



**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Aalborg Universitet**

## **Energieffektiv lysstyring**

*Sammenligning af open-loop og closed-loop systemer og deres betjening*

Markvart, Jakob; Johnsen, Kjeld; Logadóttir, Asta

*Publication date:*  
2016

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Markvart, J., Johnsen, K., & Logadóttir, A. (2016). *Energieffektiv lysstyring: Sammenligning af open-loop og closed-loop systemer og deres betjening*. (1. udgave udg.) SBI Forlag. SBI Nr. 2016:03

### **General rights**

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

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

### **Take down policy**

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

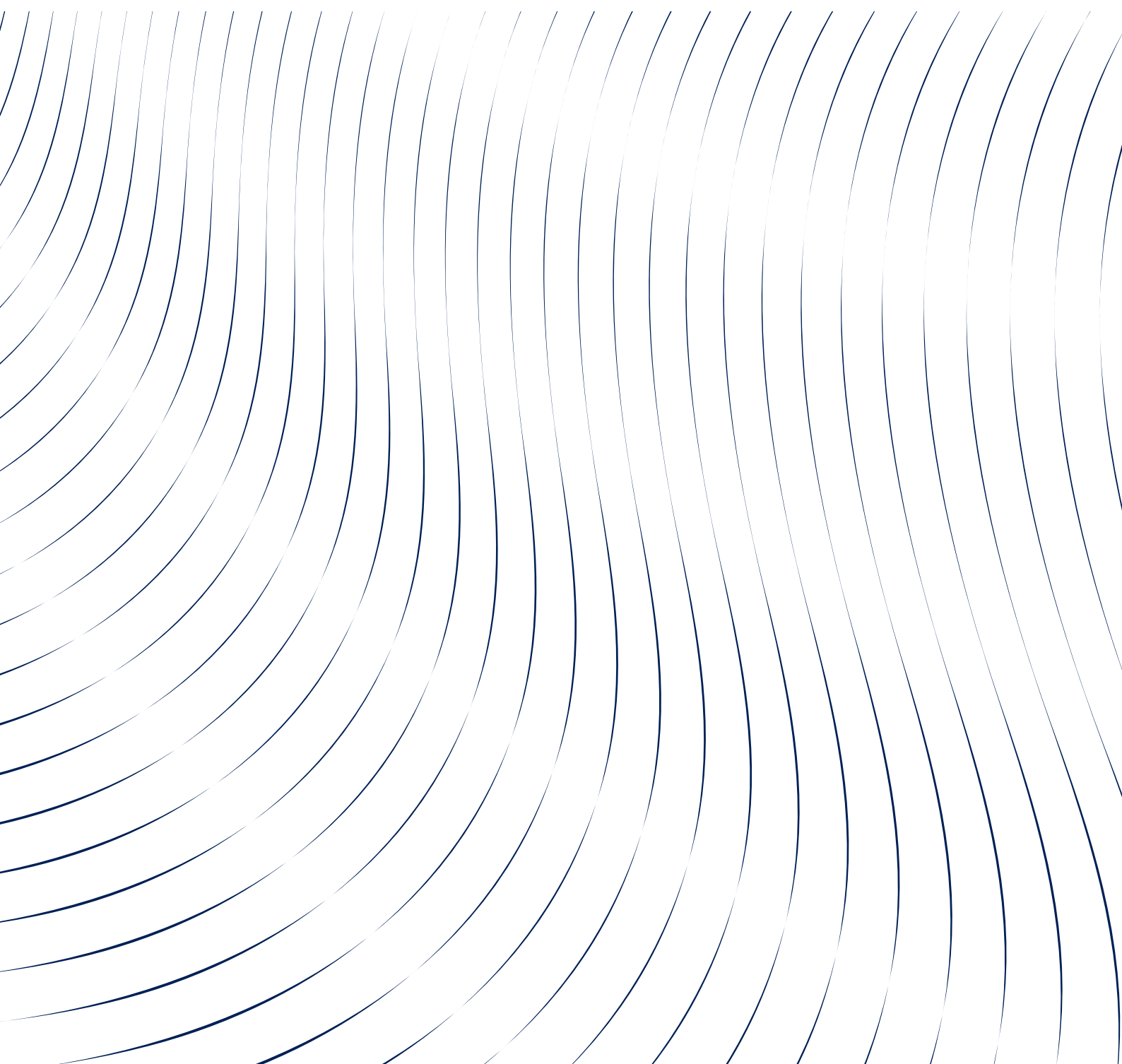


**STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT**  
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

# **ENERGIEFFEKTIV LYSSTYRING**

**SAMMENLIGNING AF OPEN-LOOP OG  
CLOSED-LOOP SYSTEMER OG DERES BETJENING**

**SBI 2016:03**





# Energieffektiv lysstyring

Sammenligning af open-loop og closed-loop systemer og deres betjening

Jakob Markvart  
Kjeld Johnsen  
Ásta Logadóttir

Titel	Energieffektiv lysstyring
Undertitel	Sammenligning af open-loop og closed-loop systemer og deres betjening
Serietitel	SBi 2016:03
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2016
Forfattere	Jakob Markvart, Kjeld Johnsen, Ásta Logadóttir
Redaktion	
Sprog	Dansk
Sidetæl	21
Emneord	Lysstyring, lysregulering, closed-loop, open-loop, afprøvning, laboratorietest
ISBN	978-87-563-1754-2
Tegninger	Anne Iversen
Fotos	Forfatterne
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post <a href="mailto:sbi@sbi.aau.dk">sbi@sbi.aau.dk</a> <a href="http://www.sbi.dk">www.sbi.dk</a>

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

# Indhold

Forord .....	4
Indledning .....	5
Lysregulering .....	5
Lysstyring .....	6
Forsøgsmetode .....	7
Lyslaboratoriet .....	7
Belysningsarmaturer .....	8
Placering af belysningsmålere og lyssensorer .....	8
Måleprocedure .....	9
Closed-loop system kalibrering .....	10
Resultater .....	11
Kalibreringsresultat: belysningsstyrke og energiforbrug .....	11
Belysningsstyrke .....	11
Energiforbrug .....	11
Systemernes funktion ved højt dagslysniveau (solrige dage) .....	12
Belysningsstyrke .....	12
Energiforbrug .....	14
Systemernes funktion ved lavt dagslysniveau (overskyede dage) .....	15
Belysningsstyrke .....	15
Energiforbrug .....	17
Konklusion .....	18
Systemernes installation og vedligeholdelse .....	19
Fra en montørs synspunkt .....	19
Fra driftspersonalets synspunkt .....	20
Generelt .....	20
Resultater .....	21

# Forord

Nærværende rapport markerer afslutningen på projektet "Valg af optimalt system for energieffektiv lysstyring". Projektet har været støttet af Elforsk under PSO-projektnr. 339-41. Projektets overordnede formål var at fremme anvendelsen af energibesparende, stabile og brugervenlige systemer til styring og regulering af belysningsanlæg i kontorer, skoler, institutioner m.fl.

Allerede tidligt i projektet kunne det desværre konstateres, at problemer, som gør sig gældende i praksis, også var en barriere for installation og afprøvning i laboratoriet. Selvom leverandørerne selv skulle installere og indjustere anlæggene, var der vanskeligheder med at få flere anlæg til at fungere efter hensigten. Resultatet blev, at kun 3-4 anlæg kunne bringes til at fungere med de ønskede indstillinger og nogenlunde med den ønskede funktion. Sidste del af projektet blev derfor fokuseret på en mere principiel sammenligning af to styrings-/reguleringsprincipper, nemlig et open-loop system (styring), som *styrer* efter hvor meget lys, der passerer vinduet, og et closed-loop system (regulering), der *regulerer* efter belysningsstyrken) på en vandret flade (i praksis luminansen af fladen). Som konsekvens heraf har rapporten fået en titel, der præciserer, at indholdet hovedsageligt beskriver en sammenligning af disse to principielt forskellige systemer.

Rapporten henvender sig til leverandører af styringsautomatik til belysning samt til rådgivende og udførende belysningsingeniører.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet  
Afdelingen for Energi, Miljø og Indeklima  
Februar 2016

*Søren Aggerholm*  
Forskningschef

# Indledning

Selvom belysningsbranchen længe har markedsført styrings- og reguleringssystemer med påståede store energibesparelspotentialer, har erfaringer fra en række internationale og nationale projekter, herunder Elforskningsprojektet *Funktionssikring af energieffektive lysstyringer* (J.nr. 464-04, projekt nr. 337-067) vist, at der er en række barrierer for opnåelse af de teoretiske energibesparelser og for brugerkomforten. Erfaringerne kan relateres til tekniske problemer omkring selve produkterne, deres reguleringsfunktioner, indstillingsmuligheder, brugervenlighed og vejledninger. Branchen har erkendt, at en stor del af de eksisterende lysstyringsanlæg ikke fungerer efter hensigten, og det var på denne baggrund, at SBI i samarbejde med branchen planlagde en systematisk undersøgelse af en række systemers tekniske funktioner og energibesparelspotentialer i sammenhæng med analyser af, hvilke barrierer der hidtil har stillet sig i vejen for realiseringen af potentialerne.

Projektet skulle gennemføres som en systematisk afprøvning i laboratoriet for dels at afdække problemer i forbindelse med installation, indregulering og daglig brug, herunder faktisk energibesparelspotentiale og dels for at afprøve hvordan et energibesparende stabilt og brugervenligt system vil kunne implementeres i praksis. De deltagende leverandører af belysningsautomatik skulle selv montere et lysstyringssystem i SBI's lyslaboratorium, som de ville gøre det i praksis. Målet var at analysere og dokumenteres systemernes funktion ud fra energiforbrug, fastholdelse af ønsket belysningsstyrke samt installations- og vedligeholdelsesvenlighed.

I alt 20 producenter og leverandører af lysstyringsanlæg blev inviteret til at deltage i undersøgelsen. Heraf deltog 10 virksomheder i indledende møder, 8 besvarede det udsendte spørgeskema og 7 sluttelig endte med at deltage i projektet.

Imidlertid viste det sig hurtigt, at det ikke kun er i praksis, at det er vanskeligt at få lysstyringssystemer til at fungere. Flere af leverandørerne brugte lang tid på at få systemerne indreguleret til den rigtige funktion, men måtte opgive, dels på grund af vanskeligheder med at få automatikken til at spille sammen med SBI's bus-system og dels måske fordi lyslaboratoriet ikke var egnet til de valgte typer styringsautomatik. Kun tre systemer blev derfor systematisk gennemmålt, og det blev besluttet, at det ikke ville være rimeligt at sammenligne disse tre systemer på detailniveau, når så mange systemer ikke kunne bringes til at fungerer efter hensigten. Der er derfor kun foretaget generelle konklusioner vedr. de afprøvede systemer installation og drift. Disse konklusioner er gengivet sidst i rapporten i kapitlet Systemernes installation og vedligeholdelse.

Som konsekvens af ovenstående problemer blev det besluttet at sammenligne to *forskellige principper* for lysstyring / lysregulering, som beskrevet i det følgende.

## Lysregulering

En regulering (også kaldet en lukket sløjfe, closed-loop) måler aktuelle ændringer i en reguleret størrelse og aktiverer reguleringssystemet ved at foretage en ændring for at opfylde ønsket til den regulerede størrelse. Denne



korrigerende aktivitet fortsætter, indtil den regulerede størrelse har opnået sin ønskede værdi inden for reguleringsystemets begrænsninger.

## Lysstyring

En styring (også kaldet en åben sløjfe, open-loop) har ikke nogen direkte forbindelse fra den regulerede størrelse til automatikken. En styring - en åben sløjfe - bygger på en antagelse om, hvordan en ydre påvirkning vil påvirke systemet og justerer systemet for at undgå uacceptable udsving.

For de fleste installationstyper, antages det som regel, at en regulering er mere energieffektiv end en styring, fordi systemet direkte måler på den størrelse, som skal reguleres.

For belysningsystemer har det ligeledes ofte været hævdet, at en lysregulering (closed-loop) er mere energieffektiv end en lysstyring (open-loop). Der er dog mange forhold, som kan påvirke funktionen i praksis. For det første måler closed-loop systemet ikke direkte den parameter, som skal reguleres: belysningsstyrken. Systemet måler hvor meget lys der reflekteres fra den overflade som føleren 'betragter', og skal omsætte denne værdi, som er en (middel-)luminans til en (middel-)belysningsstyrke. Derfor afhænger den målte værdi i høj grad af den aktuelle reflektans af den betragtede flade. Hvis fladen fx er et arbejdsbord, vil reflektansen ændre sig, når der placeres papirer eller andre ting på fladen. Et andet problem ved closed-loop systemet er, at *retningen* af daglyset, som rammer den betragtede flade, er helt anderledes end retningen af kunstlyset. Fladens reflektans af daglys og kunstlys vil derfor være forskellig, hvis ikke fladen er ideelt diffus, hvilket sjældent er tilfældet i praksis.

Projektets målsætning har derfor primært været at sammenligne de to principielt forskellige systemtyper. Laboratorieundersøgelserne blev planlagt således, at begge systemer blev afprøvet samtidig under præcis de samme vejrforhold, både ved klart solskinsvejr, ved overskyet og ved vejr med vekslende skydække. Målinger skulle både dokumentere systemernes evne til at fastholde de ønskede belysningsstyrker og deres energiforbrug i perioder med de tre vejr- eller himmeltyper.

# Forsøgsmetode

## Lyslaboratoriet

Alle forsøgene blev gennemført i SBI's Lyslaboratorium. Laboratoriet er beliggende i Hørsholm nord for København (breddegrad 55,86 °N, længdegrad 12,49 °Ø). Laboratoriet har to ens forsøgsrum med sydvendte facader. Laboratoriet ligger ca. 7 meter over terræn på nordsiden og ca. 13 meter over terræn på sydsiden, se figur 1.



Figur 1. SBI's lyslaboratorium i Hørsholm.

Vinduerne i sydfacaden vender mod en næsten fri horisont. De to forsøgsrum er identiske og måler ca. 3,5 meter i bredden, ca. 6,0 meter i dybden og med ca. 3,0 meter til loftet, se figur 3.

Vinduerne i forsøgsrummene har to-lags energiruder med lav-emissionsbelægning og argon-fyldning (Pilkington, Optitherm S). Vinduerne har følgende optiske og termiske egenskaber:

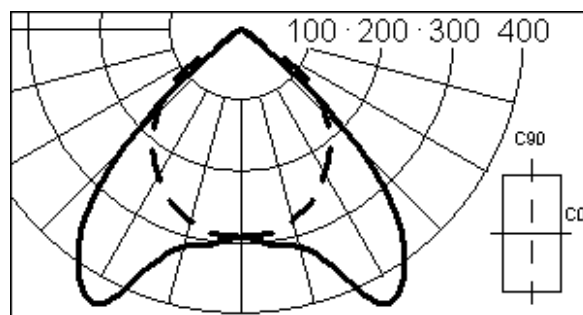
Direkte lustransmittans:	0,72
g-værdi	0,59
Diffus visuel transmittans	0,65
Reflektans	forside: 0,15; bagside: 0,14
U-værdi	1,1 W/m <sup>2</sup> K

Vægge i forsøgsrum er glasfibervæv malet i en lys grå farve. Lofter i forsøgsrum består af et hvidt nedhængt kassette-loft 600x600 mm. Gulve er dækket af mellemgråt væg-til-væg tæppe. De indvendige overflader har følgende egenskaber og lysreflektanser:

Overfladeegenskab	Lysreflektans
Vægge: Lys grå mat overflade	0,62
Loft: Hvid mat overflade	0,88
Gulv: Mellemgråt mat gilvtæppe	0,11
Borde/reoler: Træ, mellembrown overflade med ringe spejling	0,15

## Belysningsarmaturer

Hver forsøgsrum har 3 armaturer (model R2601/158 Isolum (60° fra ETAP) udstyret med et enkelt Philips Master TLD super 840, 58 W rør. Armaturet har en lysfordeling, som vist på figur 2, og en armaturvirkningsgrad på 74 %. Lysudbyttet fra lyskilden er 90 lm/W, hvilket er et godt stykke over kravet i Bygningsreglementet (BR10).



Figur 2. Lysfordeling fra armaturerne som opgivet af fabrikanten.

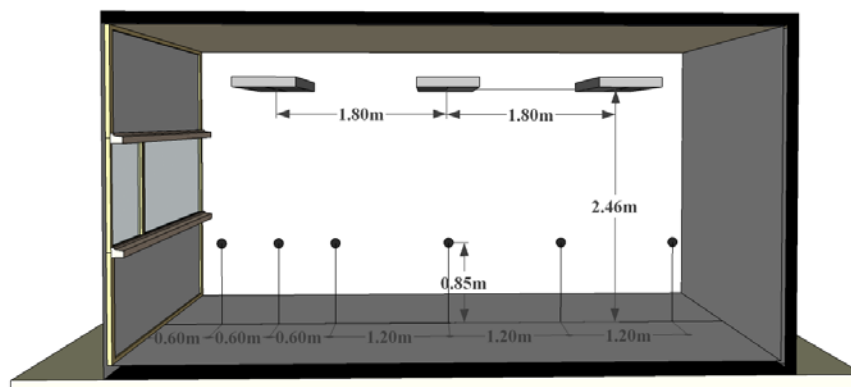
Armaturerne er placeret 2,46 m over gulvet i rummet centerlinje, 1,07 m fra vinduesvæg og bagvæg og med 1,80 m mellem armaturerne, se figur 3 og figur 4.



Figur 3. Forsøgsrum i Lyslaboratoriet.

## Placering af belysningsmålere og lyssensorer

Belysningsstyrken blev målt på i standardhøjde 0,85 m over gulv i rummets centerlinje, med første målepunkt 60 cm fra vinduet og med afstand mellem



Figur 4. Placering af belysningsarmaturer og belysningsstyrkemålere i de to identiske rum.

målepunkterne som vist på figur 4. På figuren registreres belysningsstyrkerne i de tre zoner, således at zone 1 registreres på føler 3, zone 2 på føler 5 og zone 3 på føler 6. Lysfølerne var af typen Hagner SD1 illuminance sensorer.

#### Placering af lysfølere (photosensorer)

I open-loop systemet var (dags-)lysføleren placeret under oversiden af vindueskarmen med føleren rettet ud ad vinduet, og i en position hvor den ikke kunne rammes af direkte sol. I closed-loop systemet var der en føler placeret i hvert armatur til registrering og regulering af lyset i hver zone, se figur 5.



Figur 5. Placering af lysfølere i de to systemer, open-loop i rum A og closed-loop i rum B.

## Måleprocedure

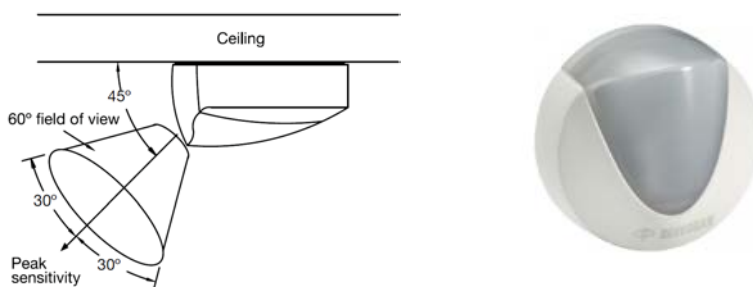
For at sikre en stabil lysudsendelse var armaturerne tændt i minimum 100 timer, før måleperioderne blev påbegyndt. Til analyserne af data er der udvalgt dage med fulde 24-timers uafbrudte data-sæt med både energi- og lysmålinger. Analyserne omfatter både skyfri dage, overskyede dage og dage med vekslende skydække. Alle belysningsdata blev registreret med 30 sekunders intervaller, mens energi-/effekttag blev registreret for hvert 5. minut.

Begge systemer blev via en on/off-timer sat til at tænde kl. 8:00 og slukke igen kl 18:00 hver dag. Forsøgsperioderne, hvor lyset var tændt, omfattede både solopgang og solnedgang. De registrerede elforbrug inkluderer energi-forbruget til timeren.

Forud for første forsøgsperiode blev de ønskede belysningsstyrker (setpunkter) i hver zone fastlagt. De tilstræbte belysningsstyrker blev sat til 500 lux i alle tre zoner: zone 1, zone 2 og zone 3.

#### Kalibrering af open-loop system

Open-loop systemet til dagslysstyring af styrer kunstlyset i op til 3 zoner, efter hvor meget dagslys, der tilføres rummet. Lysføleren placeres typisk på loftet eller på vinduesrammen med sensoren vendende udad på et sted, hvor direkte sol ikke kan ramme den.



Figur 6. Illustration af foto af lysføler, der benyttes ved open-loop systemet. Illustrationen viser sensorens 'synsfelt' (60 ° rumvinkel) og retningen for maksimal følsomhed (45 ° fra monteringsflade).

Ved kalibreringen af open-loop systemet blev belysningsstyrken målt i hver zone, først under overskyet himmel uden kunstigt lys, og dernæst kun med

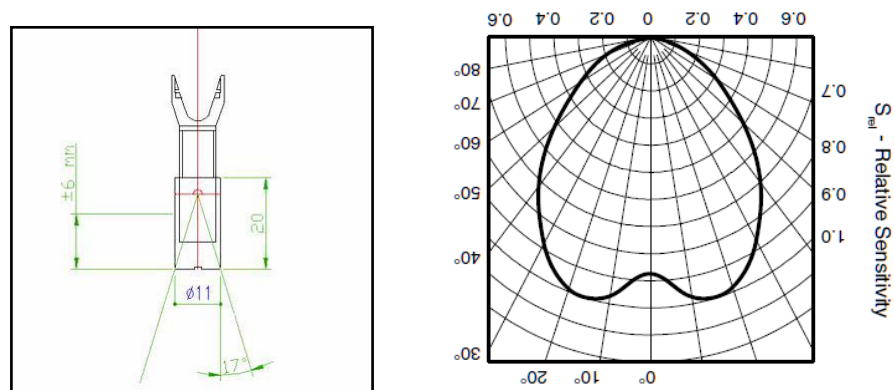
kunstigt lys (uden dagslys). På dagen for initialisering af forsøgene var vejret overskyet. Belysningsstyrken blev målt i hver zone og forholdet mellem de målte værdier og belysningsstyrken målt af sensoren, benyttes som styrefaktorer for hver zone. Det antages, at dette forhold er konstant, uafhængig af himlens lysforhold. Styrefaktorerne minder lidt om dagslysfaktoren, men er i dette tilfælde *dagslyskvotienter*, der altså siger noget om dagslyset i et givet punkt i en zone i forhold til, hvor meget dagslys, der passerer vinduet og rammer føleren.

Kalibreringen af open-loop systemet måtte gennemføres ad to gange, idet den første kalibrering medførte alt for lave belysningsstyrker nær vinduet (zone 1). Første kalibrering blev gennemført uden tæk af belysningsstyrkerne uden dagslys, men i anden omgang blev proceduren ændret, så det ønskede belysningsniveau kunne opnås i alle situationer. Erfaringerne understreger vigtigheden af at man dobbelttjekker, at systemet kan opnå den ønskede belysningsstyrke, også i perioder helt uden dagslys, fx om natten.

### Closed-loop system kalibrering

I closed-loop systemet er hver sensor rettet mod den flade, hvor den ønskede belysningsstyrke ønskes opretholdt. Kalibreringen foretages i første omgang uden dagslys ved at længden af røret på sensoren justeres indtil der opnås den ønskede belysningsstyrke på arbejdsplanet. Kalibreringen kræver dog en del gentagne justeringer, fordi justeringen af én sensor ikke kun påvirker belysningsstyrken under det aktuelle armatur, men også under naboarmaturerne. Desuden vil dagslys ofte give et andet respons fra føleren end kunstlyset, fordi dagslyset har en anden retning, om derfor også reflekteres anderledes, hvis ikke (bord-)overfladen sensoren 'ser' har en helt diffus refleksion.

Lysføleren i closed-loop systemet har en 'rumlig respons' som illustreret i figur 7. Føleren har maksimal følsomhed for lys der kommer i en vinkel på  $\pm 17$  grader i forhold til normalen for det (tænkte) plan, den er placeret på. Selve lysføleren er indbygget i et - indvendig sort - cylindrisk rør med en diameter på 11 mm. Længden af røret kan reguleres med en variation på 6 mm for større eller mindre lysfølsomhed. Sensorens 'synsvinkel' er en rumvinkel på 17 grader, når røret er i neutral position, jf. figur 7.



Figur 7. Geometrisk udformning af lyssensoren samt kurve over dens rumlige respons ved lys fra området føleren 'kan se'.

Efter kalibreringen af systemernes blev der opnået belysningsstyrker lige over 500 lux i begge forsøgsrum på arbejdsplanet i zone 1, 2 og 3, uden dagslys.

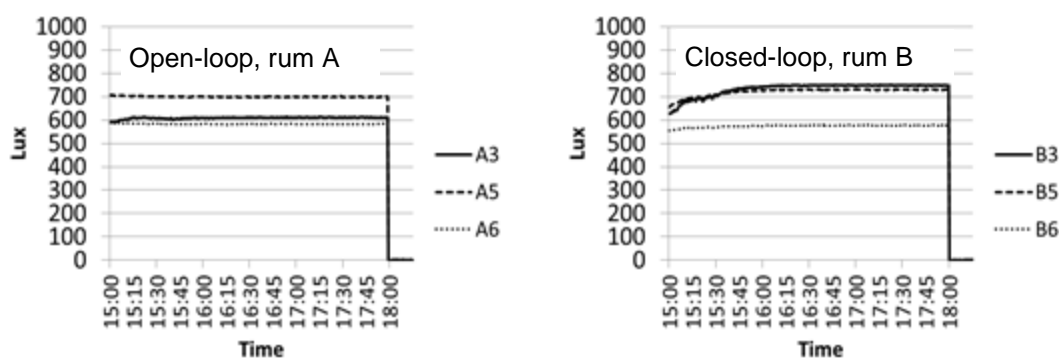
# Resultater

## Kalibreringsresultat: belysningsstyrke og energiforbrug

Hensigten med den indledende kalibrering af de to systemer var, at der skulle opnås samme belysningsstyrker i de 3 zoner i begge forsøgsrummene, når der ingen indflydelse var fra dagslys.

### Belysningsstyrke

Figur 8 og tabel 1 viser målingerne for en sen eftermiddag, hvor dagslyset forsvinder ca. kl. 16. Graferne viser, at begge systemer ligger noget højere end setpunktet for de 3 zoner, specielt i zone 1 nærmest ved vinduet. I closed-loop systemet ligger belysningsstyrken samlet ca. 50 lux højere for hele rummet end open-loop systemet.



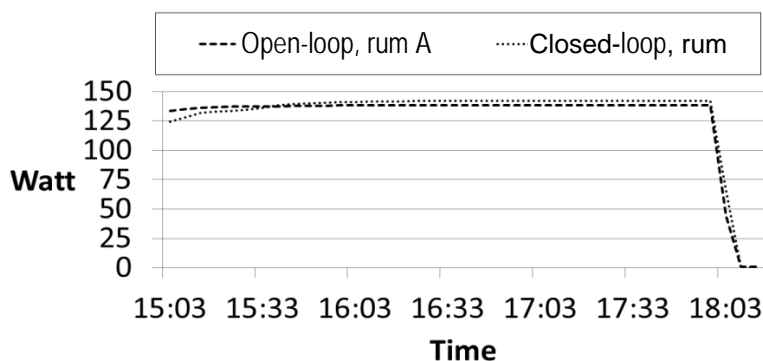
Figur 8. Belysningsstyrker i de to forsøgsrum efter kalibrering og efterjustering, målt i en situation helt uden dagslys.

Tabel 1. Middel belysningsstyrker i de tre zoner for open-loop og closed-loop systemerne efter kalibrering og efterjustering i en periode uden dagslys, fra kl. 16 til 18.

	Zone 1 (føler 3)	Zone 2 (føler 5)	Zone 3 (føler 6)	Average, Zone 1-3
System	Lux	Lux	Lux	Lux
Open-loop system	610	699	582	631 ± 50
Closed-loop system	748	730	577	685 ± 77

### Energiforbrug

I perioder uden dagslys er effektoptaget/ energiforbruget i closed-loop systemet lidt højere (141,9 W) end i open-loop systemet 138,5 W), jf. figur 9. Forskellen tilskrives, at belysningsstyrken tilsvarende er lidt højere i closed-loop systemet.



Figur 9. Målt effektoptagelse i systemerne efter kalibrering og efterjustering i en periode uden dagslys.

Målingerne viser, at når armaturerne er tændt i perioder uden dagslys, vil effektoptaget og dermed energiforbruget i closed-loop systemet konstant ligge ca. 3,4 W (2,4 %) højere end i open-loop systemet. Belysningsstyrken er tilsvarende større ved closed-loop systemet, specielt i zone 1 nær vinduet.

## Systemernes funktion ved højt dagslysniveau (solrige dage)

Dage hvor den gennemsnitlige belysningsstyrke ved sensor # 3 (zone 1) var større end 2.000 lux i tidsrumme kl. 8:15 - 17:45 blev kategoriseret som dage med højt dagslysniveau (klart solskinsvejr).

### Belysningsstyrke

Nedenstående tabel 2 viser den gennemsnitlig, minimum og maksimum belysningsstyrker målt i de tre zone1: sensor 3, zone 2: sensor 5 og zone 3: sensor 6 i henholdsvis rum A med open-loop system og B med closed-loop system på udvalgte vinterdage (kl. 8:15 – 17:45) med solrigt vejr.

Tabel 2. Middel, minimum og maksimum belysningsstyrker, målt i de tre zoner (sensor 3, 5 og 6 i henholdsvis rum A - Open-loop og B - Closed-loop) for udvalgte dage med solrigt vejr.

Sensor nr.	A3	A5	A6	B3	B5	B6
<b>Solskinsdage</b>						
<b>Belysningsstyrke, lux</b>						
<b>Dag 1</b>						
Middel	4478	3213	1412	3567	3472	1532
Min.	405	489	459	293	245	180
Max.	11493	10313	8931	9111	11333	10027
<b>Dag 2</b>						
Middel	5466	3843	1224	4460	4056	1135
Min.	398	481	478	325	225	171
Max.	13527	12485	8770	11018	13174	9701
<b>Dag 3</b>						
Middel	4607	1750	948	3907	1792	833
Min.	343	413	383	290	201	153
Max.	14406	10424	1738	12258	11243	1687
<b>Dag 4</b>						
Middel	6290	1771	1028	5350	1859	940
Min.	330	429	406	248	188	140
Max.	14870	11308	1575	12823	11796	1541
<b>Dag 5</b>						
Middel	6914	1345	1033	5928	1367	961
Min.	303	381	342	293	223	173
Max.	16752	10217	1823	14592	11128	1738
<b>Dag 6</b>						
Middel	7700	1260	1043	6628	1227	938
Min.	331	394	350	296	203	153
Max.	18535	9994	1666	16121	10930	1579

Det ses, at mens maksimum belysningsstyrkerne er nogenlunde ens i de to rum (kun dagslys, kunstlyset slukket), er minimum belysningsstyrkerne i rum A med open-loop system generelt højere i end i rum B med closed-loop system. Dette kunne tyde på, at open-loop systemet er bedre til at fastholde belysning på det valgte niveau.

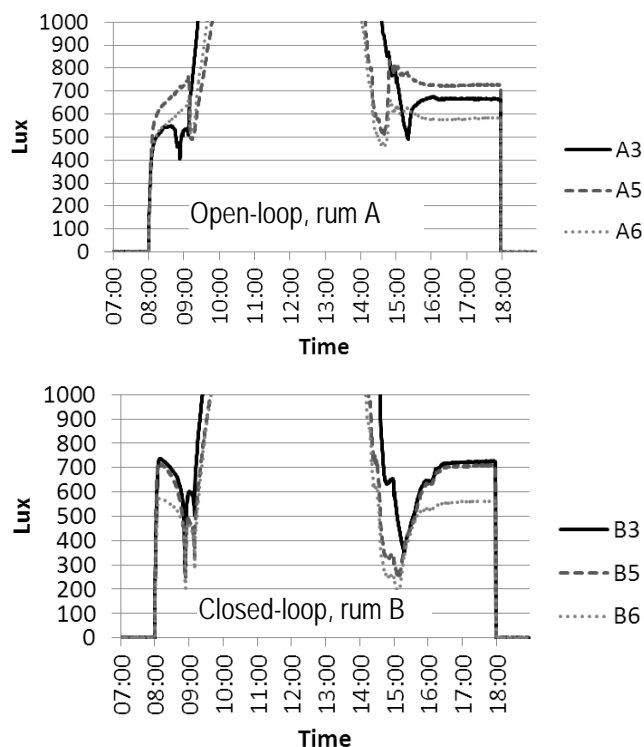
Resultaterne understøttes af data i nedenstående tabel 3. Tabellen viser, hvor lang tid (%) systemerne formår at holde belysningsstyrken over 500 lux

og 400 lux. Det ses, at open-loop systemet i rum A generelt er bedre til opretholde en belysningsstyrken tæt på den ønskede tærskelværdi på 500 lux, mens closed-loop systemet har mange værdier (% af tiden) med værdier under 500 lux og værdier under 400 lux.

Tabel 3. Beregnede procentdele af måleværdier i de tre zoner i hvert rum, hvor belysningsstyrken ligger under 500 lux, henholdsvis 400 lux.

Sensor nr.	A3	A5	A6	B3	B5	B6
<b>Solskinsdage</b>						
<b>Belysningsstyrke, lux</b>						
<b>Dag 1</b>						
% tid, lux > 500	98	99	97	94	85	83
% tid, lux > 400	100	100	100	98	92	90
<b>Dag 2</b>						
% tid, lux > 500	98	99	98	89	84	82
% tid, lux > 400	100	100	100	97	92	88
<b>Dag 3</b>						
% tid, lux > 500	94	96	95	89	81	77
% tid, lux > 400	99	100	99	95	86	84
<b>Dag 4</b>						
% tid, lux > 500	93	97	96	91	83	81
% tid, lux > 400	99	100	100	96	88	86
<b>Dag 5</b>						
% tid, lux > 500	96	97	93	92	82	79
% tid, lux > 400	98	99	97	97	88	84
<b>Dag 6</b>						
% tid, lux > 500	96	97	94	91	81	78
% tid, lux > 400	98	99	97	95	87	84

Figur 10 viser de målte belysningsstyrker i de to rum på en solrig dag. Graferne viser, at systemerne har vanskeligt ved at fastholde de ønskede belysningsniveau (500 lux), når dagslyset skifter ved solopgang og solnedgang. Dette kan dels skyldes systemernes delay-tid og lyssensorernes placering.



Figur 10. Målte belysningsstyrker (lux-værdier under 1.000 lux) i de to rum på en solrig dag.



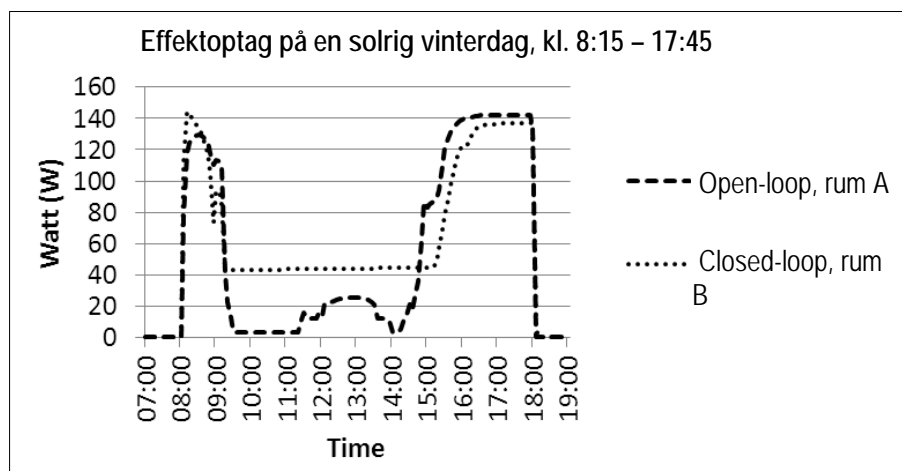
## Energiforbrug

Middel-, minimum- og maksimumværdier af effektoptaget (watt) for at opretholde de belysningsstyrker i dagtimerne på solrige dage, der er vist i tabel 2 og tabel 3, fremgår af nedenstående tabel 4.

Tabel 4. Middel-, minimum- og maksimumværdier af effektoptaget for at holde belysningsstyrkerne i dagtimerne på de udvalgte dage som vist i tabel 2 og tabel 3.

Solskindsdage	Room A, Open-loop	Room B, Closed-loop
Kl. 8:15 – 17:45		
Effektoptagelse, W		
<b>Dag 1</b>		
Middel	60,1	71,6
Min.	3,1	43,0
Max.	142,4	142,2
<b>Dag 2</b>		
Middel	65,3	67,7
Min.	3,1	43,4
Max.	142,4	135,7
<b>Dag 3</b>		
Middel	64,3	63,9
Min.	3,1	42,9
Max.	142,4	139,8
<b>Dag 4</b>		
Middel	58,1	63,5
Min.	3,1	42,9
Max.	142,5	139,7
<b>Dag 5</b>		
Middel	51,5	59,4
Min.	3,1	42,3
Max.	141,8	140,6
<b>Dag 6</b>		
Middel	53,2	59,0
Min.	3,1	42,5
Max.	142,1	140,3

Effektoptagelsen for hele døgnforløbet er vist for en udvalgt solrig dag på figur 11. Som det fremgår, både af tabel 4 og figur 11, er den væsentligste forskel i energiforbruget for de to systemer på solrige det faktum, at i de perioder, hvor der er dagslys nok, slukker open-loop systemet helt for armaturerne, i modsætning til closed-loop systemet der kun dæmper ned til minimum. I disse perioder optager open-loop systemet ca. 3,1 W, mens closed-loop systemet optager omkring 42,5 W, ved opsætningen brugt i denne test.



Figur 11. Effektoptagelse i de to systemer på en solrig dag med rigeligt dagslys.

## Systemernes funktion ved lavt dagslysniveau (overskyede dage)

Dage hvor den gennemsnitlige belysningsstyrke ved sensor # 3 (zone 1) var mindre end 2.000 lux i tidsrumme kl. 8:15 - 17:45 blev kategoriseret som dage med begrænset dagslystilførsel (overskyede dage).

### Belysningsstyrke

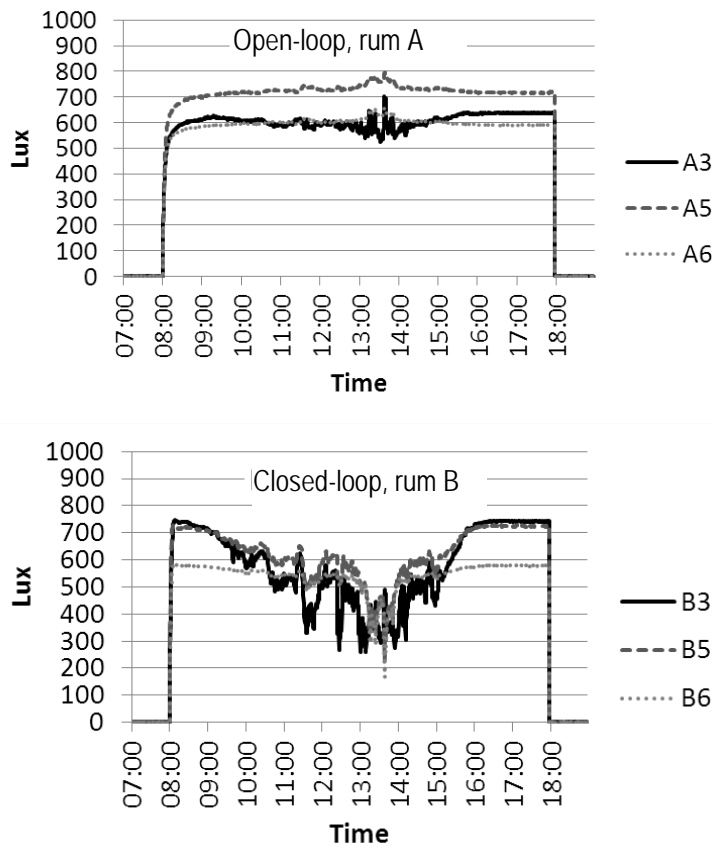
Nedenstående tabel 5 viser middel, minimum og maksimum belysningsstyrker målt i de tre zone1: sensor 3, zone 2: sensor 5 og zone 3: sensor 6 i henholdsvis rum A med open-loop system og rum B med closed-loop system på udvalgte vinterdage (kl. 8:15 – 17:45) med overskyet vejr.

Tabel 5. Middel, minimum og maksimum belysningsstyrker, målt i de tre zoner (sensor 3, 5 og 6 i henholdsvis rum A - Open-loop og B - Closed-loop) for udvalgte overskyede dage.

Sensor nr.	A3	A5	A6	B3	B5	B6
<b>Overskyede dage</b>						
<b>Belysningsstyrke, lux</b>						
<b>Dag 7</b>						
Middel	607	724	599	577	623	540
Min.	524	646	544	260	225	168
Max.	703	795	657	746	728	582
<b>Dag 8</b>						
Middel	602	733	606	535	579	507
Min.	505	640	541	259	219	161
Max.	1328	961	722	1070	728	582
<b>Dag 9</b>						
Middel	1021	958	822	895	822	738
Min.	516	619	525	289	224	161
Max.	10035	8624	8772	7968	9261	10474
<b>Dag 10</b>						
Middel	789	743	611	726	653	554
Min.	507	665	557	248	213	153
Max.	6965	1170	991	5394	1290	1092
<b>Dag 11</b>						
Middel	1739	1327	789	1465	1141	600
Min.	346	649	550	256	189	142
Max.	11593	8753	3265	9611	9249	3434
<b>Dag 12</b>						
Middel	1436	1014	683	1229	764	444
Min.	392	564	487	249	211	163
Max.	10652	7905	1536	8929	7986	1512

På de udvalgte dage med overskyet vejr er belysningen tændt i hele dagperioden, således at lysudsendelse i systemer kun kommer ned på minimum værdierne i korte perioder. Ved den lave dagslystilførsel kan open-loop systemet opretholde den ønskede belysningsstyrke, og indstiller sig på samme niveauer, som fundet ved kalibreringen af systemet. Derimod kan closed-loop systemet ikke opretholde de 500 lux, som var det ønskede belysningsniveau for de tre zoner, se figur 12.

De laveste lysniveauer på overskyede dage blev målt omkring middagstid, specielt i rummet med closed-loop systemet, hvor den ønskede belysningsstyrke (500 lux) kun kunne opretholdes i alle zoner 71 % af dagtimerne. I rummet med open-loop systemet kunne den ønskede belysningsstyrke opretholdes i 100 % af timerne, se figur 12.



Figur 12. Belysningsstyrke i de to rum målt på en overskyet dag (lavt dagslysniveau).

Tabel 6 viser, hvor stor en del af tiden i % (procentdele af måleværdier) systemerne er i stand til at holde belysningsstyrken over 500 lux og 400 lux på overskyede dage i dagtimerne (kl. 8:15 – 17:45). Kun i 36 % af tiden kunne closed lop systemet holde belysningsstyrken på det ønskede niveau ( 500 lux) i zone 1, 2 og 3 på overskyede dage.

Tabel 6. Beregnede procentdele af måleværdier i de tre zoner i hvert rum, hvor belysningsstyrken ligger under 500 lux, henholdsvis 400 lux.

Sensor nr.	A3	A5	A6	B3	B5	B6
<b>Overskyede dage</b>						
<b>Belysningsstyrke, lux</b>						
<b>Dag 7</b>						
% tid, lux > 500	100	100	100	71	91	90
% tid, lux > 400	100	100	100	86	97	95
<b>Dag 8</b>						
% tid, lux > 500	100	100	100	52	68	66
% tid, lux > 400	100	100	100	69	92	89
<b>Dag 9</b>						
% tid, lux > 500	100	100	100	75	73	70
% tid, lux > 400	100	100	100	87	88	84
<b>Dag 10</b>						
% tid, lux > 500	100	100	100	84	92	90
% tid, lux > 400	100	100	100	93	96	94
<b>Dag 11</b>						
% tid, lux > 500	98	100	100	78	65	60
% tid, lux > 400	99	100	100	94	82	73
<b>Dag 12</b>						
% tid, lux > 500	88	100	100	81	38	36
% tid, lux > 400	100	100	100	97	48	43

Figur 12 viser dog også, at belysningsstyrkerne i rummet med open-loop system i en stor del af tiden ligger et godt stykke over det ønskede niveau på 500 lux. Dette vil medføre et overforbrug af el i forhold til forbruget til at holde niveauet konstant. For de undersøgte dage er overforbruget i størrelsesorden 20 %, se tabel 7 nedenfor.

## Energiforbrug

Middel-, minimum- og maksimumværdier af effektoptaget (watt) for at opretholde de belysningsstyrker i dagtimerne på overskyede dage, der er vist i tabel 5 og tabel 6, fremgår af nedenstående tabel 7.

Tabel 7. Middel-, minimum- og maksimumværdier af effektoptaget for at holde belysningsstyrkerne i dagtimerne på de udvalgte overskyede dage som vist i tabel 5 og tabel 6 .

Overskyede dage	Room A, Open-loop	Room B, Closed-loop
KI. 8:15 – 17:45		
Effektoptagelse, W		
<b>Dag 7</b>		
Middel	132,1	115,7
Min.	110,1	59,9
Max.	140,6	144,1
<b>Dag 8</b>		
Middel	128,0	105,2
Min.	101,4	46,4
Max.	140,4	141,0
<b>Dag 9</b>		
Middel	117,6	98,6
Min.	7,8	43,2
Max.	139,7	143,5
<b>Dag 10</b>		
Middel	131,5	117,4
Min.	40,1	43,7
Max.	142,5	156,7
<b>Dag 11</b>		
Middel	104,5	80,6
Min.	19,6	43,4
Max.	142,0	139,0
<b>Dag 12</b>		
Middel	91,9	69,2
Min.	23,7	42,9
Max.	138,2	141,7

Som det fremgår af tabellen, er elforbruget lavest i closed-loop systemet. Dette skyldes dels, at open-loop systemet ikke kan opretholde de ønskede belysningsstyrker på 500 lux (men ligger en del under) og dels, at open-loop systemet ligger for højt i belysningsstyrkerne, som nævnt ovenfor.

På dage med vekslende skydække (drivende skyer) er open-loop systemet bedst til at opretholde den ønskede belysningsstyrke, fordi open-loop systemet har en kortere forsinkelsestid end closed-loop systemet.

## Konklusion

Et casestudie blev gennemført for at sammenligne to systemer til dagslysstyring. Systemerne fungerer efter to principielt forskellige metoder. Det ene system anvender en såkaldt åben sløjfe (open-loop), der styrer belysningsstyrken i rummet efter lysindfaldet gennem vinduet. Det andet system anvender en såkaldt lukket sløjfe (closed-loop) og regulerer belysningsstyrken i rummet efter ændringer i den belysningsstyrke sensoren 'ser' på et fladeareal i rummet. I forhold til opretholdelsen af den ønskede belysningsstyrke og systemernes energiforbrug viste undersøgelsen, at:

- For begge systemer var opretholdelsen af den ønskede belysningsstyrke og det resulterende elforbrug stærkt afhængig af, hvordan indstillingen af setpunktet blev foretaget fra starten. For begge systemer var det vanskeligt at indstille og kalibrere det ønskede setpunkt.
  - For begge systemer måtte der gennemføres ekstra tests og kalibrering til situationer uden dagslys
  - Funktionen af open-loop systemet er afhængig af, at indstilling og kalibrering af belysningsstyrke-setpunktet foretages under en overskyet himmel
  - Indstillingen af open-loop systemet kan kun udføres af uddannet ekspert/ driftspersonale, brugeren kan ikke selv justere armaturernes lysudsendelse
  - Indstilling af closed-loop systemet kræver gentagne justeringer for hvert enkelt armatur, hvilket er tidskrævende
  - Closed-loop systemet giver mulighed for at brugeren kan justere lysudsendelsen efter at systemet er taget i brug. Dette kan øge brugertilfredsheden (hvis brugeren informeres), men kan også have indflydelse på elforbrug
- Standby effekten for open-loop systemet blev målt til ca. 1 W, mens den for closed-loop systemet var 0,3 W. Standby elforbruget er derfor højere for open-loop systemet end for closed-loop systemet.
- Effekten ved minimum lysudsendelse fra closed-loop systemet var ca. 14 W, mens closed-loop systemet slukkede helt og kørte på standby-forbrug. Det betød at på solrige dage var elforbruget i open-loop systemet ca. 7 % af elforbruget i closed-loop systemet.
- På dage med stærkt svingende dagslysforhold (drivende skyer), reagerede open-loop systemet hurtigere på dagslysændringerne pga. en kortere delay time.
- Systemerne blev testet uden personer til stede i rummet. Personer og aktiviteter i rummet ville måske kunne påvirke systemernes performance ud over de konklusioner, som er gjort her. Dette gælder især for closed-loop systemet, hvor brugerne selv kan efterjustere indstillingen og ved deres aktiviteter vil komme til at ændre på reflektansen af den flade systemet 'betragter'.
- Systemerne blev afprøvet i umøblerede rum, og det bemærkes, at begge systemer måtte re-kalibreres, hvis indretningen ændredes, fx gennem møblering. I så fald måtte open-loop systemet re-kalibreres af ekspert, mens closed-loop systemet i princippet kunne indstilles af brugerne selv.

# Systemernes installation og vedligeholdelse

Af de syv systemer som deltog i projektet lykkedes det kun at installere tre systemer som blev systematisk gennemmålt i SBI's dagslyslaboratorium. De afprøvede systemer blev evalueret på brugervenlighed i forhold til installation og drift af systemerne.

De tre afprøvede systemer nævnes A, B og C, et open-loop system og to closed-loop systemer. Tabel 8 indikerer hvilke systemer er open-loop og hvilke er closed-loop og hvor lysmålingerne foregår for hvert system.

Tabel 8 Systemer i installations og drifts vurdering

System	Styring/ Open-loop (O)	Styrings-/Reguleringspunkt
	Regulering/ Closed-loop (C)	
A	O	Målt ud af vinduet
B	C	Målt på bagvæg samt i loftet
C	C	Målt i loftet

For de tre afprøvede systemer kan man sige følgende om installationen:

## Fra en montørs synspunkt

Fra en montørs synspunkt er alle tre systemer nemme at montere idet der er vedlagt danske monterings- eller fortrådningsvejledninger. Normal vil installationen være suppleret med et tavle/system diagram der viser, hvilke ledninger der skal føres mellem hvilke terminaler.

### System A

System A leveres med en række forud-programmerede scenarier. Opsætning af ønsket funktion sker via det indbyggede display. En udførlig bruger-vejledning på dansk følger med. Inden start skal der vælges et scenarie som passer til den aktuelle situation f.eks. kontor eller klasselokale etc. System A kræver en aktiv belysningsmåling i tre punkter for at kunne sættes op. Det vanskelige i den procedure er, at vurdere i hvilke tre punkter der skal måles og under hvilke dagslysforhold. Det fremgår af vejledningen, at installationen skal foregå ved jævnt overskyet vejr, som kan være svært at planlægge efter. Belysningsmålingerne skrives derefter på et skema og beregninger skal derefter foretages ud fra aflæsning af måleværdier fra displayet. Setpunkter indtastes via displayet. Herefter afsluttes opsætningen og systemet skulle gerne fungere.

Fordelen ved aktivt at kunne (efter)justere System A er, at den kan betjenes af driftpersonalet eller via telefon sammen med en tekniker. Driftpersonalet kan også kontrollere indstillinger og aflæse aktuelle målinger fra lysføler og bevægelsesmelder.

### System B

System B's LON Controller kræver opsætning via en pc med tilhørende software. Opsætningen kan ske på værksted eller på stedet. Der er intet betjeningspanel på Controlleren. Controlleren kan betjenes via Internettet af uddannet personale.

### *System C*

System's C router kræver opsætning via en pc med tilhørende software. Opsætningen kan ske på værksted eller på stedet. Der er intet betjeningspanel på Controlleren. Routeren blev opsat på SBi hvor en observation viser at softwaret som personalet benyttede ikke var særlig brugervenligt, selv for erfarne brugere/teknikere men det virker. Der er forhåbentligt kommet mere tilgængelig software i dag. Da Routeren kommunikerer via Ethernet, med egen ip-adresse, kan den tilgås via en pc fra alle steder på jorden. Meget smart, men der skal med fordel være en tilstede til at kontrollere virkningen af eventuelle ændringer.

### **Fra driftspersonalets synspunkt**

Fra driftspersonalets synspunkt er System B og C utilgængelige for personale der ikke er specialuddannet i opsætning og efterjustering af anlæggene. De indeholder hver især en "million" indstillingsmuligheder. Det vurderes at det kræver eksperter udefra for at servicere disse to anlæg.

System A er umiddelbart tilgængelig for driftspersonalet. Anlægget kan ikke betjenes via Internet, men den danske trykte vejledning kan hjælpe langt hen ad vejen.

### **Generelt**

Set i perspektiv med projektet "Funktionssikring af energieffektiv lysstyring" (SBI-anvisning 220) lyttede 1200 personer (en blanding af projekterende og teknikere/montører) på foredrag om anvisning 220. Teknikerne og montørerne var absolut i flertal.

En række forskellige el-automatik firmaer, heriblandt forhandlere af system A, B og C udstillede hver gang deres grej og holdt et miniseminar, hvor de forklarede om alle de herligheder som deres anlæg kunne tilbyde. Under miniseminaret fik deltagerne så lov til at prøve at indregulere anlæggene efter nogle fiktive belysningsmålinger.

Det var tydeligt at der var store variationer mellem betjeningsvenlighed af systemerne og flere indstillingsmuligheder betyder ikke nødvendigvis bedre løsninger. Der var dog systemer som kunne finde ud af at gøre det simpelt og brugervenligt, deres funktioner afhænger som sagt af indstillingsparametre som setpoint, hvor hurtigt systemet reagerer på en ændring udefra og hvor stor en standby effekt systemet har.

Med nuværende teknologisk fremdrift er det en trist virkelighed at installationer af lysstyrings- og reguleringssystemer ikke er nået frem til at være brugervenlige for installatører og driftspersonale. De problemer som først blev dokumenteret i projektet Funktionssikring af energieffektive lysstyringer (J.nr. 464-04, projekt nr. 337-067) i SBI - Anvisning 220 eksisterer stadig i 2016, otte år efter anvisningen er udgivet.

# Resultater

Et casestudie af åben sløjfe (open-loop) og lukket sløjfe (closed-loop) systemer til dagslysstyring viser, at for begge systemer var opretholdelsen af den ønskede belysningsstyrke og det resulterende elforbrug stærkt afhængig af, hvordan indstillingen af setpunktet blev foretaget fra starten. For begge systemer var det vanskeligt at indstille og kalibrere det ønskede setpunkt. Et af systemerne var afhængigt af en specifik vejrtype ved installation, og forudsætninger som vejrforhold kan skabe problemer i forhold til installation.

Det kan være problemer forbundet med systemer, som kun kan betjenes af eksperter, da ved systemets levetid forældres ekspertisen, som der skal til for at re-installere systemerne ved ændring af brug af lokaler. Når brugerne selv har mulighed for at justere lysudsendelsen, efter systemet er taget i brug, medfører det som regel tilfredshed hos brugeren, men kan have indflydelse på energiforbruget.

Standby effekten varierer meget mellem systemer. Ved lavere energiforbrug i lysinstallationer kan standby effekten få en betydning i det endelige energiregnskab. Systemers minimum energiforbrug ved nedregulering har en betydning for dage, hvor der er tilstrækkeligt med dagslys. Systemerne skal helst køre på en lav standby effekt i tilfælde af tilstrækkeligt dagslys. Energiforbruget afhænger også af systemernes reaktionstid. Når systemerne er programmerede til at reagere hurtigt på ændringer i dagslys, medfører det større besparelser, men det kan være på bekostning af slutbrugertilfredshed med systemet.

Konklusionen er, at der er mange systemer derude med hver deres måde at indstille, styre- og eller regulere på. De kloge spørgsmål, som skal stilles inden styringssystem vælges, er blandt andet:

- Hvilke forudsætninger er der for indstilling af systemet (specifikke vejrforhold, mørklægning, etc.)?
- Hvor nemt er det for bygningsdriften/ejeren at betjene systemet (se eksempler)?
- Husk at mange muligheder ikke nødvendigvis er en fordel
- Hvilke forprogrammerede indstillinger er der i systemet (hvilke konsekvenser kan de have for energiforbrug og brugertilfredshed)?







I denne rapport sammenlignes to systemer til dagslysstyring. Systemerne fungerer efter to principielt forskellige metoder. Det ene system anvender en såkaldt åben sløjfe (open-loop), der *styrer* belysningsstyrken i rummet efter lysindfaldet gennem vinduet. Det andet system anvender en såkaldt lukket sløjfe (closed-loop) og *regulerer* belysningsstyrken i rummet efter ændringer i den belysningsstyrke sensoren 'ser' på et fladeareal i rummet.

Ved laboratorieundersøgelser er systemerne blevet afprøvet samtidig under forskellige vejrforhold. Målinger skal dokumentere systemernes evne til at fastholde de ønskede belysningsstyrker og deres energiforbrug ved forskellige vejrtyper.

De afprøvede systemer er også blevet evalueret på brugervenlighed i forhold til installation og drift.

1. udgave, 2016  
ISBN 978-87-563-1754-2