Energibesparende og ergonomiske lysscenarier

Elforsk 351-003 - Slutrapport - 2022

Sophie Stoffer	BUILD Aalborg Universitet
Kjeld Johnsen	BUILD Aalborg Universitet
Inger Erhardtsen	IVE Rådgivning
Per Reinholdt	Dansk Center for Lys
Charlotte Schunck	Albertslund Kommune
Flemming Clausen	Gentofte Kommune
Anne Marie Lund	Signify

Forskningsprojektet ’El-besparende og ergonomiske lysscenarier’ er gennemført i perioden 2019-2022.

Projektet har modtaget støtte fra forsknings- og udviklingsprogrammet, ELFORSK, og er gennemført i et samarbejde mellem BUILD-Aalborg Universitet, IVE Rådgivning og Dansk Center for Lys samt Albertslund og Gentofte kommuner og belysningsleverandørerne Signify og Zumtobel.

INDHOLD

Resume ... 3
Udfordringer som følge af Covid 19 ... 3
English summary ... 4
1 INDLEDNING ... 5
1.1 Baggrund ... 5
1.2 Formål ... 6
2 METODE ... 7
2.1 Målsætning ... 7
2.2 Hypoteser og succeskriterie ... 7
2.3 Monitoreringsstrategi ... 8
2.3.1 Konklusion vedr. registrerede data ... 9
2.3.2 Brugerundersøgelse ... 9
3 CASESTUDIER ... 11
3.1 Introduktion til casestudier ... 11
3.2 Supplerende information og introduktionsfilm på Youtube ... 12
3.3 Case 1: Herstedlund Skole ... 13
3.3.1 Lysforhold ... 15
3.3.2 Introduktion til lysstyring ... 18
3.3.3 Energiberegninger ... 19
3.3.4 Erfaringsopsamling ... 20
3.3.5 Konklusion - case 1 ... 24
3.4 Case 2: Gentofte Rådhus ... 24
3.4.1 Lysforhold ... 26
3.4.2 Introduktion til lysstyring ... 29
3.4.3 Energimålinger ... 30
3.4.4 Energiberegninger ... 32
3.4.5 Erfaringsopsamling ... 34
3.4.6 Konklusion - case 2 ... 35
3.5 Konklusion ... 37
Guidelines
Tjeklister
Referencer

Resume

Dette projekt har fokus på styringsløsningers brugergrænseflade, brugernes lysergonomiske helhedsoplevelse samt styringsløsningers betydning for energiforbruget. I 2 casestudier undersøger projektet, om et lysanlægs intuitive brugergrænseflade med forprogrammerede lysscenarier øger forståelsen af anlæggets egenskaber og fremmer både brugernes interaktion med systemet, energibesparelse og lysoplevelse.

En central del af projektet er afprøvning af supplerende information til den fysiske brugergrænseflade inkl. en introduktionsvideo om styringsløsningens muligheder og betjening. Trods direkte information til brugerne på både skrift og film, og ad flere kanaler, viser undersøgelsen en klar tendens til, at brugerne ikke prioriterer eller tager sig tid til at søge viden om belysningen og dens muligheder.

Erfaringerne fra projektet viser, at selv om styringerne er underbygget med intuitive illustrationer og brugervenlige tryk og scenarier, er det vigtigt, at både indregulering og instruktion/dialog mellem teknisk personale og brugerne prioriteres og følges op. Samtidig udtrykker brugerne ønske om at kunne anvende belysningen korrekt. Der ligger derfor en særlig opgave i at give brugerne tilstrækkelig og passende information af flere omgange, så de bliver opmærksomme på værdien af et nyt belysningsanlæg.

Projektets 2 cases dokumenterer belysningen i henholdsvis et typisk klasselokale og et mindre storrumskontor. Begge cases viser, at etablering af gode ergonomiske belysningsløsninger med dagslys- og tilstedeværelsessensorer er forbundet med en væsentlig reduktion af elforbruget til belysningen.

For klasselokalerne på Herstedlund Skole er det samlede besparelsespotentiale opgjort til ca. 32%, sammenlignet med de eksisterende belysningsanlæg med traditionel lysstyring og armaturer med T5 lyskilder. I kontorlokalerne på Gentofte Rådhus er det muligt at opnå en samlet el-besparelse på ca. 58% i forhold til det eksisterende anlæg, hvor der ligeledes var anvendt T5 lysrør.

På baggrund af projektets resultater er udarbejdet guidelines og tjekskemaer, som kan anvendes i forbindelse med både renovering og etablering af ny belysning.

Udfordringer som følge af Covid 19

Projektet har været kraftigt udfordret af en række omstændigheder, som har medført, at det indsamlede datamateriale er meget begrænset, og at interviewrunder ikke har kunnet gennemføres som planlagt. Covid-19 restriktioner og -nedlukninger, specielt i vinterperioderne, hvor lysmålingerne skulle gennemføres, har betydet at de ønskede sammenligninger af belysningsanlæggene samt styringerne kun er baseret på få direkte interviews med brugerne.

I forbindelse med opsætningen af det nye belysningsanlæg i Gentofte blev der desuden registreret fejl på styringen, og der blev monteret andre downlights/wallwashers end de, der var beskrevet i udbudsmaterialet. Dette understreger vigtigheden af opfølgning og omhyggelig afprøvning af belysningsanlæg før levering og ibrugtagning.

Til registrering af lysstyring og energiforbrug var det planlagt at anvende Remoni clam-on power-sensorer. Imidlertid viste systemet problemer med faseforskydninger samt usikre målinger ved små effekter, så disse registreringer måtte opgives. Derfor er energiberegningerne baseret på estimater fra de korte perioder, hvor det har været muligt at indsamle brugbare data i de to casestudier.

Endelig har der været problemer med selve dataopsamlingen, der har været opsat til (kun) at logge, når der sker ændringer i systemet. Dette giver meget store variationer i tiden mellem to logninger og samtidig er det vanskeligt at fremstille grafer over forløbet af belysningsstyrke og farvetemperatur over tid. Yderligere har Albertslund Kommune pga. hensyn til datasikkerhed lukket for dataopsamling via kommunens netværk lige efter Corona-nedlukningen, hvilket medførte et tab af data fra en længere periode.

De mange udfordringer har samlet set medført, at rapportens resultater og konklusioner er baseret på et ret spinkelt grundlag med korte perioder af brugbare målinger samt få tilbagemeldinger fra brugerne.

English summary

This project focuses on the user interface of lighting control solutions, the users' lighting ergonomic experience and the significance of control solutions for energy consumption. In two case studies, the project investigates whether a lighting system's intuitive user interface, with pre-programmed lighting scenarios, increases the understanding of the system's potential and promotes user-interaction, energy conservation and overall lighting perception.

A central part of the project is testing of additional information for the physical user interface incl. an introductory video about the lighting solution's options and control functions. Despite direct information to users on both writing and film, and through several channels, the study shows a clear tendency for users not to prioritize or take the time to seek knowledge about the lighting and its possibilities.

The experience from the project shows that even though the controls are supported by intuitive illustrations and user-friendly pushbottons and scenarios, it is important that both adjustment and instruction / dialogue between technical staff and the users are prioritized and followed up. At the same time, users express a desire to be able to use the lighting correctly. There is therefore a special task in providing users with sufficient and appropriate information in several rounds, so that they become aware of the value of the new lighting system.

The project's 2 cases document the lighting in a typical classroom and a smaller open-plan office, respectively. Both cases show that the establishment of good ergonomic lighting solutions with daylight and presence sensors can lead to a significant reduction in electricity consumption for lighting.

For the classrooms at Herstedlund School, the total savings potential is calculated at approx. 32%, compared to the existing lighting systems with traditional light control and fixtures with T5 light sources. In the office premises at Gentofte Town Hall, it is possible to achieve a total electricity saving of approx. 58% compared to the existing system, also with T5 fluorescent tubes.

Based on the project's results, guidelines and checklists have been prepared, which can be used in connection with both renovation and establishment of new lighting.

It should be noted that the project has been strongly challenged by several circumstances, which have meant that the data material collected is very limited and that the interviews with users have not been carried out as planned. Covid-19 restrictions and shutdowns, especially during the winter periods, when the light measurements had to be carried out, have meant that the desired comparison of the lighting systems and the lighting controls is based on a very limited data collection and few direct interviews with the users.

1 INDLEDNING

1.1 Baggrund

LED-teknologien udvikler sig fortsat og rykker i disse år inden for på skoler, i kontorer og i mange andre typer lokaler i institutioner og på arbejdspladser. Alene i Københavns Kommune omfatter udskiftning af eksisterende belysning til LED i disse år ca. 2,8 mio. m^2 bygninger. I den private sektor er der ligeledes fokus på de energibesparelser, der kan opnås ved at udskifte belysningen. Den hastige udvikling af en teknologi, der stadig er relativt ny bevirker, at markedet kan være vanskeligt og uoverskueligt at følge med i.

Valg af belysningsløsning styres ofte alene af anskaffelsespris og energibesparelsespotentiale, og i nogle tilfælde er det nye anlæg ikke lige så godt som det gamle, når man ser på f.eks. synsergonomi og mulighed for fokus- eller stemningsskift. Vi er midt i et teknologisk paradigmeskift, hvor det kan være svært at skelne en god belysningsløsning fra en dårlig. Flere anlæg blænder for meget, giver anledning til flimmer og anvender LED-lyskilder, som ikke har tilstrækkelig gode farveegenskaber til at honorere gældende krav og måske heller ikke er tilpasset de aktuelle forhold.

Dertil kommer en tendens til at eksisterende anlæg udskiftes én-til-én til armaturer, som ikke kan mere end de gamle. Det betyder, at bygherren går glip af de muligheder for styring, som er oplagt ved anvendelse af LED-teknologi. Her skal det dog nævnes at der jf. BR18 (Bolig- og Planstyrelsen, 2018) er krav om at anlægget skal leve op til DS/EN12464-1 (Dansk Standard, 2011 og Dansk Standard, 2021) og der skal udføres dagslysregulering og tilstedeværelsesfølere. I standarden er kravene til det oplevede lys i omgivelserne kommet mere i fokus, så det ikke kun er lyset på arbejdspladsen der stilles krav til. Der lægges nu op til at belysningen planlægges for flere brugergrupper, ligesom belysning af omgivelserne (cylindrisk belysning og lys på vægge og lofter) spiller en større rolle. Effektiv styring giver yderligere muligheder for at opnå energibesparelser, selv om belysningsløsningen etableres med flere belysningslag, således at belysningen kan tilpasses forskellige arbejdssituationer og den enkelte medarbejders synsbehov.

Ved installation af belysningsanlæg med brugerbetjente styringsløsninger og mulighed for at skifte mellem forskellige lysscenarier, ses det for ofte, at brugeren ikke forstår eller bruger betjeningen korrekt. Der hersker generelt en del forvirring i markedet om, hvordan man opnår den bedst mulige styringsløsning. Dette er baggrunden for gennemførelsen af Elforsk-projektet PSO 351-003 Energibesparende og ergonomiske lysscenarier, som munder ud i en række guidelines og en tjekliste ved opstart at nye belysningsanlæg.

Projektet omfatter udvikling af enkle belysningslag og lysscenarier inkl. brugerinstruktioner, som kan være til inspiration for dem, som står for belysningsudskiftningerne i Danmark. Belysningslag og lysscenarier afprøves i forsøgslokaler, hvortil der anvendes standardudstyr (armaturer, sensorer, automatik

og betjening). Både de forventede el-besparelser og den tilfredshed med belysningen som helhed, der opnås hos brugerne er blevet målt og dokumenteret i projektet. De lysscenarier og belysningslag, der er anvendt i projektets 2 cases, er blevet forskningsmæssigt undersøgt med henblik på at identificere scenariernes potentiale i relation til synsergonomi, fokus- og stemningsskift samt el-besparelser.

Projektets resultater, inkl. de bedste forslag til lysscenarier, stilles til rådighed for byggeriets aktører både i denne rapport og via branchens spillere (Dansk Energi, Tekniq, Maskinmesterforeningen, Bygherreforeningen, Realdania, IDA, m.fl.) samt via relevante kanaler i pressen. Projektet retter sig således mod byggeriets beslutningstagere og udførende, herunder kommuner, arkitekter, rådgivere og elinstallatører.

1.2 Formål

Formålet med projektet er at identificere konkrete og el-besparende lysscenarier, der er tilpasset standard storrumskontorer og klasseværelser, og gøre dem tilgængelige for arkitekter, rådgivere, elinstallatører og andre relevante faggrupper. Anvendelsen af flere mulige lyssætninger og lysscenarier forudsætter, at brugerne forstår systemets muligheder og er i stand til at betjene det. Da adskillige erfaringer har vist, at mange brugere har svært ved at betjene et lysstyringssystem med flere muligheder, har det også været projektets mål at undersøge, hvordan udformningen af betjeningspanelet samt informationen til brugerne influerer på deres faktiske interesse for at benytte systemet.

Med udgangspunkt i resultater af den seneste forskning og praksis vedr. lysergonomi og døgnrytmelys udvikles lysscenarier, som installeres i et storrumskontor og en skoleklasse. Scenarierne undersøges forskningsmæssigt, idet de to forsøgsinstallationer monitoreres over en længere periode, ligesom elforbruget og synsergonomien undersøges både teknisk og kvalitativt, og der foretages en systematisk kortlægning af brugernes oplevelse af belysningen.

Formålet er således at redegøre for det eksisterende og uudnyttede potentiale i forhold til synsergonomi, mulighed for fokus- eller stemningsskift samt el-besparelse, som belysnings med LED tilbyder. Formålet er desuden at gøre de bedste af de afprøvede lysscenarier (udstyr, styring, betjening) direkte anvendelige via guidelines.

Målet med projektet er desuden at finde balancen mellem energireduktion og den gode brugeroplevelse. I forhold til el-besparelser er belysning med LED nået til et niveau, hvor yderligere besparelser er marginale og muligvis kan findes i brugen og tilpasningen af det specifikke lysanlæg. Derfor sigter dette projekt mod at skabe en guide til, hvordan et lysanlæg inkl. styringsløsning kan udformes med sigte på at skabe synergi mellem brugeroplevelse og energireduktion.

Projektets formidlingsdel er vigtig og består af helt konkrete råd til, hvordan en god belysningsløsning med LED kan indrettes i 80- 90% af alle kontorer og klasseværelser, således at, synsergonomi, mulighed for fokus- og stemningsskift samt el-besparelser går hånd i hånd. Det er således et mål, at projektets resultater bliver formidlet i en form, som er både anvendelig og simpel.

2 METODE

2.1 Målsætning

Projektets målsætning er at undersøge to forhold, nemlig lysergonomisk helhedsoplevelse og energiforbrug. Målet er at give svar på, om en intuitiv brugergrænseflader og programmering af et lysanlæg kan øge forståelsen af anlæggets egenskaber og fremme brugernes interaktion med belysningen og samtidig forbedre lysoplevelsen og anlæggets energieffektivitet.

2.2 Hypoteser og succeskriterie

I forhold til den lysergonomiske helhedsoplevelse blev det blandt andet undersøgt, om et lysanlægs intuitive brugergrænseflade med forprogrammerede lysscenarier, der er tilpasset typiske aktiviteter i rummet, øger forståelsen af anlæggets muligheder. I begge casestudier kan der opstå ret store kontraster (luminansforskelle) i forsøgsrummene, og derfor har der også været fokus på, om kontrastreducerende belysning vil øge brugerne tilfredshed med belysningen. For lysergonomien er der derfor søgt svar på følgende hypoteser:

- Forprogrammerede lysscenarier med tilpasset farvetemperatur og intensitet kræver omhyggelig information til brugerne, for at de kan forstå og udnytte anlæggets muligheder
- Det forventes, at brugerintroduktion og illustrative, forklarende symboler på kontrolpanelet vil medføre en mere aktiv brugerregulering og derved øge brugernes synsergonomiske helhedsoplevelse
- Kontrastreducerende vertikal belysning fremmer synsergonomi og forbedrer helhedsoplevelsen af lyset og rummet

I forhold til energiforbrug og besparelsespotentiale omfattede undersøgelsen afprøvning af følgende hypoteser:

- Tilføjelse af lys på mørke vertikale flader i samspil med strategisk gruppering af lysarmaturer og intuitiv brugergrænseflade skaber synergi mellem brugertilfredshed og energireduktion

Til vurdering af belysningsanlæggene i de to casestudier blev følgende succeskriterier opstillet:

- Hvis den forbedrede brugergrænseflade, som har fokus på både brugernes behov og brugsmønstre, resulterer i en reduktion af energiforbruget, vil det være rimeligt at karakterisere den optimerede styring som en succes

2.3 Monitoreringsstrategi

Projektet har som nævnt været udfordret af Covid-19 restriktioner, herunder begrænset adgang til forsøgslokaler, samt sparsomt eller slet intet fremmøde i kontorer og klasselokaler i alle planlagte forsøgsperioder.

Kort efter opsætning af det nye anlæg, blev der registreret fejl på styringen, idet diverse tryk ikke svarede til det, der var beskrevet i udbudsmaterialet. Dette understreger vigtigheden af opfølgning og afprøvning af belysningsanlæg før ibrugtagning.

De perioder, hvor kontoransatte og elever sad hjemme, blev udnyttet til afklaring af praktiske forhold samt opsætning af et nyt belysningsanlæg på kontoret i Gentofte. I samme periode blev forskellige systemer til monitorering af belysningsvalg og tryk samt registrering af energiforbrug udforsket og afprøvet. De afprøvede systemer var:

- **ReMoni-sensorer** til registrering af el-forbrug. PowerMoniSpot blev installeret på kablerne til armaturerne for at måle det aktuelle effektforbrug: Dette udstyr viste sig ikke at være egnet til opgaven, primært fordi strømforbruget på moderne LED-armaturer er så lavt, at udstyret ikke kunne registrere det.
- **Actiwatches** til registrering og validering af farve- og belysningsvalg (Respironics Actiwatch Spectrum IPX7). Der blev foretaget små indledende forsøg i både undervisningslokaler og kontorer. Dog viste målingerne sig at svinge en del, ligesom de enkelte ure ikke altid registrerede det samme i forbindelse med måling på de faste lyssætninger. Actiwatches kan være egnede til at kortlægge hvor meget lys personer er eksponeret for i løbet af en periode. Men på grund af afvigelserne mellem urene, kræves der et større antal for at nå et realistisk gennemsnit af resultaterne og flere kalibreringer i løbet af forsøgsperioden, hvilket både er tidskrævende og uhensigtsmæssigt for de aktuelle undersøgelser. Tilsvarende udfordringer med uens data og udfald, er ligeledes beskrevet i andre projekter, bl.a. Circadian Lighting (Poulsen, A. B., 2015) Da der i de to casestudier kun anvendtes et lille antal Actiwatches bliver datagrundlaget smalt og usikkerheden stor, hvorfor det blev besluttet at Actiwatches ikke egner sig i dette projekt.
- **Belysningsanlæggets Controller** (styreenhed), som kan tilgå og logge data, som systemet registrerer gennem input- og outputdata: Denne løsning, hvor der logges data ved ændringer i belysningen og brugernes anvendelse af styringspanelet, blev betragtet som optimal, og der blev tilkoblet en PC til controlleren samt installeret software til løbende opsamling af data. Denne logning af aktiviteter på lysstyringsenhederne (LITECOM controllere) blev aftalt med Zumtobel, som stod for opsætningen.
  Desværre blev systemet sat op, således at der kun blev logget ved ændringer i systemet, hvilket i praksis gør det umuligt at tolke resultaterne korrekt ved en kombination af dagslysstyring og manuel styring. Desuden blev der undervejs registreret afbrydelser i logningen på kontorerne i Gentofte, som skyldtes fejl på kontorets strømforsyning. På Herstedlund Skole blev net-tilslutningen desuden afbrudt grundet nye retningslinjer for datasikkerhed. Dette afstedkom en længere periode uden logning, da projektgruppen ikke blev informeret om afbrydelsen.
- **IC-metre** med lys-sensorer til registrering af lys-intensiteter, lys-valg og aktivitet (IC-Meter GSM©): IC-metre med lys-sensorer blev valgt som alternativ lysregistrering på kontorerne i Gentofte. For hver zone blev der monteret en lys-sensor under et armatur og en lys-sensor blev monteret i alle vinduer til monitorering af lysmængder. IC-metrene kan primært bruges til at måle brugstider i de specifikke lokaler, herunder også sammenligning af forsøgslokale og referencelokale. Absolutte værdier af belysningsintensitet eller -effekt kræver omhyggelig kalibrering med

målinger, fx belysningsniveau i bordhøjde eller energimålinger. Over tid blev der registreret fejl på logninger i IC-metrets online cloud løsning, fx med flere enkeltstående og uforklarlige ekstremværdier. Det vidste sig, at der var fejl på en del sensorer, og fejlene skaber usikkerhed om troværdigheden af de tilsyneladende "normale" værdier.

2.3.1 Konklusion vedr. registrerede data

Afprøvningerne viser, at monitorering af belysningsanlæg med henblik på at logge både belysningsindstilling, styringsaktiviteter, brugeradfærd i forhold til valg af styring samt energiforbrug kan være en kompliceret affære. I andre projekter er kamerabaseret logning blandt andet blevet forsøgt. På nye og komplicerede belysningsanlæg findes der imidlertid ikke nogen standard løsning til registrering af belysningsvalg og energiforbrug på zone- og armaturniveau. Problemerne bunder bl.a. i, at man ikke længere føder armaturer fra en samlet strømforsyning, da armaturer kan tilsluttes strøm forskellige steder fra og informationer fra kontakt til belysning i stedet sendes enten via LAN-kabler eller trådløse protokoller.

I dette projekt har det for kontorerne i Gentofte været nødvendigt at bruge (nøjes med) registreringer fra IC-metrene til at kortlægge variationer i belysninger og til at sammenligne brugstider i forsøgslokalet med brugstider i referencelokalet. For klasselokalerne på Herstedlund Skole, hvor der ikke er opsat IC-metre, er datamaterialet fra LITECOM kontrollerne så begrænset, at energiberegningerne må baseres på teoretiske energiforbrug og -besparelser ved forskellige lysstyringer, som beskrevet i standarden DS/EN15193-1:2017+A1:2021 (Dansk standard, 2021).

Som erfaringsopsamling må det siges, at lysproducenter i fremtiden bør sikre adgang til transparente og overskuelige data fra deres lysstyringsenheder, både med henblik på logning af energiforbrug, og i forhold til belysningsanlæggets in- og outputdata.

2.3.2 Brugerundersøgelse

LiteCom dataopsamlingssystemet skulle både logge ændringer i systemet pga. den automatiske dagslysstyring, PIR-føler styring og brugernes styring af systemet kunne registreres. For at få en mere grundlæggende forståelse for brugernes baggrunde for at justere belysning blev datalogningen suppleret med en brugerundersøgelse. Som nævnt medførte projektets mange udfordringer, at der ikke kunne samles tilstrækkeligt med data til at kortlægge brugernes interaktion med lysstyringerne. Derfor er de faktiske ændringer i belysningen kun registreret ved hjælp af IC-metre, og brugernes oplevelse af og forståelse for systemets muligheder er kun kortlagt via brugerundersøgelser og direkte interviews med enkelte brugere.

I projektforløbet blev det klart, at brugerne generelt havde meget lidt indsigt belysningsmulighederne og -styringen. Dette skyldes bl.a. covid-19 restriktioner med nedlukninger og hjemsendelse af medarbejdere. Dette gjorde at det det ikke var muligt at holde et fysisk informationsmøde om belysningssystemerne med brugerne. Derfor blev der udarbejdet bedre forklaringer i form af piktogrammer og tekst på betjeningspanelerne, samtidig med at der blev indsat en QR-kode, der linker til en introduktionsvideo til belysningssystemet og hvordan dette kan reguleres. QR-koden er også sendt ud til brugerne på mail gennem ledelsen.

Brugerundersøgelsen består af et kort spørgeskema kombineret med uformelle samtaler med brugerne. Spørgeskemaet blev sendt til ledelsen på mail, der så skulle videreformidle spørgeskemaet til brugerne. Brugerundersøgelsen bestod af 5 korte spørgsmål om brugerens oplevelse af lyset og styringen af denne:

- Tilfredsstiller den elektriske belysning dine visuelle behov i forhold til dit arbejde?

- Ved betjening af lyset ændres det da som forventet?
- Har du set introduktionsvideoen til lysstyringen?
- Føler du, at du kender lysstyringens funktioner godt Nok (til at kunne tilfredsstille egne Arbejdsbehov)?
- Føler du at der er behov for yderligere vejledning til belysningen?

Spørgeskemaet skulle besvares med 'Ja', 'Nej' eller 'Ved ikke', med mulighed for yderligere forklaring til hvert enkelte spørgsmål. Spørgeskemaet blev sendt ud til de to respektive casestudies. Spørgeskema og interviews blev udført på begge casestudies, men der er lavet forskellige introduktioner og brugerforklaring for de to casestudies da lysstyringssystemer og belysningen ikke er den samme på de to forskellige steder.

3 CASESTUDIER

3.1 Introduktion til casestudier

Den centrale del af projektet er 2 casestudier. Disse er udført dels i klasselokaler i Albertslund Kommune, dels i storrumskontorer i Gentofte Kommune. I begge studier har undersøgelsen omfattet registrering af brugernes lysergonomisk helhedsoplevelse samt energiforbrug.

De to casestudier er gennemført med udgangspunkt i eksisterende belysningsstrategier, brugergrænseflader, brugervejledninger samt programmering.

Casestudierne har omfattet monitorering af fire forskellige lysanlæg:

- et klasselokale med tilhørerende referencelokale
- et storrumskontor med tilhørerende referencelokale

Begge referencelokaler har lysanlæg af ældre dato, mens storrumskontoret og klasselokalet har nyrenoverede belysningsanlæg.

For at kunne vurdere besparelsespotentialet for de nye belysningsanlæg er der udført beregninger af energiforbrug for både kontorer og klasselokaler.

Beregningerne er udført i Excel med udgangspunkt i:

- data fra målinger/registrering, udført på de enkelte lokationer
- beregninger af dagslysforholdene, som også danner grundlag for de nye zoneinddelinger
- Data fra DS/EN 15193-1:2017+A1:2021 Bygningers energieffektivitet – Energikrav til belysning – Del 1: Specifikationer, Modul M9 (Dansk standard, 2021)

Eksisterende belysningsanlæg på lokaliteterne anvendes som sammenligningsgrundlag for begge casestudier.

I begge cases er de nye belysningsanlæg etableret gå grundlag af den danske standarder for belysning DS/EN 12464-1:2011 (Dansk standard, 2011), inkl. tilstedeværelsessensorer og dagslysstyring jf. § 382 i BR18 Bolig- og Planstyrelsen, 2018). Begge nye belysningsanlæg er udført med supplerende installationer, som sikrer en god ergonomisk komfort og mulighed for individuelle lyssætninger.

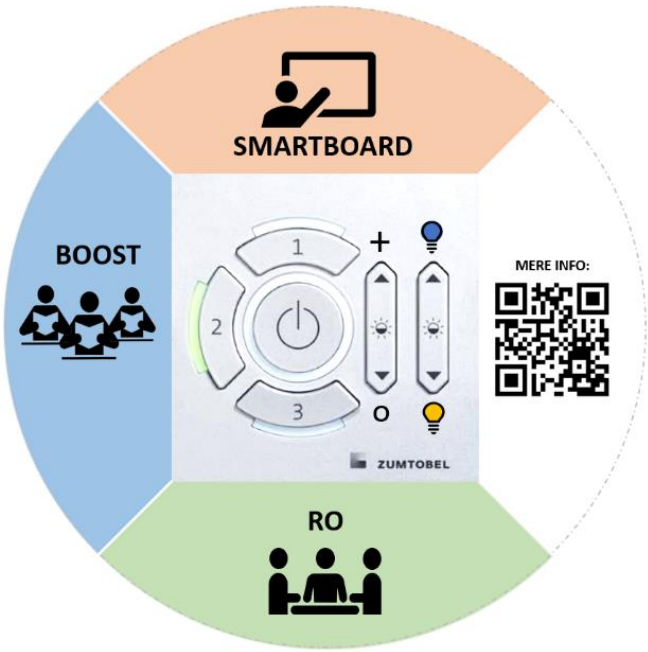
Planen var at monitoreringen skulle forløbe over et halvt år og omfatte brugerundersøgelser, dataindsamling for brugsmønstre samt løbende registrering af energiforbrug. Grundet Covid-19 restriktioner har det desværre ikke været muligt at gennemføre så omfattende en monitorering.

3.2 Supplerende information og introduktionsfilm på Youtube

Med henblik på at gøre styringsløsningens brugergrænseflade overskuelig er der i begge cases blevet opsat information ved alle styringspaneler om styringsløsningens muligheder og betjening. Informationen er udformet med sigte på, at brugerne på en nem og enkel måde kan blive bekendt med styringsløsningen muligheder og funktioner. Informationen giver alle nye brugere mulighed for at få en grundig introduktion til styringsløsningen, herunder de elever og lærere, der hvert år vil være nye i et undervisningslokale.

Den opsatte information ved styringspaneler er vist i Figur 1. Som det fremgår, har brugeren af belysningsanlægget mulighed for at få information om styringsløsningen via en QR-kode. Denne mulighed er et supplement til den information, der allerede findes i styringspanelet og giver direkte og nem adgang til en video.

Videoen indeholder en kort og struktureret gennemgang af alle styringspanelets tryk og symboler. Da nogle mennesker er utrygge ved at benytte styrings og andre tekniske løsninger, afsluttes videoen med en kort information om, hvad der sker, hvis man ikke betjener styringspanelet korrekt samt en opfordring til, ikke at være nervøs for at benytte styringspanelet.



Figur 1 Information opsat ved alle styringspaneler

De to introduktionsvideoer er tilgængelige via følgende links, og kan frit anvendes, enten som de er eller som inspiration.

Link til video på Herstedlund Skole: https://www.youtube.com/watch?v=-jT2PVu4HBI
Link til video på Gentofte Rådhus: https://www.youtube.com/watch?v=yGU0XqxioVQ

3.3 Case 1: Herstedlund Skole

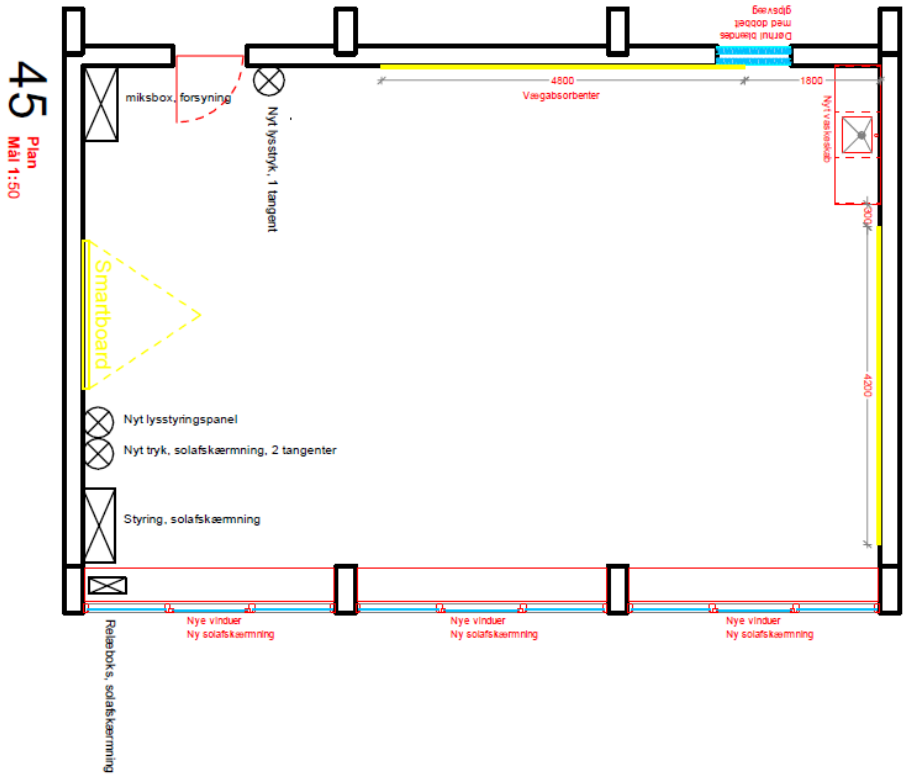
Casestudie 1 er gennemført på Herstedlund Skole, Nyvej 11, 2620 Albertslund og omfatter to identiske klasselokaler. Det ene klasselokale har gennemgået en renovering af lysanlægget, og det andet forblev ved eksisterende forhold. De to klasselokaler er placeret på overfor hinanden på samme etage.

Facade, oversigtskort og plantegning af klasselokalet er vist i nedenfor.

Figur 2 Referencelokalets facade mod vest

Figur 3 Referencelokalets facade mod øst

Figur 4 De røde markeringer viser placeringen af de to lokaler på Herstedlund Skole



Figur 5 Plantegning af forsøgslokale i Herstedlund Skole

3.3.1 Lysforhold

Dagslys

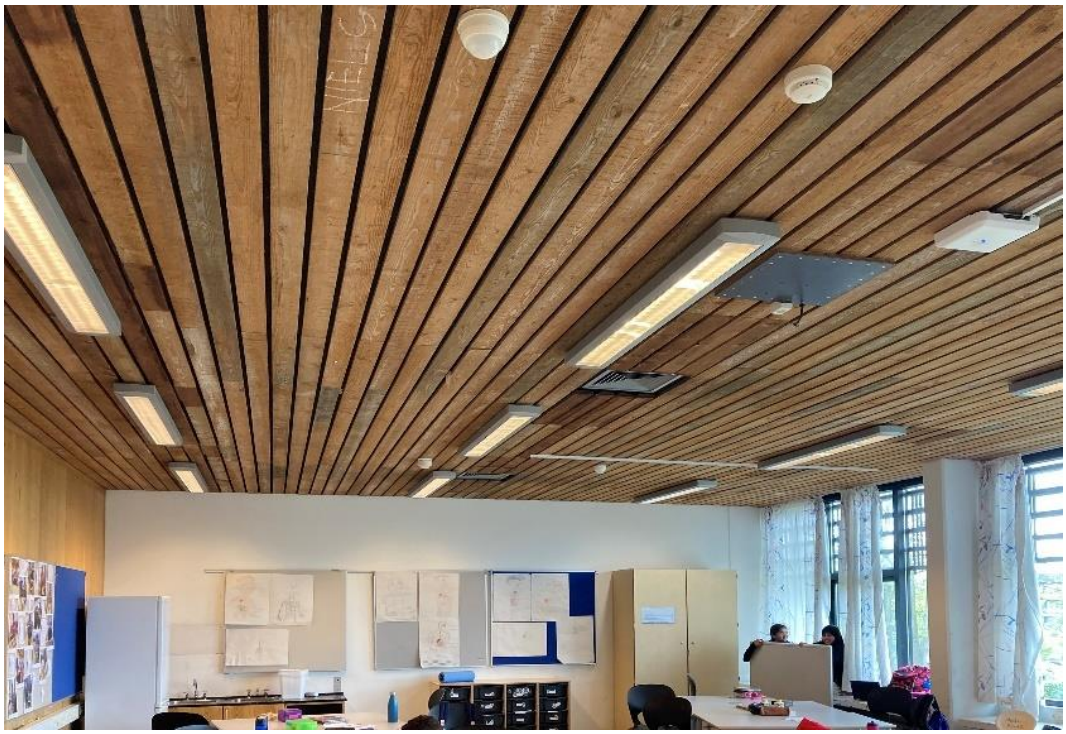
I dette projekt anvendes referencelokalet alene som en energimæssig reference, hvorfor dagslysforhold antages at være de samme i beregningerne. De to lokalers energiforbrug tager ligeledes udgangspunkt i den samme brugstid.

Elektrisk belysning

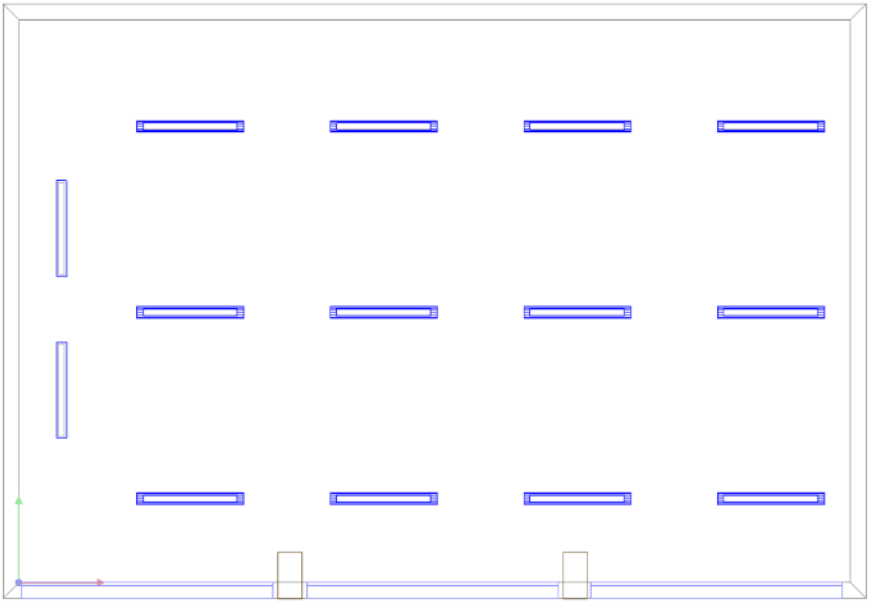
I de følgende afsnit bliver den elektriske belysning for hhv. referencelokalet og det renoverede klasselokale beskrevet.

Referencelokalet

Referencelokalet på Herstedlund Skole er et klasselokale, som, bortset fra dagslysforholdene, stand og den elektriske belysning, svarer én til én til forsøgslokalet. Referencelokalets vinduesfacade er orienteret mod vest og belysningen består af 12 stk. armaturer med 1x35W T5 lysstofrør monteret på loftet. I flere klasselokaler er der ligeledes 2 stk. tavlearmaturer med 1x28 W T5 lysstofrør.



Figur 6 Referencelokalet på Herstedlund Skole



Figur 7 Planskitse af referencelokale med 12 stk. belysningsarmaturer monteret på loftet

Forsøgslokale med ny belysning

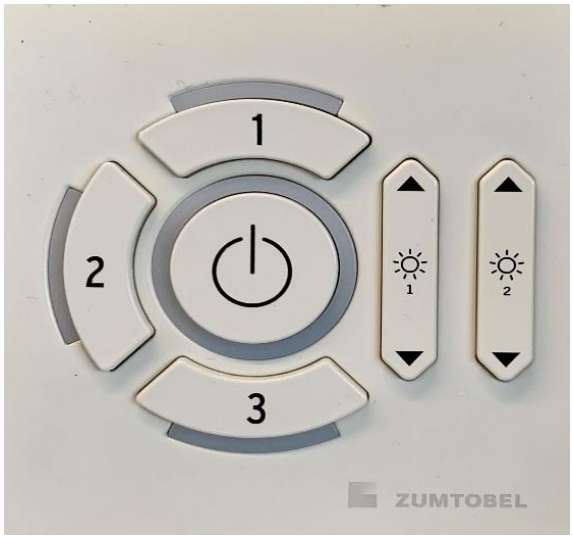
Den nye belysning i forsøgslokalet er planlagt med udgangspunkt i dagslyset. Udnyttelsen af dagslyset er optimeret med lyse karme omkring vinduerne, hvilket samtidig giver gode kontrast- og luminansforhold. Forsøgslokalet har udvendig solafskærmning med en transparens, som på den ene side er tilstrækkelig til at beskytte mod direkte sollys i en undervisningssituation med smartboard og computere, og på den anden side transmitterer så meget dagslys ind i rummet som muligt.

Den kunstige belysning består af tre belysningslag:

- Loftsbelysning med cirkulære lamper med en smule up-light og variabel farvetemperatur mellem 3.000 og 6.500 Kelvin.
- Tavlebelysning som belyser tavlen og væggene ved siden af smartboardet og forbedrer den visuelle komfort for eleverne med mindre refleksion, når de kigger på smartboardet og tavlen. Farvetemperaturen er 3.000 Kelvin.
- Wallwash-belysning på lokalets bageste vægflade (modsat vinduerne), som belyser opslagstavlen og forbedrer oplevelsen af dagslys i rummet. Farvetemperaturen er 4.000 Kelvin.

Figur 8 Klasselokale på Herstedlund Skole med downlights, som efter behov kan tændes for at belyse opslagstavlen og/eller for at udjævne luminansforskelle i rummet

De 3 belysningslag anvendes i en standardbelysning og som suppleres med 3 forprogrammerede lys-scenarier. Standardbelysningen aktiveres manuelt ved tryk på en almindelig kontakt ved døren, hvorved lyset automatisk indstiller sig efter dagslyset og opfylder minimumskravene til belysning i klasseværelser i følge standarden EN 12464-1 DKNA (gældende i 2011-2021). De tre forprogrammerede lysscenarier aktiveres via et styringspanel, som er placeret ved tavlen.



Figur 9 Standard tryk-panel til tænding af tre scenarier. På knapperne 1, 2 og 3 vælges ønsket scenarie og på (potentiomer-)knapperne til højre vælges ønsket niveau for belysningsstyrke (1) henholdsvis farvetemperatur (2)

De tre forprogrammerede lysscenarier er:

- SMARTBOARD - til undervisning, som bruger smartboard
  Almenbelysning 300 lux/3500K
  Tavlebelysning 300 lux/3000K
  Wallwash-belysning 300 lux/4000K

- BOOST - til situationer, hvor eleverne skal koncentrere sig eller modtage undervisning fra læreren
  Almenbelysning 500 lux/5000K
  Tavlebelysning 500 lux/3000K
  Wallwash-belysning 420 lux/4000K

- RO - til sociale aktiviteter, oplæsning eller lignende.
  Almenbelysning 100 lux/3000 K
  Tavlebelysning 50 lux/3000K
  Wallwash-belysning 75 lux/4000 K

Når et scenarie er valgt, er det muligt for brugerne at justere belysningen i loftet og skrue op/ned for lysniveauer samt justere, hvor varmt eller koldt, lyset skal være.

3.3.2 Introduktion til lysstyring

Efter en indledende snak med de lærere, der er de primære brugere af belysningssystemet, er udmeldingen at de har svært ved at forstå hvordan belysningssystemet virker og hvordan man regulerer det. Generelt er der en følelse af, at lysstyringen og kontrolpanelet er for kompliceret. Mange er bange for at ændre belysningen, da de ikke ved hvordan det fungerer. Lysstyringen regulerer ikke med samme, så der er en tendens til, at brugerne trykker igen før lyset, har nået at regulere, hvilket resulterer i, at lyset

står og jammer. Dette er baggrunden for, at der er udarbejdet et forklarende tillæg til lysstyringens brugerflade, der gennem piktogrammer beskriver betydningen af kontrolpanelets knapper, se afsnit 3.2.

3.3.3 Energiberegninger

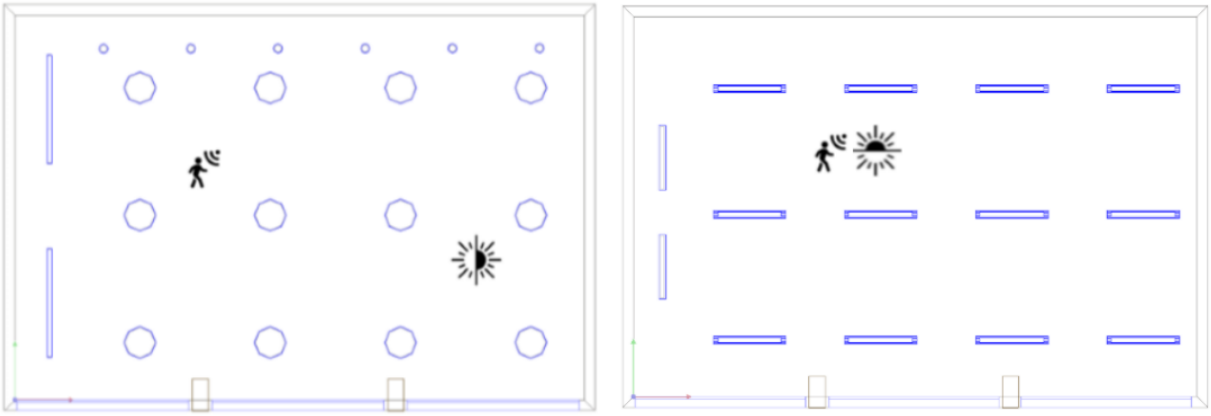
På grund af de mange udfordringer, der har været med dataopsamlingen, er mængden af brugbare data til analyse af elforbrug og brugeradfærd desværre utilstrækkelig. Derfor er det forventede energiforbrug alene opgjort ud fra de standardtal for energiforbrug og -besparelser ved forskellige lysstyringer, som beskrevet i standarden DS/EN15193-1:2017+A1:2021 (Dansk standard, 2021).

Den eksisterende belysning på Herstedlund Skole består af 12 stk. lysrørsarmaturer (1x28W T5) monteret på lofter og 2 stk. tavlearmaturer med (1x28W T5). Belysningen i referencelokalet er beskrevet nærmere i afsnit 3.3.

Det nye belysningsanlæg på Herstedlund Skole består af 12 stk. runde LED armaturer (28W), hvis lysudsendelse er dæmpet til et resulterende basisniveau er 300 lux. Loftsbelysningen er suppleret med tavlebelysning og wallwash-belysning. Det nye belysningsanlæg er etableret med dagslysstyring og tilstedeværelsessensor, som styrer basisbelysningen i loftet. De 3 individuelle lysscenarier, som kan vælges vha. styringspanelet ved tavlen, er ikke koblet til dagslysstyringen, da disse anvendes som faste scenarier i forskellige undervisningssituationer.

Energiberegninger er udført ud fra en antagelse om, at belysningen i referencelokalet har samme driftstid som belysningen i det nye belysningsanlæg. Lokalerne forudsættes at have en driftstid på 800 timer pr. År, og er således tændt med forskellige scenarier i ca. 750 timer.

De 2 belysningsløsninger, der er beregnet for Herstedlund Skole, er vist i Figur 10.



Figur 10 Th. Referencelokale med eksisterende belysning med T5 kassearmaturer på loft og tavlearmaturer. Tv. Ny belysning bestående af runde LED armaturer, tavle lys og wallwasher samt PIR-føler (tilstedeværelsessensor) og dagslysstyring i 3 zoner

Energiberegning - Herstedlund Skole	Eksisterende anlæg	Nyt anlæg				
Basislys		Tavlelys	Wallwasher	Zone 1	Zone 2	Zone 3 (facade)
Antal armaturer	**12 stk.**		**6 stk.**	**4 stk.**	**4 stk.**	**4 stk.**
Benyttelsestid pr. år	**800 timer**		**500 timer**	**800 timer**	**800 timer**	**800 timer**
Driftstid med reg. faktorer jf. DS/EN 15193:2017	**648 timer**		**375 timer**	**752 timer**	**656 timer**	**537 timer**
Tid med Standby forbrug	**152 timer**		**425 timer**	**48 timer**	**144 timer**	**263 timer**
Antal lyskilder pr. armatur	**1 stk.**		**1 stk.**	**1 stk.**	**1 stk.**	**1 stk.**
Effektforbrug pr. armatur inkl. spole	**38,7 Watt**		**9,0 Watt**	**32,5 Watt**	**32,5 Watt**	**32,5 Watt**
Energiforbrug ved 300 lux (nyt: installaret 492 lux)	**38,7 Watt**		**9,0 Watt**	**19,8 Watt**	**19,8 Watt**	**19,8 Watt**
Standbyforbrug	**2,0 Watt**		**0,1 Watt**	**0,3 Watt**	**0,3 Watt**	**0,3 Watt**
Tavlelys						
Antal armaturer	**2 stk.**	**2 stk.**	Manuel tænd og sluk med PIR			
Driftstid pr. år	**500 timer**	**500 timer**	Timer estimeret ud fra målinger/registrering			
Standby timer	**300 timer**	**300 timer**				
Antal lyskilder pr. armatur	**1 stk.**	**1 stk.**				
Effektforbrug pr. armatur inkl. spole	**30,0 Watt**	**30,9 Watt**				
Standby forbrug	**1,2 Watt**	**0,5 Watt**				
Elforbrug	**304,71 kWh**	**31,20 kWh**	**20,51 kWh**	**59,70 kWh**	**52,22 kWh**	**42,86 kWh**
Energibesparelse pr. år	**372 kWh**	**32%**	**Samlet forbrug, nyt anlæg:**			**206,48 kWh**

Tabel 1 Beregning af energiforbrug på Herstedlund Skole. Beregningerne er udført i Excel med udgangspunkt i data fra målinger udført i klasselokalet med nye belysning

Beregning af energiforbrug for Herstedlund Skole fremgår af Tabel 1.

Ved sammenligning af den eksisterende og den nye belysning i klasselokalerne på Herstedlund Skole fremgår det tydeligt, at der er forskel på elforbruget i de to lokaler. Den samlede el-besparelse ved etablering af det nye belysningsanlæg er ca. 32% i forhold til det eksisterende anlæg.

I det nye belysningssystem anvendes der både tilstedeværelsessensor (fraværsfaktor på 0,2) og dagslysstyring (dagslysafhængighedsfaktor på 0,74) jf. DS&/EN 15193-1:2017 + A1 2021 *Bygningers Energieffektivitet – Energikrav til belysning* – Del 1: Specifikationer, Modul M9 med manuel tænd og automatisk sluk via PIR.

Selvom der også findes dagslysregulering og PIR i referencelokalerne, medfører den nye belysning og styringsløsning i forsøgslokalet et lavere elforbrug. Årsagen er, at lysstyringen i forsøgslokalet giver mulighed for flere lysscenarier, hvor ikke alle lamper anvendes samtidigt, eller er tændt på fuld styrke.

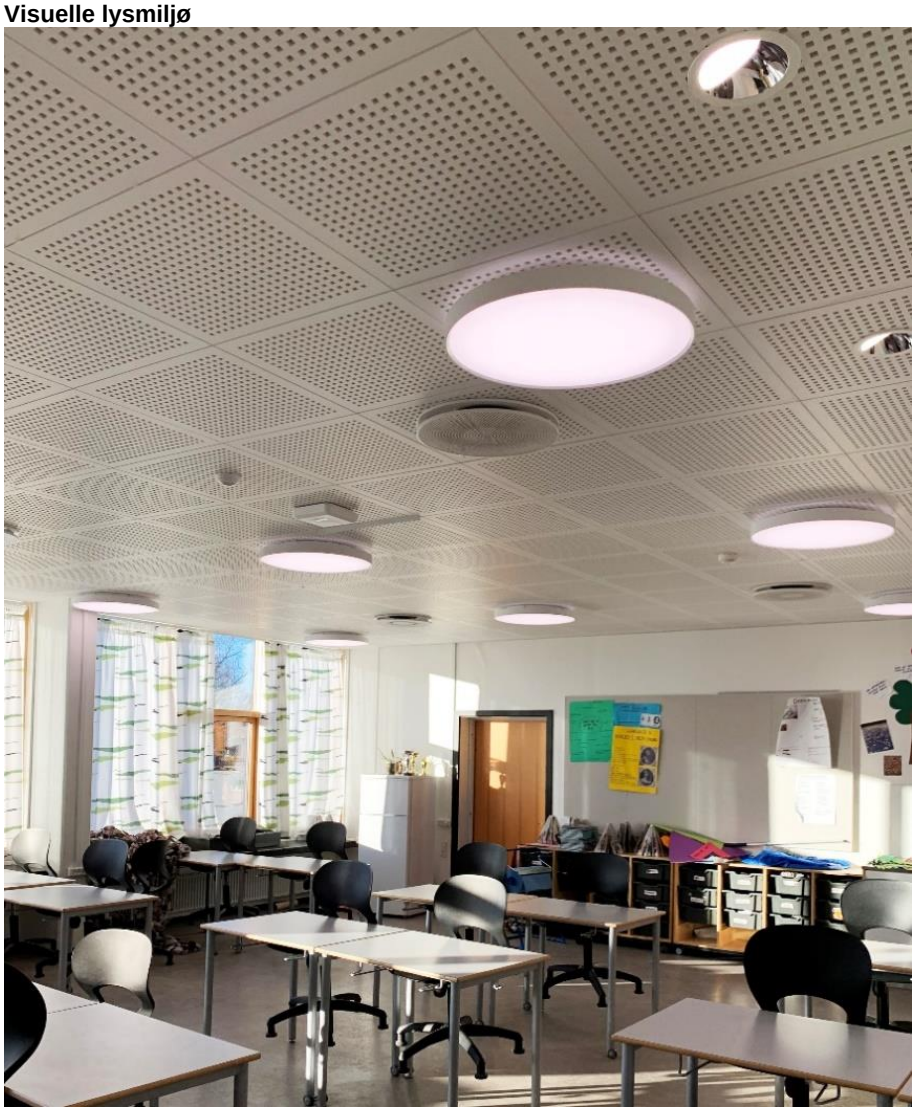
3.3.4 Erfaringsopsamling

Det kræver efterhånden relativ stor computerkraft at håndtere lysanlæg, særligt når der er tale om styringer, som både regulerer lysstyrke og lysfarve (farvetemperaturen), samtidig med at der kan vælges mellem flere scenarier og en dagslysregulering. Dette forhold giver anledning til at der opstår problemer, når der bliver trykket på kontrolpanelet med flere forskellige kommandoer på kort tid. Hver kommando eller tryk skal behandles færdig af styringen, og hvis der indløber en ny kommando, før den forrige er behandlet, sker der ofte det at systemet "jammer" (fx starter det med at blinke eller gøre noget helt uventet).

Hvis dette opstår, skal man blot have tålmodighed og vente til det stopper, og trykke en gang igen.

De fleste leverandører af større lysstyringssystemer er opmærksomme på problemet og har derfor løbende udviklet deres systemer til at kunne klare mere "stress".

Visuelle lysmiljø

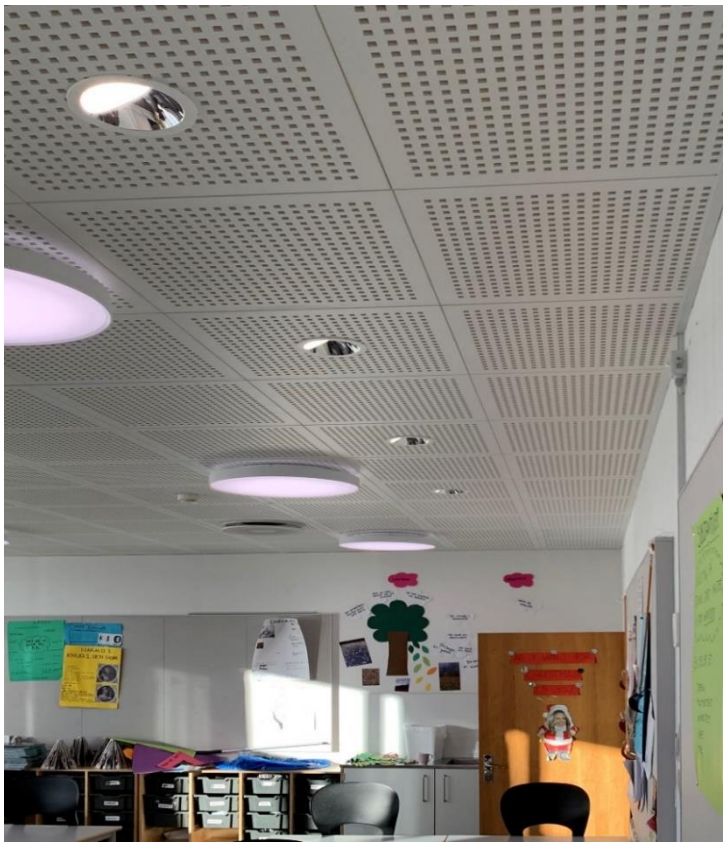


Figur 11 Klasselokale med nye belysning og indvendige stofgardiner

Solafskærmningen i klasselokalet består af indvendige stofgardiner, som brugerne manuelt skal trække for/fra. De store vinduer i den ene side af klasselokalet kan give anledning til store luminanskontraster, hvor den modsatte ende af rummet kan komme til at virke mørk i forhold til vinduessiden. Generelt gav lærerne udtryk for, at blænding fra dagslys ikke var den største gene i forhold til vinduespartierne, men derimod den passive solvarme, der resulterer i uønsket overophedning af rummet, hvilket den indvendige solafskærmning ikke hjælper medvirker til at reducere. Den lyse solafskærmning tillader stadig en vis mængde lys at trænge igennem stoffet, og dermed stadig bidrage med en vis mængde dagslys til rummet. Det er en fordel af solafskærmningen er lys, da dette ikke øger kontrasten mellem vinduet og solafskærmningen, og dermed mindsker risikoen for ubehagsblænding. Dog er det ikke muligt at se ud, hvis gardinerne er trukket for.

På den modsatte væg er der installeret wallwashere for at udligne luminansforskelle i rummet mellem vinduessiden og den modsatte væg. Der er sat en opslagstavle op på væggen, hvilke gør at der ikke

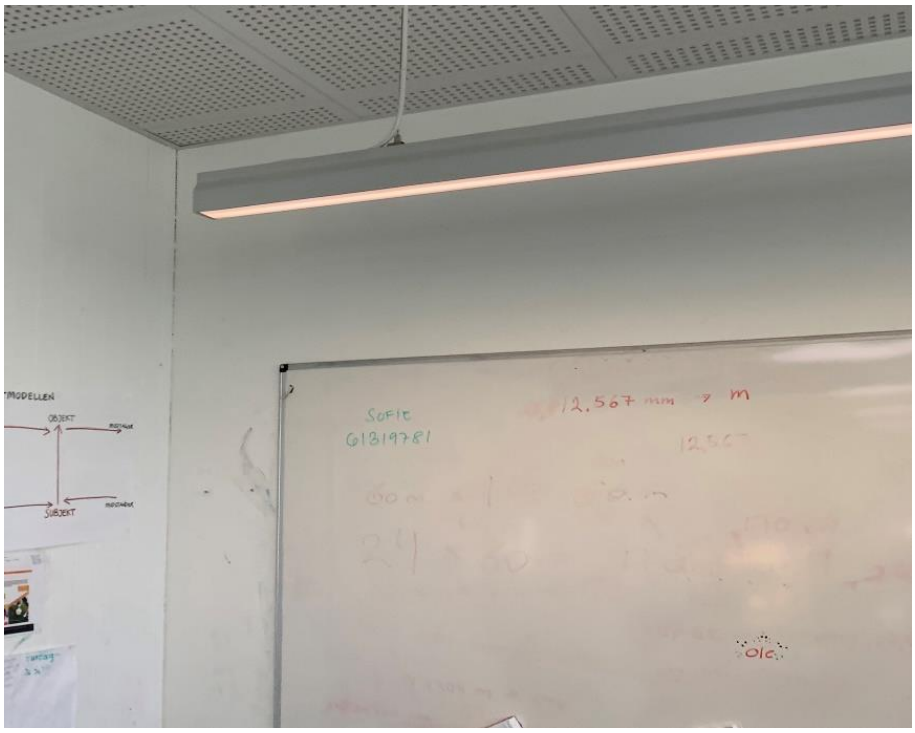
bliver reflekteret så meget lys tilbage i rummet, som hvis det var en hvid væg. På billedet kan man også se, at hvis man sidder på den inderste række i lokalet kan der være risiko for blænding fra spots der belyser væggen.



Figur 12 Spots på bagvæg og opslagstavle giver risiko for blænding for dem, der sidder på inderste række i lokalet

Figur 13 Referencelokalets mørke trælofter

Det renoverede klasselokale har lyse lofter mens referencelokalet har mørke trælofter. De lyse lofter mindsker luminansforholdet mellem loft og de tændte lysarmaturer, hvilket reducerer risikoen for ubehagsblænding. Det lyse loft medfører, at rummet generelt virker lysere end referencerummet med det mørke loft, og faktisk forøges mængden af lys i rummet, da de lyse flader reflekterer og fordeler lyset ud i rummet. Dette gælder både for dagslyset og den elektriske belysning.



Figur 14 Tavlebelysning bliver reflekteret i whiteboard

Tavlebelysningen bliver reflekteret i whiteboard hvilket kan være problematisk for elevernes visuelle komfort, både i form af ubehagsblænding og i forhold til problemer med af aflæse, hvad der bliver skrevet på whiteboard.

Brugeroplevelse

Det har ikke været muligt at få tilbagemeldinger på det udsendte spørgeskema fra brugerne af klasselokalerne på Herstedlund skole. Det har ikke været muligt at få en tilbagemelding om, hvorvidt det var brugerne der ikke besvarede spørgeskemaet, om ledelsen ikke videresendte spørgeskemaet til brugerne, eller om brugerne besvarede spørgeskemaet, men ikke blev indsamlet af ledelsen og formidlet videre til os. Derfor er der desværre ingen tilbagemelding fra Herstedlund Skole om, hvorvidt introduktionen er fyldestgørende, og om brugerne føler sig mere trygge ved at bruge lysstyringen. I skrivende stund, er der dog 24 der har været inde og se introduktionsvideoen til belysningsanlægget på Herstedlund Skole.

Gennem indledende og uformel snak med de lærere der bruger belysningsanlægget på daglig basis, har det dog været muligt at se nogle tendenser i forhold til hvordan brugerne oplever belysningen og lysstyringen. Generelt er brugerne forvirrede over hvordan lysstyringen skal bruges og hvad belysningsanlægget kan. Dette skyldes, at de ikke ved hvordan lysstyringen fungerer. Brugerne oplever ikke brugerfladen

som særlig intuitivt og ved ikke hvilke belysningsscenerier eller regulering de forskellige knapper styrer. Da belysningsanlægget har nogle sekunders svar tid, oplever brugerne det som om at lysstyringen ikke reagerer. De trykker derfor hurtigt på kontakterne igen, inden lyset har nået at regulere, hvilket får systemet til at jamme. Lyset står derfor og blinker og regulerer op og ned i intensitet og farvetemperatur. Dette medfører at brugerne er utrygge ved at regulere belysningen efter behov og derfor sjældent regulerer lyset og bruger derfor primært kun tænd/sluk funktionen.

3.3.5 Konklusion - case 1

På Herstedlund skole er brugerne af det renoverede klasselokalet overordnet tilfredse med lysforholdene. Wallwasherne, der lyser på den bagerste væg, er med til at udligne luminansforholdene i rummet og dermed mindske risikoen for ubehagsblænding, der kan opstå når der kommer meget dagslys eller sollys ind fra vinduerne. De lyse lofter er med til at give en bedre lysfordeling i rummet, både fra dagslys og den elektriske belysning, og sammenlignet med referencelokalet hvor der er mørke trælofter, fremstår rummet generelt meget lysere.

Men brugerne interagerede og regulerede ikke den elektriske belysning efter hensigten. Enkelte interview med brugerne viste, at selvom der er forprogrammerede lysscenarier var det primært kun tænd/sluk-knappen der blev brugt. Brugerne var ikke klar over hvordan de forprogrammerede scenarier skulle bruges. Dette skyldes i høj grad, at brugergrænsefladen ikke var intuitiv og at brugerne ikke vidste hvad de forskellige belysningsscenarier dækker over.

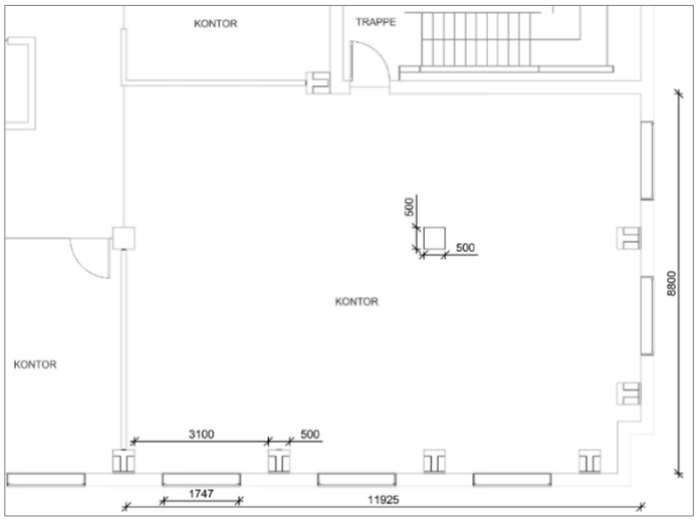
I forbindelse med brugerundersøgelsen blev der opsat forklarende symboler på kontrolpanelet og udarbejdet en introduktionsvideo til brugerne. Men det har ikke været muligt at få tilbagemeldinger på brugerundersøgelsen, så det vides ikke, om introduktionsvideoen og de forklarende symboler på kontrolpanelet har givet brugerne en større tryghed ved at interagere med lyssystemet. Men da der har været problemer med datalogning bl.a. på grund af GPDR og har det dermed ikke være muligt at få brugbare data, der kunne registrere en eventuel højnet brugernes interaktion i forbindelse med introduktion af belysningssystemet.

I klasselokalet på Herstedlund Skole er el-besparelsen beregnet til 32%. Da besparelsen er beregnede og tager udgangspunkt i en række antagelser, som ikke nødvendigvis kan forventes at være repræsentative for alle cases, må der tages et vist forbehold for det samlede besparelsespotentiale.

3.4 Case 2: Gentofte Rådhus

Casestudie 2 er gennemført på Gentofte Rådhus, Bernstorffsvej 161, 2920 Charlottenlund og omfatter to identiske storrumskontorer på henholdsvis 1. og 2. sal. Kontorerne er placeret ovenover hinanden og har samme orientering med vinduer mod øst og nord.

Figur 15 Storrumskontorernes facader mod hhv. nord og øst



Figur 16 Plantegning af storrumskontorer uden møblering. Areal: 103,8 m².
Den stiplede linje markerer kontorarealets afgræsning

3.4.1 Lysforhold

De to storrumskontorer på 1. og 2. sal er ens hvad angår opbygning, orientering, overflader og vinduesudformninger, men har ikke samme bordopstilling.

Dagslys

Da lokalerne ligger lige over hinanden, og der ikke er modstående bygninger i umiddelbar nærhed, er dagslysforholdende tæt på at være de samme. Storrumskontoret har tre dagslysåbninger mod øst og to mod nord.

Transmittans

For at registrere gener i forhold til kontraster og blænding blev vinduernes lystransmittans målt, med og uden solafskærmning. Lystransmittansen blev målt vha. luxmeter (Metrue Spectral irradiance Meter Sim-2). Et eksempel på vinduesparti med solafskærmningen rullet halvt ned, kan ses på Figur 17.

Figur 17 Eksempel på vindue hvor der blev målt glas-transmittans med (oppe) og uden solafskærmning (nede)

Vinduets glas-transmittans blev udregnet ud fra 3 målinger af en rude uden solafskærmning med en gennemsnitlig lystransmittans på ca. 65%.

Solafskærmning

Solafskærmningen består af indvendige, manuelt betjente persienner samt udvendige, automatisk styrede rullegardiner. Den automatiske regulering kan overstyres manuelt. Både persienner og udvendige rullegardiner kan køres helt ned, så de dækker hele vinduesfladen. På opmålingstidspunktet var ca. halvdelen af rudearealet afskærmet af det udvendige rullegardin. De udvendige rullegardiner har en gennemsnitlig lystransmittans på 5,2%.

Elektrisk belysning

I følgende afsnit bliver den elektriske belysning for hhv. referencelokalet og det renoverede storrumskontor beskrevet.

Referencelokalet

Referencelokalet er placeret på 1. sal. Den elektriske belysning i referencelokalet består af 30 stk. armaturer med 28W T5 lysrør, som er fordelt jævnt i lokalet (5x6). Alle arbejdsstationer er forsynet med arbejdslamper. Figur 18 viser to billeder af referencelokalet og dets belysning.

Figur 18 Billeder af referencelokalet på 1.sal med orientering mod øst (tv) og nord (th)

Storrumskontor på 2. sal

I storrumskontoret på 2. sal er den eksisterende belysning udskiftet. Det nye belysningsanlæg inkl. styringsløsning blev designet af projektgruppen. Målet med styringsløsningen var at give mulighed for styring tilbage til brugerne. Derfor skulle styringen være mere intuitiv og nemt at bruge. Belysningsanlæg og styring bygger på simple løsninger, som har virket i mange år; simpelt udenpå - komplekst indeni.

Figur 19 Eksisterende belysningskontrol, før den blev suppleret med forklarende og intuitiv tekst

For at bevare de eksisterende systemlofter, og fastholde den eksisterende arkitektur og udtryk, blev der anvendt armaturer, hvis dimensioner passede i de eksisterende armaturhuller. Det var derfor også et krav, at armaturerne blev udskiftet én til én.

Dette bevirkede et noget højere belysningsniveau, hvorfor belysningen generelt er dæmpet ca. 30%.

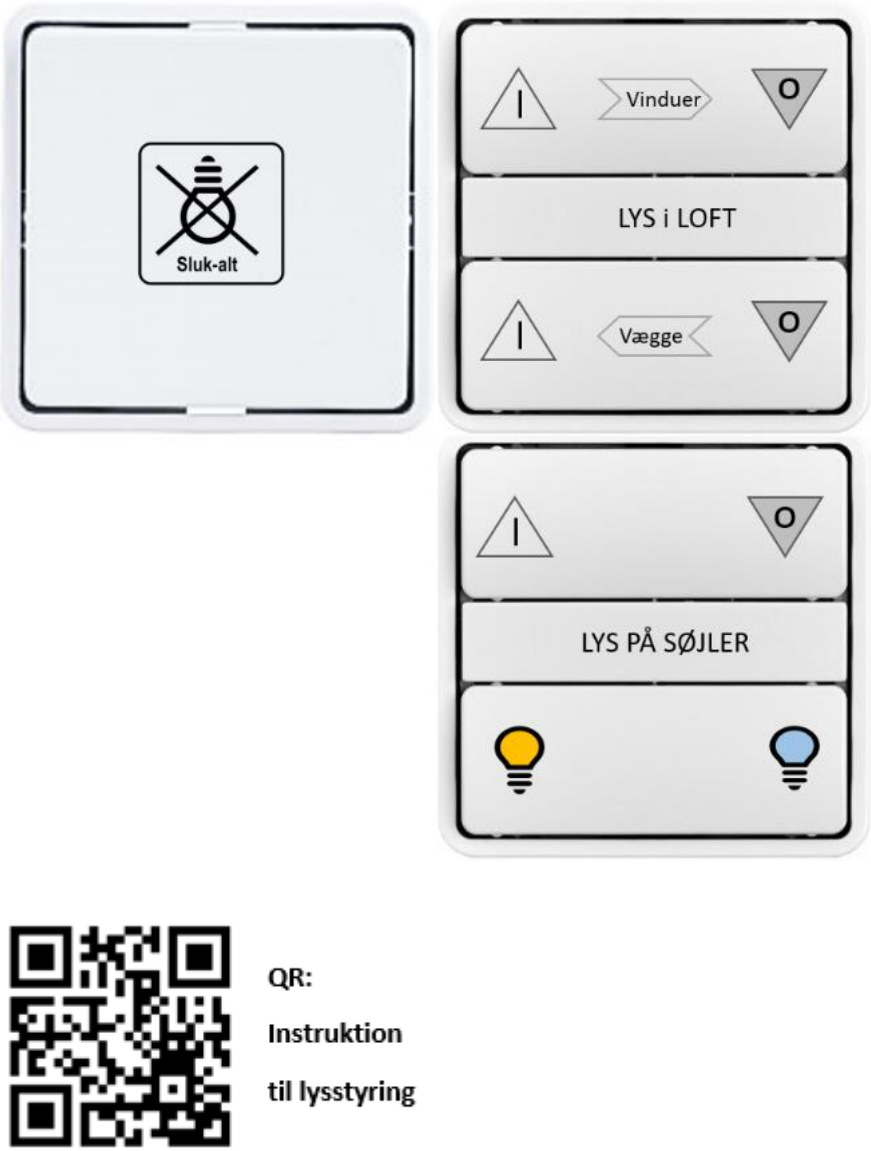
Som supplement til loftsbelysningen, blev der desuden installeret indbyggede asymmetriske spots, som kaster lys på de mørke vertikale flader med røde tegl og betonsøjlerne mellem vinduespartierne. På Figur 20 ses den nye loftsbelysning på 2. sal. med loftsarmaturer suppleret med indbyggede asymmetriske spots til belysning af søjlerne mellem vinduespartierne.

Da belysningsanlægget blev etableret, valgte man at anvende andre belysningsarmaturer og spots end de forskrevne, hvilket har givet anledning til blændingsgener fra de anvendte spots, særligt for medarbejdere som sidder helt ud til facaden og dermed har synsretning parallelt med linjen af spots.

Figur 20 Nye loftsarmaturer på renoveret kontor på 2.sal

3.4.2 Introduktion til lysstyring

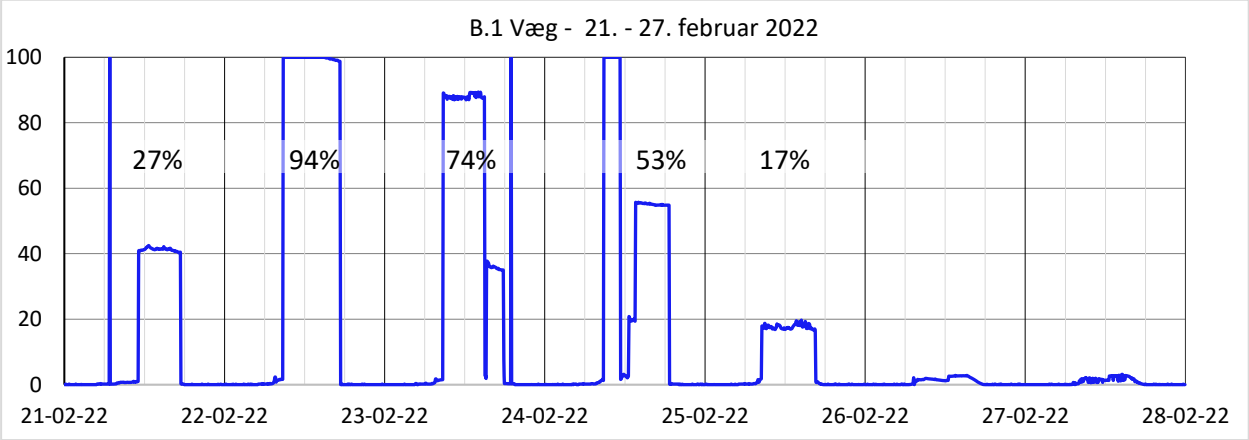
For at gøre det nemmere for brugerne at forstå lysstyringen, og hvordan man regulerer lyset, er der tilføjet små piktogrammer som der beskriver betydningen af de kontrolpanelets knapper, se Figur 21. Der er også sat et mærkat med en QR-kode op, som linker til en introduktionsvideo af belysningssystemet og hvordan dette kan reguleres.

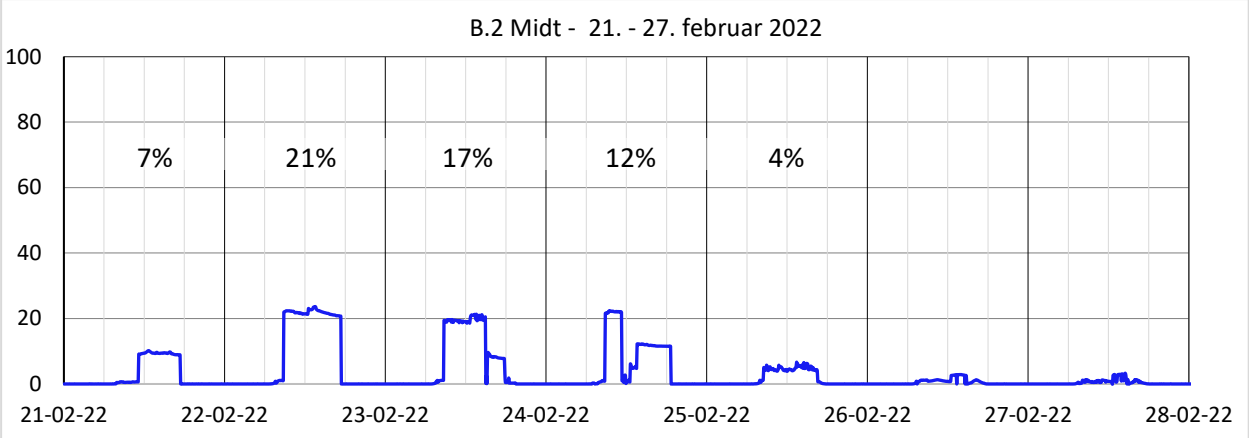


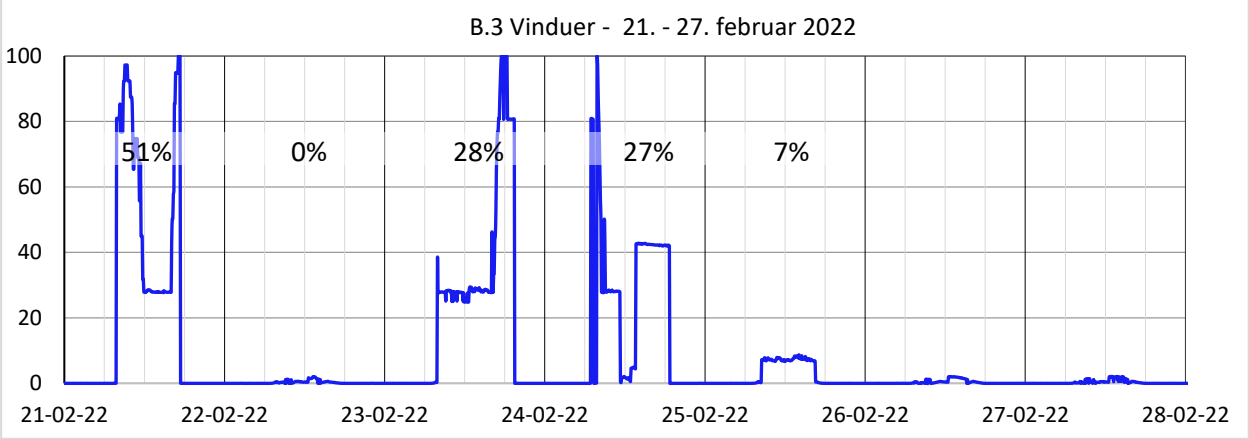
Figur 21 Piktogrammer og tekst der beskriver betydningen af kontrolpanelets knapper

3.4.3 Energimålinger

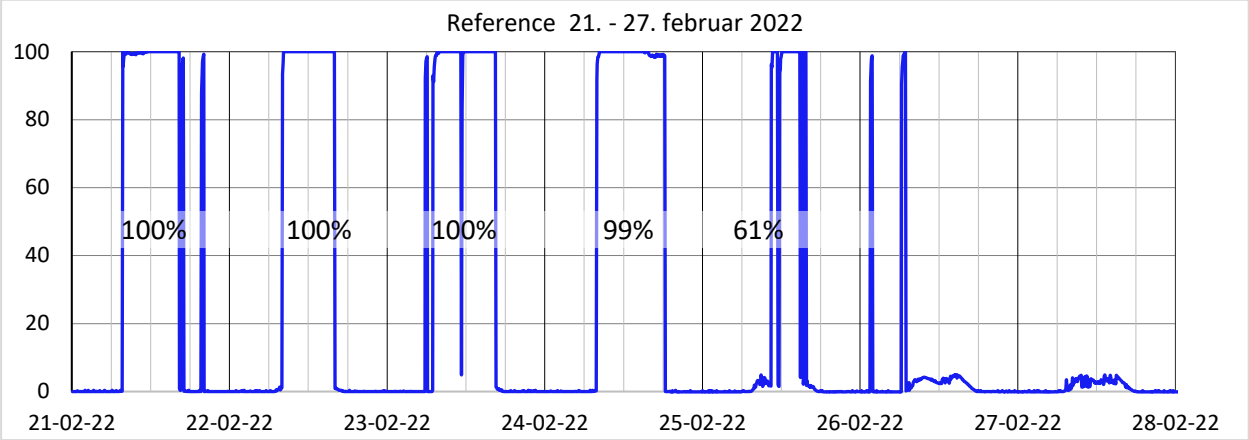
De nævnte problemer med dataopsamlingen betyder, at målingerne med IC-metre i armaturerne giver det bedste billede af, hvordan lyset har været styret. Som eksempel er resultaterne for den sidste uge i februar 2022 vist i nedenstående grafer, dels for de tre zoner i forsøgslokalet, Figur 22, og dels for referencelokalet, Figur 23. Graferne viser den relative intensitet/energiforbrug i procent i tidsrummet kl. 8:00 - 16:00. Der ses bort fra enkelte, uforklarlige ekstremværdier, der betragtes som fejl i systemet.







Figur 22 Relativ lysintensitet i de tre zoner i forsøgslokalet i procent for tidsrummet kl. 8:00 – 16:00



Figur 23 Relativ lysintensitet i referencelokalet i procent for tidsrummet kl. 8:00 – 16:00

Målingerne viser, at der forekommer betydeligt flere reguleringer af lyset i de tre zoner i forsøgslokalet end der sker i referencelokalet. Ud fra målingerne og de installerede lyskilder kan energiforbruget til belysningen i forsøgslokalet og referencelokalet beregnes for den specifikke uge. Beregninger viser, at energiforbruget er ca. 54% lavere i forsøgslokalet end i referencelokalet. Dette kan naturligvis ikke overføres til energiforbrug på årsbasis, men viser dog, at ved at inddele belysningen i flere zoner med separat dagslysstyring samt individuel brugerstyring kan der opnås et betydeligt besparelsespotentiale.

3.4.4 Energiberegninger

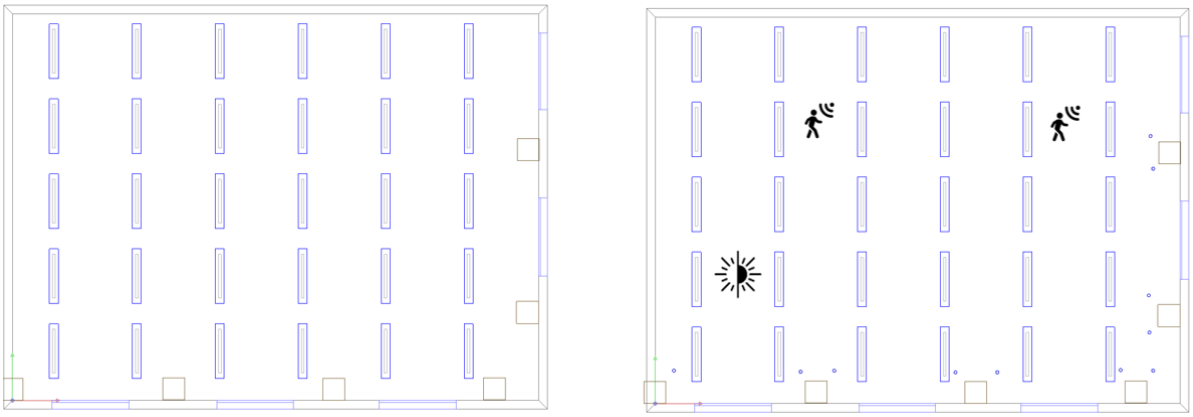
Det eksisterende belysningsanlæg på Gentofte Rådhus består af lysrørsarmaturer (1x 28W T5), som er indbygget i systemlofter af metal. Belysningen i referencelokalet er beskrevet i afsnit 3.4.

Det ny belysningsanlæg på Gentofte Rådhus består af LED belysningsarmaturer. Da det var et krav at den nye belysning skulle passe i det eksisterende loft, er antallet af armaturer det samme som i det gamle anlæg (30 stk). Lysudsendelsen er dæmpet til 27%, så der opnås et resulterende belysningsniveau på 300 lux. Loftsbelysningen er suppleret med wallwashere til belysning af søjler mellem vinduer. Anlægget er desuden etableret med tilstedeværelses-sensorer (PIR) samt dagslysregulering, som justerer belysningsniveauet efter dagslyset fra vinduerne i de to facader. Den nye belysning er beskrevet i afsnit 3.4.

Den gennemsnitlige driftstid for energiberegningerne er delvist baseret på målinger i lokalet med ny belysning og delvist baseret på oplysninger fra brugere. For at kunne sammenligne resultaterne er beregninger udført ud fra en antagelse om, at belysningen i referencelokalet har samme driftstid som loftsbelysningen i det nye belysningsanlæg.

Det forudsættes at de to sammenlignede lokalerne har en benyttelsestid på 2.000 timer pr. år. Belysningen er således tændt med forskellige scenarier i ca. 1.800 timer pr. år. Den samlede driftstid for belysning på søjler er forudsat at være 1.000 timer pr. år.

De 2 belysningsløsninger, der er beregnet på Gentofte Rådhus, er vist i Figur 24.



Figur 24 Tv. Referencelokale med eksisterende belysning med 30 stk. lysrørsarmaturer indbygget i lofter. Th. Ny belysning med armaturer i loftet og wallwashere ved facade, + PIR bevægelsessensor og dagslysstyring

Energiberegning - Gentofte Rådhus	Eksisterende anlæg	Nyt anlæg - zone 1 og 2 styres som én tænding			
Basislys		Lys på søjler	Zone 1	Zone 2	Zone 3 (facade)
Antal armaturer	**30 stk.**		**8 stk.**	**8 stk.**	**14 stk.**
Benyttelsestid pr. år	**2.000 timer**		**2.000 timer**	**2.000 timer**	**2.000 timer**
Driftstid med reg. faktorer jf. DS/EN 15193:2017	**1.895 timer**		**1.808 timer**	**1.424 timer**	**944 timer**
Standby timer	**6.865 timer**		**6.952 timer**	**7.336 timer**	**7.816 timer**
Antal lyskilder pr. armatur	**1 stk.**		**1 stk.**	**1 stk.**	**1 stk.**
Effektforbrug pr. armatur inkl. spole	**31 Watt**		**31,2 Watt**	**31,2 Watt**	**31,2 Watt**
Energiforbrug ved 300 lux (NYT 1149 lux installeret)	**31,0 Watt**		**8,4 Watt**	**8,4 Watt**	**8,4 Watt**
Standbyforbrug	**2,0 Watt**		**1,5 Watt**	**1,5 Watt**	**1,5 Watt**
Wallwasher (lys på søjler)					
Antal armaturer		**11 stk.**	Manuel tænd og sluk med PIR		
Driftstid pr. år		**1.000 timer**	Timer estimeret ud fra målinger/registrering		
Standby timer		**7.760 timer**			
Antal lyskilder pr. armatur		**1 stk.**			
Effektforbrug pr. armatur inkl. spole		**19 Watt**			
Standby forbrug		**0,5 Watt**			
Elforbrug	**2.174,25 kWh**	**251,68 kWh**	**205,27 kWh**	**184,00 kWh**	**275,47 kWh**
Energibesparelse pr. år	**1.860 kWh**	**58%**	**Samlet forbrug, nyt anlæg:**		**916,4 kWh**

Tabel 2 Beregninger af energiforbrug for kontorlokaler på Gentofte Rådhus. Beregningerne er udført i Excel med udgangspunkt i data fra målinger udført i kontorlokalet med ny belysning.

Ved sammenligning af den eksisterende og den nye belysning i kontorlokalerne på Gentofte Rådhus fremgår det tydeligt, at der er forskel på elforbruget i de to lokaler. Den samlede el-besparelse ved etablering af det nye belysningsanlæg er ca. 58% i forhold til det eksisterende anlæg.

I det nye belysningssystem anvendes der både tilstedeværelsessensor (fraværsfaktor på 0,00 -storrumskontor) og dagslysstyring (dagslysafhængighedsfaktor m. gennemsnit på 0,74) med manuel tænd og automatisk sluk, hvilket i sig selv medfører et lidt lavere elforbrug.

3.4.5 Erfaringsopsamling

Visuelle lysmiljø

I kontoret hvor lysrenoveringen er udført, er der tilføjet spots der lyser ned på vægge og søjler mellem vinduerne. De tilføjede Spots har til formål at mindske kontrastforholdene mellem de mørke vægge og vinduerne. På Figur 25 kan det ses, at kontrastforholdet (luminansforskelle) mellem vindue og mur er reduceret i det renoverede kontorlokale i forhold til referencelokalet. Det vil sige, at væggene i referencelokalet virker mørkere i forhold til vinduet og dermed øger risikoen for ubehagsblænding.

På billedet til højre kan man dog se, at de valgte spots kan give anledning til blænding for de enkelte medarbejdere, der har spots direkte i deres synsfelt. Spotsene reflekteres desuden også i de blanke dele af væggene, hvilket ligeledes kan bidrage til synsgener. Dette bekræftes af brugerundersøgelsen.

Figur 25 Kostrast mellem vindue og mur ved hhv. referencelokale og renoveret lokale. Væggen virker mørkere i referencelokalet end i det renoverede lokale

En anden problematik er, at det er et lille kontor med relativt mange kontorpladser, så brugernes sidder forholdsvis tæt. Dette giver problemer, da brugerne har forskellige præferencer for belysningen. Brugerne regulerer derfor lyset mindre ofte end de ellers ville, da de ikke vil skabe lysgener for de andre brugere i kontoret. F.eks. foretrækker de to brugere der sidder længst ude ved vinduerne forskellig farvetemperatur af lyset, dette gælder specielt de spots der belyser væggene mellem vinduer. Den ene vil gerne have en lavere farvetemperatur, mens den anden gerne vil have en høj farvetemperatur. De er derfor blevet enige om at spots skal være slukket.

Brugeroplevelse

På Gentofte Rådhus har 7 personer svaret på brugerundersøgelsen. Ingen af de 7 personer der har svaret, har set introduktionsvideoen.

Af de 7 personer oplever 5, at den elektriske belysning tilfredsstiller deres visuelle behov i forhold til det arbejde, de skal udføre. Flere positive besvarelser er suppleret med kommentarer om, at lyset er godt og at det er positivt, at det kan reguleres. Én påpeger, at der er lidt problemer ift. hvornår lyset tænder og slukker. De resterende 2 personer oplever ikke, at den elektriske belysning tilfredsstiller deres

visuelle behov. Den ene oplever, at lyset fra de mange spots føles meget skarpt, mens loftlyset er behageligt, når det ikke er på fuld styrke, men at de ofte slukker hurtigt efter at det er blevet tændt. En anden oplever, at der generelt er for mørkt i lokalet, og at lyset ofte dæmpes, når nogen træder ind i lokalet.

Af de 7 personer svarer 3, at belysningen ændres som forventet ved betjening, mens 4 svarer, at de ikke ved om lyset ændres som forventet. Flere oplever, at det er svært at regulere lyset og at det ikke altid ændres som ønsket. Én oplever, at det er nemt at tænde og øge lyset i loftet, men kan ikke slukke det, når han går.

Af de 7 personer oplever 5, at de kender lysstyringens funktioner godt nok til at kunne regulere lyset, så det tilfredsstiller deres egne visuelle behov. De resterende 2 personer svarer hhv. 'nej' og 'ved ikke' på spørgsmålet. Begge er blandt dem, der oplever, at den elektriske belysning tilfredsstiller deres visuelle behov i forhold til det arbejde, de skal udføre.

Af de 7 personer føler 3, at der er behov for yderligere vejledning eller information om belysningen, mens én har svaret 'ved ikke' og de resterende 3 har svaret 'nej'. Af de 4, der ikke ved om lyset reguleres som forventet, oplever 2 personer at der er behov for yderligere vejledning om belysningen.

De 2 personer, der ikke føler at belysningen tilfredsstiller deres visuelle behov, synes til dels, at belysningen ændres som forventet og oplever ikke, at der er brug for yderligere introduktion til belysningen.

Syv besvarelser svarer til 70 % af de adspurgte. At ikke alle medarbejdere har svaret på brugerundersøgelsen kan skyldes flere forhold. En årsag kan være, at flere medarbejdere stadig arbejder mere hjemme end før Covid 19 og derfor har begrænset erfaring med belysningen. En anden årsag kan være generel mangel på interesse for belysningen i en travl hverdag.

Ingen af dem, der har svaret på undersøgelsens spørgsmål, har set introduktionsvideoen. Samtidig svarer 2, at de ikke eller måske ikke kender lysstyringens funktioner godt nok, mens 4 oplever, at der er behov for yderligere information om belysningen.

3.4.6 Konklusion - case 2

Besvarelserne af spørgeskemaet i Gentofte Kommune giver indtryk af, at brugerne ikke har fået den nødvendige vejledning og information om belysningen. En introduktionsvideo, som er op til den enkelte selv at opsøge via en QR-kode, er ikke fyldestgørende i dette tilfælde, men kræver et supplement, fx i form af

- Fælles informationsmøde om den nye belysning inkl. fremvisning af introduktionsvideoen
- Mail til alle medarbejdere med information om belysningen og link til introduktionsvideoen
- Hands On introduktion til belysningen
- Opfølgende introduktionsmøde med mulighed for at stille spørgsmål

Undersøgelsens besvarelser indikerer, at indreguleringen af belysningen ikke har været optimal. I flere besvarelser bliver det nævnt, at regulering samt tænd og sluk ikke fungerer som forventet. Indregulering er et generelt problem og kræver formentlig en indsats i flere omgange.

Selvom kontrolpanelet er suppleret med symboler der forklarer hvordan belysningen fungerer, bliver belysningen for det meste ikke reguleret i løbet af dagen. Dette skyldes i høj grad, at belysningen er

installeret i et storrumskontor hvor der er 10 arbejdspladser på et relativt lille rumareal. Da brugerne brugernes arbejdspladser derfor er placeret forholdsvis tæt, kan dette give anledning til visuelle gener når brugerne har forskellige belysningspræferencer. Brugerne har derfor fundet et generelt belysningsniveau der resulterer i mindst mulige belysningsgener for de enkelte medarbejdere. Dette er f.eks. tilfældet med wallwasherne der belyser de mørke vægflader mellem vinduerne. Disse er slukkede for det meste af tiden, da de to brugere der sidder så de er i deres direkte synsfelt, har forskellige præferencer for farvetemperaturen. I dette tilfælde bidrager wallwasherne derfor ikke positivt til brugernes synsergonomi. Da wallwasher som oftest ikke er tændt, bidrager de derfor ikke som hensigten til rummets helhed oplevelse. Dette til trods for, at det wallwasherne kunne have været med til at reducere luminansforskellene mellem vinduer og de tilstødende mørke vægoverflader og dermed mindske risikoen for ubehagsblænding.

Målingerne viser, at der sker betydelig flere reguleringer i forsøgslokalets 3 zoner end der sker i referencelokalet med kun én zone. For den viste uge i februar viser beregninger, at elforbruget i forsøgslokalet er ca. 54% lavere end i referencelokalet. Dette resultat kan ikke direkte overføres til energiforbrug på årsbasis, men viser dog, at opdeling i flere zoner med separat dagslysstyring og individuel brugerregulering potentielt medfører en betydelig energibesparelse.

I storrumskontoret på Gentofte Rådhus er el-besparelsen beregnet til 58%. Da besparelsen er beregnede og tager udgangspunkt i en række antagelser, som ikke nødvendigvis kan forventes at være repræsentative for alle cases, må der tages et vist forbehold for det samlede besparelsespotentiale.

3.5 Konklusion

Forprogrammerede belysningsscenarier

Umiddelbart kan man forestille sig, at forprogrammerede belysningsscenarier vil være enkelt for enhver bruger at betjene. Blot ved tryk på én knap får man netop den belysningsløsning, som passer bedst til den aktuelle situation.

Erfaringerne fra Herstedlund Skole viser desværre noget andet. På skolen, hvor belysningsanlægget var designet med tre prædefinerede lysscenarier, var besparelsespotentialet beregnet til mere end 30 procent. Projektet viste imidlertid, at brugerne ikke vidste, hvordan de skulle regulere lyset, og derfor blev besparelsespotentialet ikke realiseret. Dette skyldes primært, at brugerne ikke kendte belysningssystemets muligheder, og at de derfor ikke forstod, hvordan det kunne reguleres. Brugerne fandt kontrolpanelet for kompliceret og vidste ikke, hvad de forskellige knapper regulerer. For Herstedlund Skole kan der derfor konkluderes:

- Forprogrammerede lysscenarier kan være meget vanskelige at forstå for brugerne
- Forprogrammerede scenarier i kombination med automatisk dagslysstyring og/eller tilstedeværelsessensorer kan give ændringer i lyset, som brugerne ikke forstår
- Selv de nyeste styrings- og reguleringssystemer har en vis responstid, som brugeren ikke er klar over og derfor trykker igen, inden systemet har reageret på første tryk. Herved kan det ske, at systemet får et ukendt signal og jammer
- Generelt må det forventes, at brugeren har ret begrænset tålmodighed, og flere tilfælde at uventede resultater ved forsøg på regulering medfører, at brugeren opgiver at forstå systemet
- Forprogrammerede lysscenarier vil i mange tilfælde kun fungere, hvis trykpanelet er gjort meget intuitivt med forklarende piktogrammer og tekst, *samtidig med* at alle brugerne har fået en omhyggelig forklaring på belysningsanlæggets muligheder samt funktionen af hver knap på trykpanelet og den automatiske dagslysstyring
- Beregninger viser, at opdeling i flere zoner med separat dagslysstyring og individuel brugerregulering potentielt kan medføre betydelige energibesparelser. Dette vurderes også at være tilfældet, selv om brugerne ikke har den fulde forståelse af anlæggets muligheder.

De ret negative erfaringer med brugernes forståelse af belysningsanlægget i Herstedlund Skole bekræftes af andre undersøgelser, fx et netop afsluttet IEA projekt, som konkluderer, at brugergrænsefladen til forprogrammerede belysningsscenarier skal være tiltalende, nemt og intuitivt, hvis brugerne skal interagere optimalt med systemet (Fontoynont, M., 2021).

Brugerstyret regulering af lysintensitet og farvetemperatur

En generel erfaring vedr. brugernes oplevelse af indeklimaforhold er, at der kan opnås en større tilfredshed med de enkelte klimaparametre /-forhold (temperatur, lufttilførsel, solindfald, lysforhold), når brugerne føler, at de har mulighed for selv at regulere på forholdene.

I modsætning til Herstedlund skole er der mere simple forprogrammerede lysscenarier på kontorerne i Gentofte Rådhus. Ud over, at der er en automatisk dagslysstyring, er det her brugerne selv, der bestemmer, hvordan belysningen skal reguleres i de forskellige lyszoner i kontoret. Her kan brugerne manuelt selv slukke eller tænde for lyset, og i hver zone kan de regulere lysets intensitet og farvetemperatur. Her er der altså en god mulighed for, at brugerne oplever, at de selv kan regulere lyset til den ønskede indstilling. Her var besparelsespotentialet beregnet til mere end 58 procent. Desværre må det konstateres,

at ikke alle kriterier for succes har været opfyldt på Gentofte Rådhus. Undersøgelserne viser, at manuel regulering ikke altid øger brugernes interaktion med styringssystemet. Også dette casestudie viser, at brugerne ikke har fået tilstrækkelig information om, eller haft mulighed for/ interesse i at sætte sig ind i belysningsanlæggets muligheder, sandsynligvis bl.a. pga. covid-19 restriktioner og hjemsendelsesperioder. Brugerundersøgelsen indikerer desuden, at én af hovedgrundende til brugerne ikke regulerer lyset i løbet af dagen er, at medarbejderne sidder i et storrumskontor, hvor forskellige brugere har forskellige visuelle behov. Der er derfor fundet et fælles belysningsniveau, som overordnet tilgodeser en stor del af brugerne. Lyset reguleres derfor sjældent i løbet af dagen, da den enkelte bruger ikke ønsker at skabe visuelle gener for sine kolleger. For anlægget på Gentofte Rådhus kan der konkluderes følgende:

- Brugerstyret lysregulering, der både omfatter intensitet og lysfarve kræver først og fremmest en meget omhyggelig forklaring til brugerne, f.eks ved et fællse informationsmøde og med 'hands-on' introduktion, opfulgt at informationsmail med beskrivelse af funktioner. Derved vil brugerne have mulighed for at indstille lyset til en ønsket lyssætning

- For at den omhyggelige brugerintroduktion til belysningsanlæggets muligheder kan omsættes i optimal regulering, skal kontrolpanelet være forsynet med letforståelige piktogrammer og tekst, så brugerne forstår trykknappernes funktionen i relation til den information, de har fået

- Brugernes oplevelse af lyset kan være meget forskellig, og derfor kan brugerstyring af lysintensitet og -farve i storrumskontorer meget nemt føre til modsatrettede ønsker, som i praksis betyder at lyset indstilles til en kompromisløsning, der gør de færreste tilfredse og sjældent vil føre til energibesparelser

- Både målinger og beregninger viser, at opdelingen af kontoret i tre zoner og brugerstyring af lysintensiteten potentielt medfører betydelige energibesparelser, i størrelsesorden 30-50%. Dette vurderes også at være tilfældet, selv om brugerne ikke har den fulde forståelse af anlæggets muligheder.

Hovedkonklusioner

- De to casestudier viser, at brugergrænsefladen er et vigtigt (hvis ikke det vigtigste) element, for at brugerne kan forstå og bruge belysningssystemet efter hensigten. Hvis brugerne ikke forstår, hvordan belysningssystemet virker, eller hvordan de kan regulere, så det imødekommer deres visuelle behov, bruger de det enten ikke korrekt eller bliver bange for at regulere belysningen. Begge scenarier kan ende ud i, at lyset ikke imødekommer brugernes behov eller at belysningssystemet bruger mere energi end tilsigtet

- Brugerundersøgelsen viser generelt, at brugerne ikke er interesserede i at sætte sig ind i, hvordan belysningssystemet og styringen af dette fungere. For at brugerne kommer til at få en forståelse at lyssystemet og dermed bruger det mest hensigtsmæssigt i forhold til visuelle behov men også ud fra et energiperspektiv, kræver det at ledelsen er mere aktivt involveret. Brugerne skal motiveres og nødes til at sætte sig ind i det, da dette projekt indikerer at det ikke kan ikke forventes, at brugerne selv tager initiativ til at søge informationen. Der skal simpelthen sættes tid af til at informere brugerne om belysningen og hvordan det kan styres

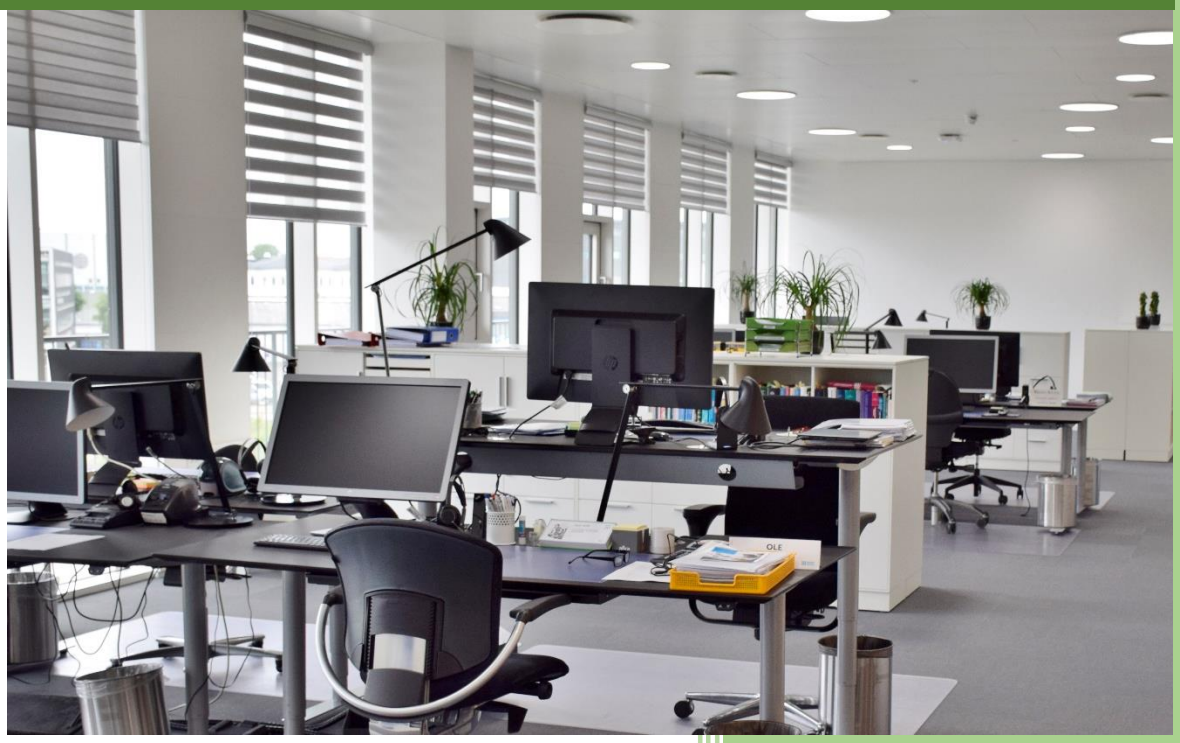
- Både Herstedlund skole og kontorerne på Gentofte kommune viser, at det er muligt at udligne luminansforskelle i et rum, der skyldes høj luminans fra vinduer ved at belyse tilstødende vægflader, eller andre vertikale overflader, der virker mørke i forhold til vinduespartierne.
- Hypotesen om, at kontrastreducerende vertikal belysning fremmer synsergonomi og forbedrer helhedsoplevelsen af lyset og rummet, kan dog ikke bekræftes i nærværende projekt. Dette

skyldes primært, at de aktuelle lodrette flader i projektet ikke har været egnet til at demonstrere denne effekt, samt at brugernes vurdering af vertikalbelysningen (wallwashers) har drejet sig mere om blænding fra lyskilderne. Vertikal belysning giver mest mening, hvis lyskilden belyser lyse overflader, så lyset reflekteres diffust videre ind i rummet.

- I de to casestudier er el-besparelsen beregnet til hhv. 32% og 58%. Da begge besparelser er beregnede og tager udgangspunkt i en række antagelser, som ikke nødvendigvis kan forventes at være repræsentative for alle cases, må der tages et vist forbehold for det samlede besparelsespotentiale. Men generelt kan det siges, at selvom der skiftes belysning fra T5- lysrør til LED, vil der være en synlig besparelse, særligt hvis der er flere belysningsscenarier at vælge imellem.

På denne baggrund vurderes besparelsespotentialet ved udskiftning af ældre belysning i kontorer og undervisningslokaler til nye belysningsanlæg etableret gå grundlag af danske standarder for belysning DS/EN 12464-1:2011 (Dansk standard, 2011), inkl. tilstedeværelsessensorer og dagslysstyring, jf. BR18 (Bolig- og Planstyrelsen, 2018, samt supplerende installationer, som sikrer en god ergonomisk komfort og mulighed for individuelle lyssætninger at være 30- 60%, selvfølgelig meget afhængigt af det eksisterende anlægs beskaffenhed.

Guidelines for ergonomisk belysning der virker i praksis



ELFORSK-projekt nr. 351-003:

Elbesparende og ergonomiske lysscenarier

Udarbejdet af BUILD/Aalborg Universitet, IVE Rådgivning, Dansk Center for Lys, Albertslund Kommune, Gentofte Kommune Zumtobel & Signify

Juni 2022

Guidelines for ergonomisk belysning der virker i praksis

Disse guidelines retter sig mod byggeriets beslutningstagere og udførende, herunder kommuner, arkitekter, rådgivere og elinstallatører. Målet er at klæde beslutningstagere og udførende på til at prioritere og tage beslutninger omkring de forhold, som har betydning for en belysningsløsnings kvaliteter. Når brugerne forstår at bruge lyset rigtig, skabes bedre trivsel og større energibesparelser.

Begrebet 'ergonomisk belysning' vedrører forholdet mellem lys og menneske i relation til de opgaver og aktiviteter, som skal udføres under de specifikke belysningsforhold. Dårlig lysergonomi kan have en eller flere af følgende effekter:

- Lav produktivitet
- træthed
- Høj fejlrate
- Anstrengte øjne
- Hovedpine og nakkesmerter
- Dårlige arbejdsstillinger
- Manglende evne til at matche eller vælge korrekte farver
- Generel utilpashed

Vurdering af lysergonomi bør altid ske med udgangspunkt i de specifikke opgaver, som belysningen skal understøtte. Ved vurdering af lysergonomi er følgende spørgsmål er relevante at stille:

- Er lysmængden tilstrækkeligt?
- Er der en passende fordeling af lyset?
- Giver belysningen anledning til store kontraster, blænding eller generende refleksioner?
- Giver lyset anledning til flimmer?
- Har lysets en passende farvetemperatur?
- Er lysets evne til at gengive farver (Ra-indeks) tilstrækkelig god?

Da en arbejdsstation eller et lokale ofte benyttes til flere forskellige formål, vil det som regel være en god idé at planlægge belysningsløsningen, så den giver mulighed for at skifte mellem forskellige lysscenarier og derved tilgodese forskellige typer belysningsbehov.

Planlægning af ny belysning

En ny belysningsløsning bør altid planlægges med fokus på at opnå en god lysergonomi. De centrale parametre er i den forbindelse *lysniveau*, *lysets fordeling i rummet*, *blænding*, *flimmer* og *lysets farveegenskaber*.

Lysniveau

Tilpas mængde af lys – hverken for meget eller for lidt.

Lysets fordeling i rummet

Lyset skal være tilpasset de aktiviteter, der skal foregå i rummet, så lyset findes der, hvor der er behov for det. Lys på vægge og andre vertikale flader bidrager til at skabe en behagelig lysfordeling uden blænding og for store kontraster. Samtidig giver det vertikale lys bedre mulighed for at aflæse ansigtsudtryk. Vær dog opmærksom på at undgå refleksioner på computerskærme.

Blænding

Blænding opstår, når kontrasten mellem lys og mørke er for stor, f.eks. på grund af dårligt afskærmede armaturer eller en skæv fordeling af dagslyset. Store kontrastforhold opleves måske ikke i første omgang som blændende, men er man eksponeret for dette over længere tid, kan det f.eks. resultere i anstrengte øjne eller hovedpine. Blænding slører vores billede af omgivelserne og kan være stærkt generende for øjet. Blændingsforholdene afhænger både af lysets placering i rummet og af rummets udformning. Armaturer, som har direkte indkig til lyskilderne eller meget lysende armaturdele, kan give anledning til blænding og et dårligt synsmiljø.

Flimmer

Flimmer fra den elektriske belysning kan virke ubehageligt og hos nogle mennesker udløse migræne. Flimmer bør undgås ved at anvende gode elektroniske drivere og forkoblinger (HF).

Farvegengivelse og lysfarve

Lyskilders Ra-værdi (farvegengivelsesindeks) og farvetemperatur (lysfarve) har betydning for, hvordan det elektriske lys opleves. Lyskilders farvetemperatur skal være tilpasset de aktiviteter, der foregår i lokalet, og de farvegengivende egenskaber skal sikre en naturlig gengivelse af det, der belyses. Gode farveegenskaber giver gode synsbetingelser, og har desuden stor betydning for personer med nedsat synsevne.

Øvrige forhold

Udover at sikre en god lysergonomi, bør planlægningen af et belysningsanlæg desuden ske med udgangspunkt i praktiske, miljømæssige og økonomiske forhold.

De *praktiske forhold* knytter sig til tekniske krav til udstyret, herunder krav vedr. betjening, brugervenlighed og robusthed.

De *miljømæssige forhold* knytter sig til belysningsanlæggets drift og livscyklusomkostninger, som bør være optimeret i forhold til energieffektivitet, drift og vedligehold.

De *økonomiske forhold* knytter sig til anlægs- og driftsøkonomi, som ikke bør adskilles. Kun ved at tage hensyn til totaludgifterne i hele belysningsanlæggets levetid, kan der træffes langsigtede og bæredygtige beslutninger. En høj anlægsudgift kan i nogle tilfælde reducere drifts- og energiomkostningerne.

GUIDELINES

De fysiske rammer

1. Sørg for at rummet og de fysiske rammer bidrager bedst muligt til den visuelle komfort
2. Vær opmærksom på rummets og arbejdsområdets overflader

Dagslys

3. Udnyt dagslyset optimalt
4. Reducer blænding fra dagslys
5. Vælg den rigtige solafskærmning
6. Planlæg den elektriske belysning med udgangspunkt i dagslysforholdene

Kunstlys

7. Start altid med at identificere, hvilke krav og ønsker belysningen skal opfylde
8. Overvej forhold vedr. økonomi og installation
9. Reducer blænding fra elektrisk belysning, dvs. direkte blænding, ubehagsblænding (herunder store luminans spring) samt refleksioner
10. Undgå generende skygger
11. Undgå flimmer fra den elektriske belysning
12. Planlæg belysningen efter om de primære arbejdsflader er vertikale eller horisontale
13. Vær opmærksom på rummets vertikale flader

Styring

14. Opfyld gældende krav til dagslysstyring
15. Vælg den styringsløsning, der passer til opgaven
16. Placer sensorer korrekt
17. Sørg for uddannelse og information til brugerne
18. Sørg for at brugerne har mulighed for overstyring
19. Husk indregulering, overdragelse og vedligeholdelse

Før udbud og udførelse

20. Tag stilling til alle relevante spørgsmål inden opgaven bliver udbudt

De enkelte punkter uddybes i det følgende. Klik på overskrifterne i listen herover for at komme til uddybning af de enkelte afsnit.

GUIDELINES - UDDYBENDE

De fysiske rammer

1. Sørg for at rummet og de fysiske rammer bidrager bedst muligt til den visuelle komfort

   Virker rummet generelt mørkt?

   Er dagslysadgangen blokeret enten, inde eller ude?

   Er der store kontraster i rummet, fx mellem lyse vinduespartier og tilstødende vægflader?
   Disse forhold har betydning for den visuelle komfort. Det kan have stor effekt at male vægge, lofter og vinduesomgivelser, så rummet fremstår lyst uden for store kontraster.

2. Vær opmærksom på rummets og arbejdsområdets overflader

   Lyset har stor betydning for vores oplevelse af et rum, men det omvendte er også tilfældet. Et godt kendskab til rummet og dets overflader, herunder de enkelte fladers evne til at reflektere lyset (reflektans), er en vigtig parameter i forbindelse med design af belysning, og en forudsætning for at opnå et godt belysningsanlæg.

Dagslys

3. Udnyt dagslyset optimalt

   Dagslyset bidrager som regel positivt til den samlede oplevelse af belysningen og kan desuden medvirke til at reducere belysningens energiforbrug.

4. Reducer blænding fra dagslys

   Dagslyset kan give anledning til gener i form af blænding, store luminansspring, refleksioner etc.

   For store kontraster mellem lyse vinduespartier og tilstødende vægflader uden lys kan have en negativ indvirkning på den visuelle komfort. Problemet kan afhjælpes ved at belyse vægge, der støder op til vinduerne.

   Hvis der forekommer gener pga. direkte sollys, bør der etableres en god sollysafskærmning.

5. Vælg den rigtige solafskærmning

   Lokaler med direkte solindfald bør altid udstyres med en god solafskærmning. Hvis sollyset ikke giver anledning til gener i form af varme, vil en indvendig justerbar solafskærmning være tilstrækkelig. Overvej om afskærmningen skal kunne justeres vertikalt eller horisontalt. Vertikal justering (rullegardin eller persienne) giver mulighed for delvis afskærmning, så udsynet kan bevares, når fuld afskærmning ikke er nødvendig. Hvis sollyset giver anledning til varmegener, bør der etableres en udvendig justerbar afskærmning.

6. Planlæg den elektriske belysning med udgangspunkt i dagslysforholdene

Design af elektrisk belysning bør ske under hensyntagen til de aktuelle dagslysforhold og et godt kendskab til, hvordan dagslyset fordeler sig i rummet.

I lokaler med god tilgang af dagslys vil det ofte være nødvendigt at tage højde for de gener, som dagslystilgangen kan medføre.

Kunstlys

7. Start altid med at identificere, hvilke krav og ønsker belysningen skal opfylde

Definer hvilke aktiviteter og opgaver belysningen skal understøtte og designes til.

Skal belysningen signalere ro eller aktivitet?

Skal hele rummet lyses jævnt op, eller skal belysningen skabe mindre lysrum eller små hyggekroge?

Er det relevant at belysningsløsningen giver mulighed for at skifte mellem flere forskellige scenarier?

Ved etablering af ny belysning er det helt centralt, at man starter med at identificere, hvilke typer opgaver og aktiviteter belysningen skal understøtte.

8. Overvej forhold vedr. økonomi og installation

Hvad er der økonomi til og hvordan får I mest ud af de penge der er?

Skal den eksisterende installation bevares eller udskiftes?

Hvis armaturerne udskiftes 1 til 1, skal den nye belysning så suppleres?

Overvej nøje konsekvenserne af de forskellige valg, både i forhold til anskaffelsespris, energibesparelse, synsergonomi samt behov og ønsker til belysningen.

9. Reducer blænding fra elektrisk belysning (direkte blænding, ubehagsblænding (herunder store luminans spring), refleksioner)

Når belysningen blænder, forringes synsbetingelserne og lyset opleves ubehageligt.

Sørg for at belysningsanlægget overholder gældende krav til blænding, så lyset ikke giver anledning til blændingsgener.

10. Undgå generende skygger

Skyggetegningen er vigtig, når vi skal afkode omgivelserne og løse forskellige opgaver. Lysets retning i forhold til arbejdsområdet har betydning for skyggetegningen, som ikke må være for hård. Planlægning af belysningen bør ske med udgangspunkt i lokalets indretning og formål. Lidt lys på vertikale flader og/eller lofter kan sikre, at skyggetegningen ikke bliver for hård.

11. Undgå flimmer fra den elektriske belysning

Flimmer fra den elektriske belysning kan virke ubehageligt og bør undgås ved at anvende gode elektroniske drivere og forkoblinger (HF).

12. Planlæg belysningen efter om de primære arbejdsflader er vertikale eller horisontale

Design af ny belysning bør ske ud fra viden om, hvilke flader i lokalet der er primære, og hvilke der er sekundære. I et klasselokale kan de primære flader være både horisontale og vertikale. I et kontormiljø vil det typisk være de horisontale arbejdsflader, der er de primære.

13. Vær opmærksom på rummets vertikale flader

Lys på vægge og andre vertikale flader bidrager til at skabe en behagelig lysfordeling i rummet og mindsker risikoen for blænding og store kontraster. Samtidig giver det vertikale lys bedre mulighed for at aflæse ansigtsudtryk.

Styring

14. Opfyld gældende krav til dagslysstyring

Styring og regulering af solafskærmning og elektrisk lys skal overholde gældende krav i Bygningsreglementet BR18 paragraf 379-381.

15. Vælg den styringsløsning, der passer til opgaven

Om styringssystemet skal være simpelt eller avanceret afhænger af krav til funktionalitet og økonomi. Det er bedre at vælge et simpelt system, der er let at forstå, installere og betjene, end et avanceret system, der måske ikke fungerer efter hensigten.

16. Placer sensorer korrekt

Selv den bedste styringsløsning kan ikke fungere optimalt, hvis lyssensorerne er placeret forkert eller kvaliteten af detekteringen ikke er tilstrækkelig god.

En sensor skal placeres, så den kan registrere et repræsentativt belysningsniveau.

17. Sørg for uddannelse og information til brugerne

Brugerne af styringsløsningen bør have kendskab til hensigten med systemet og hvordan det betjenes. Denne information bør desuden være tilgængelig for nye brugere af belysningen, fx. i form af let tilgængelig information via en QR-kode, som opsættes ved alle styringspaneler.

Sørg også for, at brugerne af styringsløsningen ikke er bange for at gøre noget forkert, f.eks. ved at informere med om, hvad der sker, hvis de gør noget andet end det, der er meningen.

18. Sørg for at brugerne har mulighed for overstyring

Uanset hvor god en styringsløsning er i forhold til at tilpasse belysningen og sikre optimal udnyttelse af dagslyset, er det vigtigt, at brugerne har mulighed for at ændre på de belysningsforhold, som styringen giver.

Derfor skal en styringsløsning altid have en overstyringsfunktion, som giver brugerne mulighed for at ændre på belysningen.

19. Husk indregulering, overdragelse og vedligeholdelse

Indregulering af styringsløsningen (også kaldet commissioning) er en forudsætning for at brugerne får den styringsløsning, de har ønsket. Indregulering bør være helt afsluttet før belysning inkl. styring overdrages til brugerne og tages i brug.

For at styringssystemet kan blive ved med at fungere optimalt, og give de ønskede energibesparelser, skal det vedligeholdes. Uddannelse af det personale, der skal stå for vedligeholdelsen, er derfor vigtig. Selvom mange fabrikanter tilbyder teknisk support, er det ofte nemmere og mere økonomisk, hvis de bygningsansvarlige ved, hvordan man betjener og justerer systemet.

Før udbud og udførelse

20. Tag stilling til alle relevante spørgsmål inden opgaven bliver udbudt

For at opnå den bedst mulige belysningsløsning inkl. lysstyring er det centralt, at alle væsentlige forhold og spørgsmål bliver afklaret og at alle krav til løsning og udførelse beskrives grundigt og entydigt inden opgave udbydes.

Udover de opmærksomhedspunkter, som er omfattet af ovenstående punkt 1-19, bør afklaring og beskrivelse omfatte krav til følgende:

- Belysningsniveauer
- Lyskvalitet, herunder krav til lysets farveegenskaber
- Tidsintervaller, responstid ved tryk, brugervenlighed, robusthed
- Styringsprotokoller

I nogle tilfælde kan det være en god ide at lave en prøveopsætning af den nye belysningsløsning.

’Guidelines for ergonomisk belysning der virker i praksis’ er udarbejdet i ELFORSK-projektet 351-003 ’Elbesparende og ergonomiske lysscenarier’.

Projektet har modtaget støtte fra Dansk Energis forsknings- og udviklingsprogram, ELFORSK, og er gennemført i et samarbejde mellem BUILD/Aalborg Universitet, IVE Rådgivning og Dansk Center for Lys i samarbejde med Albertslund og Gentofte kommuner samt belysningsleverandørerne Signify og Zumtobel.

Rapport om projektet kan downloades på ELFORSK’s hjemmeside: https://elforsk.dk/projektdatabase/elbesparende-ergonomiske-lysscenarier

Foto på forsiden: DCL

Udgivet: Juni 2022

TJEKLISTER - ERGONOMISK LYS

Ved etablering af nye ergonomiske og elbesparende belysningsløsninger

Fysiske rammer
1. Planlæg dagslyset efter, hvor der skal etableres arbejdspladser, jf. BR18
2. Sørg for, at de fysiske rammer bidrager bedst muligt til den visuelle komfort
3. Vær opmærksom på, hvordan bygningens udformning, orientering og omgivelser påvirker dagslysforholdene, herunder både mængden, fordelingen og gener
Dagslys
4. Minimer gener fra dagslyset, dvs. blænding eller generende refleksioner
5. Sørg for at eventuelle gener fra dagslyset kan afhjælpes
Elektrisk belysning
6. Planlæg den elektriske belysning efter, hvor der er behov for lys
7. Sørg for at den elektriske belysning ikke giver anledning til blænding eller generende refleksioner
8. Sørg for at den elektrisk belysning ikke giver anledning til generende skyggevirkninger
9. Vælg lyskilder, der ikke giver anledning til flimmer, heller ikke når lyset er dæmpet
10. Tag stilling til hvilke vertikale flader, der skal belyses
11. Lav en vedligeholdelsesplan for den elektriske belysning tidligt i forløbet, så den kan bruges i forbindelse med projektering
Styring
12. Sørg for at gældende krav styring er overholdt, jf. BR18
13. Planlæg styringsløsningen så den passer til brugernes behov
14. Placer bevægelsesmeldere og dagslyssensorer korrekt
15. Sørg for at brugerne modtager information om, hvordan styringsløsningen skal anvendes
16. Tag stilling til om brugerne skal have mulighed for selv at justere belysningen
17. Lav en vedligeholdelsesplan for styringsløsningen

Til vurdering af eksisterende belysningsløsninger	JA	NEJ	Ved ikke	Ikke relevant
Fysiske rammer				
1. Bidrager rummet og de fysiske rammer bedst muligt til den visuelle komfort?				
Dagslys				
2. Er dagslysmængden tilstrækkelig på arbejdspladser?				
3. Giver dagslyset anledning til blænding eller generende refleksioner?				
4. Er solafskærmningen tilstrækkelig?				
Elektrisk belysning				
5. Er der elektrisk belysning der, hvor der er behov for det?				
6. Giver den elektriske belysning anledning til blænding eller generende refleksioner?				
7. Giver den elektrisk belysning anledning til generende skygger?				
8. Er der flimmer fra den elektriske belysning (også når lyset er dæmpet)?				
9. Fremstår rummet lyst og venligt?				
10. Findes der en vedligeholdelsesplan for den elektriske belysning?				
11. Bliver den elektriske belysning vedligeholdt?				
Styring				
12. Er gældende krav til dagslysstyring overholdt?				
13. Passer styringsløsningen til brugernes behov?				
14. Er bevægelse- og dagslyssensorer placeret korrekt?				
15. Fungerer styringsløsningen efter hensigten?				
16. Har brugerne modtaget tilstrækkelig information om, hvordan styringsløsningen skal anvendes?				
17. Har brugerne mulighed for selv at justere belysningen?				
18. Findes der en vedligeholdelsesplan for styringsløsningen?				
19. Bliver styringsløsningen vedligeholdt?				

Hvis der er sat kryds i det grønne felt, kan forholdet betragtes som godt

Hvis der er sat kryds i det røde felt, bør forholdet undersøges nærmere og evt. rettes op

Referencer

Bolig- og Planstyrelsen, 2018. Bygningsreglementet 2018 (BR18). København, Danmark.

Dansk Standard, 2011. DS/EN 12464-1:2011: Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser - del 1: Indendørs arbejdspladser. København, Danmark.

Dansk Standard, 2011. DS/EN 12464-1:2021: Lys og belysning – Belysning ved arbejdspladser - del 1: Indendørs arbejdspladser. København, Danmark.

Dansk Standard, 2021. DS/EN 15193-1:2017+A1:2021 Bygningers energieffektivitet – Energikrav til belysning – Del 1: Specifikationer, Modul M9. København, Danmark.

Poulsen, A. B., 2015. Circadian Lighting in Psychiatric Hospital Wards. A Method Test. Speciale ved Institut for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet. Aarhus, Danmark.

Fontoynont, M. (Editor), 2021. Technical-Report-B.1-Lighting-Controls. IEA-SHC-Task61/Annex 77, April-2021.

Fontoynont, M. (Editor), 2021. Technical-Report-B.2-Review-of-Systems. IEA-SHC-Task61/Annex 77, August-2021.

Fontoynont, M. (Editor), 2021. Technical-Report-B.4-Interfaces. IEA-SHC-Task61/Annex 77, August-2021.