



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

Elbesparelse gennem individuel dynamisk lysstyring

Logadóttir, Asta; Christoffersen, Jens; Traberg-Borup, Steen

Publication date:
2008

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Logadóttir, A., Christoffersen, J., & Traberg-Borup, S. (2008). Elbesparelse gennem individuel dynamisk lysstyring. Hørsholm: SBI forlag. (SBI; Nr. 2008:18).

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.

Elbesparelse gennem individuel dynamisk lysstyring



Elbesparelse gennem individuel dynamisk lysstyring

Ásta Logadóttir
Jens Christoffersen
Steen Traberg-Borup

Titel	Elbesparelse gennem individuel dynamisk lysstyring
Serietitel	SBI 2008:18
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2008
Forfattere	Ásta Logadóttir, Jens Christoffersen, Steen Traberg-Borup
Sprog	Dansk
Sidetæl	35
Litteratur-henvisninger	Side 34
Emneord	Dynamisk lys, energiforbrug, lysstyring, belysningsstyrke, farvetemperatur
ISBN	978-87-563-1353-7
Fotos	Ásta Logadóttir, Steen Traberg-Borup og Jan Carl Westphal
Omslag	Hanne Brix
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm E-post sbi@sbi.dk www.sbi.dk

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *SBI 2008:18: Elbesparelse gennem individuel dynamisk lysstyring. (2008)*

Indhold

Forord	4
Baggrund	5
Litteraturstudium	6
Metode og forsøgsopstilling	11
SBI's dagslyslaboratorium og forsøgsopstilling	11
Resultat	17
Forsøgs personer	17
Kombination af lysstofrør med farvekode 827 og 865	18
Belysningsstyrke	19
Farvetemperatur	26
Kombination mellem valgt belysningsstyrke og farvetemperatur	27
Effektforbrug og Energiforbrug	28
Personlig regulering	29
Spørgeskema	30
Videre undersøgelser	31
Sammenfatning	32
Litteratur	34

Forord

Hermed foreligger slutrapport om *Elbesparelse gennem individuel dynamisk lysstyring*. Projektet er gennemført i samarbejde mellem SBI og Philips Lys A/S med støtte fra Elnetselskabernes F&U-program for effektiv elanvendelse (ELFORSK-projekt 338-035). Desuden gennemførtes projektet i tæt samarbejde med DTU-studerende, Ásta Logadóttir, der afleverende sit afgangsprøveprojekt i juni 2007, med Jens Christoffersen som vejleder.

Dansk energipolitik handler bl.a. om at få iværksat konkrete energibesparelser i boliger, institutioner og erhvervsbygninger. Energi 21, Regeringens energihandlingsplan 1996, sætter særligt fokus på initiativer, som kan medføre elbesparelser. Ifølge den politiske aftale af 10. juni 2005 om den fremtidige energispareindsats, fastlægger handlingsplanen, at energibesparelser er et centralt element i en strategi, som tager de langsigtede energi-politiske udfordringer alvorligt. Handlingsplanen skal ses i sammenhæng med de allerede igangsatte initiativer og vurderinger, herunder implementeringen af EU's bygningsdirektiv og det nye Bygningsreglement BR 08. Det skal sikre, at nye bygninger lever op til fremtidens standard og samtidigt medvirke til energimæssige forbedringer, når eksisterende bygninger ombygges. Ifølge Energistyrelsens forslag til Handlingsplan for fornyet energi-spareindsats er der et samlet samfundsmæssigt besparelspotentiale på 24 % til belysning svarende til 16,5 PJ (4587 GWh). Elektricitetsforbruget udgør i dag ca. 50 % af det samlede energiforbrug inden for offentlige og private kontor- og serviceerhverv, og der er således et betydeligt besparelspotentiale ved at udforme kontorbygninger med en bedre tilpasning til rummenes funktion og brugernes aktiviteter, således at behovene for belysning, ventilation og mekanisk køling reduceres. Ved en bevidst udnyttelse af dagslyset er det muligt at opnå forbedring af belysningskvaliteten og integrere store elbesparelser til belysning. I de tilfælde som der ikke er tilstrækkeligt dagslys til stede, er det vigtigt at bruge effektoptagelsen på en fornuftig måde.

Projektets overordnede mål er at afprøve et fleksibelt lyskoncept, dynamisk lys, hvori der både kan skifte lysfarve og lysintensitet og samtidig understøtte medarbejderes ønsker og behov for individuel lyssætning. Gennem pilotprojektet søges det overordnede mål opnået gennem kontrolleret afprøvning i SBI's dagslyslaboratorium. Pilotprojektet fokuserer på de mange muligheder, der er ved at kunne regulere lysstyrke og blande lysfarven i et interval, der kommer tæt på naturens egne lysfarver. Pilotprojektet beskriver belysningen som en helhed, dvs. i kombination med dagslys og mulig dagslysudnyttelse samt den mere fleksible belysning og dens indflydelse på komfort og arbejdsglæde. Et delmål er at udbrede kendskabet til, hvordan dynamisk og fleksibelt lys opleves, og at øge belysningskvaliteten samtidig med at energiforbruget reduceres. I tillæg vil erfaringerne med dynamisk lys kunne anvendes i fremtidens udvikling af LED-belysnings-armaturer.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Energi og Miljø
November 2008

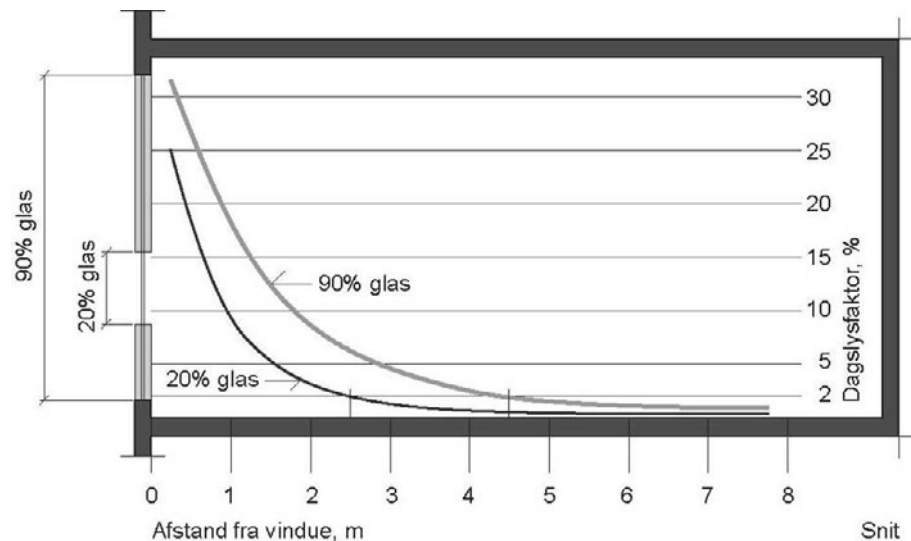
Søren Aggerholm
Forskningschef

Baggrund

Design af et godt belysningsmiljø synes at blive mere og mere komplekst. Traditionelt har den rådgivende branche koncentreret sig om, at belysningsmiljøet skal skabe de rette synsbetingelser for synsopgaven i lokalet og tilgodese den enkeltes behov. Dette skal understøttes af et godt samspil mellem lyset fra vinduerne og lyset fra den kunstige belysning samt fornuftig balance mellem styrken af det anvendte lys, dets placering og retning. Lyset i rummet må ikke hæmme eller genere synsevnen, og man skal ubesværet kunne orientere og bevæge sig frit i lokalet. Imidlertid tyder forskningen på, at fremtidens belysningsmiljø også skal understøtte sundhedsfaktorer. Men hvordan dette indarbejdes i selve designet af et godt belysningsmiljø, er endnu uafklaret. Derimod er det sikkert, at belysningsmiljøet har indflydelse på personers sundhed og velvære (se Christoffersen [2005] eller URL: <http://www.sbi.dk/indeklima/lys/lys-og-sundhed/lys-sundhed-og-velvære>).

I Bygningsreglementet BR05 står der, at arbejdsrum skal være vel belyste via tilgang af dagslys og med den nye vejledende tilføjelse, at: (6.5.2, stk. 1) *"I arbejdsrum kan dagslyset i almindelighed anses for at være tilstrækkeligt, når rudearealet ved sidelys svarer til mindst 10 pct. af gulvarealet eller ved ovenlys mindst 7 pct. af gulvareal, forudsat at ruderne har en lystransmittans på mindst 0,75. De 10 pct. og 7 pct. er vejledende ved normal placering af bygningen samt normal udformning og indretning af lokalerne. Såfremt vinduestypen er ukendt på projekteringstidspunktet, kan omregning fra karmlysningsareal til rudeareal ske ved at multiplicere karmlysningsarealet med faktoren 0,7. Rudearealet skal forøges forholdsmæssigt ved reduceret lysgennemgang (fx solafskærmende ruder) eller formindsket lysadgang til vinduerne (fx ved tætliggende bygninger). Dagslyset kan ligeledes anses for at være tilstrækkeligt, når det ved beregning eller måling kan eftervises, at der er en dagslysfaktor på 2 pct. ved arbejdspladserne. Ved bestemmelse af dagslysfaktoren tages der hensyn til de faktiske forhold, herunder udformningen af vinduesudformning, rudens lystransmittans, samt rummets og omgivelsernes karakter. Der henvises til By og Byg Anvisning 203: Beregning af dagslys i bygninger samt SBI-anvisning 219: Dagslys i rum og bygninger, 2007".* Figur 1 viser et typisk forløb af dagslysniveauet på et vandret plan i et rum med et glasareal på hhv. 20 % og 90 % af facadens areal.

Hvis belysningsmiljøet er uhensigtsmæssigt eller utilstrækkeligt og medfører, at synsarbejdet bliver vanskeligt, kan det påvirke vor sundhed og velvære samt nedsætte synspræstationen og øge ulykkesrisikoen. Det kan medføre, at øjnene anstreges unødvendigt meget og giver øjenbesvær. De symptomer, der følger af et anstrengt synsarbejde, er fx øjenirritation, træthed og hovedpine, ubehag, synsnedsættende virkninger (fx sløret eller uskarpt syn, dobbeltsyn).



Figur 1. Dagslyskurver. Et typisk forløb for belysningsniveauet på et vandret plan i et rum med et vindue i facaden. Kurverne viser belysningsniveauet på arbejdsplanet i en linje midt for vinduet for et glasareal på hhv. 20 % og 90 % af facadens indvendige areal. Niveauefter aftager hurtigt med afstanden til vinduet. Forskellen mellem belysningsniveauerne er meget markant nær vinduet, hvor der normalt er rigeligt med dagslys, mens forskellen bag i rummet er ret beskedent. (By og Byg Anvisning 203)

At skabe et godt visuelt miljø kræver indsigt i synsmekanismens funktion og forståelse af synsoplevelsen samt viden om de grundlæggende egenskaber ved lyset. Disse egenskaber (se Dansk Standard DS 700) omfatter begreberne adaptation (øjets tilpasning til synsfeltets luminanser), lysets farveegenskaber, lysets hovedretning (eller lysets geometri), formtegning, skygger og reflektanser, belysningsstyrker samt blænding. Det er også vigtigt for synsevnen, at der ikke udelukkende fokuseres på belysningen af arbejdsobjektet (centralsynet), men at omgivelsernes belysning også tilgodeses (periferisynet). Periferisynet er med til at give et helhedsindtryk af omgivelserne, man opholder sig i. Det drejer sig om rumdimensioner og form, rumatmosfære, materialer og lysfordelinger. Fx vil fortolkningen af informationerne fra periferisynet gøres lettere, når lyset giver skygger, der fremhæver former i rummet, og gøres vanskeligere, når lyset er jævnt og monotont.

Dagslyset bør i størst mulig udstrækning dække det daglige belysningsbehov, og den kunstige belysning skal tilrettelægges således, at det skabes de rette betingelser i de perioder og steder, hvor dagslyset ikke er tilstrækkeligt. Kommende udfordring er derfor være, at der opstår et større behov for et mere fleksibelt belysningsmiljø, som både tilgodeser skiftende arbejdsopgaver og individuelle ønsker og behov.

Litteraturstudium

I forbindelse med nærværende projekt, har vi set på den tilgængelige litteratur. Vi har hovedsagelig fokuseret på undersøgelser udført med henblik på individuel kontrol af den elektriske belysning i både dagslysbelyste rum og rum med lidt eller ingen dagslystilgang. Internationale undersøgelser viser hyppigt at bygningsbrugere ønsker mere personlig kontrol over deres eget indemiljø, og samtidig opfatter brugerne at denne form for kontrol er vigtig for deres sundhed og velvære og at det kan have betydning for deres evne til at udføre deres arbejde produktivt. En undersøgelse blandt kontoransatte i USA viste at 75% ønskede mere kontrol over belysningen i kontoret og de fleste følte at bedre belysning ville forbedre deres stemning/humør (mood) og at de blev mere effektive (Steelcase et al. [1999]). Lignende spørgeskemastudier i Europæiske kontorbygninger fastslår at der er en sammenhæng mellem oplevelsen af personlig kontrol over indemiljøet og opfattelsen af hvor produktive vi er til at udføre vort arbejde (Bordass et al. [1993]). Jo me-

re vi oplever at vi har personlig kontrol, jo mere produktiv opfatter vi os selv.

Laboratoriestudier med lidt eller ingen dagslystilgang

Veitch og Newsham [2000] gennemførte et studium i et storrums kontor uden vinduer. Udformningen af arbejdspladserne var typisk for nordamerikanske åben-plans kontorer (cubicles). Forsøgspersonerne kunne selv dæmpe lyset i 3 omkringliggende belysningsgrupper og tænde/slukke af arbejdslamperne. Der deltog i alt 94 forsøgspersoner, sammensat af 2 grupper á 47. I forsøget, der varede en hel dag, gennemførte forsøgspersonerne en række arbejdsopgaver og besvarede et spørgeskema. Den ene gruppe havde kontrol over belysningen i begyndelsen af dagen, den anden gruppe havde ingen kontrol over belysningen. Til sidst fik gruppen, der ikke havde kontrol over belysningen, lov at finde det belysningsniveau de ønskede. Forsøget viste betydelige individuelle forskelle i valg af belysningsniveau på arbejdsbordet (middelværdi 423 lux, min. 83 lux, max 725 lux), men det samlede energiforbrug var 10-15% under de Canadiske anbefalingerne [Canadian Codes Centre, 1997]. Newsham og Veitch [2001] gennemførte yderligere analyser (post-hoc) på gruppen der ikke havde kontrol og resultaterne viste, at hvis belysningsniveauet lå tæt på egen præference, så oplevede de større velbehag (pleasure) og var mere tilfreds med belysningen.

Newsham et al. [2004] gennemførte et andet studie i de samme lokaler med 118 forsøgspersoner. Forsøgspersonerne besvarede et spørgeskema omkring velvære og tilfredshed og i løbet af dagen udførte de en række ens arbejdsopgaver. De havde ingen kontrol over den elektriske belysning før hen i mod eftermiddagen. Derefter havde alle forsøgspersoner personlig kontrol over belysningsmiljøet. Muligheden for personlig kontrol medførte bedre stemning/humør (mood), højere tilfredshed og deres egen opfattelse af produktivitet og komfort var højere end i perioden uden personlig kontrol. De forsøgspersoner der registrerede den største forskel mellem ingen og fuld kontrol viste også størst forandring omkring velvære og tilfredshed.

Boyce et al. [2000] gennemførte en kontorundersøgelse i celle-kontorer med tre forskellige belysningsmetoder; 1) loftsarmaturer med parabolisk gitter (belysningsstyrke på bord 490 lux), 2) identisk som 1, men med lysdæmpning (max belysningsstyrke på bord 680 lux), og 3) som 1, men med lysdæmpning og max belysningsstyrke på bord på 1280 lux. Sammenligning mellem det første og andet belysningsdesign vidste, at når forsøgspersonerne havde mulighed for at dæmpe lyset, blev belysningsstyrken på bordet ca. 10% lavere end systemet med konstant belysning (490 lux). Kontorer med personlig kontrol blev også vurderet mere positivt med hensyn til lyskvalitet og komfort, og de udførte arbejdsopgaver blev vurderet som mindre krævende end i de kontorer hvor der var konstant belysning og ingen personlig kontrol.

I et par andre studier af Boyce et al. [2006a,b] blev der undersøgt fire forskellige belysningsmiljøer i et storrums kontor, hvor hver forsøgsperson kun blev udsat for ét af belysningsmiljøerne. I alt deltog 180 forsøgspersoner. To af de fire belysningsmiljøer havde en eller anden form for personlig kontrol. I det ene (N=33 forsøgspersoner) var der mulighed for at regulere arbejdslampen i tre belysningsniveauer, mens almenbelysningen (direkt/indirekt) var konstant. I det andet belysningsmiljø med personlig kontrol havde forsøgspersonerne (N=56) mulighed for at styre den direkte komponent i det direkte/indirekte armatur. I situationer med lysdæmpning var middelbelysningsstyrken på bordet 435 lux (min. 243 lux, max 1075 lux). Niveauet ligger under almindelig vejledende praksis i Nordamerika. Belysningsmiljøer med personlig kontrol blev vurderet komfortable af ca. 90% af forsøgspersonerne i forhold til ca. 70% af forsøgspersonerne der ingen kontrol havde.

Laboratoriestudier med dagslystilgang

Halonen og Lehtovaara [1995] havde 20 forsøgspersoner i et laboratorium i Finland. Forsøgspersonerne var 3 timer i laboratoriet og de blev bedt om at tage stilling til, om de ønskede at ændre på belysningsstyrken med 15 minutters mellemrum. Valg af belysningsniveau (ca. 500 lux) var uafhængigt af om der var dagslys til stede (mere end 1000 lux) eller ej.

Tenner et al. [1997] gennemførte et studie i et nordvendt kontor hvor den enkelte forsøgsperson (i alt deltog N=10 forsøgspersoner) opholdt sig i 2 arbejdsdage. Forsøgspersonen kunne dæmpe lyset på et vilkårligt tidspunkt hen over dagen. Belysningssystemet fungerede således at 15 minutter efter at forsøgspersonen havde dæmpet lyset, blev belysningen dæmpet yderligere med 8% hvert 3 minut, indtil forsøgspersonen manuelt intervererede. En række forskellige startniveauer for belysningen blev afprøvet, men det laveste niveau var 830 lux. Med dette udgangspunkt anvendte forsøgspersonerne, om foråret, en middelbelysningsstyrke på bordet på ca. 1050 lux fra dagslys og yderligere ca. 550 lux fra den elektriske belysning. Om vinteren var der lidt lavere middelbelysningsstyrke på bordet fra dagslyset (ca. 675 lux) og noget højere bidrag fra den elektriske belysning (ca. 625 lux).

Begemann et al. [1997] undersøgte 170 forsøgspersoners præferencer for elektrisk lys i nordvendte Hollandske kontorer. Loftsarmaturerne havde en prismatisk plade og armaturerne blev slukket hver time for at forsøgspersonen skulle tage stilling til belysningsniveauet. Dog kunne de hele tiden forandre på belysningsniveauet. Belysningsstyrken på bordet kunne varieres mellem 200 og 2000 lux og lysets farvetemperatur kunne varieres mellem 2800 – 5000 K. I gennemsnit valgte forsøgspersonerne 800 lux fra den elektriske belysning og personer der sad et stykke fra vinduet valgte 25 % højere niveau end gennemsnittet. Dagslysbidraget i vinduesområdet var tre gange højere end bagerst i rummet.

Laurentin et al. [1998] undersøgte manuel kontrol af elektrisk belysning i et østvendt rum. I rummet var der tre arbejdspladser i forlængelse af hinanden. I alt deltog 30 forsøgspersoner som sad 30 minutter ved hver arbejdsplads. De kunne regulere på både loftsarmatur og wall washer (væg belysning). Belysningsstyrken på bordet kunne varieres mellem 0 og 1200 lux. Forskellen i dagslysbidraget (gennemsnit) ved de enkelte arbejdspladser i rummet var stor (vindue ca. 500 lux, midten ca. 250 lux og bagerst ca. 100 lux), mens forskellen i valg af belysningsstyrke på bordet fra den elektriske belysning var lille (150-200 lux).

Felt-undersøgelser

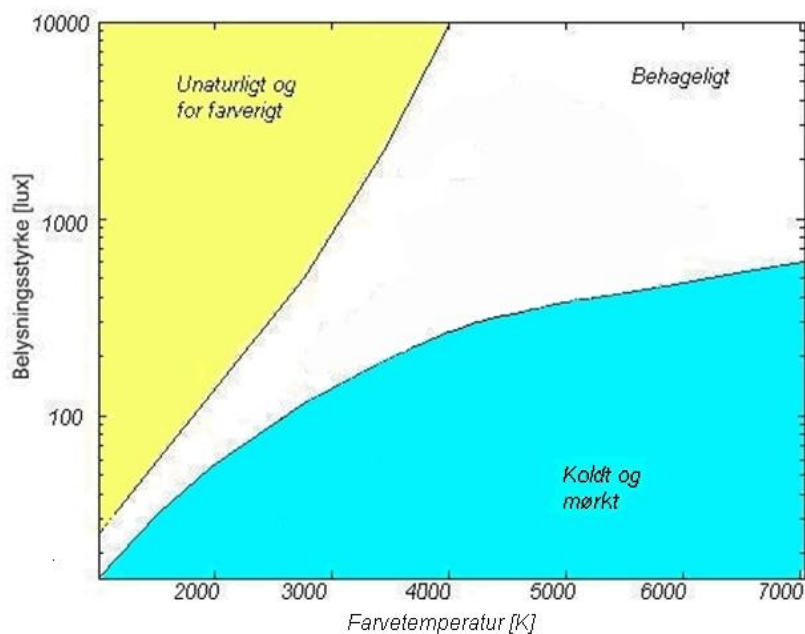
Flere felt undersøgelser har beskæftiget sig med manuel kontrol af den elektriske belysning. Maniccia et al. [1999] indsamlede data fra 58 celle-kontorer i en bygning i Colorado, USA. Armaturerne var dæmpbare nedhængte loftsarmaturer med parabolisk gitter. Den manuelle kontrol viste et besparelspotentiale mellem 7 til 23%. Moore et al. [2002] undersøgte i alt 14 kontorbygninger i England, hvoraf 3 bygninger havde individuel manuel kontrol. Armaturerne var dæmpbare nedhængte loftsarmaturer med et parabolisk gitter. Den manuelle kontrol i de 3 bygninger viste at personerne valgte et belysningsniveau under 500 lux på bordet (vinter, begrænset dagslys).

Lysets farvetemperatur (CCT)

Lysets farvetemperatur er måske ikke den vigtigste parameter der skaber de rette synsbetingelser, men den har en betydning for oplevelsen af omgivelserne (Boyce og Cuttle [1990]), og for biologiske påvirkninger hos mennesker (Ishibashi og Yasukouchi [2005]). Af Dansk Standard (DS 700) fremgår det fx, at der eksisterer en vis sammenhæng mellem en foretrukket lysfarve og et bestemt belysningsniveau, idet rum med høje belysningsstyrker kombineres bedst med køligt lys, og rum med lave belysningsstyrker kombineres bedst med varmt lys, men at der ikke er nogen entydig sammenhæng. Den-

ne sammenhæng kan aflæses på en såkaldt Kruithof kurve (se Figur 2). Kruithof kurven illustrerer en subjektiv oplevelse af et belysningsmiljø i en kombination af farvetemperatur og belysningsstyrker. I Figur 2 viser området der er hvidt hvor belysningsmiljøet vil opleves behageligt. Det gule område viser hvor belysningsmiljøet vil opleves unaturligt og for farverigt, det er for høje belysningsstyrker og lave farvetemperatur. Det blå område viser hvor belysningsmiljøet vil opleves som mørkt ved lave farvetemperatur og lave belysningsstyrker og opleves koldt for høje farvetemperatur og lave belysningsstyrker (blåt i figuren).

Nogle undersøgelser har vist at der er sammenhæng mellem farvetemperatur, kropstemperatur og melatonin produktion hos mennesker. Tokura og Morita [1996] undersøgte kropstemperatur og melatonin produktion ved at eksponere de samme forsøgspersoner (N=5) for en belysning med to forskellige farvetemperaturer, henholdsvis 3000 K og 6500 K. Forsøgspersonerne blev eksponeret for lys fra lysstofrør (1000 lux vertikalt på øjeplan) i fem timer (fra 21:00 til 02:00) og derefter sov de i mørke i seks timer (fra 2:00 til 08:00). Når forsøgspersonerne blev udsat for lys med høj farvetemperatur (6500 K) havde de mindre natlig reduktion i kropstemperatur og lavere udskillelse af melatonin i forhold til forsøget med lys og farvetemperatur på 3000 K. Som kontrol blev personerne også eksponeret til lys fra en glødepære (50 lux vertikalt på øjeplan, farvetemperatur ca. 2700 K). Forskellen i kropstemperatur var særlig tydelig i den periode de sov. En anden undersøgelse, hvor forsøgspersoner (N=9) blev eksponeret for tre forskellige lyskilder (lysstofrør med farvetemperatur 6480 K, 2500 lux; lysstofrør med farvetemperatur 3150 K, 2500 lux; kontrol lyskilde (glødepære, farvetemperatur ca. 2700 K < 50 lux) efter de vågnede, var der forskel i hvordan kropstemperaturen steg og hvordan melatoninproduktionen blev reduceret. Lyskilden med høj farvetemperatur medførte hurtigere stigning i kropstemperatur og hurtigere reduktion af melatoninproduktionen ([Morita et al, 2005]).



Figur 2. Figuren viser et Kruithof-diagram der illustrerer en subjektiv oplevelse af et belysningsmiljø i en kombination af farvetemperatur og belysningsstyrker. Et belysningsmiljø opleves behageligt i det hvide område, mens det øvre område (gult) giver oplevelsen af et unaturligt og alt for farverigt belysningsmiljø og det nedre område (blåt) giver oplevelsen af et belysningsmiljø der er mørkt ved lave farvetemperaturer og koldt ved høje farvetemperaturer.

Forandringer i hudens temperatur, i kropstemperatur og stofskifte har været undersøgt ved at udsætte forsøgspersoner for lys (lysstofrør) ved forskellige farvetemperaturer (3000 K, 5000 K, 7000 K og en horisontal belysningsstyrke på 500 lux.). I forsøget målte man hudens temperatur hos syv mænd ved

at variere lufttemperaturen lineært fra 28° til 18° C i løbet af 30 minutter (tidspunkt på døgnet ikke oplyst). Der er dog indikationer på at lys fra lysstofrør med farvetemperatur på 3000 K reducerer hudens temperatur mere end ved de højere farvetemperaturer. I en opfølgende undersøgelse blev elleve mænds hud- og kropstemperatur samt stofskifte målt ved en lufttemperatur på 15°C i 90 minutter og den samme variation i farvetemperatur. Der var ingen sammenhæng mellem stofskifte og farvetemperatur men der var forskel i hud- og kropstemperatur, som beskrevet ovenfor (Ishibashi [2000]).

Der er udført undersøgelser på menneskers søvnmønster efter eksponering af lys fra lysstofrør med forskellige farvetemperaturer. Der er indikationer der peger på at lys med høj farvetemperatur kan påvirke søvnkvaliteten. Syv mænd blev eksponeret for lys i 6,5 timer (horisontal belysningsstyrke 1000 lux) med en farvetemperatur på henholdsvis 3000 K, 5000 K og 6700 K (Higashihara [2005]). Efterfølgende sov forsøgspersonerne i næsten fuldstændig mørke (< 10 lux). Resultatet viser at søvnstadium 4 (dyb søvn) blev mere påvirket af lys med høj farvetemperatur (6700 K) end af lys med lav farvetemperatur (3000 K). Søvnstadium 4 anses i dag som den søvnstype der er vigtigst for søvnsens restituerende effekt.

I den samme undersøgelse (Begemann et al. [1997]) (se side 8) med lysstyring i en kontorbygning i Holland bliver der beskrevet et forsøg hvor kontorerne har nordlige vinduer, forskellige tider på dagen og forskellige årstider. Antal forsøgspersoner var 170 og deres alder varierede mellem 23 og 54 år. Deres belysningsomgivelser blev registreret for en hel arbejdsdag, hvor de fik lov til at justere belysningen når de havde lyst men de blev også tvunget til at vurdere belysningen hver time når den elektriske belysning blev slukket. Der var mulighed for justering af farvetemperaturen mellem 2800 – 5000 K. En analyse af dagslysforholdene viste en middelværdi på 6000 K på vinduet for solskinsdage, 5600 K for blandet vejrforhold og 5300 K for overskyede dage. Resultaterne viste at den valgte farvetemperatur ikke korrelerede med dagslysets farvetemperatur. Belysningsstyrker på arbejdsbord fra dagslys og ønsket farvetemperatur viste at ved for lidt dagslys (mindre end 500 lux) var middelværdien for ønsket farvetemperatur på 3300 K og stigende til 4300 K for belysningsstyrker fra dagslys over 1500 lux.

En sammenligning af lysstofrør med farvetemperatur på 3600 K og 5500 K på synsskarphe den hos grundskolebørn viste, at synsskarphe den var bedst for lyskilder med farvetemperatur på 5500 K. Pupilstørrelsen var mindre ved 5500 K end 3600 K, hvilket kan være årsag (lysskildens spektralfordeling) til bedre synsskarphe d ved den højere farvetemperatur (Martin et al. [2006]).

Sammenfatning af litteraturstudie

Studier i laboratorier med begrænset eller ingen dagslysadgang har gentagne gange påvist et energibesparelspotentiale ved anvendelse af manuel kontrol af belysningsniveau i forhold til et konstant niveau. Dette understøttet af enkelte feltstudier samt nogle af de laboratorieundersøgelser der er gennemført, dog ikke alle. Desuden tyder placeringen i rummet på, at hvis man sidder for langt væk fra vinduet, er besparelsmuligheden begrænset. Endvidere har disse studier påvist at forsøgspersonerne ikke ønsker et konstant niveau på arbejdspladsen, i modsætning til dagens styrings- og reguleringsystemer der ofte er designet til at opretholde et konstant niveau. Det peger mod den antagelse at brugerne muligvis ikke er styret af belysningsniveauet på bordet, men mere styret af et ønske om bedre balance i luminansforhold eller forhold i belysningsstyrke (fx Halonen & Lehtovaara [1995]), eller af lyset i forhold til tid på dagen (fx Begemann et al [1997]). Dog skal det understreges at ingen af de ovenfor nævnte studier er gennemført med en form for differentieret belysning bestående af loftsbelysning suppleret med arbejdslamper, hvilket ofte er en almindelig belysningskombination i Danmark. I nærværende projekt er tilføjelsen af en arbejdslampe ikke en del af forsøget, men det forventes at en sådan undersøgelse vil blive gennemført.

Metode og forsøgsopstilling

Med udgangspunkt i litteraturstudiet gennemførtes et forsøg i SBI's dagslyslaboratorium (se Figur 3). Halvtreds forsøgspersoner fik mulighed for selv at vælge belysningsniveau og farvetemperatur ved hjælp af et kontrolpanel. Laboratoriet var udformet som en almindelig kontorarbejdsplads med loftmonterede dæmpbare armaturer (Savio, Philips). Forsøget, der blev gennemført i dagtimerne, havde foruden kunstlyse togs tilskud af dagslys. Vi udarbejdede følgende hypoteser:

- 1 Forsøgspersonerne anvender ikke den manuelle kontrolmulighed til at opretholde en konstant belysningsniveau på arbejdsbordet.
- 2 Vi opnår besparelser i effektoptagelse i forhold til effektoptagelse for belysningsstyrkekrav som DS 700 opstiller.
- 3 Andre fotometriske variable er bedre til at forudsige anvendelse af manuel kontrol end belysningsstyrken på arbejdsbordet.



Figur 3. SBI's dagslyslaboratoriet

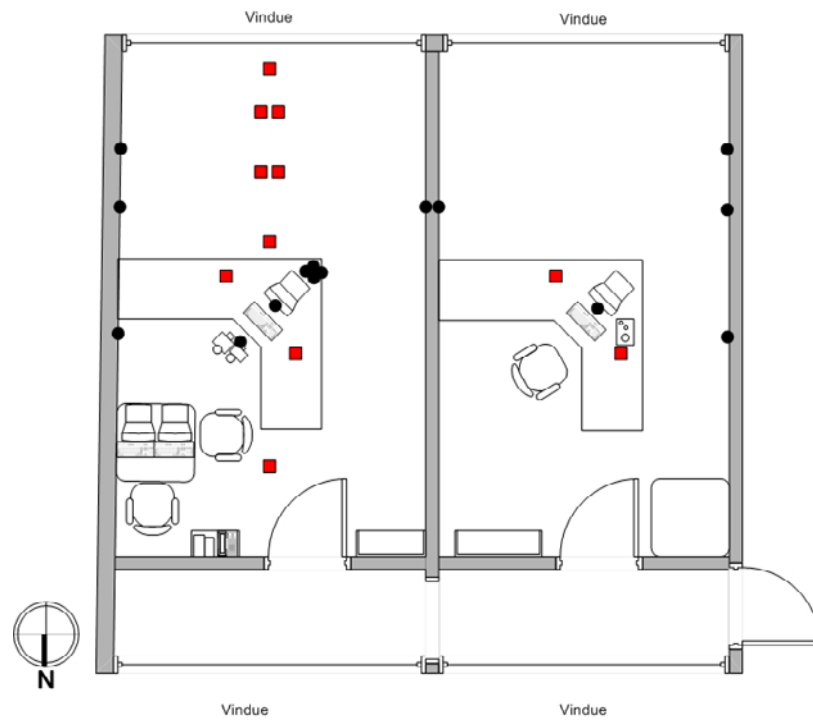


Figur 4. Udsyn fra SBI's dagslyslaboratoriet

SBI's dagslyslaboratorium og forsøgsopstilling

Undersøgelsen blev gennemført i SBI's Dagslyslaboratorium i Hørsholm (55,86° Nord, 12,49° Øst). Forsøgspersonen opholdt sig i det ene af to rum (testrummet), mens det andet rum var indrettet med måleudstyr (referencerummet), dette er for ikke at forstyrre forsøgspersonen (se Figur 5 og Figur 6). Forsøgsrummet er 3,5m x 6m, med en loftshøjde på 3m. I forsøget udgjorde vinduesstørrelsen (glasarealet) 44% af facaden. Denne ven-

der mod syd med en fri horisont (se Figur 4). For at minimere eventuelle gener med blænding fra vinduet, blev forsøgspersonen placeret bagerst i rummet. Vinduet havde en indvendig persienne som under forsøget blev lukket mere eller mindre for at eliminere gener fra direkte sollys.



Figur 5. Figuren viser plan af Dagslyslaboratoriet. Testrummet er vist til højre hvor forsøgspersoner opholdt sig, referencerummet er vist til venstre hvor målinger blev udført. Måling af horisontale belysningsstyrker er vist med en firkant (rød) og vertikale belysningsstyrke er vist med en cirkel (sort). Farvetemperatur og luminansfordeling (synsfelt 180°) er målt vertikalt på øjeplan diagonalt mod vindue



Figur 6. Opsætning i testrum og referencerum. Arbejdspladsen var indrettet således at forsøgspersonen var drejet 45° væk fra vinduet ved arbejde på SBI's pc. Ved arbejde ved egen pc eller andet arbejde sad forsøgspersonen parallelt med vinduet (som vist på foto).

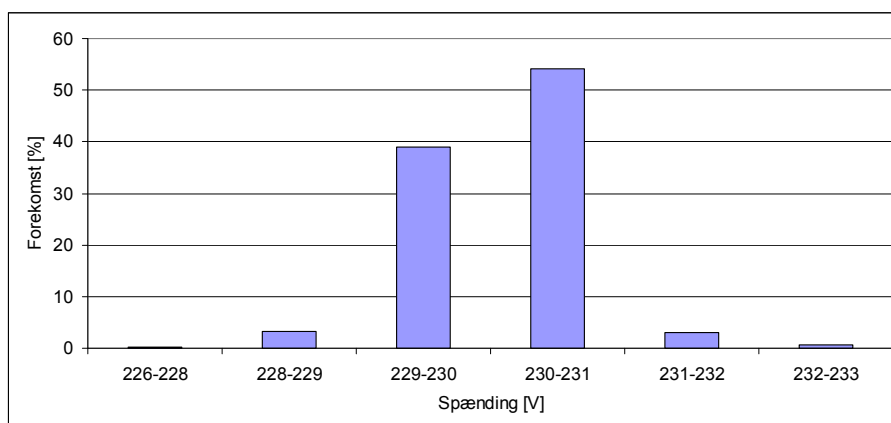


Figur 7. Opstillingen i referencerum for måling af farvetemperatur og luminansfordeling (CCD kamera), samt måling af horisontale belysningsstyrker.

I forsøget udførte forsøgspersonen det der svarer til almindelig 'kontor'-arbejde. Arbejdspladsen var indrettet således at forsøgspersonen var drejet 45° væk fra vinduet ved arbejde på SBI's pc, mens arbejde ved egen bærbar computer eller andet arbejde sad forsøgspersonen parallelt med vinduet.

Måleudstyr og dets placering i rummet er vist i Figur 5 og Figur 7. I Figur 5 er måling af horisontale belysningsstyrker vist med en firkant (rød) og måling af vertikale belysningsstyrke er vist med en cirkel (sort). Farvetemperatur og luminansfordeling (synsfelt 180°) er målt i referencerummet vertikalt på øjeplanet (1,2 m over gulvet) drejet 45° væk fra vinduet.

For at sikre at netspændingen var stabil under hele forsøgsperioden var det nødvendig at indsætte en spændingsstabilisator. En væsentlig årsag til at anvende en spændingsstabilisator er at en ændring i netspændingen kan resultere i en betydelig ændring i belysningsstyrken, samt resulterende energiforbrug. I løbet af forsøget varierede netspændingen indenfor intervallet 229–231 V (230 V \pm 0,43%) i 92% af tilfældene (se Figur 8).



Figur 8. Variation i netspænding i løbet af forsøget. I 92 % af tiden lå spænding mellem 229 - 231 V, 3 % af tiden var den over 231 V og 5 % af tiden var spændingen under 229 V.

Belysningssystemet

Under forsøget blev der benyttet lysstofarmaturer af fabrikat Philips, type Savio. Savio armaturet er et dynamisk belysningsssystem som giver fleksibilitet til at tilpasse lysstyrke og farvetemperatur, enten efter eget ønske, ved faste indstillinger, eller det styres automatisk med et 'dynamisk rumbelysningsystem'. Idéen med systemet er at skabe en 'naturlig' dynamisk stemning der varierer hen over dagen ligesom dagslyset. Selve armaturet har kant-til-kant belysning med en patenteret mikrolinseoptik. Armaturene kan sammenkobles i et linje- eller blok arrangement. Armaturet opfylder belysningsnormen EN 12464-1 om begrænsning af blænding ($L_m < 1000 \text{ cd/m}^2$ i alle synsretninger ved $\gamma \geq 65^\circ$ og $UGR_R < 19$).

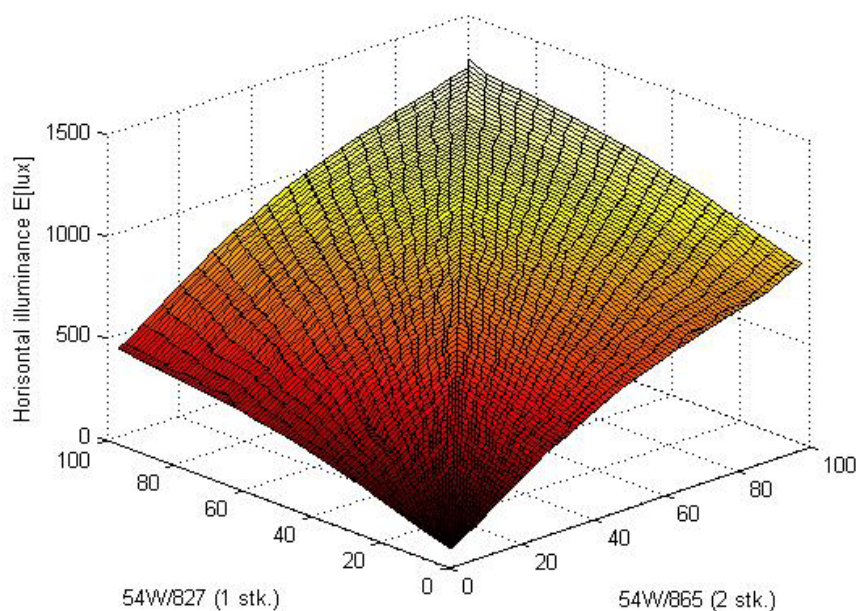
I hvert rum var der installeret tre Savio armaturer (3x54W direkte nedad lysende). Hvert armatur havde to stk. lysstofrør Master TL5 HO 54W/865 (cool white) og et stk. lysstofrør Master TL5 HO 54W/827 (warm white). Lysstofrørene havde et farvegengivelsesindeks $R_a = 85$ og farvetemperaturen (CCT) var henholdsvis 6500K for 865-røret og 2700K for 827-røret. Vi anvendte et digitalt kontrolsystem (DALI) til at adressere armaturerne, dvs. de cool-white lysstofrør i en gruppe (865) og de warm-white lysstofrør (827) i en anden gruppe. Pc-programmet MultiDim (Philips) var brugt til at give mulighed for at reguleringsboksen (eller pc) kunne sende signal til den enkelte spole i hvert armatur om hvor meget den skal regulere (se Figur 12). Programmet giver mulighed for at hvert rør eller gruppe (som i forsøget) kan reguleres mellem 3 og 100%. Belysningsystemet gav forsøgspersonen mulighed for at regulere belysningsniveauet på arbejdsbordet mellem 57 lux og 1270 lux (se Figur 9), mens farvetemperaturen kunne reguleres fra 2900 til

5500 K (se Figur 10). Effektoptagelsen pr. gulvareal for belysningssystemet kunne varieres mellem $4,8 \text{ W/m}^2$ og $26,2 \text{ W/m}^2$.

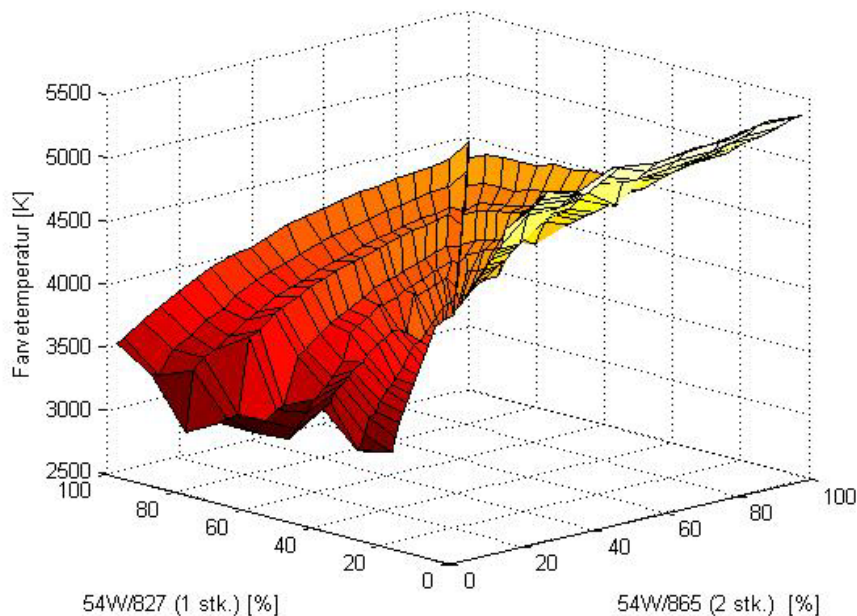
Under selve forsøget indgik bidraget fra dagslyset og den elektriske belysning i de fysiske målinger. For at separere bidraget fra den elektriske belysning gennemførte vi en række kontrolmålinger uden dagslys. Kontrolmålingerne blev verificeret med beregningsmodeller udført i programmet Matlab. Matlab modellerne blev udviklet med henblik på at beregne belysningsstyrke og farvetemperatur og der blev antaget linearitet mellem punkterne (se Figur 9 og Figur 10). I Figur 9 viser XY-planen (grundplan) henholdsvis det 54W/827 (warm-white) og 54W/865 (cool-white), mens z-aksen (opad) viser horisontal belysningsstyrke på arbejdsplanet. Forskellen i belysningsstyrken mellem x-aksen og y-aksen, er at Savio armaturet har 2 'cool-white' og 1 'warm-white' lysstofrør. I Figur 10 er XY-planen defineret som ovenfor mens z-planen viser farvetemperaturen (øjeplan). Usikkerheden i Matlab modellen viser at der er en lille forskel mellem hvad modellen beregner og hvad kontrolmålinger viste. Tabel 1 viser hvor stor forskellen var for henholdsvis belysningsstyrke og farvetemperatur. Af tabellen kan det ses at usikkerheden var mindst for belysningsstyrken, mens den var større for farvetemperaturen.

Tabel 1. Forskel mellem Matlab-model og kontrolmålinger. Usikkerheden er mindst for belysningsstyrken, mens den er større for farvetemperaturen. Den større usikkerhed for måling af farvetemperatur skyldes at LightSpex instrumentet udviser stor usikkerhed ved måling af CCT ved lave belysningsstyrker.

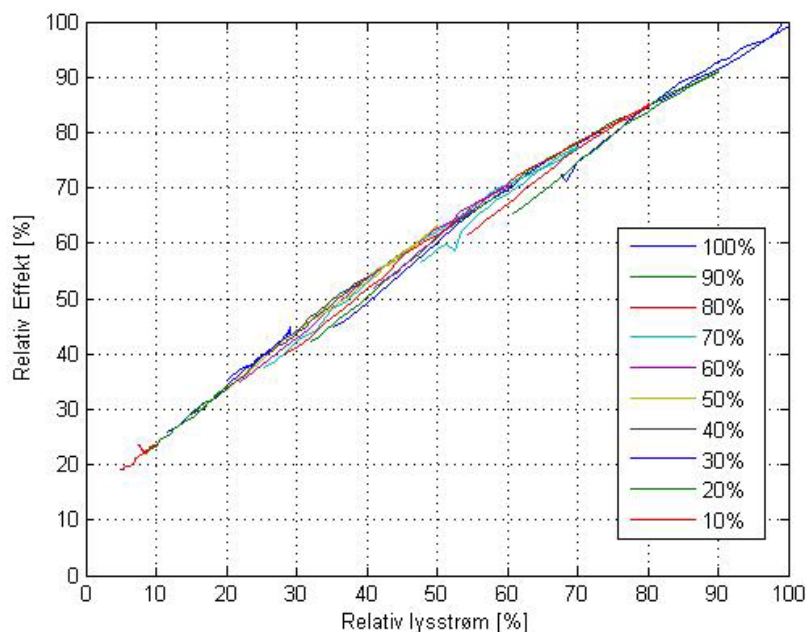
Måling	Vertikal belysningsstyrke	Horisontal belysningsstyrke	Farvetemperatur
Middel	3%	2%	-2%
Min	-1%	-3%	-14%
Maks	6%	5%	8%
Standardafvigelse	2%	2%	3%



Figur 9. Matlab modellen viser området for horisontal belysningsstyrke på arbejdsplanet ved forskellige indstillinger af lysstofrørene Master TL5 HO 54W/865 (2 stk.) og Master TL5 HO 54W/827 (1 stk.).



Figur 10. Matlab modellen viser området for farvetemperaturen på øjeplanet ved forskellige indstillinger af lysstofrørene Master TL5 HO 54W/865 (2 stk.) og Master TL5 HO 54W/827 (1 stk.).



Figur 11. Relativ effektmålinger på Savio systemet hvor effekten kan variere mellem 200 og 1100 W. Grafen viser optagelsen i effekt er relativ stor ved et nedreguleret anlæg i forhold til udnyttelsen af den installerede effekt for relativt høj lysstrøm.

Figur 11 viser afbildning af relativ effektmåling på Savio systemet. Grafen viser hvor meget relativ effekt Savio systemet optager ved at regulere på lysstrømmen. Figurer viser at det er en lille variation i det målte effektoptag i forhold til lysstrømmen. Optagelsen i effekt er relativ stor ved et nedreguleret anlæg, så ud fra et energibesparelsessynspunkt, bør et anlæg slukke automatisk, når lysstrømmen er mindre end et givet setpunkt.

Forsøgsmetode

Den enkelte forsøgsperson var til stede en hel arbejdsdag. Indstilling af belysningen når forsøgsperson ankom til lokalet var 500 lux på arbejdsbordet og farvetemperaturen var 3500 K.

Inden forsøget blev forsøgspersonen introduceret til forsøget og fik lov til at afprøve reguleringsboksen (se Figur 12) og vælge den indstilling der passede bedst. Boksen har to reguleringsfunktioner, hvoraf drejeknappen (højre

i billede) blev brugt til at hæve eller sænke belysningsniveauet i rummet, mens de to skydeknapper (venstre i billede) blev brugt til at ændre på farvetemperaturen. Farvetemperaturen ændres ved at venstre skydeknop styrer de kolde lysstofrør (865), mens højre skydeknop det varme lysstofrør (827).



Figur 12. Reguleringsboksen hvor de to skydeknapper til venstre blev brugt til at ændre på farvetemperaturen mens drejeknappen til højre blev brugt til at hæve eller sænke belysningsniveauet i rummet.

I løbet af dagen blev forsøgspersonen, med 30 minutters mellemrum, bedt om at tage stilling til, om hun/han ønskede at ændre på belysningsstyrke og farvetemperatur (se Tabel 2). Belysningsstyrke, farvetemperatur og luminans blev målt lige før og lige efter forsøgspersonen havde ændret på indstilling af den elektriske belysning. Efter frokost ændrede vi på belysningen, idet vi sænkede belysningsstyrken til 500 lux men fastholdt så godt som muligt farvetemperaturen fra det foregående valg. Ved begyndelsen og afslutningen af forsøget blev forsøgspersonerne bedt om at udfylde et spørgeskema, hvor svarene på spørgsmålene blev brugt til at kortlægge deres tilfredshed med den elektriske belysning, om den havde forårsaget blænding, om behovet for at regulere belysningen, og om hvorfor de ønskede at ændre på indstillingen.

Tabel 2 Tidsforløb af forsøg og målinger i eksperiment

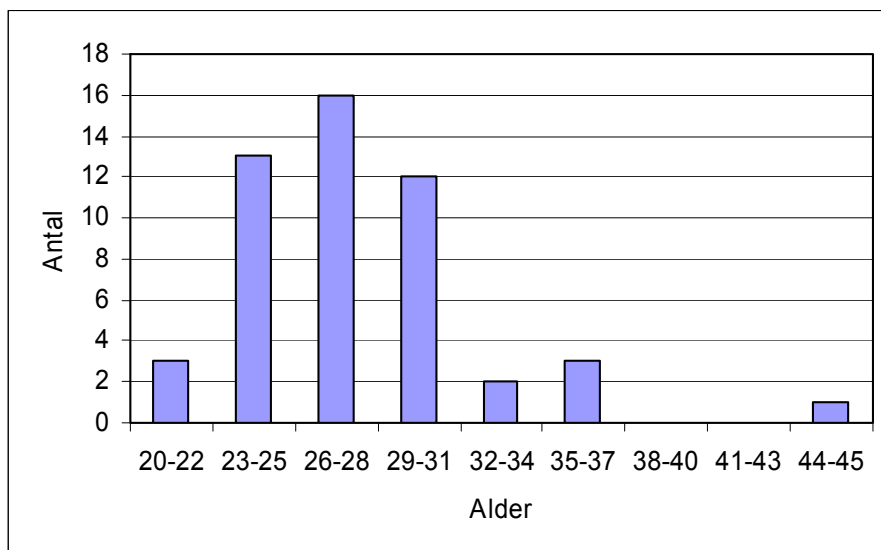
Tid	Opgave	Savio	CCD kamera / Lightspex
9.00	<i>Ankomme, introduktion, indhold af dagens opgaver.</i> <i>Placeres i Dagslyslab: Introduktion til rum, arbejdsplads, computer, styringsmuligheder, spørgeskema</i>	<i>Indstilling af armatur når forsøgsperson ankommer (3500 CCT / 500 lux)</i> <i>Forsøgsperson afprøver system og vælger den indstilling der passer.</i>	<i>Målinger med CCD kamera og Lightspex udføres samtidig.</i>
9.15	Session 1	<i>Som valgt ved personlig indstilling.</i>	<i>efter ændring</i>
9.45 – 11.45	<i>Eget arbejde</i>	<i>'fri'</i>	<i>før ændring / efter ændring</i>
11:50-12.30	Frokost		
12:30	Session 2	<i>Som da rummet blev forladt, dog max 500 lux</i>	
12.45 – 15.15	<i>Eget arbejde</i>	<i>'fri'</i>	<i>før ændring / efter ændring</i>
15:30	<i>Erfaringer i løbet af dagen, spørgeskema, afslutning</i>		
15:50	<i>Forsøg slutter</i>		

Resultat

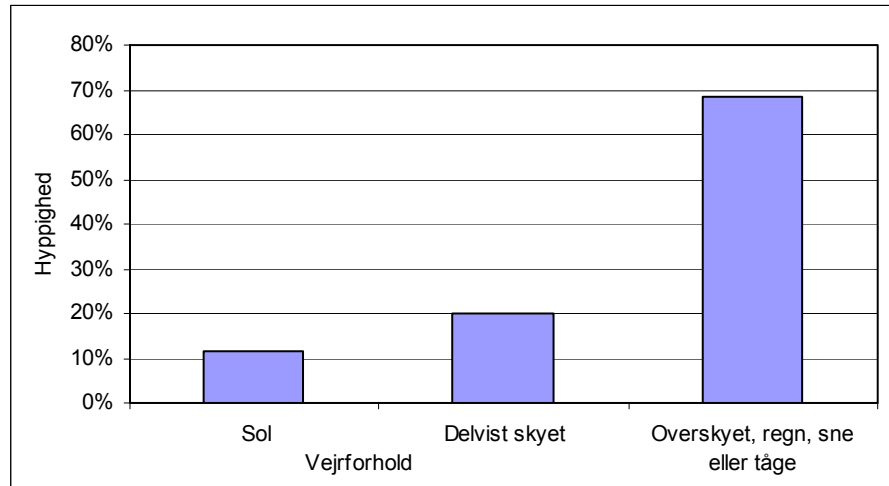
Undersøgelsen viste at det var store forskelle mellem de enkelte forsøgspersoner i deres valg af belysningsniveau og farvetemperatur. Komplet dataset findes i alt for 37 forsøgspersoner, mens for 4 forsøgspersoner mangler der nogle få måledata enten i begyndelsen eller slutningen af forsøgsdagen. Dog mangler der måledata for belysningsstyrker fra 9 forsøgspersoner pga. fejl i opsamlingsudstyret. Den enkelte forsøgsperson havde mulighed for at ændre på belysningsstyrke og farvetemperatur hvert 30 minut. Under de enkelte resultatafsnit angives kun den belysningsstyrke og farvetemperatur som den enkelte forsøgsperson valgte.

Forsøgspersoner

Forsøgspersonerne var hovedsagelig studerende (homogen gruppe) og deres aldersfordeling lå mellem 20-35 år ($N = 50$, $\underline{M} = 27,7$, $\underline{SD} = 4,07$), én forsøgsperson var ældre (44 år) (se Figur 13). Det var næsten lige mange kvinder ($N = 24$) som mænd ($N = 26$). Forsøgspersonerne lavede almindeligt kontorarbejde (arbejde ved pc, læsning eller skrivning). Under forsøgene blev de udvendige vejrforhold registeret, og i forsøgsperioden var det i 68% af tiden enten overskyet, regn, sne eller tåge (se Figur 14), mens resten af perioden enten havde skyfri eller delvist skyet himmel. Forsøget blev gennemført fra slutning af december 2006 til midten af marts 2007.



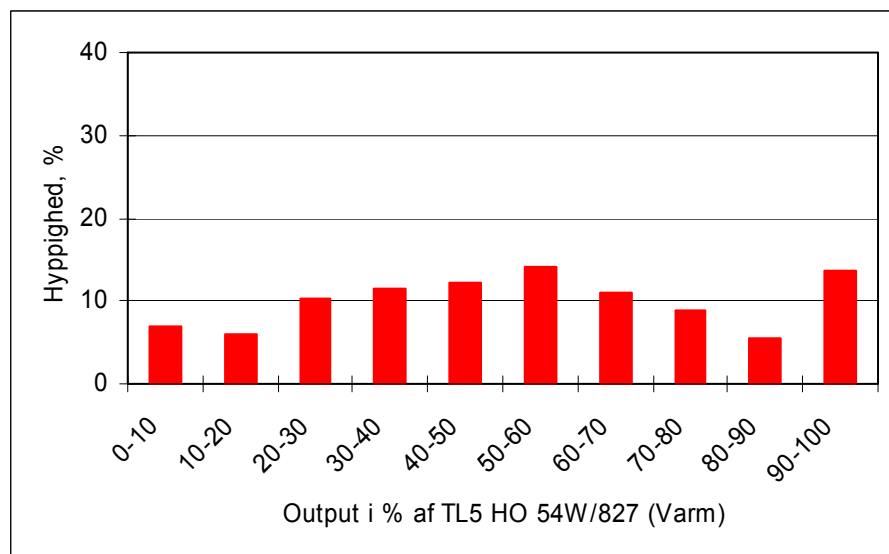
Figur 13. Forsøgspersonernes aldersfordeling af ($N = 50$, $\underline{M} = 27,7$, $\underline{SD} = 4,07$),



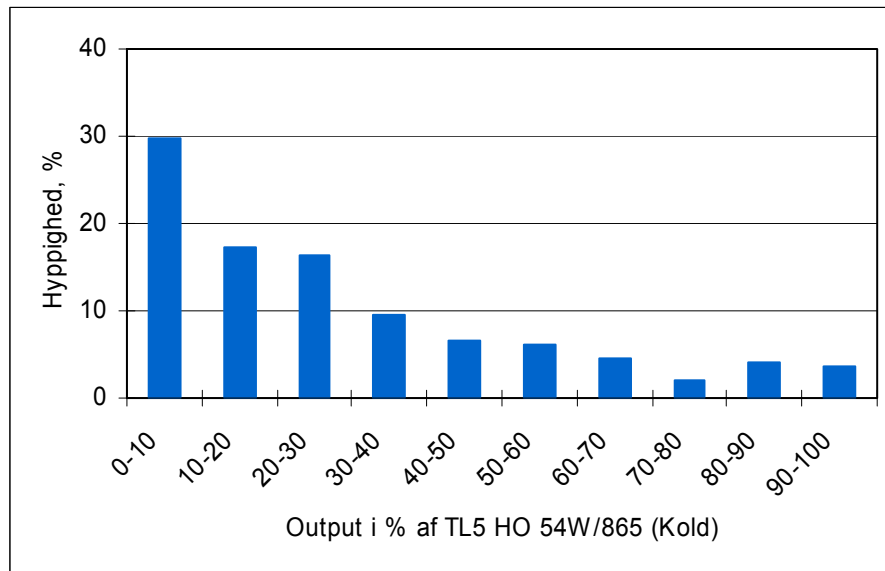
Figur 14. Registrering af udvendige vejrforhold.

Kombination af lysstofrør med farvekode 827 og 865

Dette afsnit forklarer hvordan belysningsystemet blev brugt af forsøgspersonerne. I Figur 15 og Figur 16 afbildes hyppighedsfordeling i % ved brug warm-white lysstofrør (827) og cool-white lysstofrør (865). Af Figur 15 kan man se at forsøgspersonerne har valgt at anvende hele reguleringsområdet (mellem 3 til 100%) for det warm-white lysstofrør, mens Figur 16 viser at der er størst andel i de lavere reguleringsområde for de cool-white lysstofrør.



Figur 15. Hyppighedsfordeling af brugen af TL5 HO 54W/827 (warm-white lysstofrør). Grafen viser en tilnærmet jævn fordeling af brug af lysstrøm fra det varme lysstofrør og relativt høj hyppighed af brug ved de høje værdier.

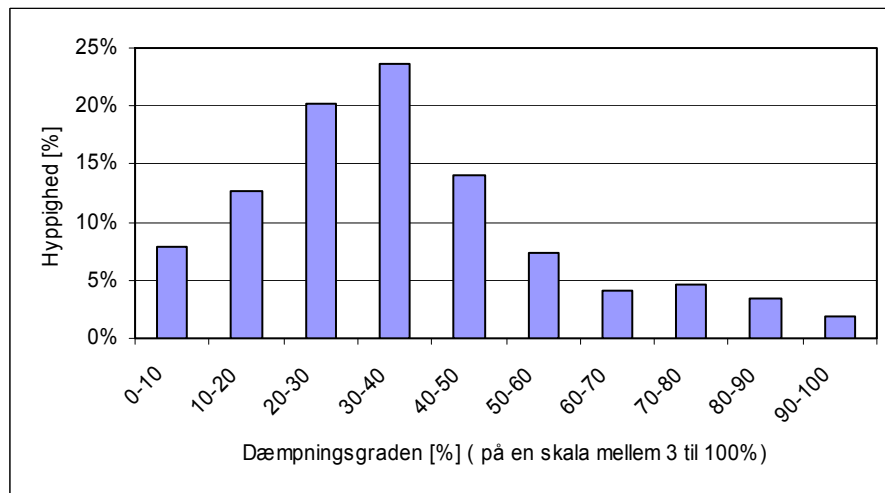


Figur 16. Hyppighedfordeling af brugen af TL5 HO 54W/865 (cool-white lysstofrør). Grafen viser at hele skalaen blev brugt men hyppigst brug af de lave værdier for lysstrøm fra de kolde lysstofrør.

I modsætning til traditionelle armaturer med flere ens lysstofrør, vil det i dette forsøg være rimeligt at definere en 'fælles' dæmpningsgrad ved:

$$\text{Dæmpningsgrad \%} = \frac{(\text{Varm \% (827)}) + 2 \cdot \text{Kold \% (865)}}{3}$$

Figur 17 viser at den samlede dæmpningsgrad hovedsagelig ligger i den lave ende af skalaen, idet 71% ligger i intervallet mellem 10 og 50%. En samlet dæmpningsgrad på 20% svarer til 8,9 W/m² og 50% svarer til 16,5 W/m².



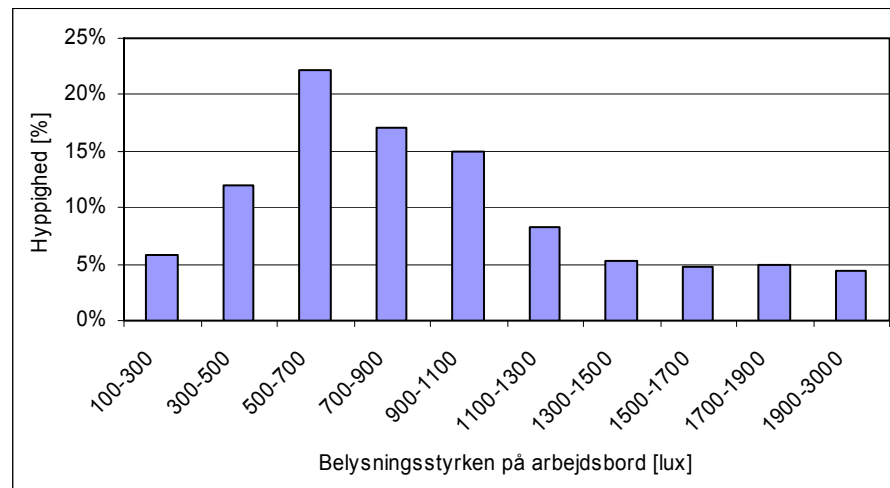
Figur 17. Hyppighedsfordeling af brugen af TL5 HO 54W/827 og TL5 HO 54W/865. Grafen viser at forsøgspersoner hyppigst valgte lave værdier af dæmpningsgraden.

Belysningsstyrke

Belysningsstyrke på arbejdsbord fra dagslys og elektrisk belysning

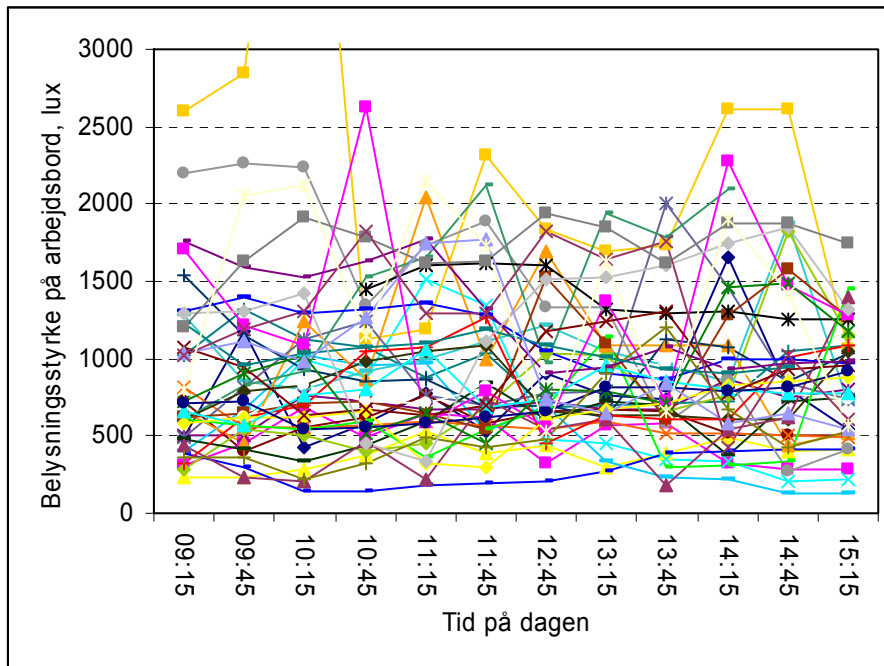
Belysningsstyrken på arbejdsbordet blev målt på hver side af SBI's computerskærm (se Figur 5). Forskellen mellem belysningsstyrken på arbejdsbordet i de to rum viser, at 92% af målingerne lå i området 0-15%, og at måleværdierne i testrummet var lidt lavere pga. selve forsøgspersonen og skygge fra egen bærbar computer. Figur 18 viser hyppigheden for belysningsniveau

på arbejdsbord med bidrag fra dagslys og elektrisk belysning og Figur 19 viser forsøgspersonernes valg for de forskellige tidspunkter i løbet af dagen. Den samlede middelværdi for belysningsstyrken på arbejdsbord var $\bar{M} = 926$ lux ($\underline{SD} = 538$ lux), hvor den elektriske belysning alene bidrog med $\bar{M} = 577$ lux ($\underline{SD} = 272$ lux). Diagrammerne viser at der var forholdsvis store variationer i valgt belysningsniveau hen over dagen, idet den elektriske belysning blev reguleret ud fra behovet for lys på arbejdsbordet og ved skærmen (se Tabel 5). Målinger for den samlede belysningsstyrke (dagslys og kunstig belysning) på arbejdsbord varierede mellem 129 lux og 5625 lux. Beskrivende statistik for valgte belysningsstyrker på arbejdsbord i løbet af dagen kan ses i Tabel 3.

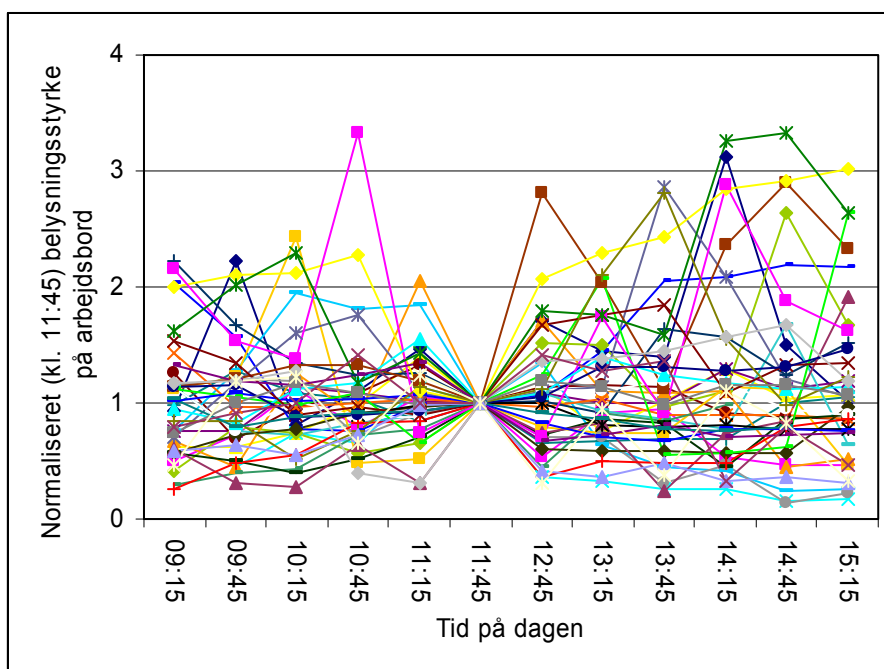


Figur 18. Hyppighed for belysningsniveau på arbejdsbord med bidrag fra dagslys og elektrisk belysning. Middelværdi for belysningsstyrken på arbejdsbord var $\bar{M} = 926$ lux, $\underline{SD} = 538$ lux, hvor den elektriske belysning alene bidrog med $\bar{M} = 577$ lux, $\underline{SD} = 272$ lux.

Som tidligere beskrevet fik forsøgspersonen mulighed for at ændre indstillingen af belysningssystemet hver halve time. Samlet set giver det i alt 550 muligheder for at ændre på belysningen i rummet og ud af de 550 muligheder valgte forsøgspersonerne at ændre belysningen i 407 tilfælde (i 168 tilfælde blev belysningsstyrken sænket; i 239 tilfælde blev belysningsstyrken hævet). Figur 20 viser normaliserede belysningsstyrker på arbejdsbord i løbet af dagen. Målingerne er normaliseret i forhold til den valgte belysningsstyrke kl. 11:45. Figuren viser at forsøgspersonerne ikke ønsker at holde en konstant belysningsstyrke (hvilket svarer til en horisontal linje på grafen), men at den valgte belysningsstyrke ændrer sig mere end 50% i løbet af dagen.



Figur 19 Belysningsstyrken på arbejdsbord (dagslys og elektrisk belysning) i løbet af dagen. Kurverne understreger at der er stor forskel mellem forsøgspersonernes præferencer.



Figur 20 Normaliseret belysningsstyrke på arbejdsbord i løbet af dagen, målingerne er normaliseret i forhold til den valgte belysningsstyrke kl. 11:45. Figuren viser at forsøgspersonerne ikke ønsker en konstant belysningsstyrke (hvilket ville svare til en horisontal linje), men at den valgte belysningsstyrke ændrer sig mere end 50% i løbet af dagen.

Tabel 3 Beskrivende statistik for valg af belysningsniveau på arbejdsbord fra dagslys og elektrisk belysning for hvert enkelt måletidspunkt i løbet af dagen. Tabellen viser, middelværdi (M), standardafvigelse (SD), median og konfidensinterval (nedre og øvre 5% fraktil)

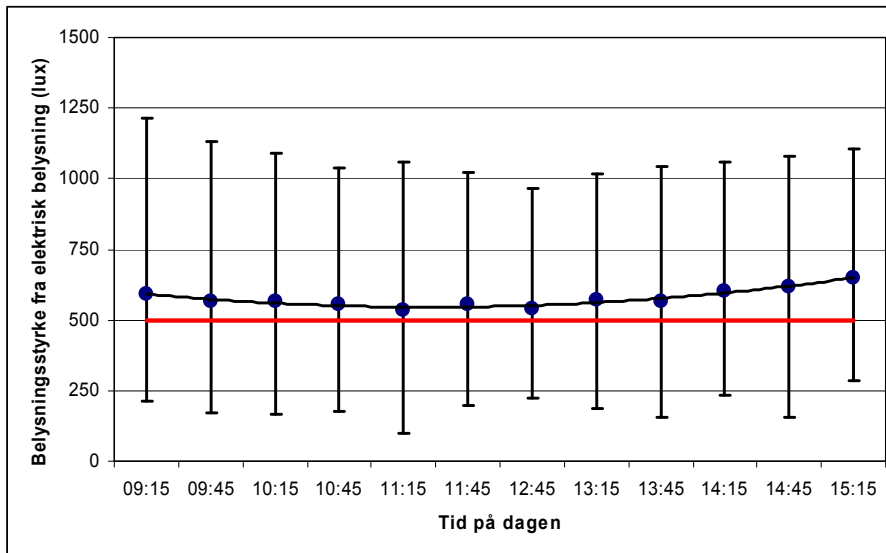
Belysningsstyrke på arbejdsplan i løbet af dagen <u>Både</u> dagslys og elektrisk belysning	<u>M</u>	<u>SD</u>	Median	Konfidensinterval	
	[Lux]	[Lux]	[Lux]	Nedre 5%, [Lux]	Øvre 95%, [Lux]
09:15	873	535	685	306	1800
09:45	910	567	719	295	2071
10:15	1016	889	828	223	2131
10:45	922	492	832	376	1779
11:15	956	515	772	322	1773
11:45	968	515	760	383	1888
12:45	898	444	738	436	1827
13:15	947	419	858	332	1700
13:45	881	451	731	299	1762
14:15	971	582	816	325	2094
14:45	929	551	811	272	1869
15:15	840	374	838	282	1401

Belysningsstyrke på arbejdsbord fra elektrisk belysning

Bidraget fra den elektriske belysning på arbejdsbordet er dem som blev fundet med Matlab modellerne (se side 14). Figur 21 og Tabel 4 beskriver variationen i valg af niveau for den elektriske belysning ved det enkelte måletidspunkt. Samlet set er belysningsstyrken lidt højere end DS 700's krav på 500 lux fra den elektriske belysning ved vedvarende læsning eller skrivning. Figur 21 viser henholdsvis middelværdi af målingerne (blå cirkler), nedre og øvre konfidensinterval (lodrette linjer), tendenskurve hen over dagen samt DS 700 (rød linje). Sammenholdes Figur 21 og Figur 23 er der en tendens til at forsøgspersonerne reducerer bidraget fra den elektriske belysning når bidraget fra dagslyset stiger.

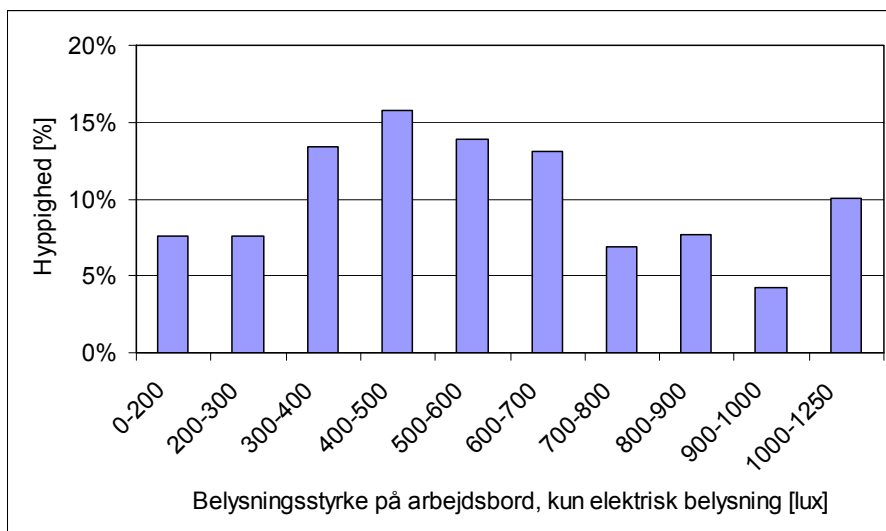
Tabel 4 Beskrivende statistik for valg af belysningsniveau fra den elektriske belysning på arbejdsbord uden bidrag fra dagslys for hvert enkelt måletidspunkt i løbet af dagen. Tabellen viser, middelværdi (M), standardafvigelse (SD), median og konfidensinterval (nedre og øvre 5% fraktil).

Belysningsstyrke på arbejdsplan i løbet af dagen <u>Kun</u> elektrisk belysning	<u>M</u>	<u>SD</u>	Median	Konfidensinterval	
	[Lux]	[Lux]	[Lux]	Nedre 5%, [Lux]	Øvre 95%, [Lux]
09:15	593	298	518	213	1217
09:45	567	293	502	173	1133
10:15	565	289	522	167	1091
10:45	556	258	548	176	1039
11:15	537	269	500	99	1058
11:45	558	274	520	199	1020
12:45	539	226	524	224	967
13:15	572	246	556	187	1019
13:45	564	279	550	157	1044
14:15	603	272	544	233	1061
14:45	618	286	627	154	1080
15:15	651	275	653	286	1105



Figur 21. Bidrag til belysningsstyrken på arbejdsbord kun fra den elektriske belysning hen i løbet af dagen. Den røde linje markerer DS 700's krav på 500 lux ved vedvarende læsning eller skrivning. De lodrette linjer viser nedre og øvre konfidensinterval mens linjen mellem de enkelte måletidspunkter er en polynomisk tendenskurve. Sammenholdes tendenskurven med bidraget fra dagslys (se Figur 23) viser det at når bidraget fra dagslyset stiger, reduceres bidraget fra den elektriske belysning. Samlet set er belysningsstyrken lidt højere end DS 700's krav.

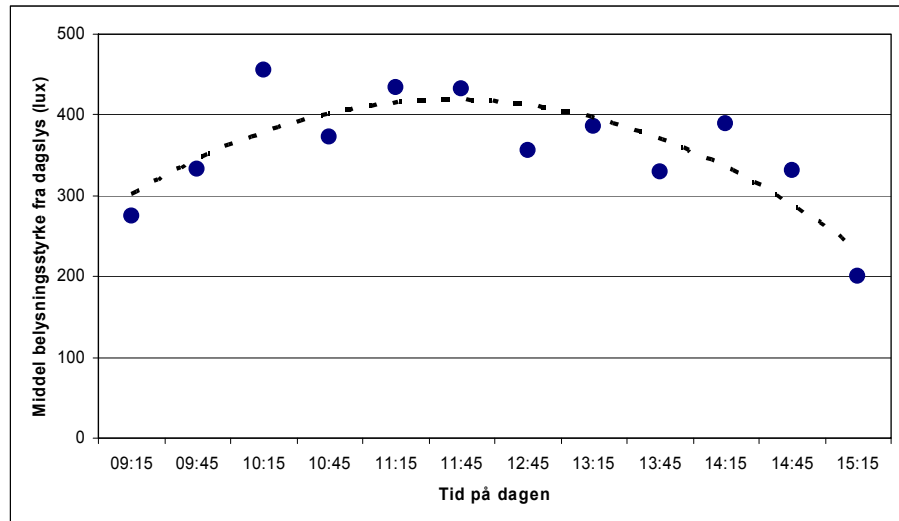
Figur 22 viser hvor tit de forskellige belysningsniveauer blev valgt. Det viser sig at 56% af forsøgspersonerne vælger et belysningsniveau fra den elektriske belysning mellem 300 – 700 lux og ca. 10% vælger en niveau over 1000 lux.



Figur 22 Hyppighed af valgte belysningsstyrker på arbejdsbord fra elektrisk belysning. Over halvdelen af de valgte værdier (56%) ligger mellem 300-700 lux. Belysningsniveauet mellem 0-300 lux blev valgt 16 % af tiden og 700-1250 lux blev valgt 26% af tiden.

Belysningsstyrke på arbejdsbord fra dagslys

Vi har bestemt bidraget fra dagslys ved at tage den samlede måling og trække bidraget fra elektrisk belysning fra. Dermed kan man observere hvordan dagslysbidraget ændres fx på arbejdsbordet, som vist på Figur 23. Figuren viser middelværdi af dagslysbidraget på arbejdsbordet i løbet af dagen. Grafen illustrerer som forventet at bidraget fra dagslys er størst midt på dagen. Sammenholdes dagslysets variation med valg af belysningsniveau er der en tendens til, at når dagslysbidraget stiger vælger forsøgspersonerne at reducere belysningsniveauet fra elektrisk belysning.



Figur 23. Middelværdi af dagslysbidraget på arbejdsbord i løbet af dagen. Kurven mellem de enkelte måletidspunkter er en polynomisk tendenskurve, og den illustrerer hvordan dagslysets bidrag på arbejdsbord varierer som forventet i løbet af dagen.

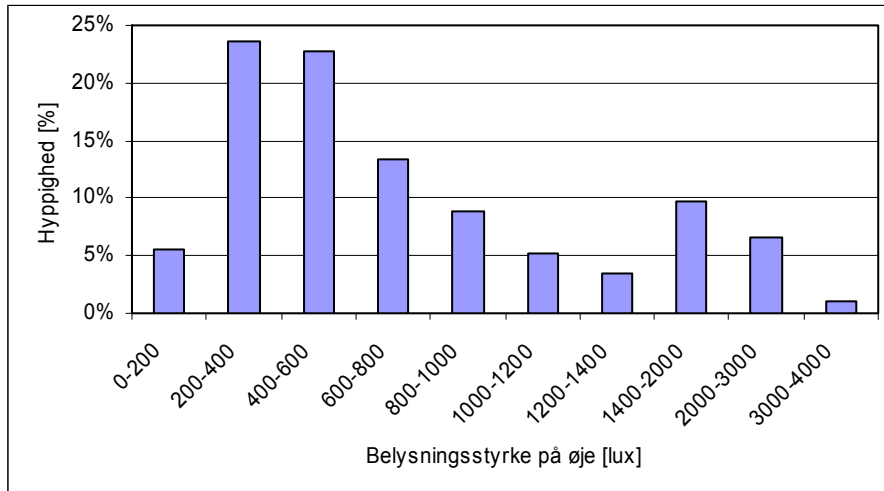
Belysningsstyrke på skærm

Belysningsstyrken på computerskærmen blev målt ud for midten øverst på skærmen (se Figur 7). Bidraget fra dagslyset var meget begrænset pga. computerskærmens placering i rummet i forhold til vinduet (se Figur 6). Middelværdien for belysningsstyrken på skærmen (dagslys og elektrisk belysning) var $\underline{M} = 372$ lux ($\underline{SD} = 234$ lux), og det var forholdsvis stor spredning i niveau hen over dagen, men hovedvægten af værdierne (63%) ligger i intervallet fra 100 til 400 lux.

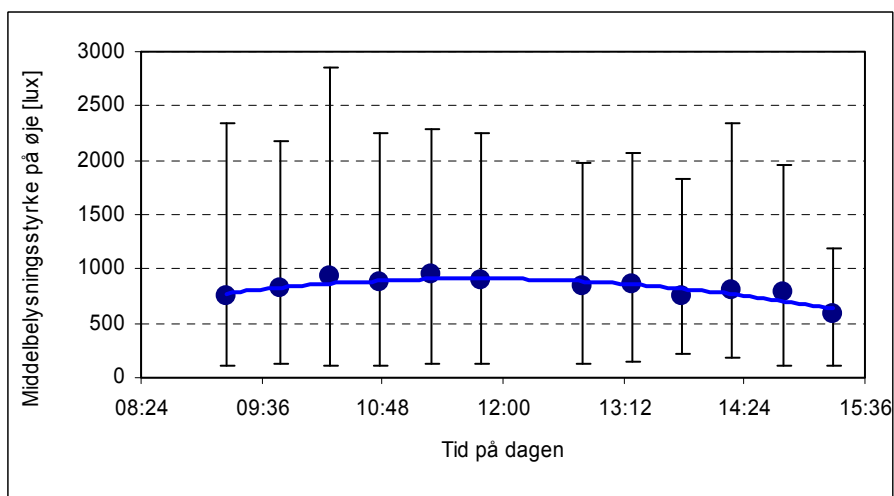
Belysningsstyrke på øje fra dagslys og elektrisk belysning

Belysningsstyrken på øjet var målt vertikalt på øjeplan 1,2m over gulvet drejet 45° væk fra vinduet (diagonalt mod vindue, se Figur 7). Figur 24 viser hyppigheden for belysningsniveauet på øjet (både dagslys og elektrisk belysning) og Figur 25 viser variationen hen over dagen. Den samlede middelværdi for belysningsstyrken på øje var $\underline{M} = 820$ lux ($\underline{SD} = 659$ lux), men der er store variationer pga. direkte sollys tidligt om morgenen for nogle få forsøgspersoner (se Figur 24).

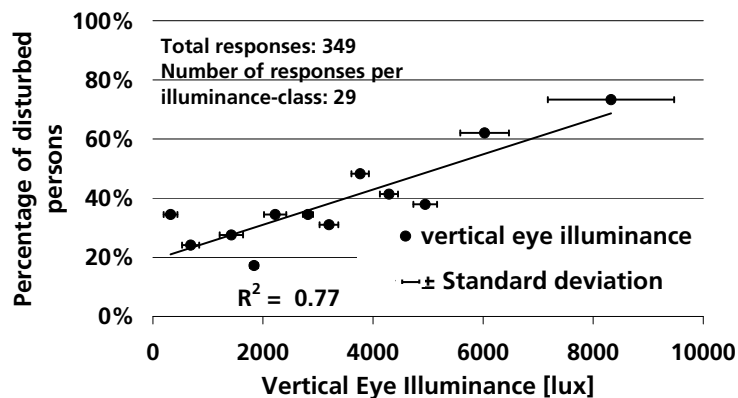
Et tidligere forsøg vedrørende risiko for blænding viser en god korrelation mellem vertikal belysningsstyrker i øjenplan og eventuelt risiko for blænding (Daylight glare probability, se Figur 26) (Wienold og Christoffersen [2006]). Relateres dette forsøg med resultaterne til Figur 26 vil mellem 20-40% af gruppen blive forstyrret af blænding for de belysningsniveauer som blev målt i dette forsøg.



Figur 24 Hyppighed for opnået belysningsstyrkeniveau på øje (dagslys og elektrisk belysning). Valg for belysningsniveau var hyppigst (46%) mellem 200 – 600 lux ($\underline{M} = 820$ lux, $\underline{SD} = 659$ lux).



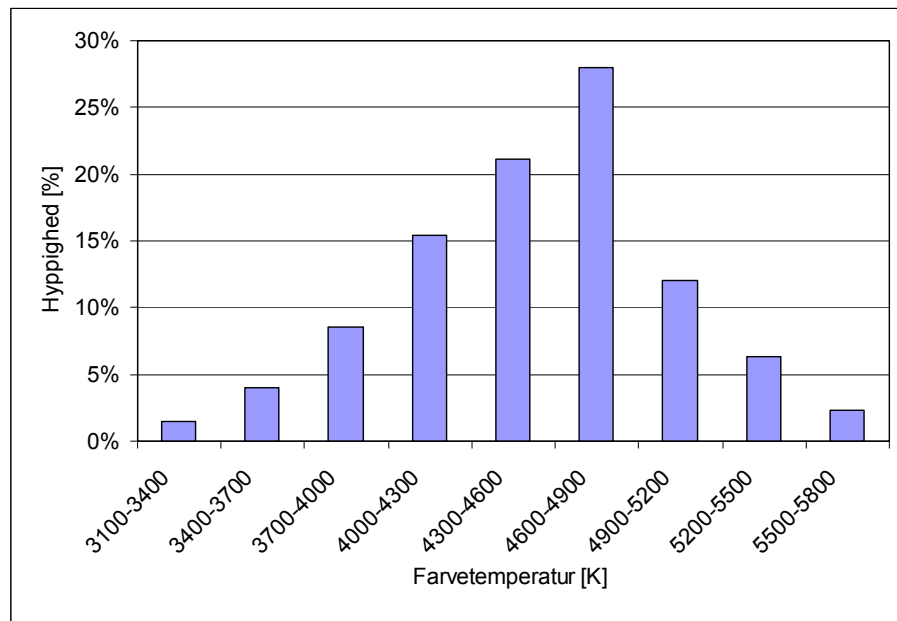
Figur 25 Opnåede belysningsstyrker på øjeplan i løbet af dagen (dagslys og elektrisk belysning). De lodrette linjer viser nedre og øvre konfidensinterval mens lurven mellem de enkelte måletidspunkter er en polynomisk tendenskurve. Tendenskurven illustrerer at det opnåede belysningsniveau på øjeplanet er højere midt om dagen.



Figur 26 Risiko for blænding (Daylight glare probability), vist for vertikal belysningsstyrker i øjeplan. Figuren er vist i Wienold og Christoffersen (2006) som en måde til at forklare hvor mange procent af personer bliver forstyrret af blænding ved målt belysningsstyrke på øjeplan.

Farvetemperatur

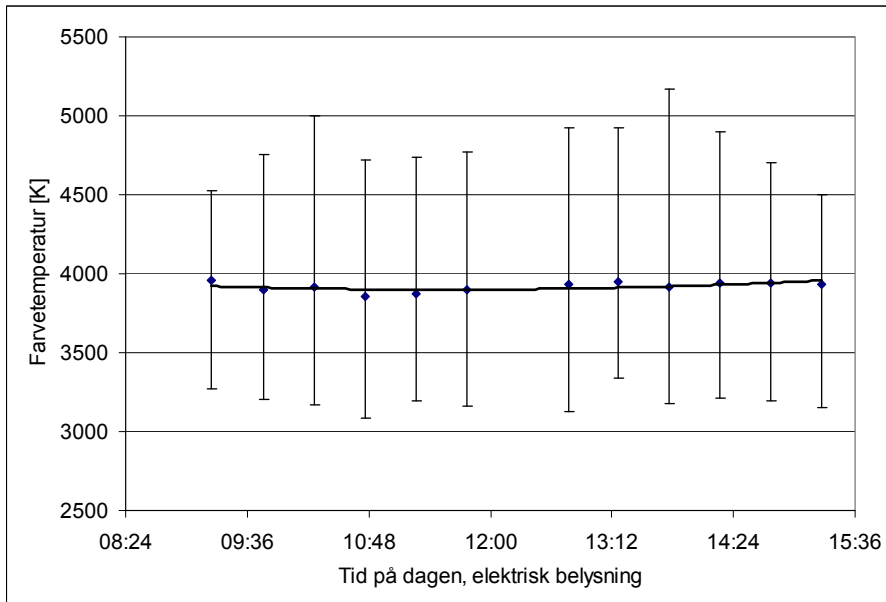
Farvetemperatur blev målt vertikalt på øjeplan drejet 45° væk fra vinduet (diagonalt mod vindue), se Figur 7. Figur 27 viser hyppigheden for farvetemperaturniveau på øjenplan med bidrag fra dagslys og elektrisk belysning. Den samlede middelværdi for farvetemperatur (dagslys og kunstig belysning) i øjenplan var $M = 4543$ K ($SD = 449$ K). Diagrammet viser at der forholdsvis var store variationer i valgt farvetemperaturniveau, hvor målinger for den samlede farvetemperatur på øjenplan varierede mellem 3086 og 6325 K. I Diagrammet vises også at 49% valgte et farvetemperatur niveau mellem 4300 - 4900 K.



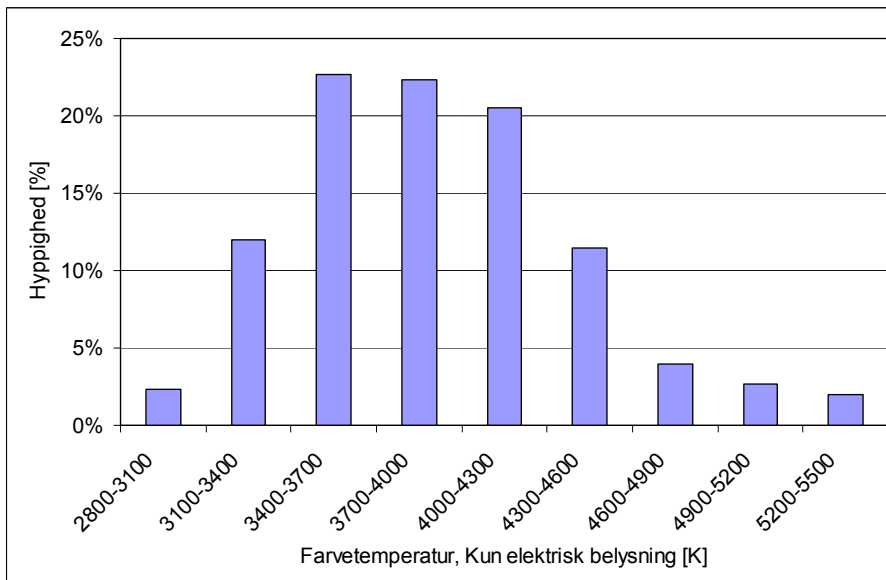
Figur 27 Farvetemperatur (dagslys og elektrisk belysning) målt på øjenplan. Figuren viser forsøgspersonernes valg af farvetemperatur ($M = 4543$ K, $SD = 449$ K), hvor 49% valgte et farvetemperatur niveau mellem 4300 - 4900 K.

Farvetemperatur: Elektrisk belysning

Resultater for den elektriske belysning blev fundet med matlab modellerne (se side 15 og Figur 10). I Figur 28 angives farvetemperaturen variationen i valg for elektrisk belysning for det enkelte måletidspunkt og viser dermed hvordan belysningssystemet blev brugt hen over dagen. I Figur 28 vises middelværdi af målepunkterne som blå punkter. De lodrette linjer viser nedre og øvre konfidensinterval. Bidraget fra den elektriske belysning udgjorde 3917 K (middelværdi) og varierede mellem 2955 K og 5350 K.



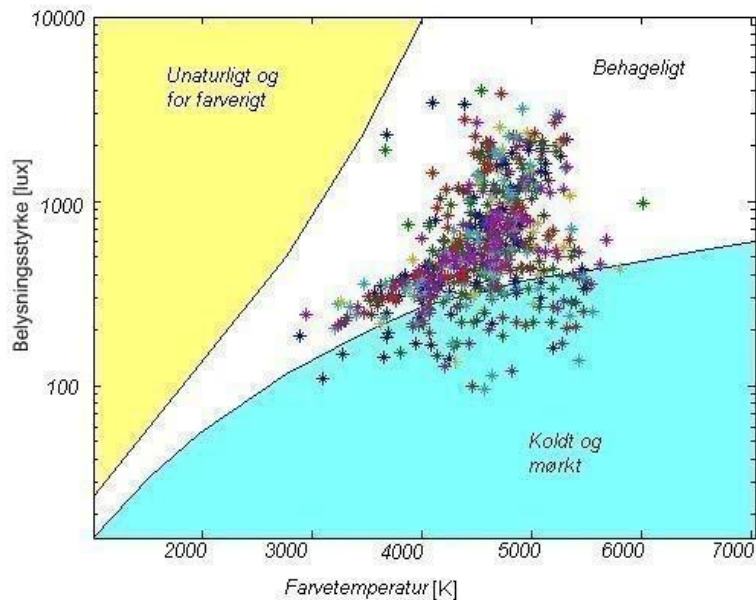
Figur 28 Bidrag til farvetemperatur på øjenplan kun fra den elektriske belysning hen i løbet af dagen. De lodrette linjer viser nedre og øvre konfidensinterval mens kurven mellem de enkelte måletidspunkter er en polynomisk tendenskurve. Figuren viser et stabilt valg for farvetemperaturniveauer i løbet af dagen (middelværdi), men at der er store udsving i de enkelte valg forsøgspersonen ønsker.



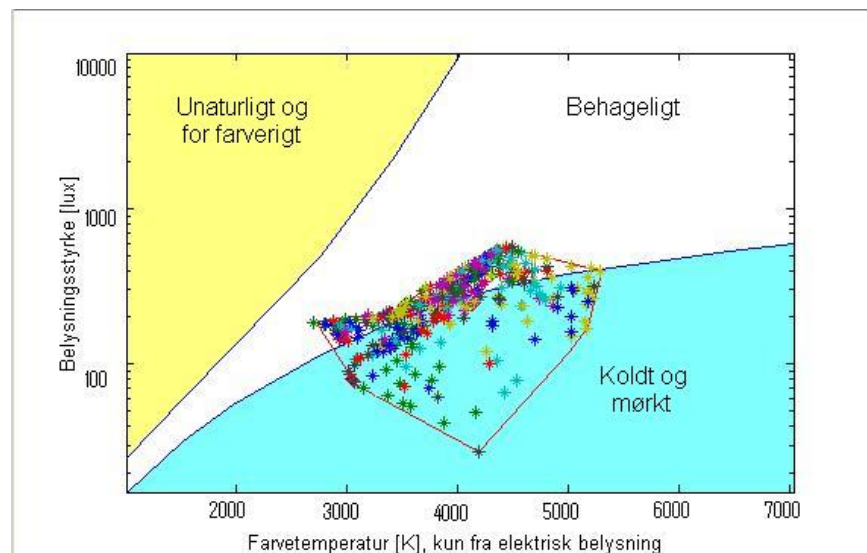
Figur 29 Farvetemperatur fra elektrisk belysning. Forsøgspersonerne opnåede i 66% af tiden et farvetemperatur niveau mellem 3400 -4300 K

Kombination mellem valgt belysningsstyrke og farvetemperatur

Figur 30 viser Kruithof-diagrammet for forsøgets målinger (bidrag fra dagslys og elektrisk belysning), hvoraf det fremgår at forsøgspersonerne hyppigst valgte en kombination svarende til et behageligt belysningsmiljø.



Figur 30. Figuren viser et Kruithof-diagram med forsøgspersonernes valg indsat som små farverige stjerner (dagslys og elektrisk belysning). Et belysningsmiljø opleves behageligt i det hvide område, mens det øvre område (gult) giver oplevelsen af et unaturligt og alt for farverigt belysningsmiljø og nedre område (blå) giver oplevelsen af et belysningsmiljø der er mørkt ved lave farvetemperaturer og koldt ved høje farvetemperaturer.

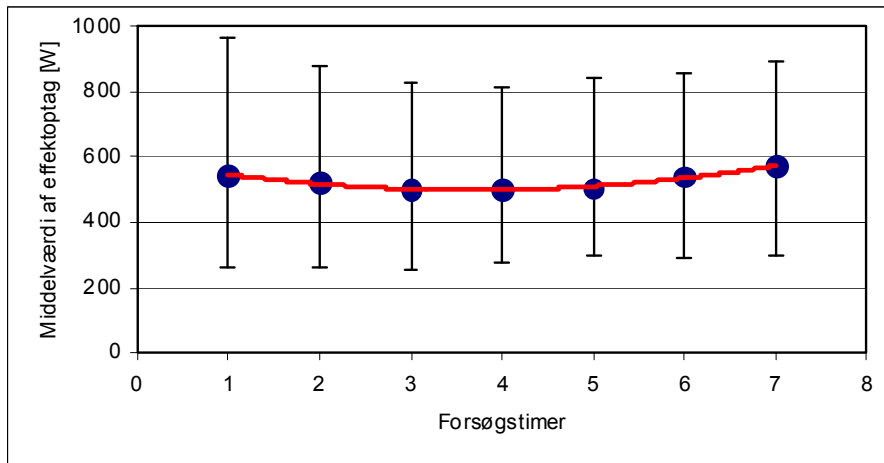


Figur 31. Figuren viser et Kruithof-diagram kun for den elektriske belysning, med forsøgspersonernes valg indsat som små farverige stjerner.

Figur 31 viser Kruithof-diagrammet for forsøgets målinger kun for elektrisk belysning. Disse målinger er indrammet med en tynd linje i diagrammet. Linjen som omfatter målingerne viser mulighederne for kombination af belysningsstyrker og farvetemperatur med Savio armaturet i dette forsøg. Figuren viser at der var en tendens til at vælge en kombination af farvetemperatur og belysningsstyrke som svarer til et behageligt belysningsmiljø ved brug af systemet.

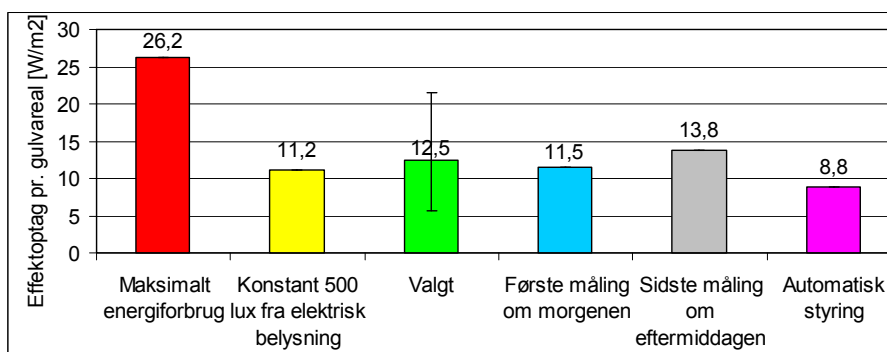
Effekttag og Energiforbrug

I Figur 32 vises effekttag per forsøgstime (middelværdi, blå mærker) hen over dagen. De lodrette linjer er nedre og øvre konfidensinterval og kurven er en tendenskurve (polynomisk) der viser at effekttaget er mindre midt på dagen i forhold til tidligt om morgenen og sent om eftermiddagen.



Figur 32 Middelværdi af effektoptag som blev målt pr. forsøgstime i forsøget. De lodrette linjer viser nedre og øvre konfidensinterval mens kurven mellem de enkelte måletidspunkter er en polynomisk tendenskurve. Figuren viser at der var mindre effektoptag midt om dagen i forhold til i begyndelsen og i slutningen af dagen. Sammenholdes tendenskurven med bidraget fra dagslys (se Figur 23) viser det at når bidraget fra dagslyset stiger, reduceres bidraget fra den elektriske belysning og dermed mindre effektoptag.

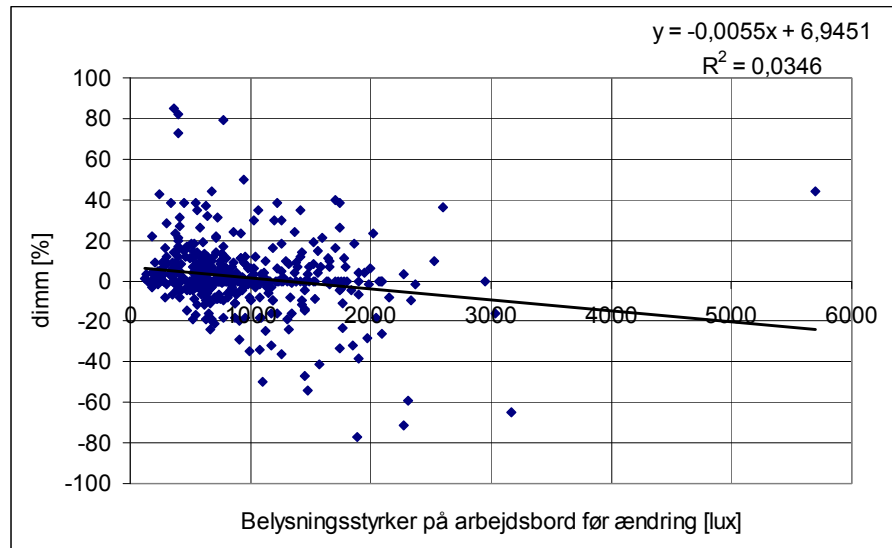
Det samlede effektoptag pr. m^2 gulvareal blev $12,5 W/m^2$, hvilket er højere end Elsparefondens anbefaling om et max effektoptag på $10 W/m^2$. Figur 33 viser det samlede effektoptag pr. m^2 gulvareal fordelt på henholdsvis maksimalt effektoptag pr. m^2 gulvareal, beregnet effektoptag pr. m^2 gulvareal ved konstant 500 lux på arbejdsbord, middelværdi (maksimum og minimum værdi) for aktuelt effektoptag pr. m^2 gulvareal, aktuelt effektoptag pr. m^2 gulvareal ved første måling om morgenen og sidste måling om eftermiddagen, og beregnet effektoptag pr. m^2 gulvareal ved anvendelse af en automatisk styring. Effektoptag pr. m^2 gulvareal under forsøget varierede mellem $5,6 W/m^2$ og $21,6 W/m^2$.



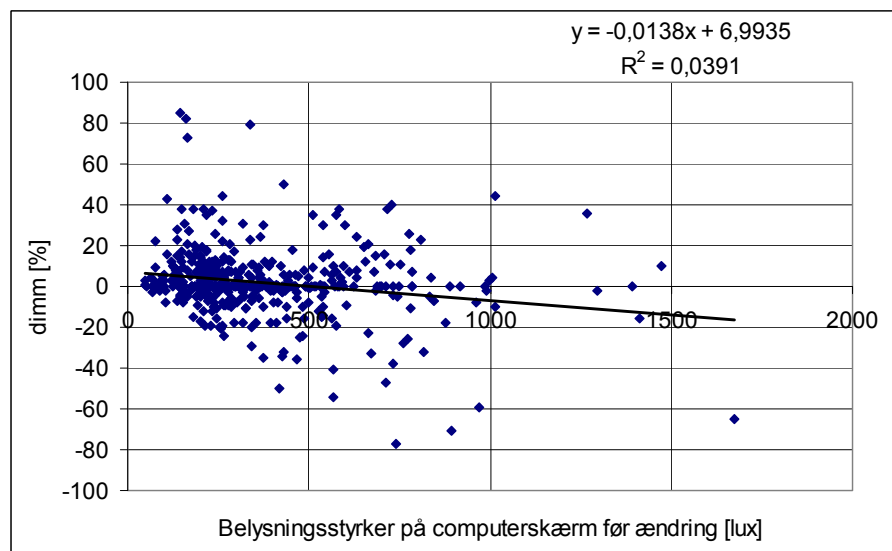
Figur 33. Figuren viser det samlede effektoptag fordelt på henholdsvis maksimalt effektoptag, beregnet effektoptag ved konstant 500 lux på arbejdsbord, middelværdi (standardafvigelse) for aktuelt effektoptag under forsøg, aktuelt effektoptag ved første måling om morgenen og sidste måling om eftermiddagen, og beregnet effektoptag ved anvendelse af automatisk styring.

Personlig regulering

En enkel regressionsanalyse giver en indikation af, at den måde man designer et styrings- eller reguleringssystem for den elektriske belysning måske er fornuftig, idet forsøgspersonerne har valgt at regulere loftsbelysningen ud fra behovet for lys til det arbejde de udførte (se Tabel 5). Analysen viser også at hvis belysningsniveauet blev for lavt, hævdede forsøgspersonen niveauet, mens forsøgspersonen ved høje niveauer sænkede bidraget fra den elektriske belysning (se Figur 34 og Figur 35).



Figur 34 Brug af belysningssystemet i forhold til belysningsstyrker på arbejdsbordet. For belysningsstyrker under ca. 1000 lux bruger forsøgspersonerne kontrolknapperne til at forhøje belysningsstyrken, men for belysningsstyrker over ca. 1000 lux bruger de systemet til at reducere lysstrømmen.



Figur 35 Brug af belysningssystemet i forhold til belysningsstyrker på computerskærmen. For belysningsstyrker under ca. 500 lux bruger forsøgspersonerne kontrolknapperne til at forhøje belysningsstyrken, men for belysningsstyrker over ca. 500 lux bruger de systemet til at reducere lysstrømmen.

Spørgeskema

Spørgeskemaet er vedlagt som bilag ved denne rapport. Resultaterne fra spørgeskemaerne viste at

1. Hvis forsøgspersonerne skulle forestille sig, at hun/han skulle udføre sit daglige arbejde ved denne arbejdsplads, ville de beskrive belysningsforholdene som næsten klart komfortable.
2. Da forsøgspersonen selv kan indstille belysningsniveau, var det en generel opfattelse at niveauet var 'tilpas' (mellem for lavt/for højt), men at det var stor forskel i valg af niveau. Der var en positiv tilfredshed med belysningsniveauet og med lysfarven i rummet og ved arbejdsområdet.
3. Forsøgspersonerne var ikke generet af blænding, hverken fra vindue eller elektrisk belysning.
4. Langt de fleste (42 ud af 50) opfatter at udsynet gennem vinduet er betydningsfuldt og vurdering af muligheden for at se ud har været

mindre påvirket af placeringen i rummet (ca. 4 m fra vindue) end af selve persiennen. Samtidig er de forsøgspersoner som opfatter udsynet som betydningsfyldt betragtelig mere generet af begrænsningen i udsynet.

5. Forsøgspersonerne kunne godt acceptere at det elektriske lys styredes automatisk, hvis de fik mulighed for at ændre på lyset når de fik behov for det.
6. Indeklimaet (temperatur, luftkvalitet, støj, blænding, lysstyrke, lysfarve) blev generelt opfatter som delvist tilfredsstillende til tilfredsstillende. Dog var forsøgspersonerne mindre tilfreds med luftkvalitet, hvilket hovedsagelig skyldes at vinduerne i laboratoriet ikke kan åbnes.

Tabel 5 viser svarene fra spørgsmålet: Har du anvendt indstillingen af den elektriske belysning ud fra nogle bestemte principper? De fleste har svaret, at det var i forhold til ændringer i dagslys og i forhold til deres arbejde.

Tabel 5 Svar til spørgeskema

Har du anvendt indstillingen af det elektriske lys ud fra nogle bestemte principper?	Antal svar
I forhold til ændringer i dagslys	29
I forhold til mit arbejde (computer / læsning)	15
Jeg foretrækker varme farver	11
Jeg fandt de bedste farver	10
Komfort (visuel)	6
Dårligt vejrforhold og derfor betyder dagslyset ingenting	4
I forhold til tidspunkter af dagen	4
Jeg ved ikke	3
Til at vække mig	2
Til at få ændringer frem	2
Til at forebygge blænding	2
Jeg foretrækker høje belysningsstyrker	1
Jeg foretrækker lave belysningsstyrker	1
Jeg foretrækker kolde farver	1
I forhold til mit humør	1

Videre undersøgelser

Resultaterne af undersøgelsen har vist at forsøgspersonerne har valgt et lidt højere belysningsniveau end kravet i DS 700 (\bar{M} = 577 lux imod 500 lux).

Dog er der god overensstemmelse med de studier der er beskrevet i litteraturgennemgangen og specielt tyder tilgangen af dagslys på at når det bliver mere dagslys reduceres behovet for elektrisk belysning. Flere undersøgelser fra udlandet har desuden vist, at lader man den enkelte forsøgsperson selv vælge det indvendige belysningsniveau, vælges ofte niveauer, som er væsentligt højere end det niveau, der normalt anbefales i Danmark. Det medfører også at det samlede effektoptag kommer lidt over anbefalingen fra Elsparafonden. Der kan være flere årsager til dette:

- Placering af arbejdspladsen bagerst i rummet kan have medført at energiforbruget blev højere end fx en placering tættere ved vinduet.
- Forsøgspersonen havde kun mulighed for at regulere loftsbelysningen. Der var ikke mulighed for at supplere med en eller flere arbejdslamper. Laves et nyt forsøg, hvor der suppleres med arbejdslamper, er der indikationer, der tyder på at energiforbruget kan blive lavere.
- Forsøget blev udført i de mørke perioder af året. Forsøg i den lyse årstid, med større tilskud af dagslys kan give et andet resultat.

Sammenfatning

Pilot-projektets mål var at afprøve et nyt lyskoncept, hvor både belysningens farvetemperatur og intensitet kunne varieres efter brugernes ønsker og behov. Afprøvningen foregik gennem en række kontrollerede forsøg i SBI's dagslyslaboratorium (heldagsforsøg med i alt 50 forsøgspersoner), og resultaterne viste sig at være særdeles interessante, både ud fra en energimæssig og en komfortmæssig synsvinkel. Det danske pilotprojekt, sammen med det nordamerikanske (Newsham et al, 2008 in press), viser et besparelspotentiale i størrelsesorden 25%, og forsøgspersonerne gav et klart udtryk for at de regulerede efter dagslyset i rummet. Desuden viste resultaterne, at der er forskel i præferencerne af lys hos "A-mennesker" og "B-mennesker" og at der er forskelle i de lysvariationer, som personerne ønsker hen over dagen. Dette understreger at et belysningsmiljø skal imødekomme de forskellige behov og præferencer vi har til lys. Resultaterne er dokumenteret gennem en omfattende rapport (på engelsk), 4 artikler i fagtidsskrifter, hvoraf de 2 med peer-review (under udarbejdelse, hvoraf det ene er ved at blive fremsendt til et internationalt tidsskrift i samarbejde med National Research Council (NRC) Canada) samt 2 conferenceindlæg (Indoor Air 2008, IEA 45 Visual Quality and Energy Efficiency in Indoor Lighting: Today for Tomorrow).

Belysningsstyrker

- Den samlede middelværdi for belysningsstyrken på arbejdsbordet var $\underline{M} = 925$ lux ($\underline{SD} = 538$ lux).
- Den elektriske belysning havde et $\underline{M} = 577$ lux ($\underline{SD} = 272$ lux) på arbejdsbordet. Belysningsstyrken er således lidt højere end DS 700's krav på 500 lux fra den elektriske belysning ved vedvarende læsning eller skrivning.
- Imens bidraget fra dagslys blev større på arbejdsbordet blev den elektriske belysning brugt i et mindre omfang af forsøgspersonerne. Dog ikke i en grad som svarer til DS 700's krav.
- Der var stor forskel på de enkelte forsøgspersoners valg af belysningsniveau.

Farvetemperatur

- Den samlede middelværdi for farvetemperatur i øjenplan var $\underline{M} = 4543$ K ($\underline{SD} = 449$ K)
- Farvetemperaturen fra den elektriske belysning alene var $\underline{M} = 3917$ K ($\underline{SD} = 494$ K).
- Forsøgspersonerne havde et ønske om et bestemt farvetemperaturniveau som de tilpassede hen over dagen.

Forsøgspersoner

- Sammensætningen af farvetemperatur og belysningsstyrker viser at forsøgspersonerne havde en tendens til at vælge et behageligt belysningsmiljø.
- Forsøgspersonerne regulerede belysningen i forhold til deres arbejdsopgaver og bidraget fra dagslys.
- Generelt set blev forsøgspersonerne ikke forstyrret af blænding i forhold til deres svar på spørgeskemaet mens i forhold til litteraturen (se Wienold og Christoffersen, 2006) kunne mellem 20-40% have oplevet blænding.

Energiforbrug og Effektoptag

- Energiforbruget blev beregnet til en middelværdi på 3673 Wh/dag (SD = 1063 Wh/dag)
- Det samlede Effektoptag pr. m² gulvareal blev 12,5 W/m², hvilket er højere end Elsparefondens anbefaling som ligger under 10 W/m².
- I forhold til at beholde 500 lux på arbejdsbordet, som kravet fra DS 700 lyder på, blev der optaget 1,3W/m² mere effekt pr. gulvareal (i forhold til målt middelværdi) ved at give forsøgspersonerne mulighed for selv at vælge belysningsomgivelserne.

Hypoteserne

Hvis vi kigger nærmere på de hypoteser som vi lavede i begyndelsen af forsøget kan vi se at

1. *Forsøgspersonerne anvender ikke den manuelle kontrolmulighed til at opretholde et konstant belysningsniveau på arbejdsbordet.*
 - ✓ Ja, det er ikke et konstant niveau som blev valgt, men indstillingerne er meget forskellige blandt forsøgspersonerne.
2. *Vi opnår besparelser i effektoptagelse i forhold til effektoptagelse for belysningsstyrkekrav som DS 700 opstiller.*
 - ✓ Ikke bevist i denne omgang, men en ny hypotese er, at årsagen til dette er årstiden, distancen fra vinduet og manglen på én (eller flere) arbejdslampe(r).
3. *Der er andre fotometriske variable som er bedre til at forudsige anvendelsen af manuel kontrolhandlinger end belysningsstyrken på arbejdsbordet.*
 - ✓ Delvist. En højere korrelation blev fundet for belysningsstyrken på computerskærmen, men det var også en korrelation for belysningsstyrken på arbejdsbordet. Dog var disse korrelationer ikke signifikante.

Litteratur

- Begemann, S. H. A.; van den Beld, G. J.; Tenner, A. D. 1997. *Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses*, International Journal of Industrial Ergonomics, 20 (3), 231-239.
- Bordass, W.; Bromley, K.; Leaman, A. 1993. *User and Occupant Control in Buildings*. Proceedings of the International Conference on Building Design, Technology and Occupant Well-Being in Temperate Climates, Brussels.
- Boyce, P.R.; Cuttle, C. 1990. *Effect of correlated colour temperature on the perception of interiors and colour discrimination performance*. Lighting Research and Technology.
- Boyce, P.R.; Eklund, N.H.; Simpson, S.N. 2000. *Individual Lighting Control: Task Performance, Mood, and Illuminance*. Journal of the Illuminating Engineering Society, Winter, 131-142.
- Boyce, P.R.; Veitch, J.A.; Newsham, G.R.; Jones, C.C.; Heerwagen, J.; Myer, M.; Hunter, C.M. 2006a. *Lighting quality and office work: two field simulation experiments*. Lighting Research and Technology, 38 (3), 191-223.
- Boyce, P.R.; Veitch, J.A.; Newsham, G.R.; Jones, C.C.; Heerwagen, J.; Myer, M.; Hunter, C.M.. 2006b. *Occupant use of switching and dimming controls in offices*. Lighting Research and Technology, 38 (4), 358-378.
- Canadian Codes Centre. 1997. *Model National Energy Code of Canada for Buildings*. Ottawa, ON, Canada: National Research Council.
- Christoffersen, J.; Wienold, J. 2005. *Monitoring Procedure for assessment of user reaction to glare*, Report ECCO-DBUR-0303-01, Energy and Comfort Control for Building management systems (ECCO-Build), EU Commission (Contract No: ENK6-CT-2002-00656), 70 pp.
- Halonen, L., Lehtovaara, J. 1995. *Need of individual control to improve daylight utilization and user satisfaction in integrated lighting systems*. Proceedings of the 23rd session of the CIE (New Delhi, India), 200-203.
- Higashihara Y., Ishibashi K., Noguchi H., Yasukouchi A., Kozaki T., Kitamura S. 2005. *Effect of color temperature of light sources on slow-wave sleep*. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science, 2005.
- Ishibashi K., Yasukouchi A., Yasukouchi Y. 2000. *Effects of color temperature of fluorescent lamps on body temperature regulation in a moderately cold environment*. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Scienc,
- Laurentin, C.; Berrutto, V.; Fontoyont, M.; Girault, P. 1998. *Manual control of artificial lighting in a daylight space*. Proceedings of the 3rd International Conference of Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings (Lyon, France), 175-180.
- Maniccia, D.; Rutledge, B.; Rea, M.S.; Morrow, W. 1999. *Occupant Use of Manual Lighting Controls in Private Offices*. Journal of the Illuminating Engineering Society, Summer, 42-56.
- Martin, M.J.; Sheedy J.; Tithof W.; Bergman SM; Navvab M. 2006. *A comparison of traditional and high colour temperature lighting on the near acuity of elementary school children*. Lighting Research Technology,

- Morita, T.; Sato, M.; Sakaguchi, T. 2005. *The effect of exposure in the morning to light of different color temperatures on the behaviour of core temperature and melatonin secretion in humans*. Biological Rhythm Research.
- Moore, T.; Carter, D.J.; Slater, A.I. 2002. *A field study of occupant controlled lighting in Offices*. Lighting Research and Technology, 34 (3), 191-205.
- Newsham, G.R.; Veitch, J.A. 2001. *Lighting quality recommendations for VDT offices: a new method of derivation*. Lighting Research and Technology, 33 (2), 97-116. URL: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc44481/>
- Newsham, G.; Veitch, J.; Arsenault, C.; Duval, C. 2004. *Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance*. Proceedings of the IESNA Annual Conference (Tampa, USA), 19-41. URL: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc47069/>
- Steelcase. 1999. *Office workers believe quality of lighting affects productivity and creativity*. Steelcase Workplace Index Survey, 2 pages.
- Tenner, A.D.; Begemann, S.H.A.; van den Beld, G.J. 1997. *Acceptance and preference of illuminances in offices*, Proceedings Lux Europa (Amsterdam, the Netherlands).
- Tokura, H.; Morita, T. 1996. *Effects of lights of different color temperature on the nocturnal changes in core temperature and melatonin in humans*. Applied Human Science Journal of Physiological Anthropology.
- Veitch, J.A.; Newsham, G.R. 2000. *Preferred luminous conditions in open-plan offices: Research and practice recommendations*. Lighting Research and Technology, 32, 199-212. URL: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/nrcc43061/>
- Wienhold, J.; Christoffersen, J. (2006). *Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras*. Energy and Buildings, 38, 743-757.

I pilot-projektet er afprøvet et nyt lyskoncept, hvor både belysningens farvetemperatur og intensitet kan varieres efter brugernes ønsker og behov. Afprøvningen foregik gennem en række kontrollerede forsøg i SBI's dagslyslaboratorium. Sammen med et nordamerikanske projekt viser resultaterne af afprøvningen et besparelspotentiale i størrelsesorden 25 pct., og forsøgspersonerne gav et klart udtryk for, at de regulerede efter dagslyset i rummet. Desuden viste resultaterne, at der er forskel i præferencerne af lys hos 'A-mennesker' og 'B-mennesker', og at der er forskelle i de lysvariationer, som personerne ønsker hen over dagen.

1. udgave, 2008

ISBN 978-87-563-1353-7