lysstyring

Lysstyringskonceptet tænkes at kunne bruges ved energirenovering af eksisterende belysningsanlæg i kontormiljøer samt ved nye installationer. Installationerne skal på sigt kunne efterleve fremtidens behov/krav til styring af komplekse belysningsystemer bestående af energieffektive lyskilder, som ud over generel belysning fx indgår i bygningens arkitektoniske udtryk eller fritstående arbejdslamper. I bund og grund skal lysstyringskonceptet anvendes på lige fod med eksisterende lysstyringsteknologi, som anvendes i dag. Med de seneste års drastiske udvikling indenfor lyskilder – her tænkes på LED lyskilder – er døren blevet åbnet for, at lyskilder i højere grad integreres i lokalets fremtræden fremfor konventionelle loftarmaturer, som oftest blot bidrage til at opfylde krav til generelbelysningen.

Det er klart, at der med nye metoder og teknologi også introduceres udfordringer i forhold til installation af systemet samt brugernes accept af det nye. Derfor er undersøgelser af brugernes tolerancer overfor lysstyring og automatik fortsat vigtige for at sikre, at viden omkring brugers accept stadig holder og er up to date.

Flere studier viser, at brugernes tilfredshed med lysstyringsystemer vurderes væsentligt højere, når brugerne har mulighed for at overstyre automatikken. Dvs. at selvom den automatiske lysstyring analyserer og regulerer den elektriske belysning i henhold til forholdene, så er det stadig vigtigt at give brugerne mulighed for også at regulere på belysningen. Det er derfor vigtigt at inkorporere brugerens mulighed for interaktion med lysstyringen. Er der tale om arbejdspladser, hvor de ansatte har faste arbejdspladser, er det oplagt, at lysstyringen automatisk kan huske brugerens indstilling. Når brugeren så har reguleret belysningen, skal systemet kunne gemme denne indstilling for den pågældende arbejdsplads. Dermed kan belysningsniveauet starte på brugerens ønskede niveau næste gang vedkommende tænder for lyset.

Et vigtigt element i forhold til at minimere barriererne for dette koncepts udbredelse på markedet er at sikre en nem og simpel installation af systemet. Dette opnås bl.a. ved at lave en simpel brugerflade, som installatøren på intuitiv vis kan navigere i. Her kan der arbejdes på at lave en form for generisk installation, således at styringen med få inputs fra installatøren kan kalibrere sig selv ind i henhold til analyserne, som beskrives i rapporten. Det vurderes vigtigt i forhold til at sikre en positiv modtagelse af konceptet, at der arbejdes på udvikling af en nem installationsløsning.

Energibesparelspotentialet for kamerabaseret lysstyring estimeres at ligge på samme niveau som eksisterende lysstyringsløsninger på markedet i dag. De bagvedliggende styringsprincipper for lysstyringskonceptet har sammen grundlæggende egenskaber som eksisterende lysstyringsteknologier hvad angår dagslys- og tilstedeværelsesstyring. Det antages, at energibesparelspotentialet for dette koncept er mellem 20-50 %. En kamerabaseret lysstyringsløsning åbner op for en mere lokal styring af lyset i lokalet, fordi kameraet kan detektere, analysere og opdele et større område. Det betyder, at der kan forventes en yderligere energibesparelse, hvis det er muligt både teknisk og praktisk, at lysstyringen tager højde for de individuelle arbejdspladser lysbehov.

I relation til fremtidsperspektiverne indenfor kamerabaseret lysstyring, er der også et udviklingspotentiale i at anvende den øjeblikkelige information om rummets brug og lysforhold til at regulere forskellige indeklima- og energimæssige parametre. Billedanalyserne og information om tilstedeværelse af personer kan anvendes til at give styringssignaler til fx personlig ventilation, varme og meget nærliggende solafskærmning for at undgå blænding. Disse påstande er ikke undersøgt i projektet, men nævnes her for at give stof til eftertanke, som kan inspirere andre til at arbejde videre med udviklingen af konceptets anvendelsesmuligheder.

I forhold til tilstedeværelsesanalysedelen, så mangler der et kvantitativt overblik over, hvor robuste nuværende algoritmer er overfor belysningsændringer. De nuværende beskrivelser af disse klassificeringsmetoder indeholder test af metoder, men under forskellige forhold og uden kvantitative beskrivelser af lysændringerne (f.eks. i form af lx/s eller lm/s). Fremtidig forskning kunne derfor bestå i at fremstille et sådan overblik, så en passende eksisterende metode (opfyldende alle de opsatte krav til tilstedeværelsesanalysen) kan udvælges. Generelt ville brugen af en mere avanceret sensor, såsom Microsoft Kinect, der også opfanger dybde information på billedet, fjerne problemet, som belysningsændringer medfører, da man vil kunne bruge dybde i stedet for intensitet til at adskille forgrund fra baggrund. Denne tilgang har ikke været i fokus i dette projekt, fordi der har været et ønske om at minimere brugen af enheder i systemet. En anden måde at detektere menneskers placering i lokalet er ved brug af radartechnologi, som viser stort potentiale for detektering af mennesker ved lyskryds, hvor kamerateknologien også har været udfordret [11]. Fremtidig forskning, der undersøger muligheder for brug af mere avancerede sensorer, er derfor relevant.

Referencer

- [1] Roien, M. G. (2013). Development of a camera-based lighting control, *DTU Byg Master Thesis*.
- [2] [www.raspberrypi.dk](http://raspberrypi.dk). *Om Raspberry Pi*. Tilgængelig på: <http://raspberrypi.dk/om-raspberry-pi/> (Besøgt 8. oktober 2015).
- [3] www.arduino.cc *What is Arduino?* Tilgængelig på: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (Besøgt 8. oktober 2015).
- [4] www.wago.dk. *WAGO Danmark*. Tilgængelig på: <http://www.wago.dk/wago/hvem-er-vi/index.jsp> (Besøgt 8. oktober 2015).
- [5] Dansk Standard. (2011). *Light and lighting – Lighting of work places – Part 1: Indoor work places* (DS/EN12463-1:2011). Charlottenlund.
- [6] Elhabian, S. Y., El-Sayed, K. M. & Ahmed, S. H. (2008). Moving Object Detection in Spatial Domain using Background Removal Techniques - State-of-Art, *Recent Patents Comput. Sci.*, no. 2, pp. 32–54.
- [7] Cavallaro, A. & Ebrahimi, T. (2001). Change detection based on color edges, *Circuits Syst.*, vol. 2, pp. 141 – 144.
- [8] Javed, O., Shafique, K. & Shah, M. (2002). A hierarchical approach to robust background subtraction using color and gradient information, *Work. Motion Video Comput. Proceedings*.
- [9] Jabri, S., Duric, Z., Wechsler, H. & Rosenfeld, A. (2000). Detection and location of people in video images using adaptive fusion of color and edge information, *Proc. 15th Int. Conf. Pattern Recognition. ICPR-2000*, vol. 4, pp. 627–631.
- [10] Newsham, G. R., Donnelly, C., Mancini, S., Marchand, R. G., Lei, W., Charles, K. E. & Veitch, J. A. (2006). The Effect of Ramps in Temperature and Electric Light Level on Office Occupants: A Literature Review and a Laboratory Experiment. *Proceedings of the 2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, Pacific Grove, California, pp. 4-252 to 4-264.
- [11] Manston, K.. The challenges of using radar for pedestrian detection. Siemens Mobility, Traffic Solutions.
- [12] www.spectranord.dk. *DayLight Monolith - PC6060*. Tilgængelig på: <http://www.spectranord.dk/daylightpc6060/> (Besøgt 8. oktober 2015).
- [13] Ocean Optics. (2009). SpectraSuite Spectrometer Operating Software, *Document Number 000-20000-300-02-201205*, pp. 1-3.

Bilag

Lokalet

Reflektanser for de afgørende flader i forsøgslokalet vises i Tabel 3. Målingerne er taget ved hjælp af et Hagner model EC1 Luxmeter og er valideret ved brug af en Konica Minolta LS-100 luminans måler.

Tabel 3. Reflektanser i lokalet.

Materiale	Reflektans
Hvid væg	0,81
Bord	0,51
Hvid dør	0,75
Grå linoleums gulv	0,15
Loft	0,82
Stol	0,45
Whiteboard	0,75

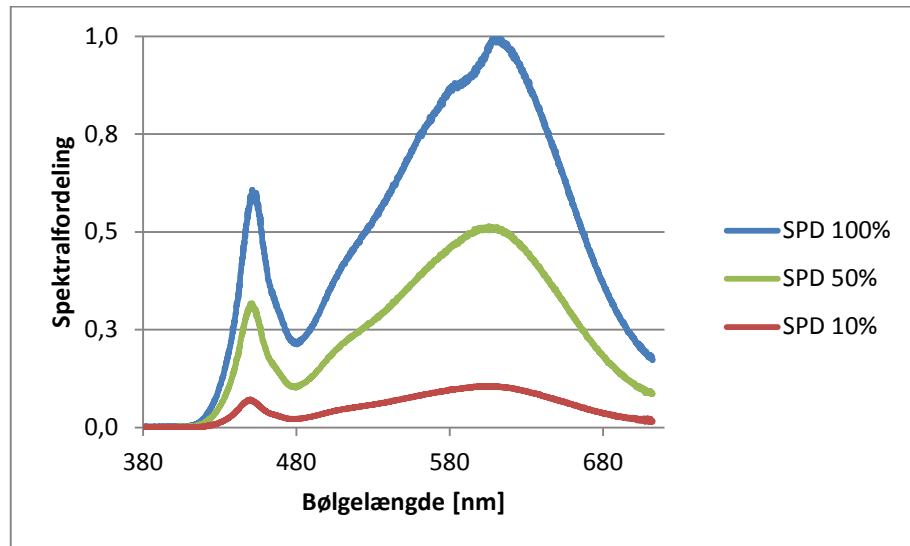
Lysinstallationen

I lokalet er der installeret 38 stykker DayLight PC6060 – Square armaturer fra Spectra Nord [12]. Til projektets formål er halvdelen af lokalet (der hvor forsøgspersoner sidder) betragtet som indendørsdelen af lokalet, hvor 5 armaturer er aktiverede og den anden halvdel (bag ved gardinerne) betragtet som udendørsdelen af lokalet, hvor 4-27 armaturer er aktiverede til at simulere dagslys. Antal af aktiverede armaturer bestemmes af "dagslysets" bidrag for hvert tilfælde for sig.

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

Spektralfordelingen

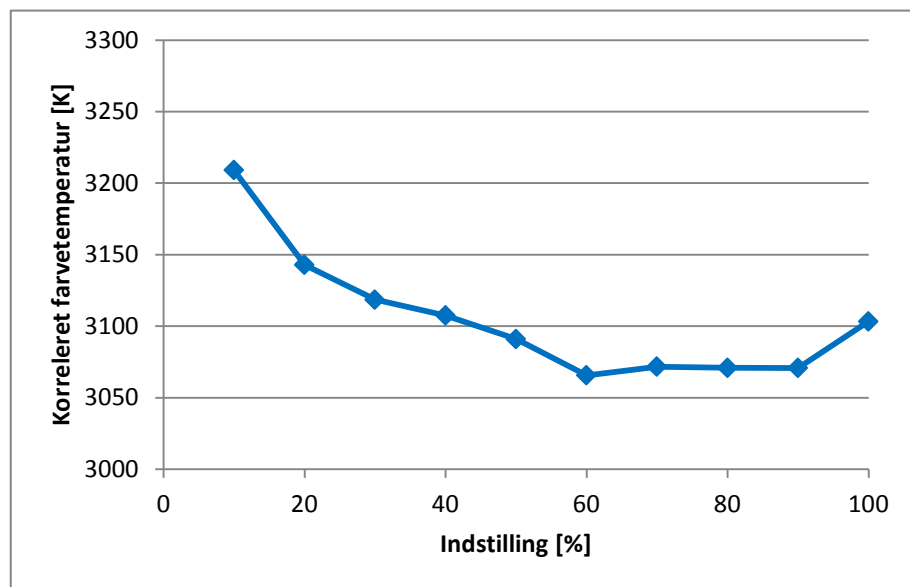
Armaturets spektralfordeling (SPD) er målt for bølglængderne i det synlige spektrum ved hjælp af et Ocean Optics HR4000 spectrometer og Ocean Optics SpectraSuite software [13]. Eksempler for 10 %, 50 % og 100 % indstilling kan ses i figur 8.



Figur 8. Lysets spektralfordeleling for 10, 50 og 100 % belysningsstyrke.

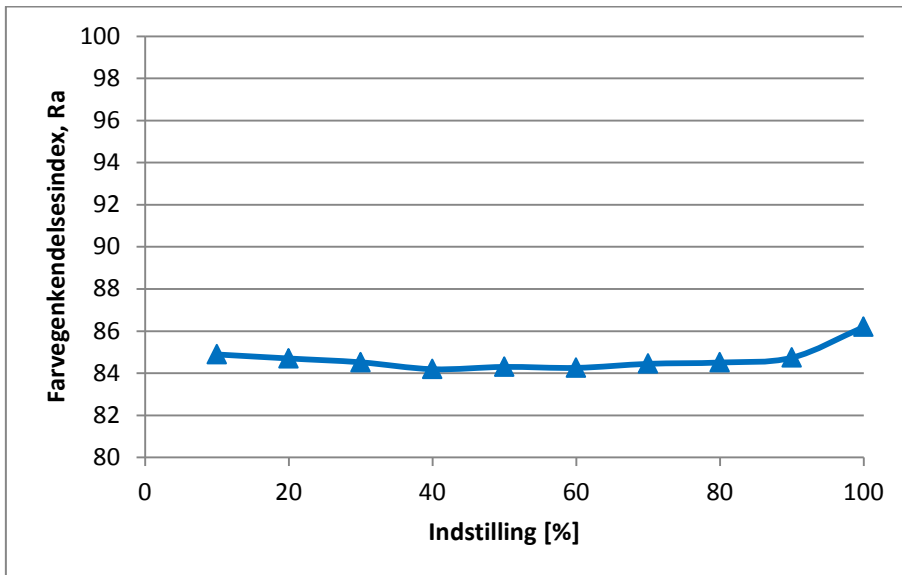
Farvetemperatur og farvegengivelse

Farvetemperaturmålingerne vises i figur 9. Farvetemperaturen over 50 % indstilling viser sig at være stabil mellem 3060-3100 K, mens for indstilling under 50 % varierer farvetemperaturen mellem 3100-3200 K, farvetemperaturen vokser, mens indstillingerne falder. Målingerne er lavet ved hjælp af et Ocean Optics HR4000 spectrometer og er samlet på computeren gennem Ocean Optics SpectraSuite software.



Figur 9. Korreleret farvetemperatur ved forskellige indstillinger.

Farvegengivelsen for de forskellige indstillinger vises i figur 10. For 10 % - 90 % ligger farvegengivelsen på 84-85 imens den ligger på 86 for 100 % indstillingen.



Figur 10. Farvegengivelse ved forskellige indstillinger.

Belysningsstyrker og regelmæssighed

Lysindstillingerne i testlokalet er blevet indstillet til at kunne overholde kravene i den europæiske standard for kontorlokaler. Kravene for minimum belysningsstyrke (E) og regelmæssighed (U_0) for vægge og loft samt arbejdsnær- og baggrundsområde er beskrevet i DS/EN12464-1 [5] og er vist i Tabel 4 for kontorer. Arbejdsområdet dækker et areal af 60x60cm horisontalt på arbejdsbordet. Nærområdet optager et areal af mindst en halv meter omkring arbejdsområdet i synsretningen. Sidst dækker baggrundsområdet mindst 3 meter, hvis muligt, omkring nær- og arbejdsområdet.

Tabel 4 Belysningsstyrker og Regelmæssighed i kontorlokale ifølge DS/EN12464-1.

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	100 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 DS/EN12464-1, vedrørende antal af målepunkter og afstanden imellem dem.

De målte værdier kan ses i tabel 5. Tabellen viser middelværdier, hvor flere forskellige målinger er taget, fx viser vægbelysningen middelværdien af flere vægge.

Samtlige målinger i testlokalet overholder de fremstillede krav i den europæiske standard DS/EN12464-1 [5].

Tabel 5. Belysningsstyrker og regelmæssighed i lokalet.

Målepunkt	\bar{E}_m	U_0
Vægge	78 lx	0,29
Loft	109 lx	0,64
Arbejdsområde	511 lx	0,95
Nærområde	485 lx	0,90
Baggrundsområde	345 lx	0,52

Ved sammenligning af tabel 4 og tabel 5 fremgår det tydeligt, at loftbelysningen, nærområdet og baggrundsområdet ligger højere end standardens krav. Dette er resultatet af at imødekomme standardens krav til vægbelysning ved brug af de installerede armaturer.

Sigtet med denne rapport er at udvikle en prototype af en kamerabaseret lysstyring til elektrisk belysning i kontormiljøer. Ved hjælp af kamerateknologi og software til billedanalyse styres lyset afhængigt af lysforhold og personer i lokalet. Formålet er at opnå både energibesparelser og et visuelt tilfredsstillende miljø for brugerne.

Rapporten indeholder dokumentation af de afprøvede metoder under prototypens udvikling samt undersøgelse af, hvordan ændringer i lyset registreres og accepteres af brugerne. Resultaterne kan sammen med rapportens anbefalinger bruges som udgangspunkt for videreudvikling af et endeligt kamerabaseret lysstyringsprodukt.

1. udgave, 2016
ISBN 978-87-563-1767-2